

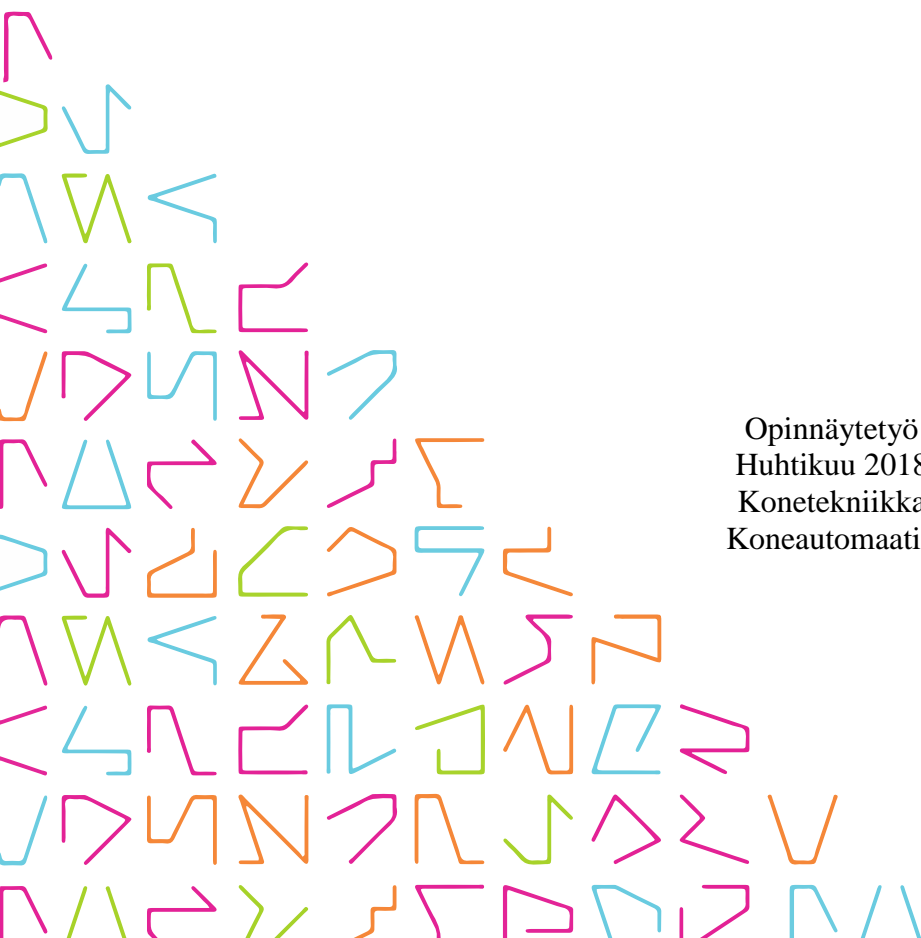


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SYLINTERIRYHMÄN KIERRETULPPIEN ASENNUKSEN AUTOMATISOINTI

Tommi Kaarenoja

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Konetekniikka
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

KAARENOJA, TOMMI:
Sylinteriryhmän kierretulppien asennuksen automatisointi

Opinnäytetyö 58 sivua
Huhtikuu 2018

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella automatisoitu järjestelmä kierretulppien asennusvaihetta varten. Opinnäytetyön tilaajana toimi AGCO Power Oy, joka on yksi maailman johtavia maatalouskoneiden dieselmoottojen valmistajia. Työn tarkoituksena oli suunnitella manuaalisen asennusvaiheen tilalle automatisoitu ratkaisu, joka olisi kompakti, edullinen ja luotettava.

Tilaajan sylinteriryhmien kierretulppien asennus suoritettiin manuaalisessa asennusvaiheessa, jossa työntekijä asensi tiivisterenkaalla varustetun kierretulpan kiinni sylinteriryhmään paineilmapääntimellä. Asennusvaihe vaati työntekijältä jatkuvaa tarkkuutta ja tehokkuutta, jotta työvaihe saatiin suoritettua siihen varatussa ajassa. Asennusvaiheen työmenetelmiä pyrittiin kehittämään, ja automatisoidun järjestelmän käyttöönotolla haluttiin vähentää asennusvaiheeseen käytettyä aikaa, tehostaa tuotannon toimintaa ja säästää kuluja pidemmällä aikavälillä. Lisäksi valmista automatisoitua ratkaisua voitiin hyödyntää tehtaassa muissa vastaavissa asennusprosesseissa.

Työssä perehdyttiin aiheen teoreettiseen taustaan, järjestelmälle suunnatun robottisolun esittelyyn, järjestelmän laitevalintoihin, kohdealueen 2D- sekä 3D-mallinnukseen, järjestelmän toiminnan simulointiin sekä kulutarkasteluihin. Haasteiksi työssä muodostuivat järjestelmälle varatun tilan hyötykäyttö, optimaalisten laitevalintojen tekeminen sekä automatisoidun ratkaisun luotettavuuden varmistaminen.

Työssä suunniteltu automatisoitu järjestelmä oli kokonaisuudessaan toteutuskelpoinen, mutta toteuttamispäätöstä suunnitelman perusteella ei tehty opinnäytetyön tekemisen aikana.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

KAARENOJA, TOMMI:
Automated Plug Installation System for a Cylinder Block

Bachelor's thesis 58 pages
April 2018

The objective of this thesis was to design a fully automated threaded plug installation system for a cylinder block. The purpose of the system was to replace the physically demanding and repetitive manual installation process used at AGCO Power Oy, one of the leading companies in the production of diesel motors in the farming industry. The manual installation phase consisted of a production worker attaching a seal ring to a threaded plug, then installing the plug into a cylinder block using a pneumatic nutrunner.

The purpose of the thesis was to design a compact, independent and feasible system that could be implemented for a reasonable price. The design of the system was based on the space available, the requirements set for the installation phase and the results from the system simulation. This thesis only included the design process of the system, and the decision of whether the system will be implemented will be made later by the company.

All the goals set for the system design created in this thesis were met. The commissioning of an automated system would decrease the time spent on the installation phase, reduce installation costs and increase the efficiency of the installation phase. In addition, the automated system could be applied to the company's other plug installation processes.

Key words: automatization, robotics, installation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn tausta.....	5
1.2	Työn rakenne	6
2	YRITYSESITELELY	7
2.1	AGCO-konserni	7
2.2	AGCO Power Oy	7
3	ROBOTIIKKA	9
3.1	Robotiikan nykytilanne	9
3.2	Robottityypit	10
3.3	Turvallisuus robotiikassa	14
4	ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SIMULOINTI	17
4.1	Robotstudio-ohjelma.....	17
4.2	Simuloinnin hyödyntäminen suunnittelutyössä	18
5	ASENNUSVAIHEEN AUTOMATISOINTI	19
5.1	Robottisolun esittely	19
5.2	Automatisoidun järjestelmän vaatimukset.....	20
5.3	Automatisoinnin hyödyt	22
6	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	24
6.1	Tilavaatimusten määrittäminen.....	24
6.2	Alustavat laitevalinnat	26
6.2.1	Kierretulppien ja tiivisterenkaiden syöttölaitteisto	26
6.2.2	Sähköväänin	31
6.2.3	Robotti.....	35
6.2.4	Työtaso.....	41
6.3	Layoutin suunnittelu	42
6.4	Toiminnan tarkastelu	43
6.4.1	Robottisolun 3D-mallinnus	44
6.4.2	Työkierron simulointi	48
7	KULUTARKASTELOT	53
7.1	Manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat kulut.....	53
7.2	Automatisoidun järjestelmän hankintakustannukset	54
7.3	Takaisinmaksuajan laskenta	55
8	POHDINTA.....	56
	LÄHTEET.....	57

1 JOHDANTO

Tuotannon automatisointi ja robotisointi ovat olleet nousevia trendejä viime vuosina. Yritykset pyrkivät jatkuvasti nostamaan automaatioastettaan, jotta tuotannon tehokkuus ja kilpailukyky paranevat. Lisäksi monissa yrityksissä kehityskohteina ovat olleet työntekijöiden työasentojen, työergonomian ja terveyden jatkuva parantaminen. Automatisoiduilla ratkaisuilla voidaan usein vähentää työntekijöihin kohdistuvaa fyysistä rasitusta ja tehostaa samalla yrityksen tuottavuutta.

1.1 Työn tausta

Työn lähtökohtana on automatisoida tilaajan sylinteriryhmien kierretulppien asennusvaihe. Työn tarve pohjautuu asennusvaiheen vaatimaan tehokkuuteen ja tulpattavien kohteiden kasvaneeseen määrään. Kierretulpat asennetaan tehtaalla manuaalisesti yhdistämällä tiivisterengas kiinni kierretulppaan ja vääntämällä tämä kiinni sylinteriryhmään. Manuaalisessa asennusvaiheessa käytetään apuna paineilmaväännintä, jotta vaadittu kiristysmomentti saavutetaan.

Asennusvaiheen automatisoinnin tarpeellisuuteen vaikuttaa uuden tekniikan, HLA:n (Hydraulic Lift Assist), käyttöönotto sylinteriryhmillä. Käyttöönoton vuoksi tulpattavien asennuskohteiden määrä kasvaa entisestään, mikä tekee manuaalisesta asennuksesta vielä itseään toistavampaa ja raskaampaa. Tekniikka otetaan käyttöön ensiksi 6-sylinterisellä sylinteriryhmällä, mutta sitä tullaan käyttämään myös muilla ryhmämallleilla tulevaisuudessa.

Työssä on olennaista selvittää automatisoidun järjestelmän vaatima laitteisto, jotta asennusvaiheessa päästään asetettuihin tavoitteisiin. Suunnittelutyön laitevalintoja ohjaavat käytössä oleva tila, laitteiden yhteistoiminta, asennusvaiheelle asetetut vaatimukset, laitteiden kustannukset sekä simuloinnista analysoitavat tulokset. Työssä suunniteltava järjestelmä on tarkoitus liittää osaksi tilaajan aktiivista tuotantolinjaa, jossa valmistetaan puolimoottoreita.

1.2 Työn rakenne

Työn alussa esitellään AGCO-konsernin arvot, missio, visio sekä taloudelliset tunnusluvut. Lisäksi perehdytään tilaajan, AGCO Power Oy:n, historiaan ja toimintaan perusteellisemmin. Teoriaosuudessa, eli kappaleissa kolme ja neljä, käsitellään robotiikkaa yleisesti, alan nykytilannetta, erityyppisiä robotteja sekä niiden toiminnan turvallisuutta. Teoriaosuudessa käydään läpi myös simulaation taustaa, ABB:n Robotstudio-ohjelman toimintaa sekä simuloinnista saatavia etuja suunnittelutyössä.

Kappaleessa viisi esitellään robottisolu, johon suunniteltava järjestelmä on tarkoitus liittää. Esittelyssä käsitellään solun toimintaa sekä sen tarjoamia olosuhteita automatisoidulle asennusjärjestelmälle. Lisäksi kappaleessa määritellään automatisoidulta järjestelmältä vaaditut ominaisuudet ja pohditaan ratkaisusta koituvia hyötyjä. Kappaleessa kuusi siirrytään itse suunnittelutyön käsittelyyn. Suunnittelutyössä määritellään ensiksi järjestelmän käytössä oleva tila ja tuotantokapasiteetti, joiden avulla päästään siirtymään vaadittavan laitteiston kriteereihin. Järjestelmälle valitaan alustavasti laitteisto, jonka määrittävinä kriteereinä ovat myös laitteiden hankintakustannukset sekä laitteiden yhteistoiminta.

Laitteiston alustavan valinnan jälkeen mallinnetaan ensiksi kohdealueen 2D-ympäristö, josta siirrytään 3D-mallinnukseen ja lopulta järjestelmän toiminnan simulointiin. Simuloinnin tulosten perusteella tehdään vielä lopulliset muutokset laitevalintoihin ja layout-suunnitteluun, jotta järjestelmä voidaan todeta kaikin puolin toimivaksi. Kappaleessa seitsemän lasketaan manuaalisen asennusvaiheen aiheuttamia kuluja vuositasolla, jonka jälkeen niitä verrataan automatisoidun järjestelmän hankintakustannuksiin. Samalla myös tarkastellaan automatisoidun järjestelmän takaisinmaksuaikaa sekä kannattavuutta. Viimeisessä kappaleessa pohditaan järjestelmän potentiaalista jatkokehitystä ja työn onnistumista kokonaisuudessaan.

2 YRITYSESITTELY

AGCO Power Oy on valmistanut dieselmoottoreita jo yli 70 vuotta Nokian Linnavuorella ja on osa globaalia AGCO-konsernia. Dieselmoottoreiden lisäksi AGCO Powerilla valmistetaan dieselpumppuja ja -generaattoreita, hammaspyöriä, vaihteistoja sekä akseleita (AGCO Power 2016c). Sisu Dieselinä aiemmin tunnettu yritys fuusioitui AGCO:n kanssa vuonna 2008 (AGCO Power 2016d).

2.1 AGCO-konserni

AGCO on yksi maailman suurimmista maatalouslaitteita sekä -koneita valmistavista konserneista, jonka tavoitteena on tuottaa markkinoiden edistyneimpiä teknologisia ratkaisuja viljelijöille ympäri maailmaa. Konsernin arvot ovat kunnioitus, luotettavuus, omatoimisuus, avoimuus sekä joukkuepeli. AGCO pitää näitä arvoja tärkeinä toteuttaessaan missiotaan kannattavan kasvun parissa. Konserni pyrkii kasvamaan sitoutumisen, innovaation, laadun sekä ensiluokkaisen asiakaspalvelun kautta. AGCO omistaa monia tuotemerkkejä, joista tunnetuimpia ovat Challenger, Valtra, GSI, Fendt, Gleaner ja Massey Ferguson. (AGCO Corporation 2016; AGCO Corporation 2018a)

AGCO:n liikevaihto oli 7.4 miljardia dollaria vuonna 2016 (AGCO Corporation 2017). Vuoden 2017 neljännen vuosikatsauksen mukaan liikevaihto nousi edellisvuoteen verrattuna vielä 12.1 prosenttiyksikköä, mikä vastaisi noin 8.3 miljardia dollaria (AGCO Corporation 2018b).

2.2 AGCO Power Oy

Linnavuoren tehdasalueen historia lähtee liikkeelle 1940-luvulta, jolloin Nokian Siuron kylään rakennettiin Suomen toinen lentomoottoritehdas. Tehtaan oli tarkoitus toimia ydinpaikkana lentomoottoreiden korjaustöille. Sotakorvausten maksamisen ohella alettiin kehittää dieselmoottoreita yrityksen oman tuotekehityksen turvin. (AGCO Power 2016a)

Yrityksellä on takanaan pitkä historia, johon on mahtunut lukuisia yritysmuutoksia ja monia omistajia. Yrityksen nimi muutettiin nykypäivänä tunnetuksi AGCO Power Oy:ksi vuonna 2012, minkä tarkoituksena oli integroida yritystä entistä läheisemmin osaksi AGCO-konsernia (AGCO Power 2016b). Tuotteiden valmistus on hajautettu kuuteen eri tehdashalliin, joissa työskentelee yhteensä yli 700 henkilöä päivittäin. Kuvassa 1 nähdään osa tehdasalueesta lukuisine tehdashalleineen.



KUVA 1. AGCO Power Oy:n tehdasalue (AGCO Power 2018)

AGCO Powerin tuotanto on muuttunut tehokkaammaksi vuosi vuodelta ja nykyään tehtaalla valmistuukin vuositasolla noin 30 000 moottoria. AGCO Powerilla investoidaan robotisointiin ja tehtaalla onkin yli 100 robottia aktiivisessa käytössä. Tuotantoa pyritään jatkuvasti automatisoimaan, jotta tehokkuutta saataisiin yhä parannettua. (Yritysesittely 2018)

3 ROBOTIIKKA

Robottiikka on ollut kiinnostusta ja keskustelua herättävä puheenaihe etenkin viime vuosina. Sitä käsiteltäessä on tärkeää ymmärtää mikä on robotin määritelmä. Robotilta oletetaan, esimerkiksi tietokoneohjelmista poiketen, kykyä liikkua moneen eri suuntaan (Lehtinen 2015, 43). Standardin ISO 8373 mukaan robotti on automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava ja monikäyttöinen manipulaattori, jossa on vähintään kolme akselia (Kurfess 2005, 1).

3.1 Robottiikan nykytilanne

Robottiikka on jaoteltu pääsääntöisesti teollisuus- sekä palvelurobottiikkaan, joista jälkimmäinen tekee vielä todellista tuloaan (Lehtinen 2015, 43). Teollisuusrobottiikkaa on ollut olemassa jo vuosikymmenien ajan ja sitä on hyödynnetty yritysten sisällä monissa eri käyttökohteissa. Tuotannossa robotit suorittavat niille määritetyt ohjelmat erittäin korkealla toistotarkkuudella sekä absoluuttisella tarkkuudella, johon esimerkiksi ihminen ei fyysisiltä ominaisuuksiltaan kykene. Toistotarkkuudella tarkoitetaan robotin työkalun tilastollista tarkkuutta, jolla se palaa takaisin aikaisemmin opetettuun pisteeseen (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 14). Absoluuttisella tarkkuudella sen sijaan tarkoitetaan robotin tarkkuutta liikkua määritettyyn pisteeseen sen runkoon sidotussa koordinaatistossa (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 14). Korkeiden tarkkuusarvojen ansiosta robottien valmistamisessa tuotteissa ei ilmenekään suurta laadunvaihtelua.

Tekniikan kehittymisen ansiosta robotteja käytetään nykyään teollisuudessa muun muassa tuotteiden siirtämisessä, kokoonpanossa, hitsauksessa, maalauksessa ja monissa muissa vastaavissa työtehtävissä. Robottiikka on yleistynyt teollisuudessa ja uusia sovelluskeinoja sen hyödyntämiseksi etsitään ja tutkitaan jatkuvasti. Robottiikan kehittyminen on ollut pitkälti kone-, sähkö- sekä tietotekniikan tieteenalojen osaamiseen perustuvaa (Lehtinen 2015, 42). Näiden tieteenalojen syvälinen osaaminen ja niiden yhdistäminen on vienyt robottiikan kehitystä eteenpäin nopealla tahdilla. Robottiikka ei ole silti vielä saavuttanut sille visioitua maksimipotentiaalia. Vaativampien ja monimutkaisempien työtehtävien suorittaminen robotilla vaatii usein esimerkiksi voimaohjauksen sekä konenäön yhteistoimintaa.

Robottiikan mahdollisuuksia teollisuuden ulkopuolella tutkitaan ympäri maailman ja sille nähdäänkin suurta potentiaalia muun muassa hoitotyön ja vanhusten hoidon laadun parantamisessa. Robottiikan yleistymiseen arkielämässä vaikuttavat kuitenkin teknologian kehittymisen ja tutkijoiden tekemän työn ohella myös ihmisten suhtautuminen siihen. Lainsäädäntö robottiikkaan liittyen sekä ymmärryksen puute teknologian kehittymisen aiheuttamista seurauksista yhdessä hidastavat alan kehitystä. (Lehtinen 2015, 43)

3.2 Robottityypit

Erilaisia robottityyppejä on suunniteltu vuosien saatossa lukuisiin eri sovelluskohteisiin. Robotti valitaan sille määriteltyyn kohteeseen alustavasti koon, käsittelykyvyn, ulottuman ja robotin liikeratoihin vaadittavien vapausasteiden lukumäärän pohjalta. Vapausasteiden määrä vaikuttaa suoranaisesti robotin liikkuvuuteen. Teollisuusrobottien vapausasteet ovat suoraa tai kiertyviä ja jokainen vapausaste vaatii tyypillisesti yhden toimilaitteen (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 15).

Asettamalla lineaarisia ja kiertyviä niveliä eri järjestyksiin, voidaan robotilla saavuttaa erilaisia työalueita. Nivelä ohjaa hallitusti toimilaitte, esimerkiksi moottori tai sylinteri, riippuen nivelelle halutusta liikkeestä. Toimilaitteet voivat olla sähköisiä, hydraulisia tai pneumaattisia. Sähköisiä toimilaitteita, kuten servomoottoreita, käytetään useimmiten tapauksissa, joissa robottia halutaan liikutella mielivaltaisesti liikeratojen sisällä. Hydraulinen toimilaitte on puolestaan suunniteltu kohteisiin, joissa robotti käsittelee tai siirtää raskaita taakkoja. Pneumaattiset toimilaitteet sen sijaan soveltuvat parhaiten yksinkertaisiin työtehtäviin, joissa robotin liikkeet ovat lineaarisia ja vaativat suurta nopeutta. Pneumaattisilla toimilaitteilla ei saavuteta yhtä suurta tarkkuutta kuin sähköisillä ja hydraulisilla toimilaitteilla. (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 17-19)

Vakiintuneita robottityyppejä ovat sylinterirobotti, suorakulmainen sekä kiertyvänivelinen robotti ja SCARA-robotti (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 16). Näiden lisäksi tunnettuja robottityyppejä ovat napakoordinaatistorobotti, karteellinen ja rinnakkaisrakenteinen robotti (kuvio 1) sekä markkinoille hiljattain ilmestynyt yhteistyörobotti, josta esimerkkinä paljon huomiota osakseen saanut ABB:n kaksikäinen YuMi-teollisuusrobotti (kuvio 2). Se on erikoistunut pienten tuotteiden kokoonpanoon ja hyö-

dyntää kameraa osien paikannuksessa (ABB 2018c). Seuraavaksi esitellään vakiintuneet robottimallit lyhyesti.

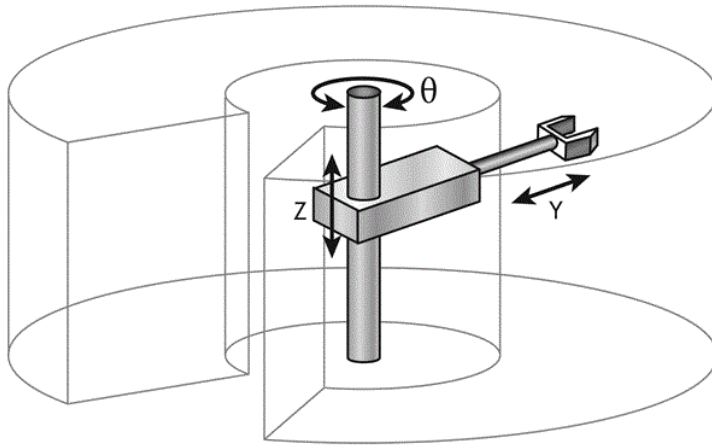


KUVIO 1. Rinnakkaisrakenteinen robotti (ABB 2018)



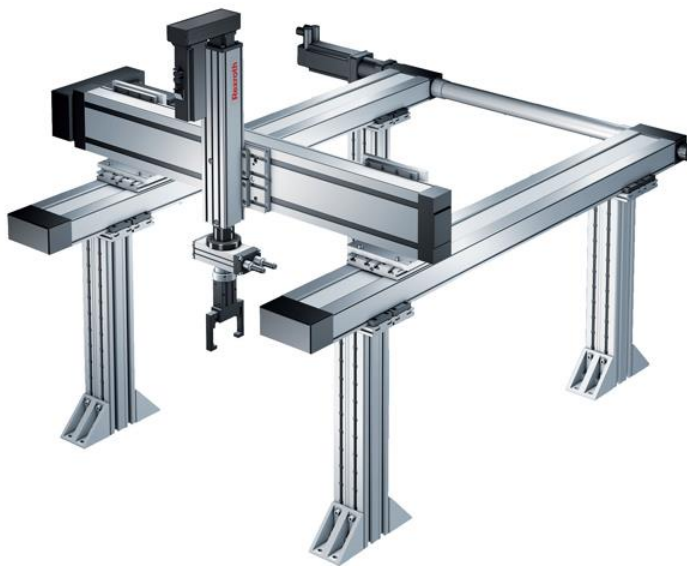
KUVIO 2. Kaksikäinen YuMi-robotti (ABB 2018)

Sylinterirobotin (kuvio 3) nimitys tulee sen koordinaattijärjestelmästä (Suomen Robottiikkayhdistys Ry 1999, 17). Robotilla on kaksi lineaarisesti liikkuvaa niveltä sekä yksi kiertyvä nivel. Nivelten järjestyksen vuoksi robotin työalue on laaja ja sylinterimäinen. Sylinterirobotin tarttujan erityisen hyvän ulottuvuuden vuoksi sitä käytetäänkin muun muassa erilaisissa varastointi- ja lajittelutehtävissä.



KUVIO 3. Sylinterirobotti ja sen työalue (MachineDesign 2018)

Suorakulmainen robotti eroaa muista robottityypeistä, sillä sen liikkeet tapahtuvat kiskojen avulla, minkä vuoksi robotti vaatii tukirakenteet ympärilleen. Suorakulmaisen robotin vapausasteista kolme ensimmäistä ovat lineaarisia (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 16). Yksi yleisimmistä suorakulmaisista roboteista on portaalirobotti (kuvio 4), jota hyödynnetään usein logistisissa tehtävissä. Aiemmin mainittu karteesinen robotti muistuttaa toimintaperiaatteeltaan hieman portaalirobotia, mutta se on rakenteellisesti vain toiselta puolelta tuettu.



KUVIO 4. Portaalirobotin rakenne (CFP Robotic Group 2016)

Kuviossa 5 esiintyvässä SCARA-robotissa (Selective Compliance Assembly Robot Arm) on kolme kiertyvää niveltä, joista viimeisen nivelen päässä on yleensä lineaarinen käsivarsi (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 16). Kolme ensimmäistä niveltä kier-

tämällä robotin käsivarsi viedään haluttuun paikkaan nivelten tasossa. Asennon saavuttamisen jälkeen käsivarsi suorittaa esimerkiksi sille soveltuvan kokoonpanotehtävän.



KUVIO 5. Keskikokoinen SCARA-robotti (Yamaha 2018)

Tyypillisiä teollisuusrobotteja edustaa kuviossa 6 esiintyvä kiertyvänivelinen robotti, jonka kaikki vapausasteet ovat kiertyviä (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 16). Robotin ulottuma suhteessa muihin robottityyppeihin on hyvä, mutta se ei kykene käsittelemään suuria kuormia. Kiertyvänivelisiä robotteja hyödynnetään paljon kevyissä kappaleen siirto- ja käsittelytehtävissä, hitsauksessa sekä maalauksessa.



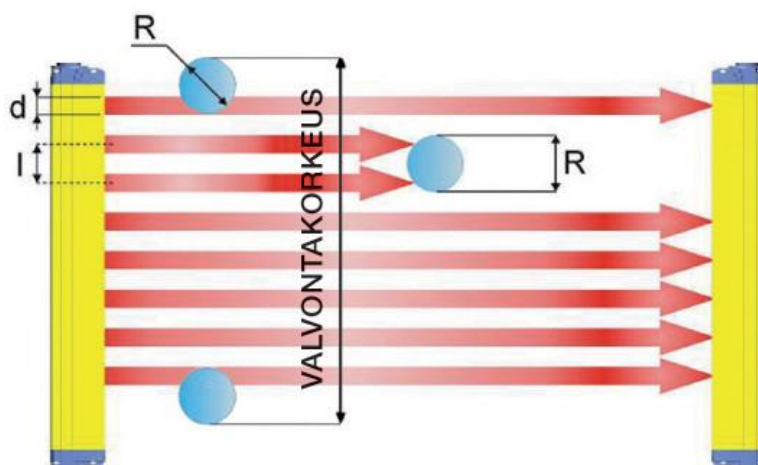
KUVIO 6. Kiertyvänivelisen robotin rakenne (ABB 2018)

3.3 Turvallisuus robotiikassa

Työntekijöiden turvallisuus on hyvin keskeinen asia nykyajan yrityksissä. On tärkeää, että töistä lähdetään samassa terveydentilassa ja kunnossa kuin sinne ollaan tultu. Yritykset ovatkin alkaneet panostaa entistä enemmän tehdasalueen ja siellä liikkumisen turvallisuuteen. Robottijärjestelmien suunnittelussa on merkityksellistä ottaa huomioon, että robotin työalueen ympäriltä löytyvät asianmukaiset turvalaitteet robotin liikkeiden hidastamiseksi ja pysäyttämiseksi (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 166). Tapaturmien ennaltaehkäisemiseksi on syytä myös harkita työntekijöiden läsnäoloa vaativien tehtävien poistamista robotin läheisyydestä (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 166).

Yleisimpiä turvalaitteita ja -rakenteita robottijärjestelmissä ovat suoja-aitaus, valoverho (kuvio 7), hätäpysäytys-painike sekä ohjauksen sallintalaite. Useimmiten laitteita käytetäänkin yhdessä takaamaan työntekijän turvallisuus robotin läheisyydessä työskennellessä. Laitteiden takaama turvallisuus perustuu kommunikointiin robotin kanssa, tai niiden rakenteeseen, jonka tavoitteena on rajoittaa ihmisen liikkumista.

Ihmisen liikkeisiin reagoiva valoverho koostuu usein kahdesta päädystä, joiden välillä kulkee infrapunasäteitä. Mikäli yhdenkin säteen kulku päätyjen välillä estyy, robotin toiminta keskeytyy tai hidastuu. Verhon asennuksessa on huomioitava, että säteet ovat tarpeeksi tiheässä ja että niiden suuntaus on varmistettu oikeaksi. Sädeväljen tulee olla asetettu niin tiheään, ettei esimerkiksi käsi voi päästä valoverhon säteiden välistä läpi huomaamatta.

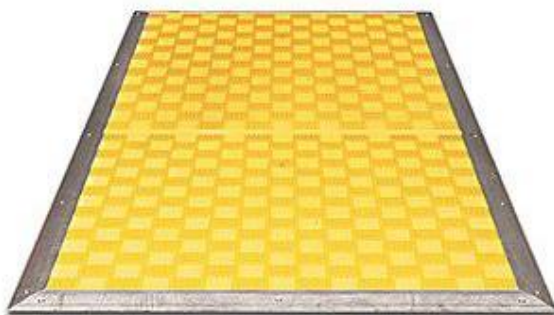


KUVIO 7. Turvalaitteena käytettävä valoverho (OEM 2018)

Yksi yleisimmistä turvaavista rakenteista on suoja-aitaus, jolla pyritään estämään ihmisen kulku robotin työalueelle. Rakenteen on oltava yli metrin korkuinen, jotta sillä olisi ihmisen liikkeitä rajoittava vaikutus (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 167). Suoja-aitauksen ollessa alle 1.4 metriä, tarvitaan muita lisäturvallisuustoimia (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 167). Suoja-aitaukseen on usein rakennettu valvottu kulkuaukko, josta työntekijä pääsee esimerkiksi korjaamaan robotilla tapahtuvan mahdollisen häiriötilanteen turvallisesti.

Valvottuna kulkuaukkona voi toimia esimerkiksi turvakytkimellä varustettu portti, optinen lähestymiskytkin, turvamatto (kuvio 8), peilien ja useampien valokennojen käyttämiseen perustuvat turvalaitteet, valoverho, kapasitiiviset tunnistimet tai liikkeen tunnistavat infrapunailmaisimet. Mikäli robotin työalueella on tarvetta käydä usein, tai alue on laaja, käytetään turvalaitteistona useimmiten turvamattoja tai valokennoja kulkuaukoissa. (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 168–169)

Turvamatto ennaltaehkäisee tapaturmariskejä siten, ettei sen yli voi kävellä huomaamatta. Robotin toiminta keskeytyykin välittömästi, kun turvamattolla havaitaan painoa. Laitteen asennuksessa täytyy varmistaa, ettei työntekijän ole mahdollista ohittaa sitä pitkäläkään kävelyaskeleella. Turvamaton sivuilla tai yläpuolella ei saa olla rakenteita, joita käyttämällä laite voidaan ohittaa huomaamatta. (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 169)



KUVIO 8. Kulkuaukolle asennettava turvamatto (Direct Industry 2018)

Turvamaton lisäksi moderniin käyttöön on yleistynyt turvalaserskanneri (kuvio 9). Turvalaserskanneri on optinen lähestymiskytkin, joka skannaa sille määriteltyä aluetta lasersäteellä. Laite laskee säteiden kulkemaan matkaan käytettyä aikaa ja aistii, mikäli työntekijä liikkuu alueella. Turvalaserskannerin avulla voidaan hidastaa robotin liikkeitä

asteittain eri etäisyyksillä, mikä laskee tapaturmariskiä huomattavasti työntekijän läheisyydessä robottia tai sen työaluetta.



KUVIO 9. Turvalaserskanneri (Panasonic 2017)

Tehtaan toiminnan turvallisuuden takaamiseksi on tärkeintä kartoittaa kaikki riskit tuotannossa ja sen prosesseissa. Perusteellisella kartoituksella voidaan yrityksen sisällä vaikuttaa esimerkiksi turvalliseen layout- ja työsuunnitteluun sekä tuotannon suunnitteluun (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 166). Prosesseihin perehtyminen ja niiden muokkaaminen mahdollisimman turvallisiksi luovat pohjan vaarattomalle työskentelylle.

Robottijärjestelmien osalta suunnittelutyössä voidaan rajoittaa robotille sallittua työaluetta siten, että robotti pääsee suorittamaan ainoastaan sille suunnitellut työtehtävät, jolloin ylimääräisiä liikkeitä ja vaaratilanteita ei synny. Robotin työalueen rajauksella säädetään tilaa muille laitteille layoutissa, samalla kun myös tapaturmariskit pienenevät. Robottijärjestelmien alueiden rajaamisessa on aina huomioitava siinä käytetyn robotin rajattu toiminta-alue, maksimitoiminta-alue sekä turvalaitteiden valvoma alue (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 166). Alueiden rajat voivat vaihdella suurestikin, riippuen esimerkiksi robotilla käytössä olevasta työkalusta (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 166).

4 ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SIMULOINTI

Systemien ja prosessien simulointi matemaattisten mallien avulla avaa suunnittelutyöhön uusia mahdollisuuksia. Simuloinnissa robottien toimintaa voidaan suunnitella ja testata erilaisissa ympäristöissä nopeasti ja edullisesti verrattuna todellisen robottijärjestelmän rakentamiseen ja testaamiseen (Kurfess 2005, 21). Tästä syystä monet yritykset kehittävätkin ohjelmia tuotteidensa simulointia varten. Esimerkiksi ABB:n Robotstudio-ohjelma simuloi yrityksen robottien työskentelyä käyttäjän rakentamassa 3D-ympäristössä. Oletusarvona simuloinnin todenmukaisuudelle on, että simuloinnissa mallinnettu ympäristö on mittatarkka.

4.1 Robotstudio-ohjelma

ABB:n Robotstudio-ohjelman realistinen simulointi perustuu siinä käytettyyn Virtual Controlleriin, joka vastaa yrityksen tuotteiden todellista ohjelmistoa (ABB 2018b). Ohjelmassa robotille voidaan luoda komentoja ja ohjelmia, joiden avulla se suorittaa määritetyt tehtävät täsmälleen kuin todellisuudessa. Järjestelmiä pystytään muuntelemaan vaivatta myös offline-tilassa, jossa itse robottijärjestelmään ei olla millään tavalla yhteydessä. Offline-ohjelmoinnilla voidaan parantaa tuottavuutta sekä vähentää riskejä työvaiheissa, ilman että tuotannon toiminta häiriintyy (ABB 2018b).

Robotstudion kirjastossa on laaja valikoima yrityksen robotteja ja niihin soveltuvia yleisimmin käytettyjä työkaluja. Näitä työkaluja voidaan käyttää simuloitavan työtehtävän suorittamiseen, mutta robottien käyttöön voidaan tuoda myös muissa ohjelmissa mallinnettuja työkaluja. Työkalun kiinnittämisessä täytyy sille halutun asennon lisäksi ottaa huomioon myös työkalukoordinaatiston sijainti, jonka suhteen robotti kykenee liikuttamaan itseään. Ominaisuus on hyödyllinen, kun halutaan liikuttaa työkalua muuttamatta sen asentoa.

Robotin sekä työhön soveltuvan työkalun valitsemisen jälkeen voidaan luoda liikeratoja ja konfiguraatioita robotille. Kun liikeradat ovat luotu, on mahdollista suorittaa automaattinen konfiguraatio, jonka avulla robotin asennot liikeratojen aikana määräytyvät automaattisesti. Mikäli liikeradoille on saatavilla useampia mahdollisia konfiguraatioita, pyydetään käyttäjää valitsemaan parhaiten tilanteeseen sopiva työasento. Kokenut käyt-

täjä voi myös manuaalisesti ohjelmoida juuri sellaiset liikeradat ja konfiguraatiot robotille kuin itse haluaa. Konfiguraatioiden ja liikeratojen määrittämisen jälkeen voidaan simuloida robotin lopullinen työkierto, josta saadaan varmistus järjestelmän toiminnalle.

4.2 Simuloinnin hyödyntäminen suunnittelutyössä

Yksi robotiikan tieteellisen tutkimisen pääsyistä on ymmärtää robotin toimintaa sen ympäristössä, jotta voidaan tunnistaa robotin toimintaan vaikuttavat tekijät ja tehdä oletuksia sen toiminnasta (Nehmzow 2009, 154). Simuloinnista saatava informaatio on arvokasta uutta robottijärjestelmää suunniteltaessa. Työkierron simuloinnista voidaan esimerkiksi tarkastella, onko työalue riittävän laaja robotin liikkeille, jotta robotti ei joudu suorittamaan työtehtäviä liian ahtaissa olosuhteissa. Ahtaissa olosuhteissa toimiminen yleensä johtaa siihen, ettei robotille löydy konfiguraatioita liikkeiden suorittamiseen. Tällöin täytyy usein muuttaa suoritettavaa työtehtävää, tehdä muutoksia layoutissa tai harkita robotin vaihtamista toiseen malliin, jotta ulottuvuutta saadaan parannettua.

Yksi ohjelman hyödyllisimmistä ominaisuuksista on törmäysten havaitseminen. Käyttäjä voi määrittää kohteet, joiden törmäystä toisiinsa ohjelma tarkkailee. Tällöin ohjelma ilmoittaa, jos robotti tai sen työkalu osuu ympäristön kohteeseen. Törmäyksen sattuessa on hyvä analysoida sen aiheuttajaa, sillä esimerkiksi jo työkalun asentoa muuttamalla voidaan toisinaan ehkäistä törmäyksen tapahtuminen kokonaan. Työtilan riittävyyden ja törmäysten analysoimisen lisäksi simuloinnissa pystytään tarkastelemaan esimerkiksi työkalun kaapeleiden ja johtojen kietoutumista robotin käsivarren ympäri sekä informaation kulkua eri laitteiden välillä.

Simulaatiota toteutettaessa tulee ottaa huomioon ympäristön muodostamat riskitekijät, esimerkiksi useamman robotin työskentely samalla työalueella. Osalla simulaatio-ohjelmista voidaankin simuloida useamman robotin toimintaa samanaikaisesti, mikäli tämä nähdään tarpeelliseksi. Järjestelmän dynamiikasta huolehtiminen jää kuitenkin aina lopulta käyttäjän vastuulle. Simulointiin kannattaa siis panostaa, sillä se antaa kriittistä tietoa, joka saattaa lopulta toimia laitevalintojen perusteena ja auttaa robottijärjestelmään sijoittavaa tahoja säästämään kuluissa.

5 ASENNUSVAIHEEN AUTOMATISOINTI

Robottisolu, johon suunniteltava järjestelmä oli tarkoitus liittää, oli osa tilaajan valmista Rasko-tuotantolinjaa. Solu valittiin työhön sen tarjoaman ylimääräisen tilan, tuotannollisen sijainnin sekä soveltamismahdollisuuksien vuoksi. Alueella oli alustavan silmä-määräisen arvion perusteella noin 9 neliometriä vapaata pinta-alaa käytettävissä ja solua rajoittavaa suoja-aitausta voitiin siirtää kauemmaksi tilaajan hyväksynnällä.

5.1 Robottisolun esittely

Robottisolussa suoritettiin runkolaakerien asennusta sekä kampiakselin asentamista paikoilleen kahden robotin toimesta. Robotit toimivat arkipäivinä ympäri vuorokauden kolmessa työvuorossa ja niitä valvottiin solun hoitajien toimesta. Edellä mainittuja asennusvaiheita suoritettiin 3-, 4- sekä 6-sylinterisille sylinteriryhmille, jotka ovat nimetty niiden iskuilavuuksien mukaan. Iskuilavuuksissakin on tosin variaatioita. Sylinteriryhmistä 3-sylinterisen mallin iskuilavuus on 3.3 litraa, 4-sylinterisen joko 4.4 tai 4.9 litraa ja 6-sylinterisen mallin joko 6.6 tai 6.9 litraa.

Tuotannollinen sijainti automatisoidulle järjestelmälle vaikutti hyvältä, sillä ryhmämallit kulkeutuivat jonoissa robottisolulle suoraan rullalinjalta. Rullalinjalta voitaisiin täten tulevaisuudessa poimia jokainen HLA-sylinteriryhmä kierretulppien asennusta varten, mikäli automatisoidun järjestelmän tuotantokapasiteetti riittäisi siihen. HLA-tekniikka on tulossa kaikille edellä mainituille sylinteriryhmille, mutta se otettiin ensiksi käyttöön 6-sylinterisellä sylinteriryhmällä.

Suunniteltavan järjestelmän oli tarkoitus toimia yhteistyössä toisen alueella toimivan robotin kanssa, johon viitataan tämän työn aikana nimikkeellä ”avustava robotti”. Normaalin työkiertonsa aikana avustava robotti siirtää sylinteriryhmiä aiemmin mainittuja asennusprosesseja varten erillisille työpisteille. Avustavan robotin 8-10 minuuttia kestävien työkiertojen välillä oli reilu minuutti aikaa, jonka aikana se voisi siirtää sylinteriryhmän työtasolle kierretulppien asennusvaihetta varten. Avustava robotti oli malliltaan ABB:n IRB 6400R, jossa oli 2.8 metrin ulottuma ja 200 kilogramman maksimikuorma.

5.2 Automatisoidun järjestelmän vaatimukset

Laitevalintoja ohjasivat tilaajan asettamat vaatimukset automatisoidulle järjestelmälle. Automatisoidun asennuksen haluttiin ennen kaikkea olevan tehokkaampaa kuin manuaalisen asennuksen. Tehokkaan toiminnan lisäksi järjestelmän haluttiin olevan kompakti ja luotettava, jotta se kykenisi täysin itsenäiseen toimintaan. Järjestelmän laitteiksi suunniteltiin alustavasti syöttölaitteistoa tiivisterenkaille ja kierretulpille, robottia, sähköväännintä sekä työtasoa, jolla itse tulppien asennus tapahtuu. Edellä mainituilla laitteilla työn suorittamisen oletettiin onnistuvan automatisoidusti, mutta selvittävänä oli vielä millä laitevalinnoilla asennus onnistuisi mahdollisimman optimaalisella tavalla. Robotin ja työtason käyttäminen oli työssä välttämätöntä, mutta syöttölaitteen ja vääntimen, tai niiden yhdistelmän, käyttämisen suhteen oli muutamia erilaisia vaihtoehtoja.

Kierretulppien ja tiivisterenkaiden syöttölaitteiston suurin vaatimus oli syöttötahdin saavuttaminen sekä sen säilyttäminen, jotta systeemi kykenisi tavoiteltuun asennustahdiin. Automatisoidun järjestelmän tavoitteena oli tuottaa arviolta 50 tulpattua sylinteriryhmää yhden työvuoron aikana. Määrä vastasi kuutta sylinteriryhmää tunnissa, mikä asetti yhden sylinteriryhmän kierretulppien asennusvaiheen kestolle 10 minuutin maksimaalisen aikarajan. Jotta mahdollisten vikatilanteiden korjaamiselle saatiin luotua ajallisesti varaa, asetettiin tulppien automatisoidulle asennukselle tavoiteajaksi viisi minuuttia.

Syöttötahdin lisäksi toinen pohdittava seikka oli syöttölaitteiston puhtaus. Sylinteriryhmän sisään ei toivottu kulkeutuvan likapartikkeleita tai mitään muuta sinne kuulumatonta kierretulppien asennuksen vuoksi. Robotin rungosta ja työkalusta saattaisi liikkeiden aikana irrota likapartikkeleita, jotka voisivat helposti kulkeutua sylinteriryhmän kantesen sisälle. Lian kulkeutumista sylinteriryhmään voitiin siis ennaltaehkäistä suunnittelemalla asennusrobotin liikeradat siten, ettei se liikkuisi ainakaan suoraan ryhmän kannen yli. Puhtaus oli erityisen tärkeää myös siksi, etteivät kierretulpat ja tiivisterenkaat jumittuisi tai jäisi kiinni syöttölaitteistoon millään tapaa. Koko järjestelmästä haluttiin luoda itsenäisesti toimiva automatisoitu ratkaisu, jolla ei esiintyisi häiriöitä.

Automatisoidun järjestelmän suunnittelussa tultiin siihen lopputulokseen, että tiivisterenkaan automaattisella kiinnityksellä asennusvaihe saataisiin optimaalisemmaksi. Työkierron aikana robotti voisi suorittaa kierretulppien asennustyötä samalla kun syöttölait-

teisto yhdistäisi tiivisterenkaita kiinni seuraavaksi asennettaviin kierretulppiin. Manipulaattorin avulla automaattinen yhdistäminen voitaisiin periaatteessa toteuttaa, mikäli se nähtäisiin kannattavaksi ominaisuudeksi syöttölaitteistolla. Yhdistämisen jälkeen syöttölaitteisto siirtäisi tiivisterenkaalla varustetun kierretulpan puskuriin robotin haettavaksi, jolloin järjestelmä olisi dynaaminen ja tehokas.

Vääntimeltä vaadittiin kompaktia kokoa, kykyä vääntää kierretulppa nopeasti määritelyyn jännitykseen sekä pitkää elinkaarta työn luonteen vuoksi. Koko oli merkittävässä asemassa, sillä robottisolun tarjoama tila oli hyvin rajattu. Mitä suurempi sähköväännin järjestelmään valitaan, sitä laajemmaksi muodostuu itse asennusvaiheen vaatima työalue. Vääntimen koko vaikuttaa suoranaisesti myös robotin valintaan, sillä sille laskettava maksimikuorma määräytyy käytettävän työkalun ja sen oheislaitteiden yhteenlaskusta massasta. Myös vääntimen tarkkuus oli huomioitava järjestelmää suunniteltaessa, sillä kierretulppa haluttiin vääntää sylinteriryhmään tarkasti 15 newtonmetrin vääntömomentilla, joka oli ennalta määritelty tilaajan tuotekehitysosastolla.

Automatisoitu järjestelmä vaati robotin teknisiltä ominaisuuksilta korkeaa absoluuttista tarkkuutta sekä toistotarkkuutta. Korkeiden tarkkuusarvojen ansiosta robotti löytäisi tulpattavat kohteet, eikä kierretulpan ja tiivisterenkaan käsittelyssä ilmenisi ongelmia työkierron aikana. Toistotarkkuuden ollessa matala, robotti saattaisi pahimmassa tapauksessa asentaa kierretulpan esimerkiksi väärille kierteille. Tällöin kierteet saattaisivat vahingoittua ja korjaava asennustyö olisi tarpeen, jolloin myös aikaa menisi hukkaan. Esitettyyn esimerkkitalanteeseen voitaisiin tietysti varautua valitsemalla työhön sähköväännin, joka aistisi väärille kierteille asentamisen, mutta korjaavan asennustyön suorittamiseen kuluisi silti ylimääräistä aikaa.

Automatisoidun järjestelmän työtasolle vaadittiin paikoitus, jonka avulla sylinteriryhmä asettuisi tasolla aina samalle paikalle. Tällöin robotille ohjelmoitava työkierto löytäisi tulpattavat kohteet aina samoista pisteistä ja riski kierretulppien asentamiseen väärille kierteille pienenesi. Työtason rakenteen tuli myös kestää painavan sylinteriryhmän aiheuttama raskaus.

5.3 Automatisoinnin hyödyt

Automatisoidulla ratkaisulla saataisiin tehostettua tuotannon toimintaa ja työntekijät voisivat luopua itseään toistavasta asennustyöstä. Manuaalisesta tulppien asennuksesta luopuminen ei vähentäisi henkilöstön tarvetta tehtaalla, vaan siirtäisi työntekijöiden keskittymisen tehtäviin, joihin esimerkiksi robotit eivät kykene. Kyse olisi lähinnä työtehtävien organisoinnista.

Automatisoidulla ratkaisulla tilaajan automaatioastetta saataisiin kasvatettua, ja täten parannettua myös kilpailukykyä. Suunniteltua järjestelmää voitaisiin tilaajan puolesta lisäksi vielä jatkokehittää, minkä ansiosta tuotantokapasiteetti saataisiin vastaamaan tulevaisuudelle asetettuja tavoitteita. Järjestelmää voitaisiin myös hyödyntää tehtaalla muuallakin, kuin pelkästään Rasko-tuotantolinjalla. Tulppien asennusta suoritetaan muissakin tehdashalleissa, joihin järjestelmä olisi mahdollista soveltaa käytettäväksi. Järjestelmää ei tarvitsisi juurikaan muuttaa, ellei kierretulpalle määritetty jännityksen arvo, asennusosien syöttötahti tai asennuskohteiden etäisyys robotista muutu huomattavasti.

Yksi automatisoidun järjestelmän hyödyistä olisi sen vaikutus sekä asennusprosessin että lopputuotteen laatuun, kun paineilmavääntimen käytöstä luovuttaisiin. Paineilmavääntimellä kiristetyt kierretulpat voivat todellisuudessa olla eri jännityksen arvossa, kuin niille on määritetty. Paineilmavääntimen onkin huomattavasti sähköväännintä epätarkempi, eikä kykene toistamaan kiristysprosessia tarkasti jokaisessa asennuskohteessa. Laadukas sähkövääntimen sen sijaan kykenee mittaamaan laitteen omalla tekniikalla, että kierretulppa on asennettu sille ohjeistettuun jännityksen arvoon. Sähköväännintä käyttämällä määritetty jännitysvoima saataisiin aina varmistettua, eikä yksikään kierretulppa olisi liian heikosti tai tiukasti asennettuna kiinni sylinteriryhmään. Laatupoikkeamia saattavat yleisesti ottaen aiheuttaa käytetyn vääntimen lisäksi myös työntekijöiden tekemät mahdolliset inhimilliset virheet manuaalisen asennuksen aikana. Kierretulppien kiristyksessä ilmenevät laatupoikkeamat voivat pahimmillaan aiheuttaa sylinteriryhmien vuotamista, joka saattaa puolestaan johtaa reklamaatioihin. Laadun paraneminen saattaisi siis epäsuorasti vaikuttaa myös asiakaskokemuksiin ja myyntiin positiivisella tavalla.

Hyvin suunnitellulla järjestelmällä säästettäisiin lisäksi tilaajan varoja pidemmällä aikavälillä. Automatisoidun järjestelmän toiminnasta aiheutuvat kulut ovat lähes olematto-

mat, joten järjestelmä varmasti maksaisi itsensä nopeasti takaisin tehokkaalla toiminnallaan. Takaisinmaksuajan laskeminen on yksinkertainen tapa selvittää, minkä ajan kuluessa investoinnin summatut nettotuotot ylittävät hankintakustannukset (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, 223). Takaisinmaksuaikaa voidaan pitää hyväksyttävänä, mikäli se on huomattavasti alle investoinnin pitoajan (Andersson, Ekström & Gabrielsson 2001, 134). Tilaajan mukaan investointi voitaisiin nähdä hyvin kannattavana, mikäli sen takaisinmaksuaika olisi noin 2.5 vuotta, koska automatisoidun ratkaisun pitoajan voitiin olettaa olevan paljon pidempi.

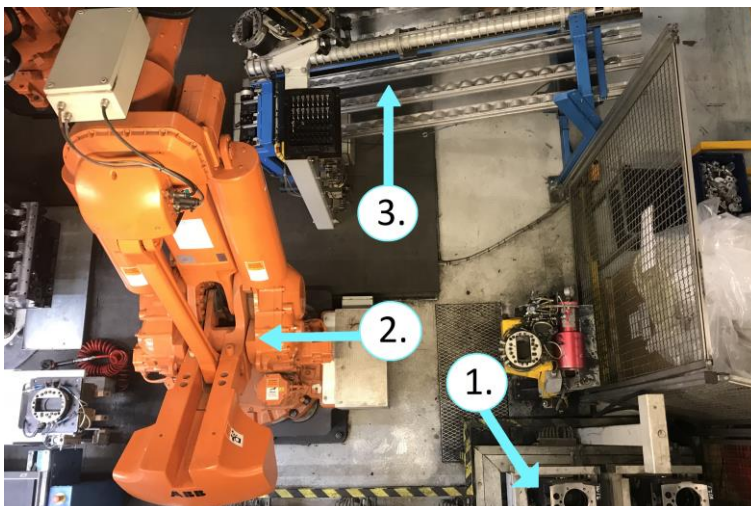
6 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Automatisoidun järjestelmän suunnittelutyö oli pitkä prosessi, joka oli riippuvainen monesta osatekijästä. Suunnitteluprosessiin vaikuttivat järjestelmän laitteiden hankintakustannukset, käytössä oleva tila ja muut asennustyötä rajoittavat tekijät. Suunnittelutyö ei edennyt niin kuin kuviteltiin, koska osa työtä rajoittavista tekijöistä ilmeni vasta suunnitteluvaiheen edetessä.

6.1 Tilavaatimusten määrittäminen

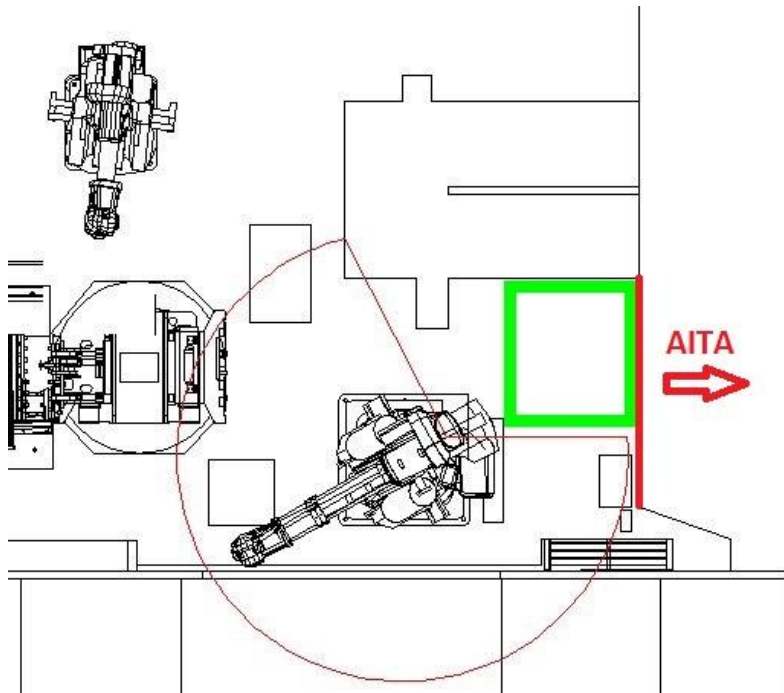
Tilavaatimusten määrittäminen oli erityisen haastavaa, koska tilaa oli käytössä hyvin rajatusti ja alueella täytyi ottaa huomioon avustavan robotin liikkuminen sen normaalin työkierron aikana. Tilaajalla ei ollut antaa robottisolusta ajan tasalla olevaa pohjapiirustusta, joten alueen mitat käytiin mittaamassa käsin. Mitoista luodun pohjapiirustuksen tarkoituksena oli edustaa solun todellisia mittoja mahdollisimman tarkasti. Alueen tarkka mitoitus oli edellytysaskel 3D-mallinnukselle ja täten simuloinnillekin. Robottisolun tarkka pohjapiirustus mallinnettiin AutoCAD-ohjelmalla ja mallintamisessa hyödynnettiin tilaajan päivittämätöntä layout-pohjaa.

Suunniteltava järjestelmä oli tarkoitus asentaa kuvan 2 edustamaan robottisoluun. Kuvan oikeassa alalaidassa näkyy rullalinjan (1.) pääty, josta 3-, 4- sekä 6-sarjan sylinteriryhmät tulevat jonoissa. Vasemmassa alakulmassa nähdään aiemmin mainittu avustava robotti (2.), jonka yläpuolella on laakerisyötin (3.).



KUVA 2. Robottisolu ylhäältä kuvattuna (Kuva: Tommi Kaarenoja 2018)

Robottisolun pohjalta tehdystä layoutista (kuvio 10) nähdään, että avustavan robotin oikealle puolelle jäi käyttämätöntä tilaa. Tästä muodostuikin automatisoidun järjestelmän kohdealue, joka on rajattu kuviossa vihreällä. Oikealle puolelle jäävää suoja-aitausta pystyttiin siirtämään kauemmaksi, minkä avulla saatiin luotua ylimääräistä tilaa järjestelmälle tarpeen vaatiessa. Tämä loi suunniteltavalle järjestelmälle hyvät olosuhteet toimia. Haasteena oli enää pohtia, miten valittavat laitteet sijoittuisivat kohdealueen tyhjään tilaan.



KUVIO 10. Järjestelmän kohdealue, avustavan robotin työalue ja suoja-aitaus kuvattuna

Avustava robotti ei liikkunut työkiertonsa aikana lainkaan kohdealueella, vaan sen rajoitettu työalue sijoittui rullalinjan ja laakerisyöttimen välille. Laitteiden sijoittelussa oli kuitenkin otettava huomioon myös avustavan robotin toisella puolella oleva suuri vastapaino, joka auttaa robottia kontrolloimaan sen liikkeitä. Layoutin suunnittelun haasteena ei ollut siis avustavan robotin normaalin työalueen ja liikeratojen huomioiminen, vaan lähinnä robotin vastapainon liikehdinnän tarkastelu sen työkierron aikana. Vastapainon liikehdintään perehdytään tarkemmin 3D-mallinnuksessa ja simuloinnissa, jossa pystytään varmistamaan järjestelmän laitteiden sijoittaminen turvallisiin asemiin.

Koska suunniteltava järjestelmä oli tarkoitus liittää osaksi jo valmista robottisolua, ei laitteistolle tai robotille vaadittu ylimääräisiä turvalaitteita. Robottisolussa oli valmiiksi käytössä valvottu kulkuaukko sekä kaksi metriä korkea suoja-aitaus, jotka yhdessä var-

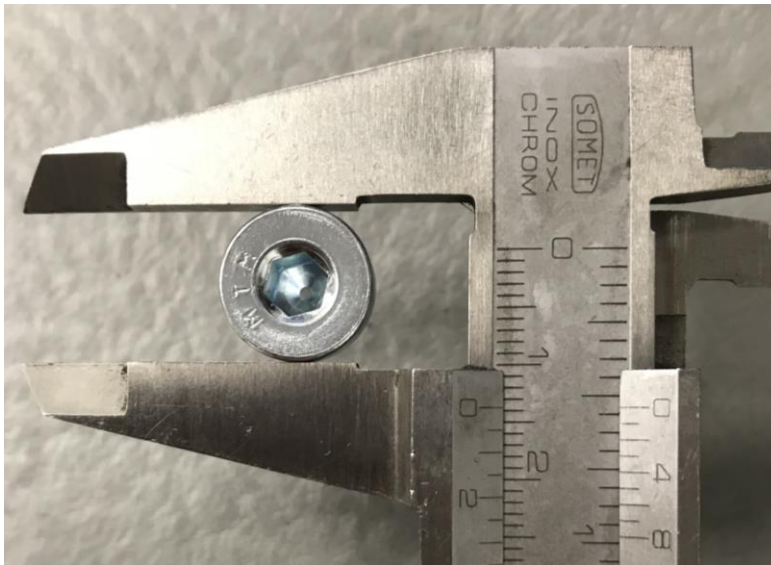
mistivat solun toiminnan turvallisuuden. Suunniteltavassa järjestelmässä varmistettiin vain asennusrobotin työalueen turvallisuus ja todettiin, ettei robotin ja sen ympäristön välillä tapahtunut törmäyksiä työkiertojen aikana.

6.2 Alustavat laitevalinnat

Laitteiden valinta oli kriittisin askel suunnittelutyön läpiviennissä. Alustavat valinnat tehtiin laitteiden ominaisuuksiin, soveltamismahdollisuuksiin ja tilan hyödyntämiseen perustuen. Laitevalinnoissa otettiin huomioon tilaajan entiset kokemukset tuotannossa käytetyistä laitteista sekä asiakassuhteet eri yrityksiin. Tehdyt valinnat varmistettiin toimiviksi vielä simulaatiossa.

6.2.1 Kierretulppien ja tiivisterenkaiden syöttölaitteisto

Syöttölaitteiston valinnassa oleellisena kriteerinä oli kierretulppien sekä tiivisterenkaiden syöttötahti. Syöttötahdin olisi oltava tarpeeksi nopea, jotta robotti kykenisi tulppaamaan tavoitteellisen määrän sylinteriryhmiä tunnissa. Tilaajan asettamana tavoitteena oli asentaa 6-sylinterisen sylinteriryhmän kaikki 22 kierretulppaa viidessä minuutissa. Sylinteriryhmään väännettävä DIN 908 -standardin mukainen kierretulppa (kuva 3) oli kooltaan M10x1 ja kierretulppaan kiinnitettävä USIT-tiivisterengas (kuva 4) oli sisähalkaisijaltaan 9 millimetriä, ulkohalkaisijaltaan 16 millimetriä ja paksuudeltaan 1.5 millimetriä. Kierretulppa oli materiaaliltaan ruostumatonta terästä ja sen kannassa oli kuvan 3 mukainen kuusiokolo. USIT-tiivisterenkaan ulkohalkaisija oli myös ruostumatonta terästä, mutta sen sisähalkaisija oli kumia, joka teki siitä hieman joustavan. Tiivisterengas ei irronnut kiinnittämisen jälkeen kierretulpasta ilman ulkoisia voimia, koska joustava kumiosuus loi kitkaa tiivisterenkaan sisähalkaisijan ja tulpan kierteiden välille.



KUVA 3. Kierretulpan kanta (Kuva: Tommi Kaarenoja 2018)



KUVA 4. Kierretulppaan yhdistettävä tiivisterengas (Kuva: Tommi Kaarenoja 2018)

Syöttölaitteistolta toivottiin nopean syöttötahdin lisäksi luotettavuutta sekä kykyä yhdistää tiivisterengas kierretulppaan ennen kuin robotti noutaa sen asennettavaksi. Kierretulpan ja tiivisterenkaan tulisi olla aina samassa asennossa, jotta robotti osaisi noutaa asennusosat ilman ongelmia. Tästä syystä alustavaksi valinnaksi mietittiinkin tärylaitteistoa, koska se kykenee ennen robotille syöttämistä kääntämään asennettavat komponentit haluttuun asentoon. Kuvassa 5 esiintyvä tärymaljaa ja pneumaattista syöttöpää hyödyntävä väänninjärjestelmä olisi toimintaperiaatteeltaan soveltunut työhön hyvin sen nopean asennustahdin ansiosta. Järjestelmä oli todettu toimivaksi useiden pienten asennusosien syötössä, mutta laitteiston soveltuminen kierretulppien ja tiivisterenkaiden syöttämiseen vaikutti silti epävarmalta. Suurimmaksi ongelmaksi kuitenkin lo-

pulta muodostui, ettei laitteisto ottanut millään tavalla huomioon tiivisterenkaan ja kierretulpan yhdistämistä toisiinsa. Lopullisen syöttölaitteiston todettiin lisäksi tarvitsevan kaksi tärymaljaa: toinen kierretulpille ja toinen tiivisterenkaille.

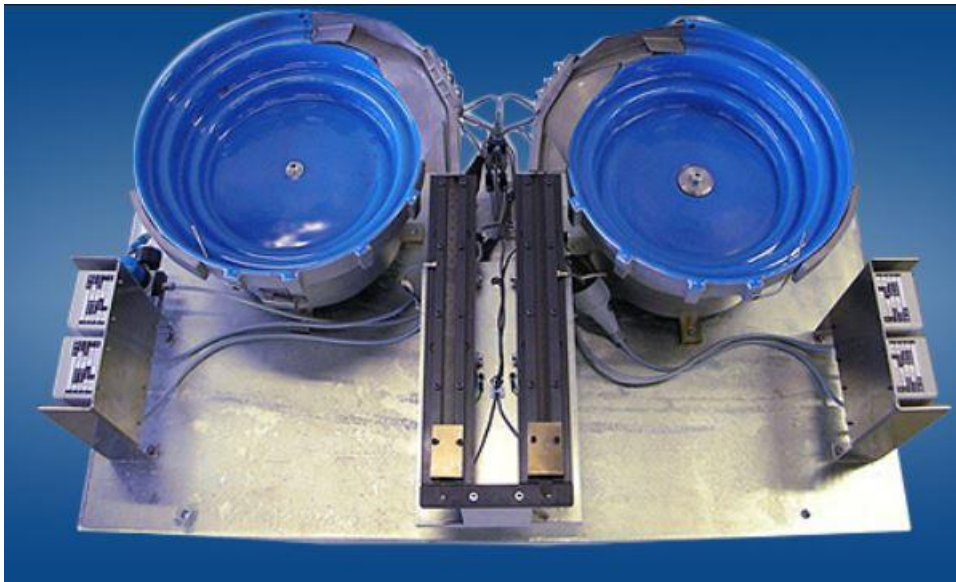


KUVA 5. Tärymaljaa ja pneumaattista syöttötapaa hyödyntävä väänninjärjestelmä (DTI 2018)

Kierretulppien ja tiivisterenkaiden yhdistämisessä ja syöttämisessä mietittiin myös erästä hyvin erilaista vaihtoehtoa, jossa käytettäisiin esityötä tekevää robottia sekä kierretulppia asentavaa robottia. Esityötä tekevä robotti yhdistäisi tiivisterenkaita kierretulppiin, ja siirtäisi tiivisterenkaalla varustettuja kierretulppia makasiinille. Kuljetin siirtäisi täyden makasiinin tulppien asennusrobotille, joka ottaisi tiivisterenkaalla varustettuja kierretulppia makasiinilta ja asentaisi kaikki kohteet organisoidusti. Työkierrossa käytettäisiin useampaa makasiinia, jolloin tulppien asennusrobotin ei koskaan tarvitsisi odottaa täyden makasiinin saapumista. Vaihtoehto oli varteenotettava, mutta ongelmiksi muodostuivat tilan puute sekä järjestelmän suuriksi arvioidut hankintakustannukset. Järjestelmä olisi vaatinut laajan työtilan ja oman kuljetinjärjestelmän makasiineille. Kuljetinjärjestelmän lisäksi haasteena olisi ollut esityötä tekevän robotin luotettavan toiminnan varmistaminen. Kierretulppia ja tiivisterenkaita yhdistävän robotin olisi esimerkiksi konenäköä hyödyntämällä aistittava, missä asennossa kierretulpat ja tiivisterenkaat ovat, jotta niiden yhdistäminen onnistuisi. Kahden robotin, konenäköjärjestelmän, makasiinien sekä niiden kuljetinjärjestelmän hankinta maksaisi tilaajalle huomattavan paljon.

Erilaisten vaihtoehtojen tarkastelemisen jälkeen järjestelmälle päädyttiin valitsemaan tärylaitteisto, jossa olisi tärymalja sekä tiivisterenkaille että kierretulpille. Tärymaljoista voitaisiin syöttää asennusosat vaivattomasti robotin käyttöön. Kyseisellä ratkaisulla voitaisiin myös tarkastella, mikäli tiivisterenkkaan yhdistäminen kierretulppaan onnistuisi tärylaitteistossa itsessään manipulaattoria käyttämällä.

Tilajalla oli jo entuudestaan käytössä ERKA Oy:n tärylaitteistoja, jotka olivatkin todettu toimiviksi ratkaisuiksi syöttöprosesseissa. ERKA:n internet-sivuilta löytyi useita erityyppisiä syöttölaitteistoja erilaisiin sovelluskohteisiin. Tarkasteltaessa kahdella tärymaljalla varustettuja ratkaisuja, löydettiin kuvassa 6 esiintyvä vaihtoehto.



KUVA 6. Kahden asennusosan syöttölaitteisto (ERKA 2018)

ERKA:n valmistama kaksoissyötin vaikutti potentiaaliselta vaihtoehdolta, koska sen oli todettu toimivan hyvin muun muassa pulteilla, ruuveilla, muttereilla ja useilla muilla asennusosilla. Ennalta ei kuitenkaan tiedetty, miten syöttöjärjestelmä toimisi esimerkiksi tiivisterenkaiden kanssa. Renkaiden halkaisija oli pieni ja sivuprofiili ohut, joten kyseenalaistettavana seikkana oli yhä täryjärjestelmän kyky syöttää tiivisterengas.

Täryjärjestelmän toiminnasta keskusteltiin ERKA:n yhteyshenkilön kanssa useita kertoja, jonka jälkeen järjestelmän toiminnalle saatiin lopullinen varmistus. Yhteyshenkilö varmisti syöttötahdin saavuttamisen, tiivisterenkaiden syötön onnistumisen ja täryjärjestelmän toimivuuden kahdella tärymaljalla. Tärymaljat syöttäisivät kierretulpat ja tiivisterenkaat lineaariradoille oikeassa asennossa, jolloin ne jonon paineesta johtuen me-

nisivät radan päähän helposti noudettaviksi. Tiivisterenkaiden syötössä yhteyshenkilöä askarrutti, missä asennossa robotin olisi tarkoitus noutaa tiivisterenkaat lineaariosuuden päästä. Tiivisterengas oli symmetrinen, joten syötettävällä puolella ei ollut oikeastaan merkitystä, kunhan rengas vain oli vaaka-asennossa. Mikäli tiivisterengas olisi ollut epäsymmetrinen, olisi kaksoissyöttimen syöttömenetelmää jouduttu pohtimaan tarkemmin. Tärymaljoihin mahtui yhteyshenkilön arvion mukaan noin 1000 kierretulppaa ja tiivisterengasta, mikä antoi osviittaa tärymaljojen täyttövälistä. Tavoitteena oli tulpata 50 sylinteriryhmää kahdeksan tuntia kestävästä työvuoron aikana, mikä tarkoittaisi käytännössä 1100 kierretulpan ja tiivisterenkaan asennusta. Tärymaljat täytyisi tällöin täyttää ainakin kertaalleen tämän kahdeksan tunnin aikana, mikä oli tilaajan mukaan helpos-ti toteutettavissa.

Tiivisterenkaiden tai kierretulppien syötössä ei pitäisi yhteyshenkilön mukaan ilmetä ongelmia ja esimerkiksi syötettävien osien jumiutuminen kaksoissyöttimellä olisi epätodennäköistä. Tilaajan kokemusten perusteella syöttölaitteissa ei olekaan aiemmin havaittu ongelmia. Alustavaksi valinnaksi muodostui siis perustellusti kaksoissyöttin kierretulpile ja tiivisterenkaille.

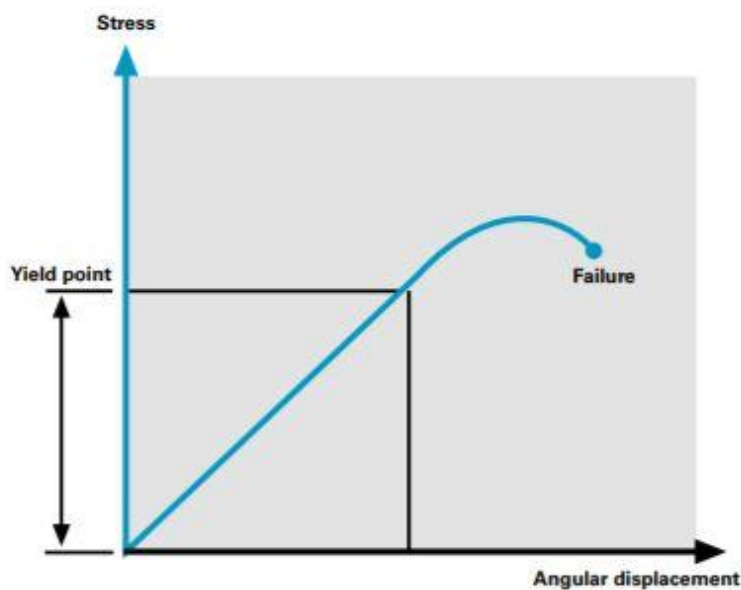
Kaksoissyöttimen valinta mahdollisti manipulaattorin käytön ja täten yhä dynaamisemman asennusvaiheen toteuttamisen. Manipulaattorin käyttö säästäisi aikaa asennusvaiheelta ja tuottaisi näin ollen lisäarvoa järjestelmälle. Laite yhdistäisi tiivisterenkaita kierretulppiin ja siirtäisi nämä erilliselle lineaariradalle, josta robotti noutaisi ne asennettavaksi. Manipulaattorin toiminta varmistettiin ERKA:n yhteyshenkilön kanssa, minkä johdosta laite sekä ylimääräinen lineaarirata lisättiin tarjouspyyntöön lisävarusteena.

Työssä käsiteltiin aiemmin sylinteriryhmän puhtautta, ja tämän seurauksena todettiin, että asennusrobotin liikeradoissa olisi huomioitava liian mahdollinen kulkeutuminen ryhmän sisälle. Sylinteriryhmän puhtauden lisäksi oli syytä tarkastella myös syöttölaitteiston puhtautta. Tehtaan ilmassa esiintyy epäpuhtauksia, minkä seurauksena syöttölaitteistoon pääsisikin todennäköisesti kulkeutumaan likapartikkeleita, jotka puolestaan haittaisivat syöttöprosessia sekä laitteiston toimivuutta pitkällä aikavälillä. Tilaaja toivoi kaksoissyöttimelle suojakupua, joka ennaltaehkäisisi likapartikkelien kulkeutumista laitteistoon. Kuvun olisi tarkoitus olla syöttölaitteiston päällä siten, ettei se häiritseisi

asennusosien syöttö- tai täyttöprosessia. Suojakupu lisättiin myös ERKA:n tarjouspyyntöön lisävarusteeksi kaksoissyöttimelle.

6.2.2 Sähköväännin

Vääntimelle olennaisin kriteeri oli vaaditun 15 newtonmetrin kiristysmomentin arvon saavuttaminen asennuksen aikana. Asennukseen vaaditulla kiristysmomentilla tarkoitetaan sitä momentin määrää, jolla asennusosa saavuttaa juuri sopivan jännityksen asennuksen aikana. Sen arvo vaihtelee kiristettävän asennusosan ja -kohteen suhteen. Kuviossa 11 esitetään, kuinka esimerkiksi ruuvien kiristys vaikuttaa siihen kohdistuvaan rasitukseen. Jännitysvoiman ollessa alle myötörajan (Yield point), ruuvi palautuu alkuperäisiin mittoihinsa jännityksen päätyttyä. Liian suurella jännitysvoimalla ruuvi on jatkuvasti kovassa rasituksessa, jolloin se ei enää palaudu alkuperäisiin mittoihinsa ja voi pahimmillaan rikkoutua (Atlas Copco 2018a, 8). Kuvattu periaate ruuvien kiristysprosessista pätee myös kierretulpan asennukseen. Kierretulpan optimaalisella kiristyksellä sylinteriryhmä ei vuoda öljyä, eikä tulppa ei koe ylimääräistä rasitusta. Liian suurella jännitysvoimalla, myötörajan yläpuolella, tulppaan kohdistuu liian suuria voimia, jotka saattavat aiheuttaa lopulta tulpan hajoamisen. On siis erittäin olennaista kiristää kierretulppa sille määritettyyn jännitykseen, jotta tulppa reikä ei altistu vuotoriskille.



KUVIO 11. Ruuviin kohdistuva rasitus kiristysmomentin kasvaessa (Atlas Copco 2018a, 8)

Jotta robotin työtila ei kasvaisi liian suureksi, oli syytä panostaa mahdollisimman kompaktin sähkövääntimen valintaan. Robotille saatavilla olevat konfiguraatiot ja nivelten asennot liikeradoissa olivat riippuvaisia vääntimen koosta sekä tyypistä. Työhön soveltuvat vääntimet voitiin jakaa karkeasti kahteen kategoriaan: suora- sekä kulmamallisiin sähkövääntimiin. Vääntimien ominaisuuksissa ja työasunnoissa oli huomattavia eroja. Suoramallisen vääntimen täytyisi asennuksen aikana olla tulpattavan reiän kanssa aina suorassa linjassa, toisin kuin kulmamallisen vääntimen, joka voitaisiin asettaa 90 asteen kulmaan reikään nähden. Kulmamallinen vääntin käyttäisi siis asennuksessa vähemmän tilaa sylinteriryhmän ympäriltä, joka saattaisi mahdollistaa robotille lyhyemmät liikera-dat ja pienemmän työtilan.

Työhön parhaiten soveltuvaa sähkövääntintä ei tiedetty ennalta, joten oli perusteltua tehdä 3D-mallinnus ja simulointi molempia vääntintyyppisiä käyttäen, ja tarkastella täten käytännön eroja asennusvaiheessa. Aiemmin todettiin, että kulmamallisella vääntimellä voidaan parhaimmillaan säästää robotin työtilaa, mutta laitteella on myös huonot puolensa. Erikoisen rakenteensa vuoksi kulmamallisen vääntimen käytössä tapahtuu energiahäviöitä, mikä johtaa siihen, että vääntimellä toteutettu voimansiirto aiheuttaa lisäkustannuksia tuotteelle.

Tilaaajan mukaan tulevaisuuden dieselmootoreiden kierretulppien asennuksessa saatettaisiin tarvita suurempaa vääntömomenttia kuin tällä hetkellä. Tilaaajan ehdotuksena olikin, että sähkövääntimen valinnassa suosittaisiin suuremmalla vääntömomentilla varustettuja malleja. Hintaero 15 newtonmetrin vääntömomenttiin kykenevän ja tätä tehokkaamman mallin välillä oli suhteellisen pieni. Tilaaaja on tehnyt yhteistyötä Atlas Copcon kanssa ja ostanut heiltä useita vääntimiä ja kokoonpanolaitteita, jotka ovat osoittautuneet erittäin toimiviksi useissa kokoonpanotehtävissä. Luotettavaa järjestelmää suunniteltaessa oli siis perusteltua tarkastella erilaisia sähkövääntimiä aluksi Atlas Copcon tuotekatalogista.

Power Macs 4000 on Atlas Copcon tarjoama kiinnityksiin erikoistunut ohjausyksikkö, joka tarjoaa yrityksen valmistamille sähkövääntimille tarkkuutta, luotettavuutta sekä suorituskykyä. Yksikkö on myös helppo asentaa osaksi jo valmista tuotantolinjaa (Atlas Copco 2018c). Power Macs 4000 -sarjan suoramalliset vääntimet ovat esitettynä taulukossa 1.

Model	Travel mm	Torque range		Speed r/min	Min C-C	Weight	
		Nm	ft lb			kg	lb
Dual transducers, CTT							
QST42-20CTT-T50-L134-H10	50	6-20	4-14	2000	43	3.1	6.9
QST42-20COTT-T50-L134-H10	50	6-20	4-14	2000	31	4.2	9.3
QST42-50CTT-T50-L134-H13	50	10-50	7-35	700	43	3.8	8.4
QST42-50COTT-T50-L134-H13	50	10-50	7-35	700	31	4.5	9.9
QST50-90CTT-T50-L137-H13	50	20-90	15-65	650	51	5.8	12.7
QST50-90COTT-T50-L137-H13	50	20-90	15-65	650	37	7.8	17.2
QST50-150CTT-T50-L137-H13	50	30-150	22-110	380	51	5.8	12.8
QST50-150COTT-T50-L137-H13	50	30-150	22-110	380	37	7.8	17.2
QST62-150CTT-T50-L152-H13	50	30-150	22-110	450	63	10.2	22.5

TAULUKKO 1. Power Macs 4000 -sarjan suoramalliset vääntimet (Atlas Copco 2018b, 8, muokattu)

Taulukosta voidaan todeta, että työhön soveltuvia suoraa vääntimiä olivat 6–20 sekä 10–50 newtonmetrin vääntömomenttiin kykenevät mallit. Mallit, joissa vääntömomentti oli arvoltaan 20–90 newtonmetriä tai enemmän, olivat jo liian tehokkaita asennusvaiheeseen. Tilaajan toiveesta työhön valittiin alustavasti taulukossa punaisella rajattu 10–50 newtonmetrin vääntömomenttiin kykenevä suoramallinen väännin. Laitteen massa oli 3.8 kilogrammaa ja nopeus 700 kierrosta minuutissa.

Myös kulmamallinen väännin valittiin alustavasti Power Macs 4000 -sarjasta. Taulukossa 2 on kuvattuna Atlas Copcon tarjoamat kulmamalliset vääntimet teollisuuskäyttöön.

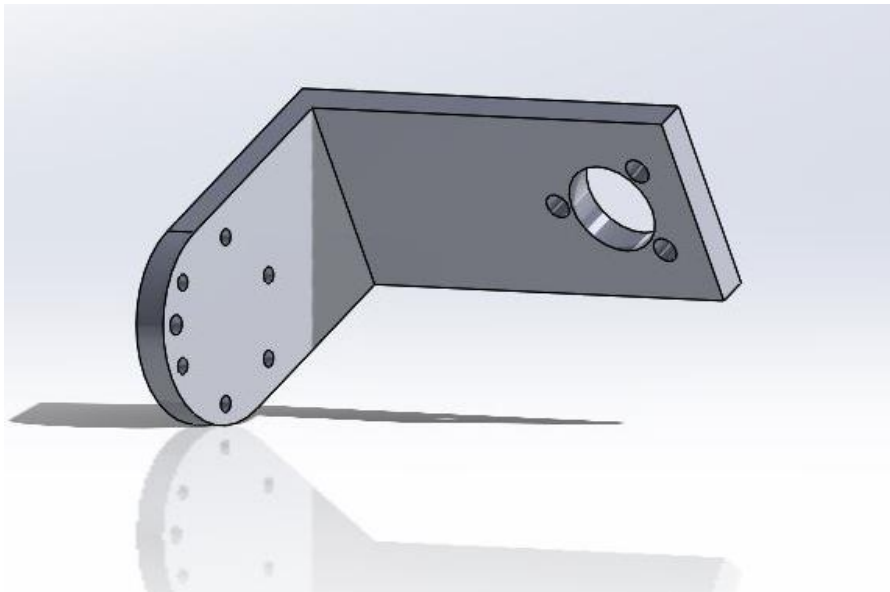
Model	Travel mm	Torque range		Speed r/min	Min C-C	Weight	
		Nm	ft lb			kg	lb
Angle head, CTV							
QST42-20CTV-P10	–	6-20	4-14	1200	28	3.5	7
QST42-20CTV-T25-H10	25	6-20	4-14	1200	28	5	11
QST42-30CTV-P10	–	6-30	4.5-22	440	38	3.5	7
QST42-30CTV-T25-H10	25	6-30	4.5-22	440	38	5.5	12
QST42-70CTV-P13	–	14-70	10-52	440	40	4.5	10
QST42-70CTV-T25-H13	25	14-70	10-52	450	40	5.5	12
QST50-170CTV-P13	–	34-170	25-125	210	52	8.8	15
QST50-170CTV-T50-H13	50	34-170	25-125	210	48	8.6	19

TAULUKKO 2. Power Macs 4000 -sarjan kulmamalliset vääntimet teolliseen käyttöön (Atlas Copco 2018b, 8, muokattu)

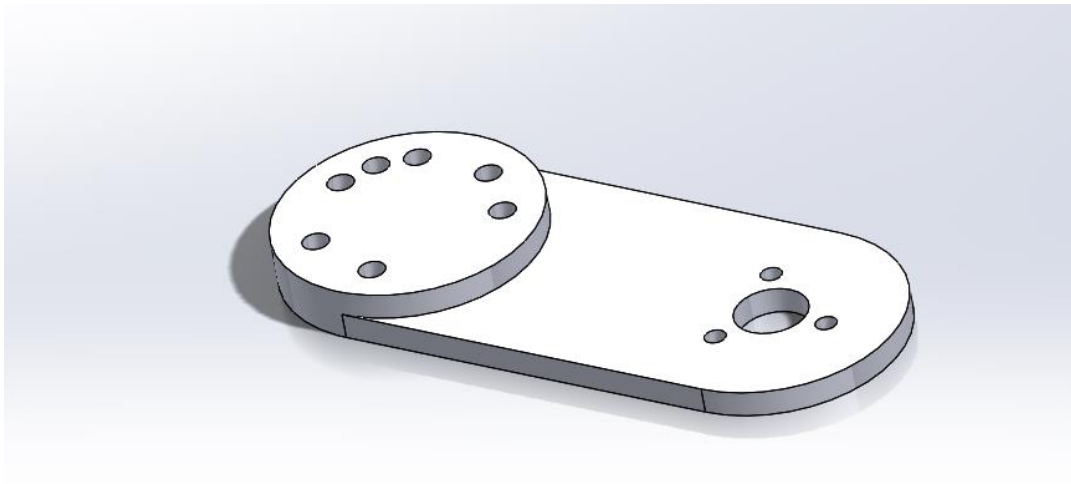
Taulukosta 2 voidaan tulkita, että potentiaaliset sähkövääntimet työn asennusvaiheeseen olivat 6-30 sekä 14-70 newtonmetrin vääntömomenttiin kykenevät mallit. Näistä molemmat olivat sopivia työtehtävään, mutta tilaajan toiveesta valittiin 14–70 newtonmetrin vääntömomenttiin kykenevä kulmamallinen väännin, joka on rajattu taulukossa punaisella. Vääntimen massa oli 5.5 kilogrammaa ja nopeus 450 kierrosta minuutissa.

Vääntimiltä vaadittiin kykyä noutaa, kuljettaa sekä kannatella kierretulppaa luotettavasti. Valittavalle vääntimelle kiinnitettäisiin magneettinen kuusiokolohylsy, jolloin asennusvaiheessa saataisiin luotettava ote kierretulpasta. Tarpeeksi vahvalla magneetilla tulppa ei tippuisi maahan robotin liikkuesssa, mutta järjestelmässä oli otettava silti vielä huomioon kierretulpan asettuminen itse hylsyyn. Asennusvaiheessa olikin olennaista, että hylsy olisi kiristyksen alkaessa kierretulpan kannan kuusiokolon sisällä, jotta tulppaan kohdistuisi vääntömomenttia.

Vääntimille mallinnettiin kustomoidut työkalukiinnittimet Solidworks-ohjelmalla. Työkalukiinnittimien tarkoituksena oli luoda etäisyyttä, ja täten liikkumavaraa, vääntimien ja robotin käsivarren välille. Koska vääntimet olivat pituudeltaan yli 500 millimetriä, päätettiin vääntimen ja robotin työkalulaipan välille asettaa alustavasti ainakin 150 millimetriä etäisyyttä. Alustava mitoitus pystyttiin osoittamaan sopivaksi vasta simuloinnissa, kun kyettiin tarkastelemaan robotin käsivarren ja työkalun törmäystä. Kiinnittimet suunniteltiin erikseen suora- sekä kulmamalliselle vääntimelle (kuvio 12; kuvio 13).



KUVIO 12. Suoramallisen vääntimen työkalukiinnitin



KUVIO 13. Kulmamallisen vääntimen työkalukiinnitin

6.2.3 Robotti

Robotti valittiin työhön alustavasti koon, ulottuman, maksimikuorman sekä työhön vaadittavien vapausasteiden perusteella. Vapausasteita tarvittiin kuusi, jotta robotti ulottuisi kaikkiin vaadittuihin asennuskohteisiin. Robotin käsittelykyvyssä oli huomioitava liikuttava kuorma, joka koostui vääntimen ja sen tarvitsemien kaapeleiden, sekä vääntimelle tehdyn kiinnittimen yhteenlasketusta massasta. Robotin valinnassa oli kuorman lisäksi otettava huomioon myös vääntimen etäisyys robotin kuudennen akselin työkalulai-pasta. Robotin luotettavuus ja tarkkuus heikkenevät kun työkalu etäännyy laipasta, etenkin jos liikuteltavan kuorman yhteenlaskettu massa on lähellä robotille määriteltyä maksimikuormaa. Maksimikuorman lisäksi oli olennaista ottaa huomioon robottiin kohdistuvat voimat asennusvaiheen aikana. Työn tapauksessa robotin olisi väännettävä kierretulppaa kiinni sylinteriryhmään 15 newtonmetrin vääntömomentilla. Työhön valittavan robotin oli hallittava kierretulpan asennuksesta aiheutuva vastavoima ja säilytettävä vaadittu tarkkuus siihen kohdistuvista voimista huolimatta.

Ulottuman oli oltava yli 1.4 metriä, jotta robotti ulottuisi asentamaan myös sylinteriryhmän etäisimmän sivun haastavampia kohteita. Pitkällä ulottuvuudella mahdollistetaisiinkin useita eri konfiguraatioita etäisimpiin työasentoihin. Toisaalta, robotin liikuminen kohdealueen rajatussa tilassa saattoi muuttua haastavaksi, jos sen nivelet olivat liian pitkät. Työn tapauksessa varmistettiin, ettei esimerkiksi työtaso ollut liian lähellä kierretulppien asennusrobotia tai liian kaukana siitä. Viimeisinä valintakriteereinä

robotille olivat sen koko ja pohjapinta-ala. Robotin vaatimaa tilaa pyrittiin minimoimaan, mutta muut kriteerit olivat kuitenkin valintaprosessissa ensisijaisia.

Tiedettiin, että järjestelmässä käytettävä sähköväännin olisi joko 3.8 kilogrammaa painava suoramallinen väännin tai 5.5 kilogrammaa painava kulmamallinen väännin. Lisäksi vääntimen työkalukiinnittimen painoksi voitiin olettaa 2-3 kilogrammaa. Robotin todelliseksi kuormaksi täytyi siis asettaa alustavasti noin 9 kilogrammaa, kun otettiin huomioon oheislaitteista koostuva massa. Työhön soveltuvan robotin haku aloitettiin ABB:n internet-sivuilta, koska tilaajalla oli lukuisia yrityksen robotteja aktiivisessa käytössä, muun muassa aiemmin mainittu avustava robotti. ABB:n internet-sivuilla oli robottimallin etsintää helpottava Robot selector -hakutyökalu (kuvio 14). Hakutyökalussa voitiin määrittää robotin kuorma, vaadittu ulottuma sekä sovelluskohde. Haussa asetettiin aluksi kuormalle arvoksi 7-16 kilogrammaa ja ulottumalle maksimiarvoksi 1.8 metriä. Mittaamalla oli arvioitu, että noin 1.5 metrin ulottuma voisi riittää sylinteriryhmän etäisimpiin asennuskohteisiin, mikäli robotti sijoitettaisiin solun kohdealueella suhteellisen lähelle työtasoa. Haku tehtiin asettamalla edellä mainitut kriteerit maksimikuormalle ja ulottumalle. Robotin sovelluskohteeksi ei määritelty hakutyökalussa mitään tiettyä työtehtävää.

Robot selector

Choose your robot by:

Applications	Payload	Reach
Any	7 - 16 (kg)	up to 1.8 (m)

Products

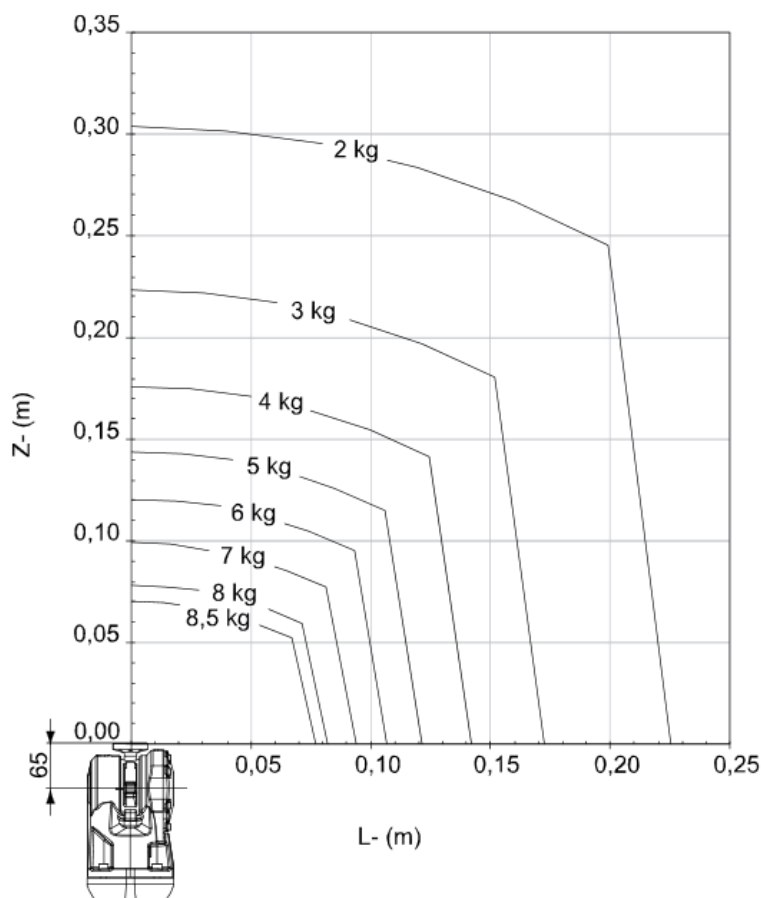
Name	Payload	Reach
IRB 1200	5 kg; 7 kg	0.7, 0.9 m
IRB 1600	6 kg;10 kg	1.2 m;1.45 m
IRB 2600	12 kg;20 kg	1.65 m;1.85 m
IRB 360	1 kg;8 kg	Ø1.13 (m)
IRB 52	7 kg	1.2 m, 1.45
IRB 5350	7 kg	1.35 m

KUVIO 14. Robot selector -hakutyökalu ja potentiaaliset robottimallit (ABB 2018, muokattu)

Kuviossa 14 nähdään hakutyökalun suodattamat mallit, joista työhön potentiaalisia malleja teknisten yksityiskohtien puolesta olivat IRB 1600 sekä IRB 2600. Muut kuviossa näkyvät mallit eivät soveltuneet työtehtävään ulottuman tai kuorman arvon johdosta.

Työssä pyrittiin valitsemaan kokonaiskustannuksiltaan edullinen järjestelmä, joten oli perusteltua tutkia edullisinta robottimallia ensiksi. Tästä syystä tarkastelu aloitettiin IRB 1600 -mallista, koska IRB 2600 olisi ominaisuuksiensa vuoksi tullut kokonaiskustannuksiltaan kalliimmaksi.

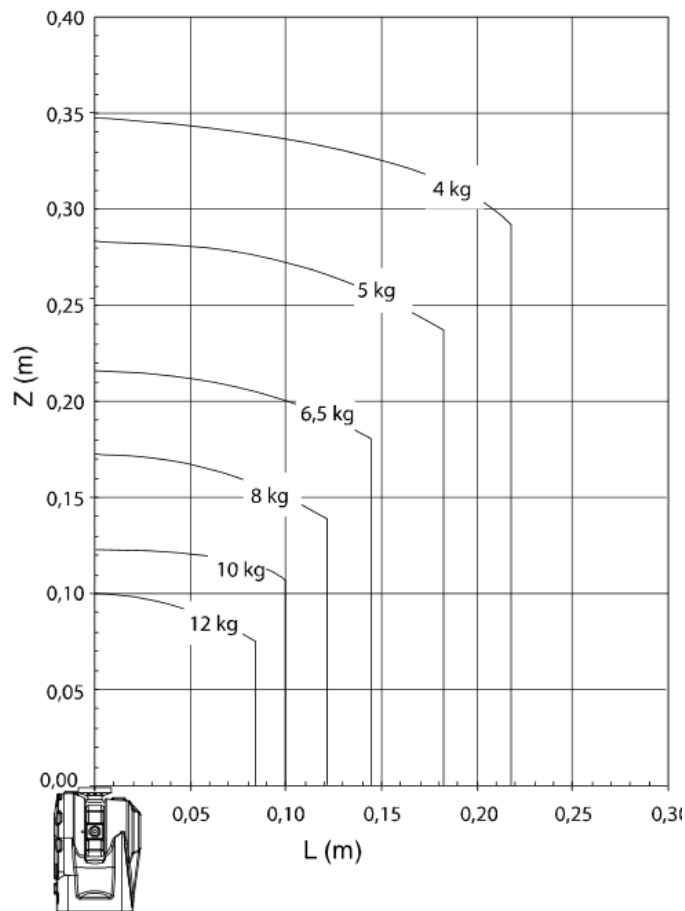
IRB 1600 -mallilla oli kaksi vaihtoehtoa maksimikuormalle sekä ulottumalle. Kuuden kilogramman optio maksimikuormassa oli liian pieni ottaen huomioon, että valittava sähköväännin ja oheislaitteet saattoivat painaa 9 kilogrammaa. Koska 1.2 metrin ulottuma ei riittäisi sylinteriryhmän etäisimpiin asennuskohteisiin, valittiin robotin optioiksi alustavasti 1.45 metrin ulottuma sekä 10 kilogramman maksimikuorma, joka oli hieman robotille asetettavaa kuormaa suurempi. Kuorman suuruudesta johtuen oli syytä tarkastella robotin käsittelykykyä todellisen kuorman arvolla eri etäisyyksillä työkalulaipasta. Kuviossa 15 havainnollistetaan IRB 1600 -mallin käsittelykykyä työkalun etäisyyden kasvaessa robotin laipasta. Kuvio pätee IRB 1600 -malliin, jossa on juuri 10 kilogramman maksimikuorma ja 1.45 metrin ulottuma. Kuviossa on otettu huomioon kaapeloinnin massan vaikutus.



KUVIO 15. IRB 1600 -mallin työkalun käsittelykyky eri etäisyyksillä työkalulaipasta (ABB 2004, 27)

Kuviosta voidaan tulkita, että 8.5 kilogramman painoinen työkalu sai sivusuunnassa olla korkeintaan noin 80 millimetrin päässä robotin laipasta, jotta robotin käsittelykyky ei kärsinyt. Työkalun ja sen oheislaitteiden painaessa arvioidun 9 kilogramman verran, ei IRB 1600 -mallin käsittelykyky riittänyt niiden liikuttamiseen, eikä tällöin etenkin tulppien asentamiseen. IRB 1600 -mallin käyttö ei siis tullut kyseeseen työn toteuttamisessa.

Toinen robottimalli, IRB 2600, oli seuraava potentiaalinen valinta suorittamaan asennustyötä. IRB 2600 -mallin maksimikuormaksi valittiin 12 kilogramman optio ja ulottumaksi 1.85 metriä. Pitkällä ulottumalla saatiin kohdealueen layoutiin hieman soveltamismahdollisuuksia. Kuviossa 16 havainnollistetaan IRB 2600 -mallin käsittelykykyä työkalun etäisyyden kasvaessa robotin laipasta. Kuvio pätee robottimallin versioon, jossa on juuri 12 kilogramman maksimikuorma ja 1.85 metrin ulottuma. Kuviossa on otettu huomioon kaapeloinnin ja työkalukiinnittimen massan vaikutus.



KUVIO 16. IRB 2600 -mallin työkalun käsittelykyky eri etäisyyksillä työkalulaipasta (ABB 2017a, 34)

Kuviosta voidaan todeta, että 10 kilogramman painoinen kuorma sai sivusuunnassa olla korkeintaan 100 millimetrin ja kohtisuorassa noin 120 millimetrin päässä työkalulaipasta, jotta robotin käsittelykyky ei heikentynyt. Käsittelykyky ei silti riittänyt, koska työssä käytettävän sähkövääntimen arvioitiin sijoittuvan sivusuunnassa ainakin 150 millimetrin päähän laipasta. Täten vaihtoehtoinen robottimallikaan ei riittänyt toteuttamaan vaadittuja kriteereitä. Sopivan mallin etsintää oli siis jatkettava.

Jotta robotti riittävällä käsittelykyvyllä löydetäisiin, oli mallin valinnassa kasvatettava maksimikuorman määrää. Robot selector -hakutyökalusta etsittiin uudelleen työhön soveltuvia robotteja, mutta nyt hakukriteereiksi asetettiin 16–60 kilogramman maksimikuorma ja 1.8–2.55 metrin ulottuma.

Robot selector

Choose your robot by:

Applications	Payload	Reach
Any	16 - 60 (kg)	1.8 - 2.55 (m)

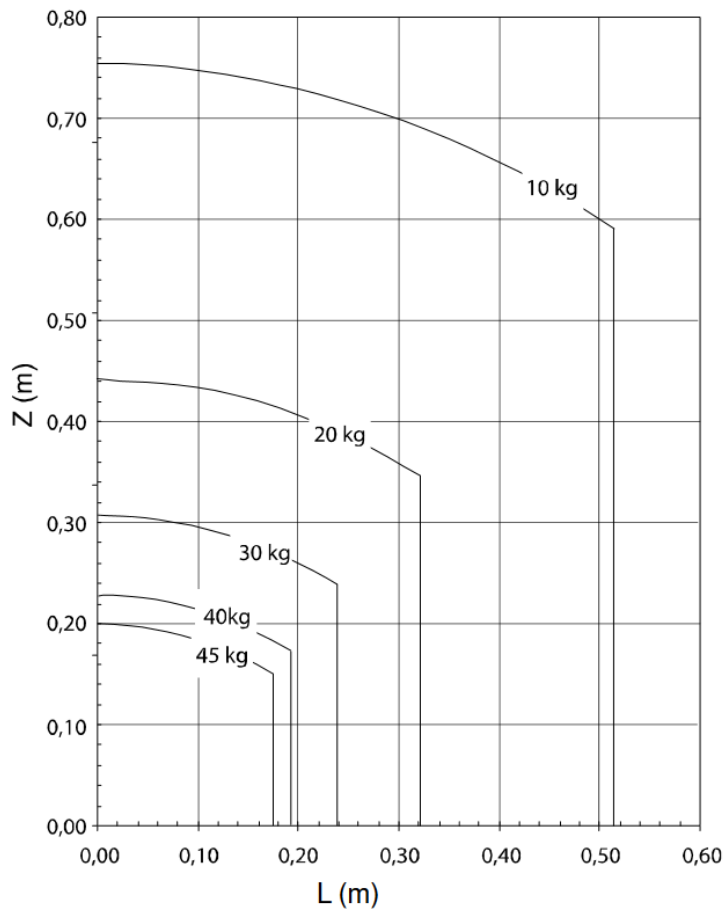
Products

Name	Payload	Reach
IRB 4400	10 kg;60 kg	1.95 m;2.55 m
IRB 4600	20 kg;40 kg;45 kg;60 kg	2.05 m;2.51 m;2.55 m

KUVIO 17. Robot selector -hakutyökalun uudestaan suodattamat robottimallit (ABB 2018, muokattu)

Kuviosta 17 voidaan tulkita, että IRB 4400 -mallin maksimikuorman vaihtoehdot eivät olleet optimaalisia, sillä 10 kilogramman option tiedettiin olevan riittämätön ja 60 kilogramman option puolestaan ylimitoitettu työn luonteelle. Kyseinen malli oli tämän lisäksi erikoistunut lähinnä hionta-, leikkaus- ja mittaustehtäviin, eikä täten ollut sopiva työn sovelluskohteelle. Tämän seurauksena tarkastelun kohteeksi valittiin IRB 4600, jolla oli monia lupaavia vaihtoehtoja maksimikuormalle sekä ulottumalle. Malli oli myös erikoistunut nimenomaan käsittely- ja asennustehtäviin ja kykeni huomattavasti raskaampiin työtehtäviin, kuin aiemmin tarkastellut mallit. IRB 4600 -robotin optioista tiedusteltiin ABB:n yhteyshenkilöltä, jonka mukaan työhön parhaiten soveltuva malli olisi 45 kilogramman kuormalla ja 2.05 metrin ulottumalla varustettu versio. Kuviossa 18 havainnollistetaan IRB 4600 -mallin käsittelykykyä työkalun etäisyyden kasvaessa robotin työkalulaipasta. Kuvio pätee robottimallin versioon, jossa on juuri 45 kilo-

gramman maksimikuorma ja 2.05 metrin ulottuma. Kuviossa on otettu huomioon kaapeloinnin ja työkalukiinnittimen massan vaikutus.



KUVIO 18. IRB 4600 -mallin työkalun käsittelykyky eri etäisyyksillä työkalulaipasta (ABB 2017b, 32)

Kuviosta voidaan huomata, että IRB 4600 -malli kykeni käsittelemään 10 kilogrammaa painavaa kuormaa sivusuunnassa yli 500 millimetrin ja kohtisuoraan yli 750 millimetrin etäisyydellä työkalulaipasta. Malli soveltui siis käyttämään työn sähköväännintä yli 0.5 metrin etäisyydellä ja oli näin ollen sopiva valinta järjestelmään. Robotin pohjan mitat olivat 512x676 millimetriä ja sen korkeus oli 1.727 metriä (ABB 2018a, 2). Kyseisen mallin liikeradan toistotarkkuus oli 0.13 millimetriä ja aiemmin opetettuun pisteeseen siirtymisen tarkkuus 0.05 millimetriä (ABB 2018a, 2). Järjestelmän robotiksi valittiin täten lopulta IRB 4600 -malli.

Mallien vertailun ja järjestelmän asennusrobotin alustavan valinnan jälkeen oli tarpeen tarkastella robotille optimaalista sijaintia ja työasentoa. Sijainnissa priorisoitiin lyhyttä etäisyyttä alustavasti valittuun syöttölaitteistoon sekä työtasoon, jolloin liikeratoja robo-

tin työkierron aikana saataisiin optimoitua. Robotin asennolle nähtiin kaksi mahdollista vaihtoehtoa: oikein päin asennettuna kohdealueen lattiaan tai vaihtoehtoisesti ylösalaisin tukirakenteeseen asennettuna. Asennolla pystyttiin vaikuttamaan robotin ulottuvuuteen sekä sille muodostuvaan työalueeseen. Asennon valitseminen oli haastavaa, sillä molemmissa asennoissa oli hyvät ja huonot puolensa. Oikein päin asennettu robotti joutuisi epäkäytännöllisesti kurottautumaan sylinteriryhmän yli etäisimpiä asennuskohteita varten, mutta robotti olisi toisaalta helppo asentaa robottisolun lattiaan. Alustavasti valitulla robottimallilla oli tosin 2.05 metrin ulottuma, jonka avulla robotti ulottuisi sylinteriryhmän yli etäältäkin.

Ylösalaisin asennetun robotin olisi selvästi vaivattomampaa ulottua asennuskohteisiin suoraan sylinteriryhmän yläpuolelta, mutta se vaatisi tällöin ympärilleen tukirakenteen, joka veisi paljon tilaa jo valmiiksi ahtaalta kohdealueelta. Tukirakenne ei olisi ollut kallis tai monimutkainen valmistaa, mutta se aiheuttaisi todennäköisesti omat riskinsä ja haasteensa järjestelmään. Suurimmaksi haasteeksi todettiin lopulta sylinteriryhmän siirtäminen asennusrobotin alle ilman törmäystä tukirakenteen kanssa. Edellä mainituista syistä johtuen robotin toimintaa päätettiin simuloida aluksi asentamalla se kohdealueelle pienen korokkeen päälle. Korokkeen tarkoituksena oli parantaa robotin ulottuvuutta yksinkertaisella tavalla siten, että robottia ei tarvitsisi asentaa ylösalaisin tukirakenteeseen.

6.2.4 Työtaso

Automatisoidun ratkaisun toimintaperiaatteena oli, että avustava robotti nostaisi tulpat tavan sylinteriryhmän työtasolle, jonka välittömässä läheisyydessä työhön valittu asennusrobotti kiinnittäisi kierretulpat. Työtason oli oltava rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan sellainen, että avustava robotti osaisi aina asettaa sylinteriryhmän täsmälleen samalle paikalle työtasolla. Mikäli sylinteriryhmä ei olisi paikoitettu työtasolle aina samaan asemaan, saattaisi asennusrobotti yrittää asentaa kierretulppia esimerkiksi väärille kierteille.

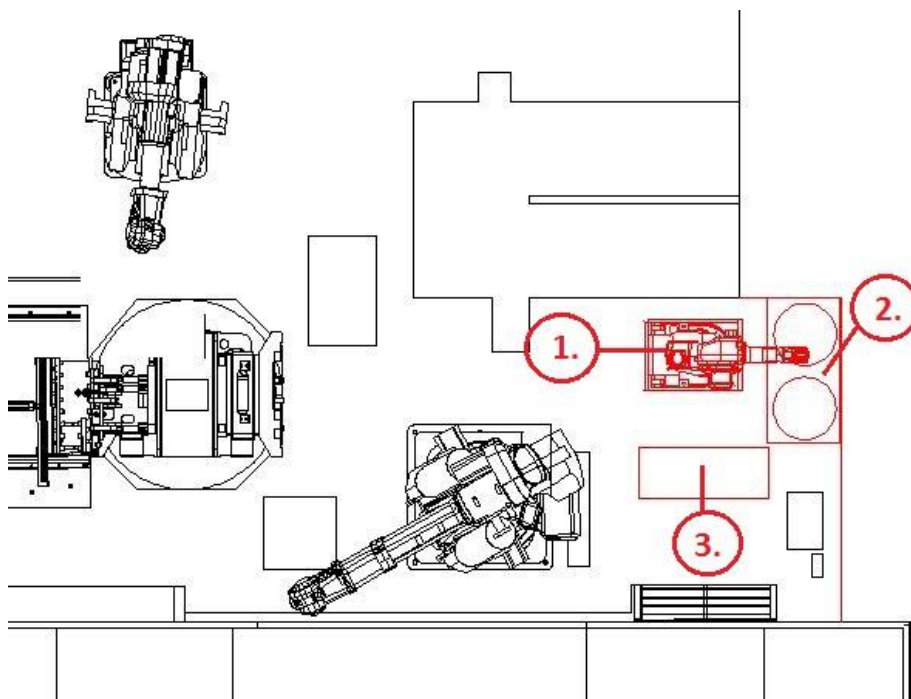
Työn luonteeseen soveltui parhaiten joko kääntöpöytä tai paikoitettu työtaso. Kääntöpöytä oli pohdinnan arvoinen vaihtoehto, koska tulpattavia kohteita oli 6-sylinterisen sylinteriryhmän eri puolilla: ryhmän kannella kohteita oli kaksi, molemmilla lyhyillä

sivuilla yksi, etuosan pitkällä sivulla 17 ja takaosan pitkällä sivulla yksi. Kääntöpöytä olisi täten ollut hyvä valinta, koska se olisi kääntänyt asennusrobotia kohti aina sen sylinteriryhmän sivun, jossa seuraava asennuskohde olisi ollut. Kääntäminen tapahtuisi robotin noutaessa seuraavan asennuskohteen kierretulppaa ja tiivisterengasta, minkä ansiosta työkierron kesto lyhenisi ja asennusvaiheen tehokkuus paranisi. Kääntöpöydän käytön suhteen tultiin kuitenkin siihen johtopäätökseen, että kohdealue oli liian ahdas sen hyödyntämiseen. Kääntöpöytä olisikin aiheuttanut asennusvaiheeseen ylimääräisiä riskitekijöitä, joita pyrittiin välttämään.

Automatisoidulle järjestelmälle valittiin lopulta paikoitettu työtaso, joka pystyttiin valmistamaan tilaajan puolesta nopeasti ja edullisesti. Sylinteriryhmä voitiinkin asettaa paikoitetulle työtasolle siten, että eniten tulpattavia kohteita sisältävä etuosa olisi asennusrobotia kohti. Tällöin säästettiin huomattavasti aikaa asennusvaiheelta, koska robotin ei tarvitsisi liikkua ryhmän eri puolille kuin vain viidessä asennuskohteessa.

6.3 Layoutin suunnittelu

Valittujen laitteiden liittäminen robottisoluun oli suunnittelutyön viimeisiä vaiheita ennen 3D-mallinnusta. Kuvio 19 edustaa kohdealuetta, jossa automatisoidulle järjestelmälle valittu laitteisto on korostettu punaisella värillä. Vapana olevaa pinta-alaa kasvatettiin järjestelmää varten siirtämällä suoja-aitausta 0.7 metriä kauemmaksi kohdealueesta. Aitausta voitiin siirtää maksimissaan 1.3 metriä, koska muuten solun viereisen kulkuväylän liikenne olisi häiriintynyt. Suoja-aitausta olisi siis mahdollista siirtää vielä 0.6 metriä kauemmaksi, mikäli simuloinnissa todettaisiin, ettei aikaansaatu ylimääräinen tila riitä laitteille layoutissa. Periaatteena kuitenkin oli, ettei aitausta siirrettäisi, ellei järjestelmä vaatisi sitä.



KUVIO 19. Automatisoidun järjestelmän laitteisto kohdealueella

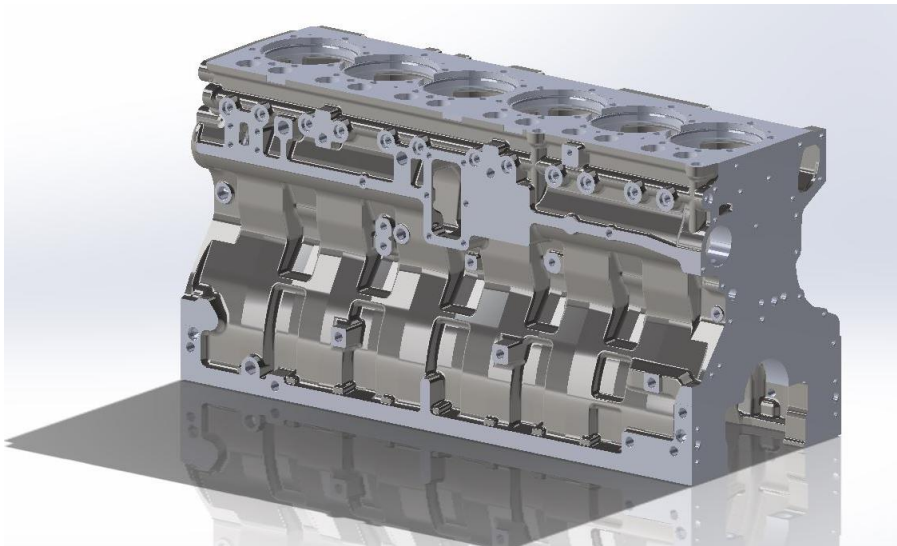
Kuviosta nähdään, että syöttölaitteisto (2.) oli sijoitettu kulmaan, asennusrobotin (1.) oikealle puolelle. Syöttölaitteiston oli oltava kiinni aitauksessa, jotta tärymaljoja voitaisiin käydä täyttämässä aitauksen toiselta puolen turvallisesti työntekijöiden toimesta. Syöttölaitteiston vieressä oli paikoitettu työtaso (3.), joka asetettiin rullalinjan päädyn lähelle. Tällä asettelulla avustava robotti kykenisi lyhyillä liikeradoilla helposti siirtämään sylinteriryhmän linjalta työtasolle. Sylinteriryhmän nostoon ja siirtoon vaadittava sylinteriryhmätarttuja oli asetettu aputasolle rullalinjan oikealle puolelle. Asennusrobotti oli asetettu keskeiselle sijainnille sekä syöttölaitteistoon että työtasoon nähden. Sijainnin etuna olikin, että asennusrobotin olisi vaivatonta noutaa kierretulppa sekä tiivisterengas syöttölaitteistolta ja asentaa ne kiinni läheisellä työtasolla sijaitsevaan sylinteriryhmään.

6.4 Toiminnan tarkastelu

Laitevalintojen tekemisen ja layoutin viimeistelyn jälkeen oli aika siirtyä tarkastelemaan asennusvaiheen tilan riittämistä sekä robottien törmäysriskejä. Ideana oli analysoida valittujen laitteiden toimintaa hahmotellussa layoutissa sekä tarkastella robottien ääri-asentoja asennusvaiheen aikana 3D-ympäristössä. Järjestelmän toimintaa käsiteltiin lopuksi simulaatiossa, jossa lopulliset laitevalinnat todettiin toimiviksi.

6.4.1 Robottisolun 3D-mallinnus

Robotin ja sen ympäristön 3D-mallinnus tehtiin käyttämällä Solidworks-ohjelmaa. Tiilaaajalla ei ollut PDM-ohjelmassaan (Product Data Management) valmiita 3D-malleja kaikista robottisolun laitteista, mutta tietokannasta löydettiin 3-, 4- sekä 6-sylinterisen sylinteriryhmän 3D-mallit tarkoilla yksityiskohdilla (kuvio 20). Solun robottien yksittäiset osat ladattiin ABB:n internet-sivuilta 3D-malleina ja ne koottiin ohjelmassa kokonaisiksi roboteiksi. Robottisolun muut laitteet mallinnettiin työssä yksinkertaistettuina, koska niiden yksityiskohtainen mallintaminen olisi vienyt projektilta kohtuuttoman kauan aikaa.



KUVIO 20. Sylinteriryhmän 3D-malli (6-sylinterinen)

Kohdealueen kolmiulotteisen mallinnuksen tarkoituksena oli havainnollistaa suunnitellun järjestelmän tilankäyttöä ja kyseenalaistaa alustavat laitevalinnat, antaen täten suuntaa lopullisille laitevalinnoille. Solidworks-ohjelmassa oli mahdollista liikuttaa robottien niveliä sekä tarkastella niiden liikkuvuutta ja mahdollisia törmäyksiä ympäristön kanssa. Nivelten liikuttaminen ohjelmassa ei kuitenkaan korvannut simuloinnista saatavaa informaatiota.

Vääntimien 3D-mallit ladattiin Atlas Copcon internet-sivuilta, jonka jälkeen ne yhdistettiin aiemmin mallinnettuihin työkalukiinnittimiin. Kuviossa 21 nähdään suoramallinen väännin kiinnitettynä sen työkalukiinnittimeen, ja kuviossa 22 kulmamallinen väännin sen työkalukiinnittimessä.



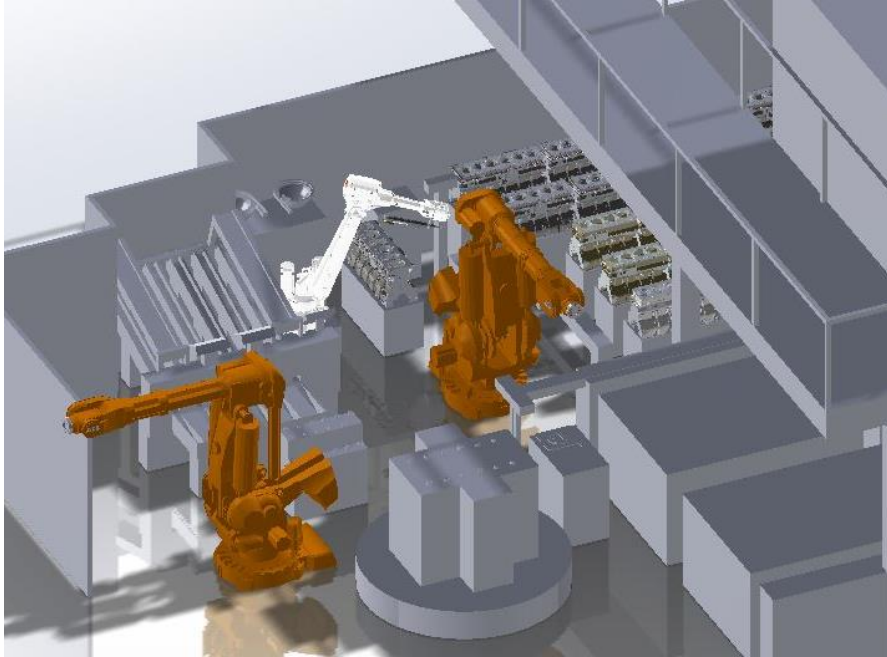
KUVIO 21. Suoramallinen väännin työkalukiinnittimessä



KUVIO 22. Kulmamallinen väännin työkalukiinnittimessä

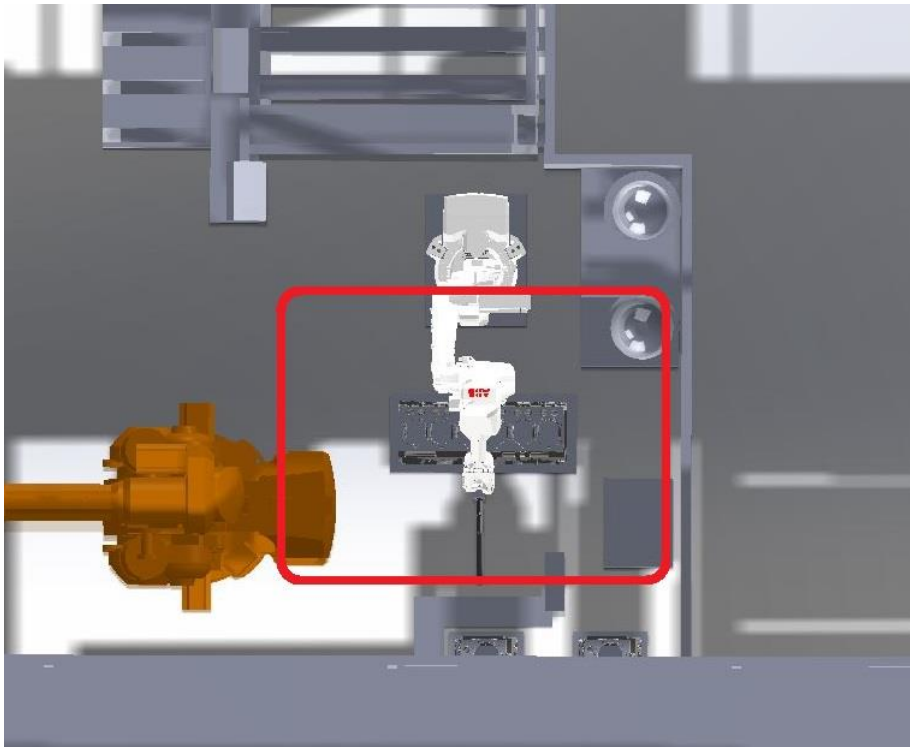
Robottisolun laitteet sijoitettiin aiemmin suunnitellun layoutin mukaisesti 3D-ympäristöön (kuvio 23). Ainoaksi ongelmaksi muodostui työtason sijoittaminen, koska sitä ympäröivä alue näytti mallissa ahtaalta. Työtason oli oltava avustavan robotin työalueella, jotta sylinteriryhmä olisi ylipäänsä mahdollista asettaa tasolle asennusvaihetta

varten. Toisaalta, työtason olisi myös oltava lähellä asennusrobotia, jotta robotin ulottuvuus riittäisi asennuskohteisiin ja asennusvaiheen liikeradat pysyisivät lyhyinä. Lisäksi tason ympärillä täytyisi olla ylimääräistä tilaa, jotta asennusrobotti mahtuisi suorittamaan kierretulppien asennuksen kaikissa kohteissa ilman ongelmia. Työtason sijoittaminen osoittautuikin hankalaksi edellä mainitut kriteerit huomioiden.

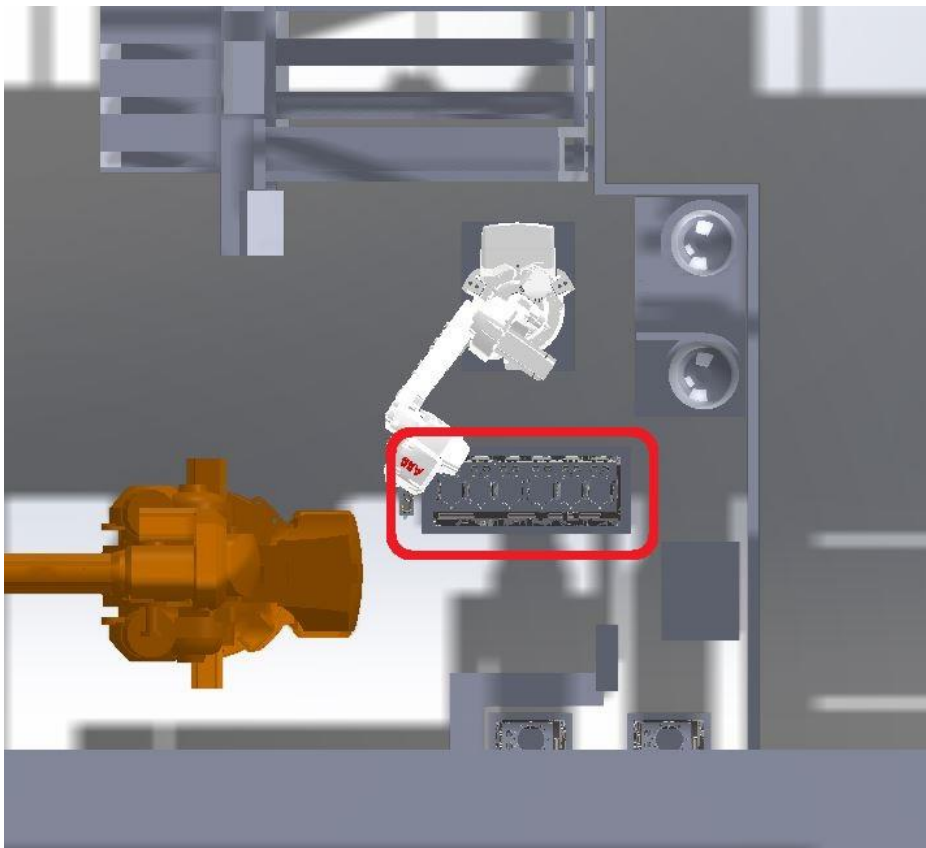


KUVIO 23. Robottisolu 3D-ympäristössä

Työtason sijoittamisen jälkeen tarkasteltiin robotin ulottuvuutta eri asennuskohteisiin. Tarkastelu tehtiin sekä kulma- että suoramallista väännintä käyttäen. Robotti asetettiin asennuskohteen vaatimaan asentoon, jonka jälkeen vääntimen käyttämää asennustilaa tarkasteltiin sylinteriryhmän eri sivuilla. Vääntimien vaatimissa asennustiloissa oli suuri ero, jota kuvataan kuvioissa 24 sekä 25.



KUVIO 24. Suoramallisen vääntimen vaatima asennustila



KUVIO 25. Kulmamallisen vääntimen vaatima asennustila

Kuvioita vertaamalla voitiin todeta, että kulmamallista väännintä käyttämällä säästetty asennustila oli huomattava. Suoramallinen väännin vei paljon tilaa ollessaan aina suo-

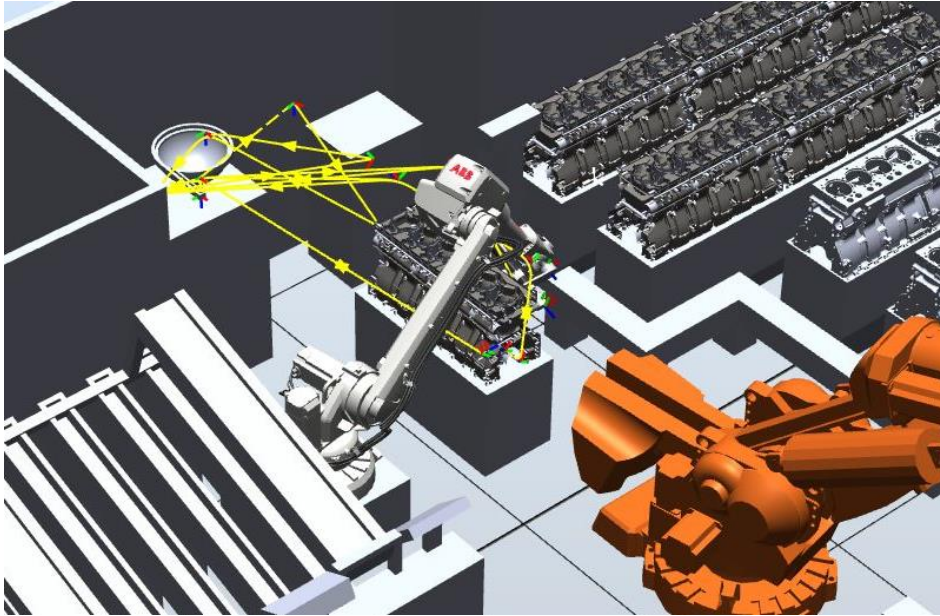
rassa linjassa asennuskohteen kanssa, mikä vaikutti aiheuttavan myös törmäysriskejä avustavan robotin kanssa. Vääntimien työalueita verrattaessa huomattiinkin, että kulmamallinen väännin oli suoramallista väännintä kompaktimpi vaihtoehto asennusvaiheeseen.

Asennusrobotin ja avustavan robotin vastapainon liikkeistä aiheutuvia riskitekijöitä tarkasteltiin alustavasti 3D-ympäristössä. Avustava robotti asetettiin asentoon, jossa sen vastapaino oli asennusrobotin liikeratojen tiellä. Tämän jälkeen asennusrobottia liikuteltiin asennusvaiheen liikeratoja mukaillen, ja robottien välisiä törmäysriskejä analysoitiin. Tarkastelussa vaikutti siltä, että kierretulppien asennusrobotti liikkui liian lähellä avustavan robotin vastapainoa ainoastaan suoramallista väännintä käytettäessä. Robottien nivelten liikuttelu 3D-ympäristössä ei kuitenkaan riittänyt järjestelmän toiminnan varmistamiseksi, vaan malli vietiin vielä simuloitavaksi.

6.4.2 Työkierron simulointi

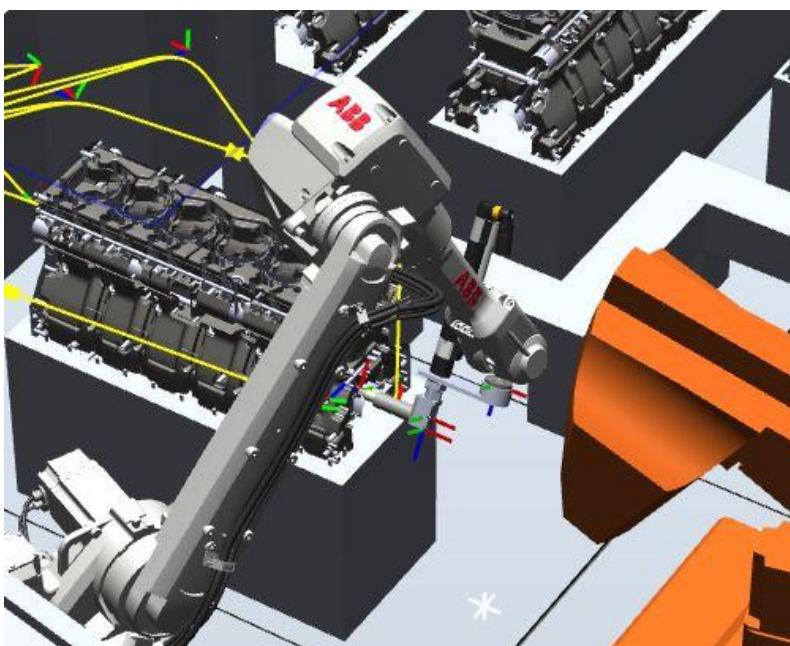
Aiemmin mallinnettu 3D-ympäristö tuotiin Robotstudio-ohjelmaan, jossa siihen lisättiin ABB:n kirjaston IRB 4600 -robotti simulointia varten. Vääntimien ulottuvuutta tarkasteltiin simuloimalla sylinteriryhmän jokaisen tulpattavan kohteen asennus. Robotin työkaluksi kiinnitettiin ensiksi suoramallinen väännin, jonka toimivuutta tarkasteltiin koko työkierron aikana. Tilan puutteen johdosta suoramalliselle vääntimelle oli äärimmäisen hankalaa löytää sopivia konfiguraatioita, minkä vuoksi asennusrobotille ei saatukaan luotua toimivaa liikerataa. Tästä johtuen suoramallisen vääntimen käytöstä luovuttiin kokonaan.

Myös kulmamallisen vääntimen toimintaa simuloitiin, jolloin lopputulos vaikutti lupaavammalta. Kulmamallinen väännin pääsi vaivattomasti asennuskohteisiin ja liikeradatkin olivat sujuvammat kuin suoramallisella vääntimellä. Kuviosta 26 huomataan, että keltaisilla viivoilla korostetut liikeradat olivat kompaktisti toteutettavissa. Simuloinnin perusteella järjestelmään päätettiin lopulta valita kulmamallinen väännin, sillä se oli kaikilla osa-alueilla suoramallista väännintä parempi valinta sovelluskohteeseen. Vääntimen valinnan jälkeen siirryttiin tarkastelemaan vielä erikseen työtason lopullista sijaintia ja törmäysriskejä laitteiden välillä.



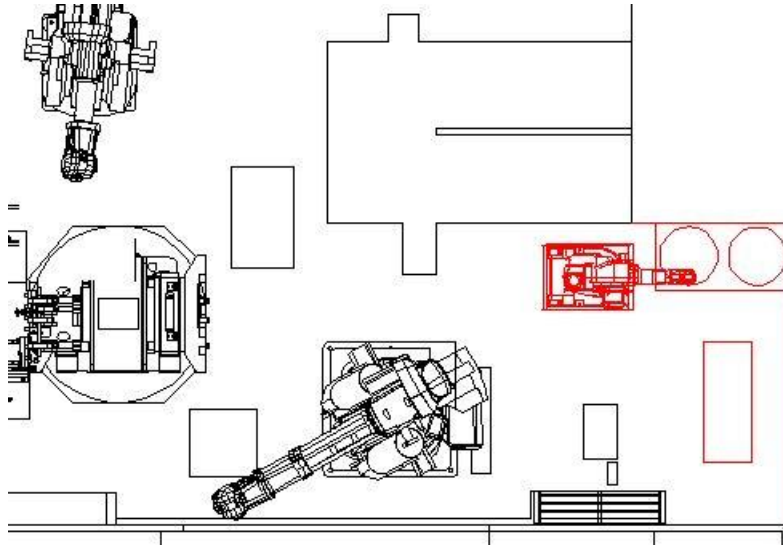
KUVIO 26. Robotille luodut liikeradat useamman asennuskohteen tulppaamiseen

Työtason sijainti oli aiheuttanut työn aikana haasteita, joista ei saatu selvyyttä ennen työkierron simulointia. Tason sijaintia ja asentoa muuttamalla pystytään vaikuttamaan robottien törmäysriskeihin, asennusta suorittavan robotin liikeratoihin sekä koko asennusvaiheen tehokkuuteen. Työtason alustava sijainti aiheuttikin kierretulppien asennusrobotin ja avustavan robotin välillä suuren törmäysriskin, robottien suorittaessa omia työkiertojaan samanaikaisesti. Simuloinnin aikana avustavan robotin vastapaino kävi pahimmassa tapauksessa alle 0.5 metrin päässä asennusrobotista, kun sylinteriryhmän lyhyen sivun asennuskohdetta tulpattiin (kuvio 27).



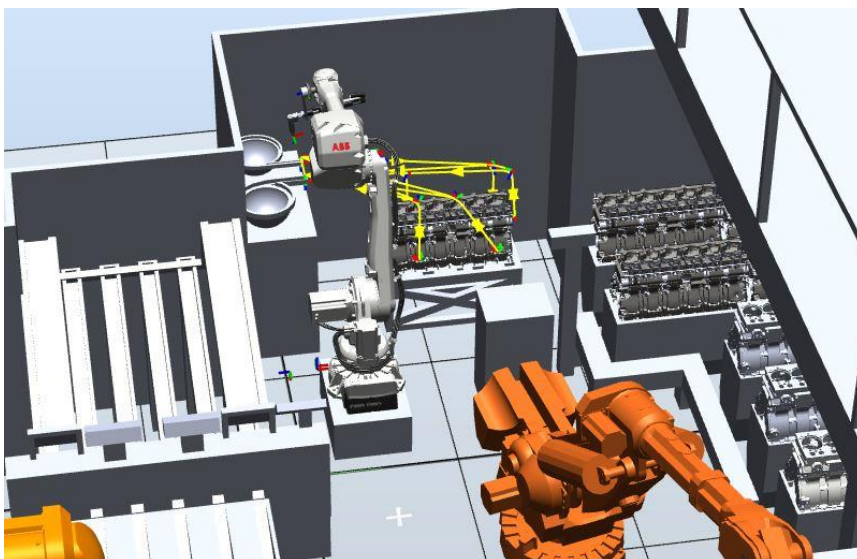
KUVIO 27. Sylinteriryhmän lyhyen sivun asennuskohteesta aiheutuva törmäysriski

Järjestelmässä ei haluttu ottaa riskejä törmäysten suhteen, ja layoutia olikin tästä syystä muutettava. Kääntämällä syöttölaitteistoa sekä työtasoa ja siirtämällä niitä sekä aita kauemmaksi, saatiin luotua kuvion 28 mukainen layout järjestelmälle. Lopullisessa layoutissa työtaso ei ollut lähelläkään avustavaa robottia, minkä vuoksi riski robottien törmäyksellekin asennusvaiheen aikana oli olematon.



KUVIO 28. Lopullinen layout järjestelmälle kohdealueella

Koko työn viimeisenä työvaiheena oli simuloida kierretulppien asennuksen työkierto lopullisella layoutilla ilman törmäyksiä, pohtia vääntimen kaapelointia ja varmistaa asennusvaiheen tavoiteajassa pysyminen. Vääntimen kaapeloinnissa perehdyttiin lähinnä siihen, etteivät asennusrobotin liikkeet rajoittuneet kaapeloinnin jäykkyyden vuoksi. Kuviossa 29 nähdään uuden layoutin mukainen 3D-malli robotista ja sen ympäristöstä.



KUVIO 29. Uuteen layoutiin pohjautuva 3D-malli

Asennusrobotille luotiin uudet liikeradat, joita pitkin liikkumalla se ei käynyt lähelläkään avustavan robotin työaluetta. Kulmamallisella sähkövääntimellä päästiin vaivatta kaikkien asennuskohteiden luo ja tilaakin oli riittävästi asennusten suorittamiseen. Asennusrobotin työkiertoa simuloitaessa tosin huomattiin, että robotin käsivarren ja vääntimen välillä tapahtui törmäys haastavimmissa asennuskohteissa. Ongelmaa yritettiin aluksi korjata kääntämällä sähkövääntimen asentoa työkierron aikana siten, että sen kaapelointi säilyisi helposti toteutettavana. Vääntimelle ei kuitenkaan löydetty sopivaa asentoa, joten seuraavaksi toimenpiteeksi nähtiin työkalukiinnittimen muokkaaminen. Kiinnittimen mittoja muutettiin siten, että se loi 150 millimetrin sijasta 230 millimetriä etäisyyttä työkalun ja robotin käsivarren välille. Rakenteen mittoja muutettiin simuloinnista analysoidun tiedon pohjalta.

Simulointi suoritettiin uudestaan muutettua työkalukiinnitintä käyttämällä, jolloin haastavampien kohteiden asennus onnistui huomattavasti paremmin. Robotin käsivarren ja työkalun välistä etäisyyttä pidentämällä saatiin luotua lisää liikkumavaraa liikkeiden suorittamiseen. Kiinnittimen muokkauksen huonoja puolia olivat asennusvaiheessa vaaditun työtila kasvaminen ja vääntimen massan keskipisteen etääntyminen robotin laipasta, jonka vuoksi robotilta vaadittiin enemmän voimaa asennuksen suorittamiseen. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut ongelmia, sillä työhön valitun mallin oli todettu helposti käsittelevän kulmamallisen vääntimen painoista työkalua yli 0.5 metrin etäisyydeltä. Asennustilan riittävyys varmistettiin uudestaan simuloimalla ja työkalukiinnitin todettiin miitoiltaan vääntimelle sopivaksi.

Työvaiheen haastavimmissa asennuskohteissa sähkövääntimen asentoa jouduttiin kääntämään huomattavasti robotin käsivarren suhteen, mikä saattoi aiheuttaa ongelmia kaapeloinnin puolesta. Kaapelointia oli oleellista miettiä jo suunnitteluvaiheessa, jotta robottijärjestelmä olisi tilaajalle kokonaisuudessaan selkeästi toteutettavissa. Vääntimen kaapelointi pystyttiin toteuttamaan käytännössä kahdella tapaa: suoraan robotin rungon kautta tai vaihtoehtoisesti robotin yläpuolelta kaapelikiskon avulla. Rungon kautta kulkeva kaapelointi olisi helppo toteuttaa, mutta se rajoittaisi työkalun kääntymistä, sillä joustovara kaapeloinnissa oli hyvin pieni. Suurin osa tilaajan jo käytössä olevien robottien kaapeloinneista on järjestetty kiskon avulla, jossa on liikkuva kaapelipidike. Kisko sijoitettaisiin suoraan robotin työalueen yläpuolelle, jolloin se joustavuutensa puolesta mahdollistaisi työkalulle haastavienkin asentojen suorittamisen. Työssä päädyttiinkin kaapelikiskon käyttämiseen, koska kohdealueella oli hyvät edellytykset sen käyttöönot-

toon. Kohdealueen yläpuolella oli rakenne, johon kiskon kiinnittäminen olisi helposti toteutettavissa.

Järjestelmän simuloinnista laskettiin, että todellisilla liikenopeuksilla asennusvaiheeseen menisi arviolta 2 minuuttia ja 52 sekuntia, joka oli reilusti alle asetetun 5 minuutin tavoiteajan. Laskelma perustui järjestelmän optimaaliseen toimintaan, eikä ottanut huomioon mahdollisia ongelmatilanteita asennusvaiheen aikana. Simuloinnissa oletettiin esimerkiksi, että kierretulppa ja tiivisterengas saataisiin noudettua sähkövääntimen magneettisen hylsyn avulla ilman ongelmia. Todellisuudessa robotin liikenopeuksia voitaisiin joutua hidastamaan, jotta magneettinen hylsy saisi varman otteen kierretulppasta. Hylsyn asettuminen kuusiokolon sisään oli hyvin oleellista asennusvaiheen onnistumisen kannalta. Mahdollisesti esiintyvistä ongelmista huolimatta automatisoidun järjestelmän todettiin toimivan varmasti, sillä asennusvaiheeseen kulunut aika oli simulaatiossa hyvin lyhyt.

7 KULUTARKASTELUT

Kulutarkasteluja tehtiin erikseen manuaaliselle sekä automatisoidulle järjestelmälle, jotta vertailu järjestelmien välillä olisi mahdollisimman selkeää. Manuaalisessa järjestelmässä oli otettava huomioon lähinnä tilaajalle asennusvaiheen työstä aiheutuvat kulut, toisin kuin automatisoidulla järjestelmällä, jossa suurin osa kuluista koostui laitteiden hankintakustannuksista. Automatisoitu järjestelmä maksaisi itsensä takaisin tietyllä aikavälillä, koska itse asennusvaiheen suorittamisesta aiheutuvat kulut ovat minimaaliset.

7.1 Manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat kulut

Manuaalisesta asennuksesta koituvia kuluja oli hankala arvioida, koska kierretulppien asennusta suorittavat työntekijät tekivät muitakin työtehtäviä normaalin työpäivänsä aikana. Manuaalisesta työstä koituvia kuluja lähdettiin laskemaan yhden kierretulpan asennukseen kuluvan ajan sekä siitä aiheutuvien kulujen perusteella. Arvioitiin, että yhden kierretulpan manuaaliseen asennukseen kuluu aikaa 10 sekuntia. Arvioidussa ajassa työntekijä ehtii ottamaan kierretulpan ja tiivisterenkaan, yhdistämään ne toisiinsa ja asentamaan paineilmavääntimellä kierretulpan kiinni sylinteriryhmään. Arvio ei ota huomioon työntekijöiden pitämiä taukoja, mutta on silti varteenotettava, olettaen että työntekijät tekevät jatkuvaa tehokasta työtä.

Kierretulppien asennuksen arvioitiin maksavan yritykselle kokonaisuudessaan 30 euroa tunnilta, josta pystyttiin laskemaan yhden asennuskohteen kuluiksi pyöristettynä 8.3 senttiä. Yhden asennuskohteen tulppauksesta aiheutuvien kulujen avulla voitiin laskea karkea arvio manuaalisen asennuksen kustannuksista vuositasolla. Arvioinnista teki hankalaa se, että 3- ja 4-sylinterisillä, HLA-tyyppisillä, sylinteriryhmillä oli vähemmän tulpattavia asennuskohteita, joilla asennusvaihe muodostui edullisemmaksi. HLA-ryhmien 3- ja 4-sylinterisille malleille asetettiin määräksi keskiarvolta 14 asennuskohdetta kulutarkastelua varten. Manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat kustannukset laskettiin dieselmoottoreiden vuotuisista tuotantomääristä, joissa oli erikseen eriteltyinä 3- ja 4-sylinteristen sekä 6-sylinteristen ryhmien osuudet. Taulukossa 3 esitetään manuaalisesta asennusvaiheesta aiheutuvat kulut, joissa on vuosittaiseen tuotantomäärään nähden valmistettu enemmän 6-sylinteristä sylinteriryhmää.

Sylinteriryhmämalli	Osuus vuoden tuotantomäärästä (%)	Kulut vuositasolla
3- tai 4-sylinterinen	30	10 496 €
6-sylinterinen	70	38 485 €
	KULUT KOKONAISUUDESSAAN:	48 980 €

TAULUKKO 3. Manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat maksimikulut vuositasolla

Taulukon 3 laskelmat vastaavat manuaalisesta asennuksesta aiheutuvia maksimikuluja. Taulukossa 4 puolestaan esitetään vuoden arvioituihin tuotantomääriin perustuva laskelma, jossa 3- sekä 4-sylinteristä sylinteriryhmää on valmistettu suhteessa enemmän, minkä vuoksi manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat vuosikulut ovat käytännössä minimitasolla.

Sylinteriryhmämalli	Osuus vuoden tuotantomäärästä (%)	Kulut vuositasolla
3- tai 4-sylinterinen	60	20 992 €
6-sylinterinen	40	21 991 €
	KULUT KOKONAISUUDESSAAN:	42 983 €

TAULUKKO 4. Manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat minimikulut vuositasolla

7.2 Automatisoidun järjestelmän hankintakustannukset

Automatisoidun järjestelmän kokonaiskulut muodostuivat kaksoissyöttimestä, robotista, kulmamallisesta sähkövääntimestä, työtasosta, oheislaitteista sekä asennus- ja käyttöönottokuluista. Suunnitteluprosessissa yritettiin minimoida järjestelmän laitteista koituvia kuluja, asennusvaiheen laadusta ja tehokkuudesta kuitenkin tinkimättä. Taulukossa 5 on listattuna automatisoituun järjestelmään valitut laitteet ja niiden valmistajat.

LAITE	VALMISTAJA
Kaksoissyötin manipulaattorilla ja suojakuvulla	ERKA
IRB 4600 -robotti & oheislaitteet	ABB
Kulmamallinen sähköväännin & oheislaitteet	Atlas Copco
Paikoitettu työtaso	AGCO Power

TAULUKKO 5. Automatisoidun järjestelmän laiteluettelo

Koko järjestelmän hankintakustannuksiksi muodostui 118 100 euroa, käyttöönotto- sekä asennuskulut mukaan lukien. Hankintakustannuksia nostivat pitkälti valitut lisäoptiot ja -varusteet, mutta ne nähtiin kannattaviksi järjestelmän luotettavuuden parantamisen

kannalta. Mikäli näitä lisäoptioita ei olisi valittu, takaisinmaksuaika olisi lyhentynyt huomattavasti.

7.3 Takaisinmaksuajan laskenta

Takaisinmaksuaika laskettiin manuaalisesta asennusvaiheesta aiheutuvia minimi- sekä maksimikuluja käyttämällä. Täten saatiin luotua aikaväli, jonka aikana takaisinmaksu toteutuu. Lyhyen takaisinmaksuajan perusteella todettiin automatisoidun järjestelmän käyttöönotto kannattavaksi. Laskumenetelmä takaisinmaksuajan määrittämiseksi ei ota huomioon investointimenosta aiheutuvia korkokustannuksia (Andersson ym. 2001, 134). Takaisinmaksuaika laskettiin kaavan 1 mukaisesti (Andersson ym. 2001, 134).

$$\frac{\textit{Perusinvestointi}}{\textit{Vuotuinen nettotuotto}} = \textit{Takaisinmaksuaika}$$

KAAVA 1. Takaisinmaksuajan laskemiseen käytetty kaava

Sijoittamalla kaavaan manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat minimikulut vuotuisina nettotuottoina, saadaan:

$$\frac{118\,100\ \text{€}}{42\,983\ \text{€ / vuosi}} = 2.75\ \text{vuotta}$$

Vastaavasti, sijoittamalla kaavaan manuaalisesta asennuksesta aiheutuvat maksimikulut, saadaan:

$$\frac{118\,100\ \text{€}}{48\,980\ \text{€ / vuosi}} = 2.41\ \text{vuotta}$$

Takaisinmaksun aikaväli järjestelmälle on pyöristettynä 2.4–2.8 vuotta. Laskettua aikaa voitiin pitää täten hyvänä, sillä järjestelmän pitoaika oli oletettavasti hyvin pitkä. Takaisinmaksuajan toteutumista alle 2.5 vuodessa pidettiin hyvin todennäköisenä, sillä 6-sylinteristen sylinteriryhmien kysyntä on ollut nousussa.

8 POHDINTA

Työ oli kokonaisuudessaan onnistunut ja työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyön aikana tuli eteen monia haasteita ja ongelmia, joihin oli toisinaan vaikeaa löytää optimaalista ratkaisua. Sopivat ratkaisut kuitenkin löydettiin useimmissa tapauksissa ja järjestelmä todettiin lopulta toimivaksi sekä kannattavaksi. Työtä olisi voitu vielä parantaa suunnittelemalla asennusrobotille paremmat liikeradat ja konfiguraatiot, jotta epäpuhtauksien kulkeutuminen sylinteriryhmään olisi saatu suunnittelutyön puolesta minimoitua. Robotille luotiin kuitenkin toimivat liikeradat, jotka saatiin suunniteltua siten, etteivät ne kulkeneet suoraan sylinteriryhmän kannen yli.

On tärkeää selvittää, miten automatisoitua asennusvaihetta voitaisiin jatkokehittää tulevaisuudessa, jotta asennusvaiheen tuotantokapasiteettia voitaisiin nostaa kuudesta sylinteriryhmästä tunnissa esimerkiksi kymmeneen. Työn aikana havaittuja esteitä kapasiteetin nostamiselle olivat lähinnä rajattu tila robottisolussa sekä avustavan robotin työkierron kesto. Suuremmalla kohdealueella layoutia olisi muutettu niin, että kierretulppa ja tiivisterengas olisivat olleet syöttölaitteistolta vielä helpommin robotin saatavilla. Robotin liikeradat ja työasennot olisi tällöin voitu tehdä layoutinkin puolesta optimaalisella tavalla. Rajatussa asennustilassa robotin liikeradat olivat kyllä toteutettavissa, mutta robotti liikkui joissain tapauksissa sylinteriryhmän kannen läheisyydessä, mikä lisäsi riskiä epäpuhtauksien kulkeutumiselle sylinteriryhmään. Lisäksi sijoittamalla järjestelmään rahallisesti enemmän, voitaisiin automatisoidussa ratkaisussa käyttää tulevaisuudessa useampaa robottia ja kehittää niiden avulla vielä tehokkaampi asennusvaihe sylinteriryhmille tulppaukselle.

Viimeisenä tuotantokapasiteettiin vaikuttavana tekijänä oli avustavan robotin työkierto. Avustavan robotin työkierron pitkä kesto rajoitti asennusrobotin asennustahtia, koska avustava robotti kykeni siirtämään sylinteriryhmiä ainoastaan kahdeksan minuutin välein. Mikäli ryhmiä voitaisiin siirtää asennusrobotille mielivaltaisesti, voitaisiin asennustahtia nostaa ja täten tuotantokapasiteettia kasvattaa. Asennustahdin kasvattamisessa pitäisi tällöin panostaa tietysti myös syöttölaitteiston toimintaan ja sen syöttötahtiin.

LÄHTEET

ABB. 2004. IRB 1600 Product Specification. Luettu 09.03.2018.

https://library.e.abb.com/public/818d1922d857a640c1257cc500449f38/Product%20specifications_IRB1600_3HAC023604-001_revM_en.pdf

ABB. 2017a. IRB 2600 Product Specification. Luettu 09.03.2018.

<https://library.e.abb.com/public/0ba742c9b3084354ad233d8684e018c7/3HAC035959-en.pdf>

ABB. 2017b. IRB 4600 Product Specification. Luettu 10.03.2018.

http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch

ABB. 2018a. IRB 4600 Data Sheet. Luettu 11.03.2018.

http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch

ABB. 2018b. Robotstudio. Luettu 12.03.2018.

<http://new.abb.com/products/robotics/fi/robotstudio>

ABB. 2018c. YuMi-robotti. Luettu 15.02.2018.

<http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/yumi>

AGCO Corporation. 2016. Visio ja arvot. Luettu 13.02.2018.

https://careers.agcocorp.com/content/VISIO-ja-ARVOT/?locale=fi_FI

AGCO Corporation. 2017. Annual Report 2016. Luettu 14.02.2018.

<http://ar2016.agcocorp.com/>

AGCO Corporation. 2018a. Brands. Luettu 16.02.2018.

<http://www.agcocorp.com/brands.html>

AGCO Corporation. 2018b. News. Luettu 16.02.2018.

<http://investors.agcocorp.com/phoenix.zhtml?c=108419&p=irol-newsArticle&ID=2330501>

AGCO Power. 2016a. Historia, 1940-luku. Luettu 16.02.2018

<http://www.agcopower.com/fi/yritys/historia/v1940-luku-linnavuoren-moottoritehdas-syntyy/>

AGCO Power. 2016b. Historia, 2010-luku. Luettu 16.02.2018

<http://www.agcopower.com/fi/yritys/historia/v2010-luku-agco-powerin-aika/>

AGCO Power. 2016c. Tuotteet. Luettu 16.02.2018

<http://www.agcopower.com/fi/tuotteet/>

AGCO Power. 2016d. Yritys. Luettu 16.02.2018

<http://www.agcopower.com/fi/yritys/>

Andersson, J., Ekström, C. & Gabrielsson, A. 2001. Kannattavuussuunnittelu ja – laskenta. Juva: WS Bookwell Oy.

Atlas Copco. 2018a. Pocket Guide to Tightening Technique. Luettu 13.03.2018.
https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/pocketguides/9833864801_L.pdf

Atlas Copco. 2018b. Power Macs 4000. Luettu 15.03.2018.
<https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/products/fixtured-applications/general-documents/PowerMacs4000QST.pdf>

Atlas Copco. 2018c. Fixtured Assembly Solutions. Luettu 16.03.2018.
<https://www.atlascopco.com/en-uk/itba/products/assembly-solutions/fixtured-assembly-solutions>

Kurfess, Thomas R. 2005. Robotics and Automation Handbook. Florida: CRC Press.

Lehtinen, J. 2015. E-artikkeli. Robotiikka vaatii monitieteellisyyttä. Luettu 17.02.2018.
<https://journal.fi/tt/article/view/52748/16435>

Nehmzow, Ulrich. 2009. Robot Behaviour. London: Springer-Verlag.

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2005. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Prima Oy.

Suomen Robotiikkayhdistys Ry. 1999. Robotiikka. Vantaa: Tummavuoden Kirjapaino Oy.

Yritysesittely. 2018. Powerpoint-diat. Luettu 13.03.2018.