



Robottisolun modernisoinnin esisuunnittelu

Niko Silmola

OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

SILMOLA, NIKO:
Robottisolun modernisoinnin esisuunnittelu

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Helmikuu 2024

Opinnäytetyön kohteena oli hammaspyörien valmistukseen kuuluvan robottisolun modernisoinnin esisuunnittelu. Vanhan robottisolun laitteiston ylläpito vikatilanteissa on hankalaa sen vanhentuneen tekniikan takia, minkä vuoksi tuotannon ylläpitoon syntyy riski. Työssä käsiteltävä robottisolu on tavoitteena päivittää nykyisen tekniikan tasolle lähitulevaisuudessa, joten robottisolun modernisointia lähdetään suunnittelemaan tämän opinnäytetyön esisuunnittelun tuotoksesta. Opinnäytetyön tuotoksen avulla toimeksiantaja Agco Power Oy laatii tarjouspyynnön uuden modernisoidun robottisolun toimittamisesta, ja samalla tuotos toimii varsinaisen suunnittelun apuna.

Esisuunnittelun alussa selvitettiin robottisolun nykyinen toiminta ja käytetyt laitteet, joiden avulla voitiin luoda robottisolun toiminnan kuvaus. Alkuselityksen jälkeen laadittiin toimeksiantajan mukainen vaatimusmäärittely käytettävästä robotista, konenäköjärjestelmästä, ohjausjärjestelmästä sekä turvallisuuteen liittyvistä ratkaisuksista. Modernisoinnin myötä robottisolu sai ratkaisuehdotuksen uudelle layout-pohjalle, jossa otettiin kantaa tulevaan turvavaloverhomuutokseen. Työssä laadittiin ratkaisuehdotukset käytettäville laitteille vaatimusmäärittelyjen mukaan, ja ratkaisuehdotuksia vertailtiin painoarvotaulukkojen avulla.

Opinnäytetyössä käsitellyistä olevista ratkaisuehdotuksista saatiin optimaalisimmat vaihtoehdot käytettävälle robotille, konenäköjärjestelmälle ja ohjausjärjestelmälle. Tavoitteen mukaisesti opinnäytetyön avulla toimeksiantaja pystyi luomaan tarjouspyynnön robottisolun toimittamisesta ja opinnäytetyön tuotosta voidaan käyttää apuna tulevaisuuden robottisolujen suunnittelussa.

ABSTRACT

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

SILMOLA, NIKO:
Preliminary Design of Robotic Cell Modernisation

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 5 pages
February 2024

This thesis focuses on the preliminary design of gear production robot cell modernisation. Maintaining the old robot cell's equipment in fault situations is difficult due to its outdated technology, which creates a risk for maintaining production. The aim is to update the robotic cell to the current technology level soon, so the modernisation of the robot cell will be designed based on the results of this thesis. The client, AGCO Power Oy will prepare a request for proposal for the new modernised robot cell, and the results will also serve as assistance in the actual design.

Preliminary design includes the investigation of robot cells' current status, followed by the creation of a requirement specification for the modernisation. The preliminary design includes a description of the robotic cell's operation, solution proposals for layout design, and the selection of the robot, machine vision system, control system, and safety-related solutions.

The solution proposals discussed in the thesis provided the most optimal options for the robot, machine vision system and control system to be used. As intended, the client was able to create a request for proposal for the delivery of the robot cell, and the thesis results can be used as assistance in future robot cell designs.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn esittely ja tavoitteet.....	7
1.2	Modernisointi.....	8
1.3	AGCO Power Oy.....	8
2	ROBOTTISOLUN NYKYTILANNE.....	9
2.1	Nykytilanteen layout.....	9
2.2	ABB IRB 4400/45,	10
2.2.1	Robotin työkalut.....	10
2.3	Konenäköjärjestelmä.....	10
2.4	EMAG VSC 400 DDS.....	11
2.5	Nykyisen solun turvallisuusratkaisut.....	12
3	VAATIMUSTENMÄÄRITTELY.....	13
3.1	Painoarvotaulukko.....	13
3.2	Robotti.....	13
3.2.1	Käsiteltävät hammaspyöräaihiot.....	14
3.2.2	Yhteistyörobotin soveltuvuus	15
3.3	Konenäköjärjestelmä.....	15
3.3.1	3D- tekniikka.....	16
3.3.2	2D- tekniikka.....	17
3.3.3	Konenäön lisävalaistus.....	18
3.4	Ohjausjärjestelmä ja turva-automaatiikka.....	19
3.5	Tulo- ja lähtöpalettien turvavaloverho muutos.....	20
3.6	Toiminnankuvaus	21
4	ESISUUNNITTELUN RATKAISUEHDOTUKSET	23
4.1	Uusi layout	23
4.1.1	Turvavaloverhojen sijoitus	26
4.2	Robottivaihtoehdot	28
4.2.1	Fanuc M-710iC/50	28
4.2.2	ABB IRB 4600/60	29
4.2.3	KUKA KR 50 R2100	31
4.2.4	Robotin valinnan painoarvotaulukko	32
4.3	Konenäköjärjestelmän vaihtoehdot	32
4.3.1	ABB konenäkövaihtoehdot	32
4.3.2	FANUC iRVision	35
4.3.3	SICK konenäkövaihtoehdot	37
4.3.4	Konenäköjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko.....	40

4.4 Ohjausjärjestelmä	42
4.4.1 Siemens	44
4.4.2 Beckhoff	45
4.4.3 Ohjausjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko.....	46
5 POHDINTA	47
LÄHTEET	49
LIITTEET.....	52
Liite 1. Robottisolun 2D layout positiot näkyvissä.	52
Liite 2. Fanuc M-710iC-50 esite.	53
Liite 3. ABB IRB 4600/60 esite.....	54
Liite 4. KUKA KR 50 R2100 esite.....	56

ERITYISSANASTO

obsolete	vanhentunut, ei saatavilla
I/O	input/output, tiedonsiirtoa rajapinnoissa
TCP/IP	tiedonsiirtoprotokolla
PLC	ohjelmoitava logiikka
FOV	Field of view, kameran näkökenttä
VOV	Volume of view, kameran näkötilavuus

1 JOHDANTO

1.1 Työn esittely ja tavoitteet

Opinnäytetyössä käsitellään vanhan robottisolun modernisoinnin esisuunnittelua. Vanha solu on toimitettu vuonna 2006 ja solussa käytetty tekniikka, varsinkin käytetty robotti ja konenäkö, kaipaa päivitystä uuteen. Ohjausjärjestelmän suunnitteli- ja toimittajayritystä ei enää ole olemassa ja järjestelmän ylläpito vikatilanteissa on hankalaa, kun laajempaa tukea räätälöityyn järjestelmään ei ole. Työn alkupuolella selvitetään solun alkutilanne, tutustutaan solun toimintaan ja tämän jälkeen selvitetään toimeksiantajan vaatimukset modernisoinnin ratkaisuille ja viimeisenä modernisoinnin esisuunnittelussa esitetään ratkaisuehdotukset toimeksiantajan vaatimustason mukaan. Ratkaisuehdotuksien valintaa arvostellaan ja vertaillaan painoarvotaulukkojen avulla.

Modernisoinnin esisuunnittelu pitää sisällään vaatimusten määrittelyn uudelle robotille, konenäköjärjestelmälle, solun ohjausjärjestelmälle sekä turvallistamisratkaisuille. Robottisolun turvallistaminen rajataan turva-automatiikkaan sekä solun turvavaloverhomuutokseen liukuovien tilalle. Solun layout saa modernisoinnin myötä suunnitelman uudelle layout-pohjalle.

Työn tavoitteena on toimia avustavana työkaluna robottisolun modernisoinnin varsinaisessa suunnittelussa sekä tarjouspyynnön tekemiseen solun toimittamisesta. Tässä työssä etsitään modernisoinnin ratkaisuja ja kyseiset ratkaisut käydään opinnäytetyössä läpi. Työn tavoitteena on myös toimia pohjana tulevaisuuden robottisolujen suunnittelussa. Ideana tässä on, että tuotannon robottisoluista saataisiin samankaltaisia ratkaisuiltaan, jolloin etuna on tunnetut järjestelmät sekä varaosien yhteensopivuus.

1.2 Modernisointi

Teollisuuden modernisointiprojekteja tehdään, kun halutaan parantaa tuotantoa tai parantaa tuotannon toimintavarmuutta. Tämän projektin kohdalla robottisolu modernisoidaan pääosin vanhentuneen tekniikan ja ohjelmistojen takia. Vanhentuneeseen tekniikkaan saadaan huonosti varaosia tai ei saada ollenkaan. Vanhentuneeseen tekniikkaan ei sovellu uudet ohjelmistot ja taas uuteen tekniikkaan vanhat ohjelmistot eivät taivu. Tällöin syntyy suuri riski tuotannon ylläpitoon, mikäli laitteisto vikaantuu. Modernisoimalla lisätään laitteiston sekä prosessin käyttöikää ja samalla voidaan tehdä kehitystä prosessiin.

Modernisointiprojektien esisuunnittelun tärkeys painottuu myös vuonna 2019 koronapandemiasta syntyneen komponenttipulan takia. Komponenttien saatavuus tähän päivään on jo helpottanut, mutta suunnitelma päivitykselle kannattaa olla ajoissa, jolloin modernisointiprojekti ei viivästy haluttujen komponenttien saatavuuden takia. Joustavuutta modernisointiprojektiin voidaan lisätä suunnittelemalla päivitys ohjelmistokeskeisen automaation avulla, jolloin ohjelmiston ja käytettyjen komponenttien välillä ei ole riippuvuutta. Ohjelmistokeskeisessä automaatiassa tehdyt logiikkaohjelmat tehdään standardin IEC61499 mukaan, jolloin ohjelma toimii kaikissa standardia tukevissa laitteistoissa. (Korhonen, T. 2022)

1.3 AGCO Power Oy

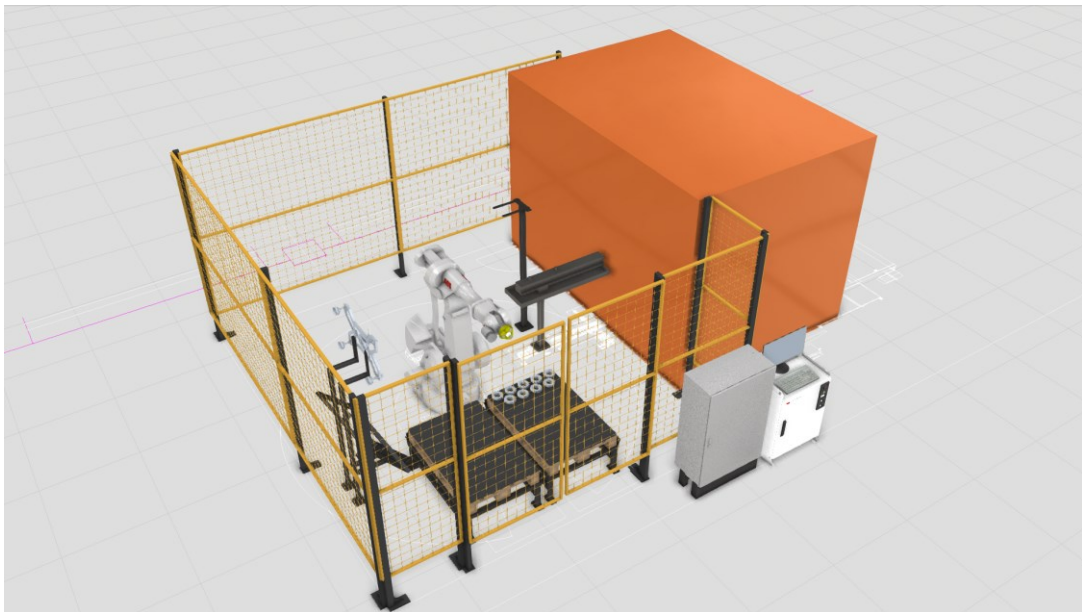
Työn toimeksiantajana toimi Agco Power Oy, joka kuuluu Agco- konserniin. Agco Power valmistaa Nokian Linnavuoressa dieselmoottoreita maailman suurimmille traktorimerkeille ja maatalouskoneiden toimittajille. Yrityksen valikoimaan kuuluu myös vaihteistojen ja voimansiirron komponenttien suunnittelu ja valmistus mitatilaustyönä. Yritys on myös sitoutunut kehittämään maailmanluokan voimantuottoratkaisuja työkonenäytössä, mikä tarkoittaa tuotteiden ja niiden tuotantoprosessien aktiivista hiilijalanjäljen vähentämistä. (Agco Power n.d.)

2 ROBOTTISOLUN NYKYTILANNE

Aluksi selvitettiin solun nykytilanne, jotta tiedetään solun toiminnallisuus ja ylipääntään käytetyt ratkaisut. Kyseessä on toiminnassa oleva robottisolu, joka koostuu yhdestä teollisuusrobotista, robotin työkaluista, konenäköjärjestelmästä, koneistuskeskuksesta sekä kappaleiden tulo- ja lähtöpaleteista. Tässä kappaleessa käydään läpi solun nykyinen laitteisto.

2.1 Nykytilanteen layout

Nykyinen 3D- layout tehtiin Visual Components- ohjelmalla, joka nähdään kuvasta 1. Kuvasta nähdään solun laitteiden sijoittelu. Soluun kulku tapahtuu ovesta, joka on varustettu turvalukolla ja kappaleet tuodaan kuormalavalla solun etuosasta. Kuormalavojen edustalla on käytetty turvaratkaisuna liukuvia lastaus- ja purkuovia. Robotti on asetettu keskelle solua, josta robotti pystyy tekemään liikkeet ongelmitta ja optimaalisesti palvelemaan sorvia.



KUVA 1. Solun nykyinen 3D layout

2.2 ABB IRB 4400/45,

Robotti on ABB:n 6 akselinen teollisuusrobotti, joka pystyy käsittelemään 45 kg työkuorman ja sen ulottuma on 1,96 m. Robotin ohjauskaappi on mallia IRC5 M2006 single controller. Solun robotti on tällä hetkellä vuodelta 2006 eli 17 vuotta vanha. Robotin toimittaja on asettanut robotin obsolete- tilaan, mikä on yksi painava syy modernisointiprosessille. Robottia tai joitain robotin osia ei ole enää saatavilla, joten se luo riskin tuotannon ylläpitoon tämän robotin osalta.

Robotin ohjauskaapin I/O:ta on laajennettu Beckhoffin hajautetulla I/O:lla, jossa on lähtökortteja ja tulokortteja. Hajautettuun logiikkaan kerätään kaikki tulotiedot ja myös ohjaukset hoidetaan tämän kautta. Hajautetun logiikan kommunikointi tehdään Beckhoffin BK5220 DeviceNet Bus Coupler avulla, josta solun I/O- tiedot kulkevat CAN-väylää pitkin robotin kontrollerille. (Beckhoff, n.d)

2.2.1 Robotin työkalut

Robotissa on kiinteä pneumaattinen kolmileukatarttuja hammasrattaiden poimintaan ja samalla tarttujalla tartutaan välipahvitarttujasta kiinni. Paineilman tulo välipahvitarttujaan on toteutettu ulkoisella paineilmaletkulla, joka herkästi tarttuu solun rakenteisiin robotin liikkeissä ja mahdollisesti aiheuttaa paineilmaletkun nirhautumisen. Tässä robotissa ei ole siis robotin työkalun vaihtajaa, vaan tarttujalla otetaan kiinni tarttujasta. Tällainen ratkaisu on vikaherkempi kuin se, että robotin työkaluilla olisi työkalunvaihtaja, jolloin saadaan työkalujen vaihdosta ja toiminnasta varmempaa ja tehokkaampaa. Kolmileukatarttujassa on myös konenäköjärjestelmän avuksi mekaaninen kosketusanturi, jonka avulla mitataan lavakorkeus, kun ensimmäinen kappale noudetaan kerroksesta. Tällä kosketusanturilla saadaan kappaleen poiminnan syvyystieto.

2.3 Konenäköjärjestelmä

Robottisolussa on MAG Robot Guidance- konenäköjärjestelmä, joka koostuu tietokoneesta, kuvankaappauskortista sekä kamerasta ja sen kaapeloinneista. Konenäköohjelma on Microsoft Windows XP- pohjainen, ja Windows XP:n tuki on

loppunut jo vuonna 2014. Kuvankaappauskortti on Matrox Meteor II/Multi-Channel. Korttia on edelleen saatavilla, mutta sitä ei suositella käytettäväksi uusissa sovelluksissa. (Matrox Imaging n.d)

Konenäköjärjestelmän kamerana on toiminut Sonyn ES-50 2D-kamera, joka on asennettu suoraan robotin tarttujaan kiinni. Robottisolun työkierto on hitaampi, kun kamera on robotissa kiinni, koska tällöin kuvausta ei voida suorittaa robotin muiden tehtävien aikana. Tämän kamerasen valmistus on lakkautettu, mutta valmistajalta löytyy päivitettyjä malleja, jotka vastaavat nykyaikaisia konenäkökameroita. (Sony n.d)

Käyttöliittymä on rakennettu konenäköjärjestelmän yhteyteen ja siitä valitaan työstettävät tuotteet. Järjestelmässä tuotteilla on omat hakutyökalut, joiden mukaan haetaan tuotteen geometrisia mittoja. Käyttöliittymästä voidaan käynnistää ja pysäyttää solun työkierto. Konenäköjärjestelmä ja käyttöliittymä toimii Beckhoffin CP6500 teollisuustietokoneella, jota ei myöskään enää ole saatavilla. Nykyisten teollisuustietokoneiden tehokkuus ja yhdistettävyyys muihin järjestelmiin on kehittynyt moninkertaisesti, verraten tämän robottisolun vanhaan teollisuustietokoneeseen.

2.4 EMAG VSC 400 DDS

Robottisolussa on pystykarainen sorvaus- ja hiontakeskus, jossa hammaspyörät viimeistellään lämpökäsittelyn jäljiltä sorvaamalla sekä reikähionnalla. Sorvin tekniikalla on käyttöikää jäljellä ja näin ollen sorvi ei koe päivitystä tässä modernisointiprojektissa.

EMAG VSC 400 DDS on konemalli, jolla voidaan suorittaa kovasorvausta ja kapaleen viimeistelyhiontaa. Kyseisellä konemallilla tyypillisesti työstetään hammaspyöriä, ketjupyöriä, liukuholkkeja, CVT-vaihteistojen osia, ketjun pultteja, kiertokankia, keinuviipuja, laakerin juoksurenkaita ja männänrenkaita. (Emag n.d)

Kommunikointi robotin kanssa hoituu robotin hajautetun logiikan välityksellä niin sanotusti perinteisenä kova IO:na. Nykyaikainen tapa tiedonsiirrossa laitteiden välillä on tiedonkulku kenttäväylällä tai ethernetin (TCP/IP) välityksellä.

2.5 Nykyisen solun turvallisuusratkaisut

Robottisolu on toimitettu vuonna 2006 CE- merkinnällä, ja turvallisuusratkaisussa on käytetty sen aikaisia standardeja. Solun turvallistaminen on rakennettu turvareleillä, jotka ovat yhteydessä robotin ja sorvin turvapiiriin. Solun turvapiiri on rakennettu ketjuttamalla turvatiedot turvareleiden välillä niin, että jokaiselle turvakomponentille on oma turvarele. Turvapiirin rakentaminen pelkillä turvareleillä on johdotuksen ja piirikaavioiden kannalta epäselvempää kuin se, että turvapiirin rakentamisessa käytettäisiin turvalogiikkaa.

Solussa on käytetty kuormalavojen lastaus- ja purkuovina liukuovia, jotka ovat varustettu lukitsevilla turvakytkimillä. Ratkaisu on turvallinen, mutta epäkäytännöllinen kuormalavojen lastaukseen. Soluun on myös erillinen käyntiovi, joka on samalla tavoin varustettu lukitsevalla turvakytkimellä. Käyntiovesta päästään soluun, jos solun työkierto pysäytetään.

3 VAATIMUSTENMÄÄRITTELY

Vaatimustenmäärittelyssä käydään läpi toimeksiantajan vaatimuksia modernisoinnin suhteen sekä robottisolun toiminnankuvaus. Vaatimuksia on esitetty robotille, konenäköjärjestelmälle, turvallistamisratkaisuille sekä käytettävän solun ohjausjärjestelmälle. Toimeksiantajayritys on myös kiinnostunut yhteistyörobottiratkaisuista ja sen soveltuvuutta perusteellaan omassa kappaleessaan.

Vaatusmäärittelyt on tehty modernisointiprojektissa käytyjen palavereiden sekä talon robottiohjelmoijien ja insinöörien keskustelujen avulla ja ne käsitellään seuraavissa kappaleissa. Vaatimuksien mukaan tehdään ratkaisuehdotukset valittavasta robotista, konenäköjärjestelmästä sekä ohjausjärjestelmästä, jotka esitetään myöhemmin esisuunnittelukappaleessa ja ratkaisuvaihtoehtoja vertaillaan painoarvotaulukoiden avulla.

3.1 Painoarvotaulukko

Painoarvotaulukon käytössä painotetaan ratkaisun eri ominaisuuksia, jotka tässä tapauksessa pohjautuvat ratkaisujen vaatimuksiin. Useiden ratkaisuehdotuksien välinen vertailu ja arviointi saattaa olla hankalaa objektiivisesti, jolloin on mahdollisuus tehdä väärä päätöksiä (Karjalainen 2016). Painoarvotaulukosta saatujen vertailulukujen avulla nähdään, mikä ratkaisu olisi sopivin toimeksiantajalle. Ratkaisuvaihtoehtojen painoarvotaulukkojen arvostelukriteerit ja niiden painoarvot esitellään tässä luvussa. Jokaiselle vaatimukselle asetetaan painoarvo ja jokaista vaatimusta pisteytetään yhdestä viiteen, jonka jälkeen pisteet kerrotaan painatuksella ja lasketaan yhteen.

3.2 Robotti

Robotin pitää olla vastaava, mikä solussa on tällä hetkellä käytössä eli sen pitää käsitellä vähintään 45 kg työkuorma ja ulottuman pitää olla 2 metrin luokkaa. Kyseiseen työkuormaan on huomioitava robotin työkalujen painot, työkalunvaihtajat mukaan lukien. Kyseisellä tuotantolinjalla on useampia käytössä olevia uudempia ja vanhempia ABB:n teollisuusrobotteja, joten ensisijaisesti uusi robotti olisi myös

ABB:n teollisuusrobotti. Toimeksiantajalla on myös paljon käytetty Fanucin teollisuusrobotteja, joten robotin valinnan vaatimuksiin sisällytetään ABB:n ja Fanucin vaihtoehdot. Vertailun vuoksi ratkaisuehdotuksiin lisätään KUKA- robottivalmistajan vaihtoehto.

Robottiin halutaan työkalunvaihto käyttöön, mitä ei nykyisessä sovelluksessa ole. Robotille tulee tällöin yksi kolmileukatarttuja ja välipahvitarttuja. Välipahvitarttuja saa tarvittavan paineilman robotin kautta. Työkalut tarvitsevat tällöin myös omat työkalutelineet, jotka sijoitetaan solun sisälle robotin läheisyyteen, jotka ovat robotin ulottaman sisällä. Robottien työkaluissa käytetään hyväksi uudempien solujen työkalujen malleja, jolloin varaosat ovat yhteensopivia.

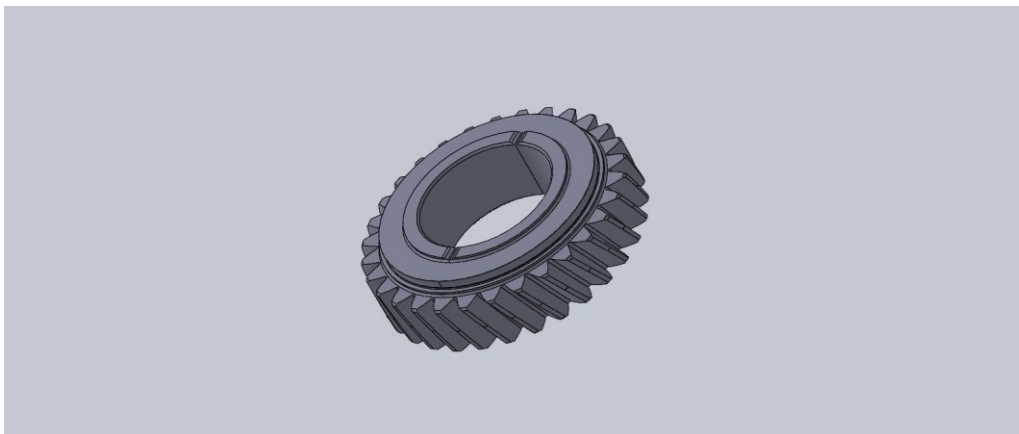
Robotin valintaa vertaillaan painoarvotaulukolla, jossa arvostelukriteerit ovat tehty robotin valintaan liittyvien vaatimuksien ja huomioiden mukaan. Taulukossa 1 on esiteltynä painoarvot kriteereineen robotin valinnassa.

TAULUKKO 1. Robotin kriteerien painoarvot

Arvostelukriteeri	Painoarvo
Käytettävyys operaattorien näkökannalta	30 %
Robottiohjelmoijien valmiudet	50 %
Hankintahinta	20 %
Yhteensä	100 %

3.2.1 Käsiteltävät hammaspyöräaihiot

Robotti käsittelee kuvan 2 mukaisia hammaspyöriä ja hammaspyöriin tartutaan kolmileukatarttujalla hammaspyörän sisäkehältä. Käsiteltäviä kappaleita on useita ja ne ovat ulkohalkaisijoiltaan 60–300 mm ja 20–100 mm korkeita. Tässä tuotannonvaiheessa hammaspyörät ovat lämpökäsiteltyjä, joten kappaleiden pinnat ovat tummahkoja ja öljyttömiä.



KUVA 2. Erään hammaspyöräaihion 3D-malli

3.2.2 Yhteistyörobotin soveltuvuus

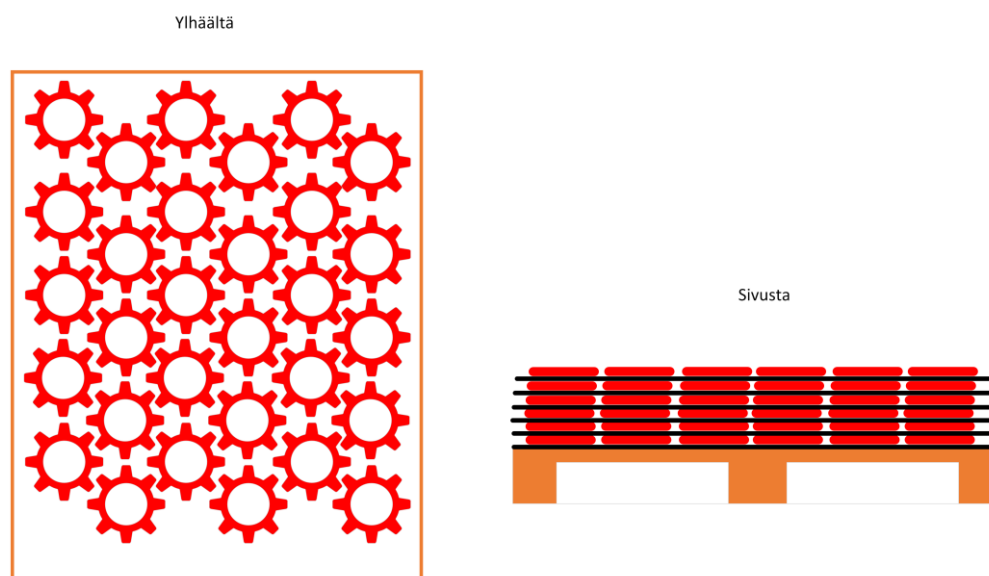
Tässä työssä käsiteltävässä robottisolussa, jossa robotti palvelee sorvia konenäön avulla, on suuret liikenopeudet ja käsiteltävät kuormat ovat painavampia kuin tyypillisissä yhteistyörobottisovelluksissa. Yhteistyörobottien liikenopeudet ovat hitaampia, käsiteltävät kuormat ovat pienempiä ja ne ovat varustettu antureilla, jotka havaitsevat ihmisen läheisyyden ja törmäämisen robottiin. (Teollisuuden robotiikka 2023, 28–29) Voidaan todeta, että yhteistyörobotilla solun robotisointi ei ole kannattavaa tuotannon kannalta.

3.3 Konenäköjärjestelmä

Konenäön suhteen halutaan saada lisää tietoa vaihtoehtoisista ratkaisuista, sillä konenäköjärjestelmät ovat haastavia kokonaisuuksia ja koko robottisolun toiminta saattaa perustua konenäön varaan. Järjestelmän käyttöön ja ylläpitoon pitää olla riittävä tuki ongelmatilanteiden poistamiseksi. Ihanteellisin konenäköjärjestelmä on integroitu käytettävään robottiin, eikä se tarvitse toimiakseen tietokonea. Mikäli konenäkö tarvitsee toimiakseen tietokoneen, niin huonona puolena on se, että tietokone sekä sen käyttöjärjestelmä vanhentuu usein nopeammin kuin konenäköjärjestelmä itsessään.

Konenäköjärjestelmä ohjaa tässä sovelluksessa robotin toimintaa pick-and-place- menetelmällä. Järjestelmästä pitää olla valittavissa solussa työstettävät tuotteet käyttöliittymän kautta ja pitää olla mahdollisuus monitoroida konenäön

toimintaa. Käyttöliittymästä olisi hyvä päästä käsiksi konenäön kappaleen ope-
tuksen työkaluihin, jossa voidaan tarvittaessa säätää tuotekohtaisia tunnistustyö-
kalujen parametreja tai tehdä esimerkiksi valotuksen säätöjä. Tämän työn ko-
nenäkösovelluksesta on tehty konenäön kuvaushahmotelma (kuva 3), josta käy
ilmi, miten kappaleet ovat eurolavalla.



KUVA 3. Konenäön kuvaushahmotelma

Toimeksiantajalle on suuri etu vakiintua käytettävään konenäköjärjestelmään, jol-
loin tulevaisuudessa ylläpidettäviä konenäköjärjestelmiä ei ole montaa erilaista,
mikä edistää konenäön osaamista eli pienentää konenäöstä johtuvia virhetilan-
teita. Tämän takia on tärkeää löytää sopiva konenäköjärjestelmä, jota voidaan
käyttää myös hyväksi tulevaisuuden robottisoluhankintoihin sekä tämän työn kal-
tasiin modernisointiprojekteihin.

3.3.1 3D- tekniikka

Konenäkösovellus voidaan toteuttaa käyttäen 3D- kuvantamistekniikkaa. Toi-
meksiantajayrityksellä ei ole montaa 3D-konenäköjärjestelmää, mutta kyseisestä
tekniikasta on kiinnostusta. Toimiva 3D- konenäköjärjestelmä parantaisi solun
toimintaa, sillä 3D- tekniikan avulla poimittavasta kappaleesta saadaan geomet-
risten mittojen lisäksi syvyysmitta.

Tyypillisesti 3D- tekniikkaa käytetään kasasta poiminta (bin picking) sovelluksiin, joissa poimittavat kappaleet ovat sekaisin ja robotti saa konenäköjärjestelmältä kappaleen kaikki sijaintitiedot sekä liikeratatiedot, jolloin vältetään törmäykset ympäristön, muiden poimittavien kappaleiden tai robotin välillä (Teollisuuden robotiikka 2023, 57). Robotti saisi kaikki tarvittavat sijaintitiedot konenäköjärjestelmältä, jolloin konenäköön liittyvä ohjelmointi yksinkertaistuisi ja robottisovellukseen saataisiin toimintavarmuutta. Robottiin täysin integroitava 3D- konenäköjärjestelmä olisi toiminnaltaan ihanteellisin lavalta poiminta- robottisovellukseen.

3.3.2 2D- tekniikka

2D- kamerajärjestelmiä toimeksiantajayrityksellä on useita eri variaatioita ja nämä järjestelmät ovat todettu toimiviksi, kukin omilla haasteillaan. Tämän solun kaltaisissa lavalta poiminta sovelluksissa on käytetty enemmän 2D- kamerajärjestelmiä ja toimintamallit ovat olleet samankaltaisia. Tämän työn robottisolun tunnistussovelluksessa yhtenä ongelmana 2D- tekniikkaa käytettäessä on kappaleiden tunnistus monesta eri kerroksesta. Tämä lisää vaatimuksia käytettävään konenäköohjelmistoon, jossa pitää olla mahdollisuus kalibroida eri tunnistustasoja. Esimerkkinä tällaisessa tapauksessa 2D- tekniikassa solun operaattorille jää tehtäväksi kertoa kappalemäärä ja kerroksien määrä järjestelmälle, jolloin laskennan avulla robotti saa syvyystiedon kappaleen poiminnasta sille määritetystä kalibrointitasosta. Tällöin 2D- järjestelmän kalibroituavuus eri syvyyksille nousee tärkeäksi ominaisuudeksi. Kun toimintamalli on selvä ja siitä ei poiketa, 2D- kamerat riittävät kappaleiden poimintasovelluksiin. 3D-tekniikka poistaa tämänlaisen tasojen kalibrointiongelman.

2D- kameroita käytettäessä on varmistettava, että kameran FOV:n reunojen alueelta syntyvää paikoitusvirhettä vältetään. 2D- kamerajärjestelmiä halutaan sisällyttää vaihtoehtoihin, mikäli kyseisellä tekniikalla sovellus on järkevästi toteutettavissa. Toimiva 2D- konenäkö on huomattavasti halvempi ratkaisu verrattuna 3D- konenäköön.

3.3.3 Konenäön lisävalaistus

Valaistusratkaisuna poimintasovelluksissa löytyy kokemusta suorasta kohdeva-
laistuksesta LED- paneeleilla, joissa valo diffusoidaan. Diffusoitu valo hajoaa ta-
saisesti ja vähentää tarkastettavassa kappaleessa syntyviä heijastuksia. (OEM
2023) Tämä valaistustekniikka on todettu toimivaksi, mutta kaikissa konenäköso-
velluksissa kyseinen valaistustekniikka ei samoilla asennustavoilla ole optimaali-
nen kappaleiden koneistettujen pintojen ja niiden öljyisyyden takia. Myös tämän
lisävalaistustekniikan hyvänä ominaisuutena on kiinteistön valaistuksen kumoa-
minen, jolloin valaistus konenäkösovellukseen vakioituisi. Tämän työn robotti-
solussa käsiteltävät hammaspyörät ovat lämpökäsiteltyjä, joten hammaspyörän
pinnat ovat tummia ja eivät luo voimakkaita heijastuksia konenäössä käytettä-
västä valaistuksesta. Kuvassa 4 nähdään esimerkki konenäön lisävalaistuksesta
LED- paneeleilla.



KUVA 4. Esimerkki konenäön lisävalaistuksesta diffusoiduilla LED-paneeleilla.

Konenäköjärjestelmän valintaa vertaillaan taulukossa 2 olevien kriteereiden
avulla. Arvostelukriteerit ovat valittu konenäköjärjestelmien vaatimusmäärittely-
jen mukaan. Arvostelukriteereihin valittiin ominaisuuksia, joista syntyy järjestel-
mien välillä eroja.

TAULUKKO 2. Konenäköjärjestelmien kriteerien painoarvot

Arvostelukriteeri	Painoarvo
Järjestelmän integroitavuus	50 %
Tunnistustyökalujen muokattavuus	30 %
Hankintahinta	20 %
Yhteensä	100 %

3.4 Ohjausjärjestelmä ja turva-automatiikka

Robottisolun ohjausjärjestelmän vaatimuksina on, että käytettävän PLC:n valmistaja on Siemens tai Beckhoff. Kyseisiin PLC:n valmistajiin on toimeksiantajalla valmiutta niiden ylläpitoon sekä varaosia on saatavilla entuudestaan. Käytettävän PLC:n moduulikorteilla pitää olla kohtuullinen määrä ylimääräisiä signaalipaikkoja, mahdollisien muutoksien lisäysten varalle.

Tässä työssä käsiteltävän solun turva-automatiikan modernisoinnissa pitää ottaa huomioon solun kokoluokka eli turvatoimintojen määrä. Turva-automatiikka voidaan toteuttaa käyttäen turvalogiikkaa tai turvareleitä tai niiden yhdistelmää. Turvalogiikalla voidaan yksinkertaistaa turvallistamisen kokonaissuunnittelua ja tarvittavaa tukea, riippuen sovelluksen monimutkaisuudesta ja tarvittavan ohjausjärjestelmän koosta. Turvalogiikkaa voidaan uudelleen käyttää uusissa sovelluksissa ja se on helposti ohjelmallisesti muutettavissa.

Robottisolun turvallistaminen halutaan toteuttaa käyttäen turvalogiikkaa. Toimeksiantajan uusissa robottisovelluksissa on pyritty tekemään turvallistaminen turvalogiikan avulla ja tätä menetelmää halutaan käyttää modernisoitavassa robottisolussa. Turvalogiikan käyttö robottisoluissa yksinkertaisesti helpottaa sähkökuvien luettavuutta eli esimerkiksi vikatilanteiden selvitys helpottuu helposti luettavien sähkökuvien takia.

Ohjausjärjestelmien ratkaisujen valintaa vertaillaan taulukon 3 mukaisen painoarvotaulukon avulla. Arvostelukriteerit ovat valittu ohjausjärjestelmien vaatimamäärittelyjen mukaan.

TAULUKKO 3. Ohjausjärjestelmän kriteerien painoarvot

Arvostelukriteeri	Painoarvo
Ohjelmointialustan ylläpitovalmiudet	50 %
Varaosien ylläpito	40 %
Hankintahinta	10 %
Yhteensä	100 %

3.5 Tulo- ja lähtöpalettien turvavaloverho muutos

Robottisolun turvakomponentteja vaihdetaan uusiin ja turvallisuusratkaisut muuttuvat, joten on katsottava, että robottisolun turvallisuus päivitetään nykyaikaisten vaatimusten mukaisesti. Muokkauksia tehdessä robottisoluun on tehtävä riskien arviointi uudelleen. Mikäli muokkaukset ovat suuruusluokaltaan huomattavia, voidaan robottisolu katsoa uudeksi koneeksi. (Teollisuuden robotiikka 2023, 87) Solun lavojen lastauksen liukuovet poistuvat ja tilalle tulevat turvavaloverhot. Turvavaloverhojen sijoituksessa huomioon on otettava nykyiset standardit. Erilliselle käyntiovelle ei ole tarvetta, kun soluun pääsy tapahtuu uudessa modernisoidussa solussa valoverhojen kautta.

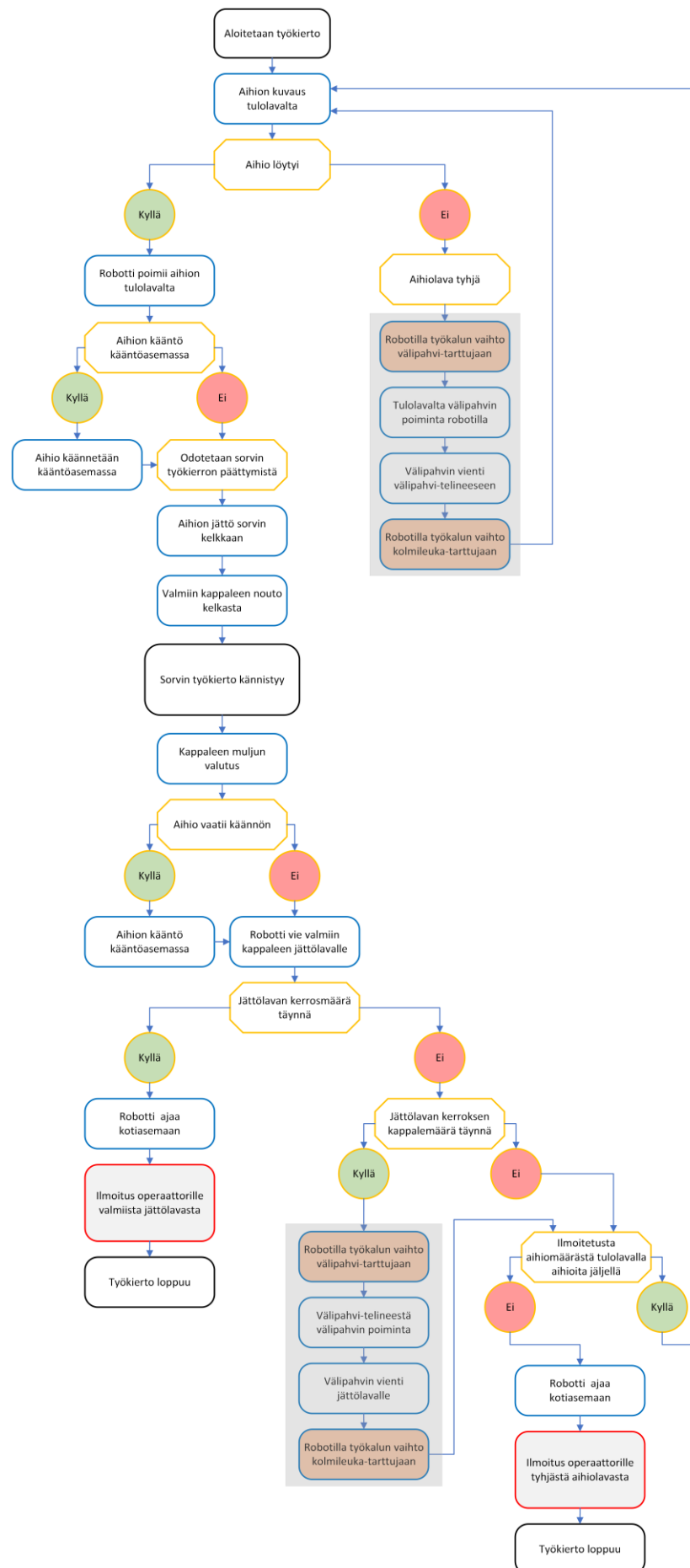
3.6 Toiminnankuvaus

Soluun asetetaan aihiolava, jossa työstettävät aihiot ovat yhdessä tai useammassa kerroksessa. Käyttöliittymästä valitaan solussa työstettävä tuote, jonka perusteella konenäkö osaa etsiä oikeaa piirrettä aihioista. Solun toiminnankuvaus voi eri konenäkötekniikoilla olla erilainen, mutta pääasiassa solun työkierto tulee olemaan seuraavan kuvauksen mukainen.

Työkierto alkaa aihiolavan kuvaamisella, jossa katsotaan, löytyykö aihiolavalta tuotteita. Kun aihio löytyy, robotti poimii aihiolavalta aihion ja vie sen sorvin kelkkaan. Sorville vietäessä robottisolun työkierto riippuu työstettävästä hammaspyörätuotteesta. Osa hammaspyöristä vaatii työ kierrossa käännön ennen sorviin laittoa, ja käännön sorvista poiston jälkeen, jotta se jatkaa tuotannossa matkaansa optimaalisella tavalla.

Sorvin kelkassa on paikka ahiokappaleelle ja valmiille kappaleelle. Sen jälkeen, kun robotti on jättänyt aihion kelkkaan, se noutaa valmiin kappaleen kelkan toisesta työkappalepaikasta, mikäli kyseessä ei ole sarjan ensimmäinen kappale. Kelkasta kappaleen noudon jälkeen alkaa sorvin työkierto, ja tällä välin robotti vie valmiin kappaleen lähtölavalle. Kappaleiden lavaus lähtölavalle voidaan tehdä ohjelmallisesti. Kappaleen jätön jälkeen robotin työkierto lähtee alusta eli tapahtuu tulolavan kuvaus ja jälleen aihion poiminta. Keskimääräinen työstöaika sorvilla on 60 sekuntia, jonka aikana robotti jättänyt valmiin kappaleen ja noutanut uuden kappaleen.

Tulolavan ahiokappaleet ovat aseteltuna lavalle tiheästi. Lähtölavalle valmiit kappaleet asetellaan robotilla ohjelmallisesti eli väljemmin kuin tulolavan aihiot. Valmiiden kappaleiden asetus lähtölavalle tehdään väljemmin, jotta turhia törmäyksiä ei tapahdu. Tämä tarkoittaa, että tulo- ja lähtölava tyhjenee/valmistuu eri aikaan, jolloin konepalvelusolu tarvitsee käyttäjän huomiota kummissakin tilanteissa. Konepalvelusolun työkierto on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Robottisolun työkierron kaavio

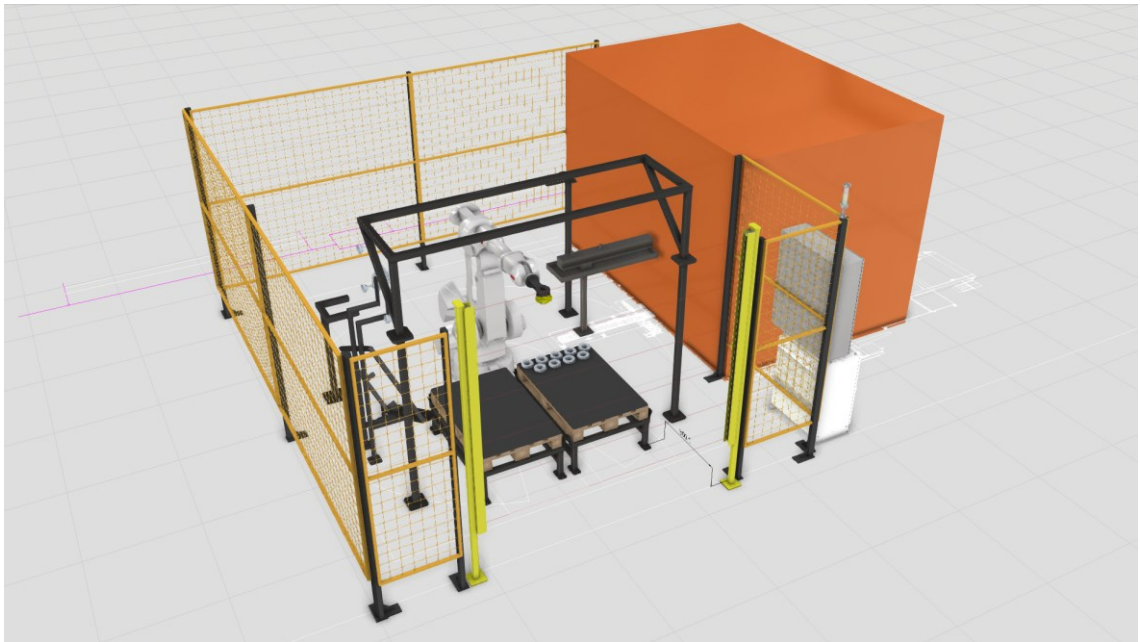
4 ESISUUNNITTELUN RATKAISUEHDOTUKSET

Modernisointiprosessista halutaan tehdä pohjaa myös tulevaisuudessa päivitettäviin robottisoluihin, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain yhden solun modernisointiin. On suuri etu, jos modernisointien toteutustavat ovat samanlaisia keskenään, niin tehtaan kunnossapidolle, solun operaattoreille, kuin tulevien robottisolujen suunnittelulle sekä vastaaville modernisointiprojekteille. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tehdyt ratkaisuehdotukset modernisoitavalle robottisolulle.

4.1 Uusi layout

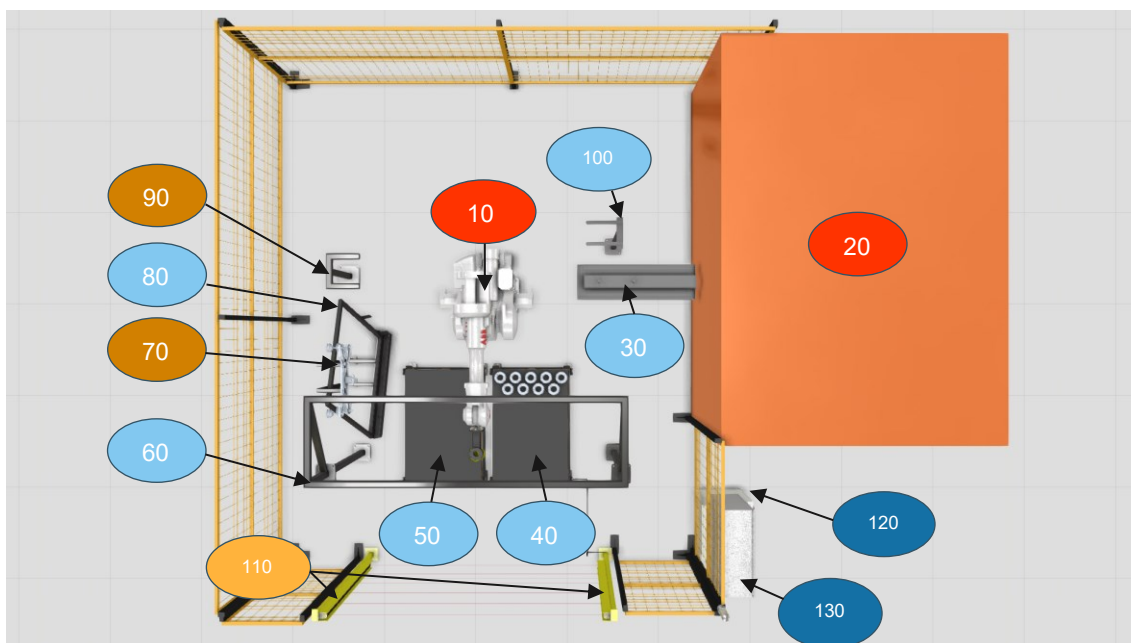
Kuvassa 5 nähdään esisuunnitellun solun 3D-layout. Solun layout piirustukset laadittiin Visual Components- ohjelmalla. Esisuunnitteluvaiheessa layout-piirustuksen tarkoituksena on antaa visuaalinen hahmotelma uudesta modernisoidusta solusta. Robotin, tulo- ja lähtöpalettien sekä sorvin paikka pidettiin entisellään. Mikäli edellä mainittujen laitteiden paikkoja vaihdetaan toisiinsa nähden, on syytä simuloida robotin liikkeet uudestaan, jotta liikkeet todetaan mahdollisiksi ja vältetään robotin akseleiden mahdolliset singulariteetit. Uudistuksia layout- mallissa on seuraavanlaisia:

- Turvavaloverhot tulo- ja lähtöpaletteille
- Kamerateline, jossa kameran maksimi etäisyys kuvattavasta kappaleesta 2500 mm
- Robotin työkaluteline kolmileukatarttujalle
- Robotin työkaluteline välipahvitarttujalle
- Robotin- ja solun ohjauskaapin sijainti



KUVA 5. Esisuunniteltu 3D- layout

Uudessa layout- esisuunnittelussa on käytetty ABB:n IRB 4400-60 manipulaattoria, joka on vastaa tämänhetkistä robottia. Esisuunnittelussa on käytetty ennestään suunniteltuja malleja, esimerkiksi tulo- ja lähtöpalettien asemat, kamerate-line, välipahviteline sekä robotin työkalujen telineet. Konenäkökameroita valais-tuksineen ei ole lisätty 3D-layouttiin, sillä varmuutta konenäköjärjestelmän koko-naisuudesta ei tässä vaiheessa ole. Kuvassa 6 voidaan nähdä esisuunnitellun 3D- layoutin laitteet positiolla ja positiot voidaan nähdä taulukosta 4.



KUVA 6. Esisuunniteltu 3D-layout positioilla

TAULUKKO 4. Laitepositiot

Positio	Laite
10	Robotti
20	EMAG VSC 400 DDS
30	EMAG Shuttle "kelkka"
40	Tulopaletti
50	Lähtöpaletti
60	Kamerateline
70	Välipahvitarttuja-teline
80	Välipahviteline
90	Kolmileukatarttuja-teline
100	Kääntöasema
110	Turvavaloverhot
120	Robotin ohjauskaappi
130	Solun ohjauskeskus

4.1.1 Turvaloverhojen sijoitus

Tämän työn esisuunnittelussa halutaan ottaa kantaa modernisoinnin myötä tulevaan turvaloverhomuutokseen. Aina ensimmäisenä turvallisuusratkaisuja mietittäessä tehtäisiin riskienarviointi käyttäen SFS-EN ISO 12100 standardia, mutta tässä työssä käsitellään vain tulo- ja lähtöpalettien turvaloverhojen valintaa sekä asennuspaikkaa eli vaaravyöhykkeeseen tarvittavan vähimmäisetäisyyden esimerkkilaskenta, käyttäen esimerkkivaaratilannetta. Kaikkia laskennassa käytettäviä arvoja ei tiedetä tässä esisuunnittelu vaiheessa, joten esimerkkilaskennassa käytetään arvioituja arvoja.

Standardissa SFS-EN ISO 13855 käsitellään suojausteknisten laitteiden sijoitusta ja kyseistä standardia noudatetaan turvaloverhojen sijoituksessa. Robotisoluun sopiviksi turvaloverhoiksi valitaan Sickin deTec2 Core 30/1350, jossa on 1350 mm suojakentän korkeus ja 30 mm resoluutio (Sick 2024). SFS-EN ISO 13855 standardin mukaan turvalaitteen alimman valonsäteen on oltava ≤ 300 mm, jolloin estetään turvaloverhon alittaminen (SFS-EN ISO 13855, 26). Myös ylimmän säteen täytyy olla ≥ 900 mm, jolloin estetään valoverhon ylitseastuminen (SFS-EN ISO 13855, 28).

Esimerkkilaskennassa käytetään tilannetta, jossa on vaaratilanne kuljettaessa turvaloverhojen läpi ja ensimmäinen vaara on sormien puristuminen robotin tarttujan ja palettien väliin. SFS-EN ISO 13855 standardin mukaan tilanteessa käytetään laskennan menetelmää, jossa turvaloverho havaitsee kappaleen, jonka halkaisija on ≤ 40 mm. Tämä tarkoittaa, että turvaloverhon resoluutio on oltava yhtä suuri tai pienempi kuin 40 mm. Vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyys S on

$$S = (K \cdot T) + C, \quad (1)$$

jossa K on kehon tai kehonosien lähestymisnopeus, T on järjestelmän kokonaispysähtymisaika ja C on kehonosan lähestymisetäisyys. Lähestymisetäisyys C saadaan kaavalla 2

$$C = 8(d - 14), \quad (2)$$

jossa d on turvavaloverhon resoluutio. Kaavat 1 ja 2 yhdistämällä, saadaan vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyys S laskettua kaavalla 3.

$$S = (K \cdot T) + 8(d - 14) \quad (3)$$

Vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyyden laskennassa kehonosien lähestymisnopeuden K arvona käytetään 2000 mm/s. Järjestelmän kokonaispysähtymisaika syntyy tässä sovelluksessa käytettävien laitteiden vasteajoista, jotka koostuvat turvavaloverhosta, turva PLC:n ohjelmakierrosta, turvatietojen rajapinnassa käytettävästä turvareleestä sekä robotista. Vasteaika robotilla riippuu robotin liikkeistä, eli pienemmillä akselien liikenopeuksilla vasteaika robotilla on pienempi, jolloin vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyys on myös pienempi. Käytettäviä laitteita ei tiedetä tässä esisuunnittelun vaiheessa, joten järjestelmän kokonaispysähtymisaika arvioidaan olevan 0,35 sekuntia. Esimerkkilaskennan vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyydeksi saadaan kaavalla (3)

$$S = \left(2000 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,35 \text{ s} \right) + 8(30 \text{ mm} - 14) = 828 \text{ mm}.$$

SFS-EN ISO 13855 standardissa on maininta, että mikäli kaavan (3) mukaisen laskennan tulos on suurempi kuin 500 mm, niin kaavassa käytetään kehonosien lähestymisnopeuden K arvona 1600 mm/s, jolloin vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyydestä saadaan

$$S = \left(1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,35 \text{ s} \right) + 8(30 \text{ mm} - 14) = 688 \text{ mm}.$$

Tämän esimerkkilaskennan mukaan turvavaloverhot asennettaisiin vähintään 688 mm etäisyyden päähän tulo- ja lähtöpaaleista. Tätä esimerkkilaskentaa voidaan hyödyntää varsinaisessa layout-suunnittelussa, kun tiedetään käytettävät komponentit ja robotti.

4.2 Robottivaihtoehdot

Seuraavaksi käydään läpi esisuunnittelussa käsittelyyn otettuja robottivaihtoehtoja. Todennäköisesti kaikilla vastaavilla roboteilla saataisiin toteutettua robottisolun modernisointi robotin osalta, mutta vaatimuksien mukaan sopivia vaihtoehtoja otettiin käsittelyyn kolmelta eri valmistajalta. Käsittelyyn otettiin toimeksiantajalla käytössä olevien robottimerkkien vaihtoehdot sekä yksi vaihtoehto, jota ei aiemmin ole ollut käytössä.

Käsiteltävien robottien mallit ovat kokoluokaltaan optimaalisimmat, mutta robottisovellukseen käy myös seuraavan kokoluokan vaihtoehdot, mikäli modernisointi vaatii nopeampaa aikataulua ja saatavilla ei olisi optimaalisinta vaihtoehtoa. Roboteilla saattaa olla pitkäkin toimitusaika, jolloin modernisointiprojektin toteuttaminen nopealla aikataululla on haastavaa ja vaihtoehtoiset ratkaisut pitää ottaa huomioon. Robotin valinnasta tehdään painoarvotaulukko, jotta saadaan tehtyä konkreettista vertailua vaihtoehtojen välillä. Painarvotaulukko esitellään robottivaihtoehtojen esittelyjen jälkeen omassa kappaleessaan.

4.2.1 Fanuc M-710iC/50

Toimeksiantajayrityksellä löytyy useita robottisoluja, joissa on käytetty Fanucin robotteja, minkä vuoksi vaihtoehto halutaan esisuunnitteluun. Modernisoitavan solun tuotantolinjan operaattorit jouduttaisiin Fanucin ratkaisun myötä kouluttamaan Fanucin robottialustalle mahdollisten virhetilanteiden poistamiseksi. Fanucin vaihtoehto valittavaksi robotiksi on hyvä toimeksiantajayritykselle, kun järjestelmä on tuttu ja sen ylläpitämiseen löytyy koulutettua henkilökuntaa.

Uudeksi robotiksi sopisi Fanuc M-710iC/50 (kuva 7) teollisuusrobotti. Se on 6-akselinen, sen ulottuma on 2050 mm ja se pystyy käsittelemään 50 kg työkuorman (liite 2. Fanuc M-710iC/50). Kyseinen robotin manipulaattori sopii hyvin fyysisiltä ominaisuuksiltaan sovellukseen. Robotin kontrolleriksi sopii hyvin ominaisuuksiltaan R-30iB PLUS, A-tyyppin kaapilla, mikä toimii Fanucin vakiokontrollereinä. Kontrolleriksi on mahdollisuus valita myös B-tyyppin kaappi, jossa on enemmän tilaa lisävahvistimille ja mahdollisille lisä I/O moduuleille. (Fanuc R-30iB Plus controller, 2024)

Fanucin roboteissa on mahdollisuus laajennettavaan turvaohjelmaan, joka on Fanucin roboteissa Dual Check Safety eli DCS. Kyseisellä ohjelmalla saadaan esimerkiksi pienennettyä robotin työskentelyaluetta, luoda eri turva-alueita robotille ja yleisesti laajennettua turvatoimintoja. (Fanuc n.d.) Kyseinen turvaohjelma on oleellinen, jos esimerkiksi robotin työskentelyaluetta joudutaan rajoittamaan.



KUVA 7. Fanuc M-710iC/50 (Fanuc 2024)

4.2.2 ABB IRB 4600/60

ABB:n vaihtoehto uudeksi robotiksi on hyvä, koska se on tuttu robottisolun käyttäjille. Käyttäjien työnkuvaan kuuluu virhetilanteiden poistaminen robottisolussa, joten tutusta robottialustasta olisi hyötyä. Toimeksiantaja yrityksellä on ABB:n roboteista paljon kokemusta, joten niiden ylläpito on tuttua ja sujuvaa.

ABB:lla on vaihtoehto 4400 sarjan robotille, joka on 6-akselinen IRB 4400/60, jossa on 1,95 metrin ulottuma ja maksimi työkuorma on 60 kg (ABB IRB 4400, 11). IRB 4400/60 on vastaava robotin manipulaattorin malli, joka robottisolussa on tällä hetkellä käytössä. ABB:lla on poistunut valikoimasta IRB 4400/45 malli, joka on korvattu IRB 4400/60 mallilla.

ABB:n suositus valittavaksi robotiksi olisi edellä mainitun robotin uudemman sarjan malli IRB 4600/60 (kuva 8), koska se on edullisempi ja uudempi volyymimalli. IRB 4600/60 malli on 6-akselinen ja sen ulottuma on 2,05 metriä ja maksimi työkuorma on 60 kg eli teknisiltä ominaisuuksiltaan vastaava kuin IRB 4400/60. IRB 4600 sarjasta löytyy myös 45 kg työkuorman käsittelevä robotti, joka myös on potentiaalinen vaihtoehto. (liite 3. ABB IRB 4600/60)

Vaihtoehto kontrolleriksi on IRC5 Single cabinet, ja kyseisessä kontrollerin kaapissa on tilaa mahdollisille optioille, jossa on esimerkiksi mahdollisuus lisätä optioina lisä- I/O:ta (ABB IRC5 2023, 68). Kontrolleri valinnaksi on myös saatavilla uudistettu vaihtoehto OmniCore V250XT, joka nopeampi, ominaisuuksiltaan laajempi ja 20 prosenttia energiatehokkaampi, verrattuna IRC5- sarjan kontrolleihin (ABB 2021, 2).

ABB:n robottien laajempaan turvallisuuteen on turvaohjelma nimeltä SafeMove, jolla voidaan rajata robotin työskentelyaluetta, mikäli robottisolun kokoa joudutaan pienentämään (SafeMove, n.d). Kyseistä ohjelmaa voidaan käyttää, mikäli robottisoluun halutaan lisätä turvallisuustoimintoja.



KUVA 8. IRB 4600 (ABB 2024)

4.2.3 KUKA KR 50 R2100

Työssä otettiin myös KUKA- teollisuusrobotin vaihtoehto käsittelyyn, jotka toimeksiantajayrityksellä ei ole ollut käytössä ennestään. KUKA on saksalainen teollisuusrobottien ja automaation valmistaja ja varteen otettava vaihtoehto robotin valinnalle. Vaikka robotin valinta päättyisi tuttuihin teollisuusrobotti- valmistajiin, on tärkeää pysyä kartalla vaihtoehtoisista teollisuusroboteista.

KUKA robottien KR IONTEC- sarjan roboteista KR 50 R2100 (kuva 9) olisi soveltuva teknisiltä tiedoiltaan modernisoitavaan robottisoluun. Robotti on mitoitettu 50 kg työkuormalle ja maksimi ulottuma on ilmoitettu olevan 2101 mm. Tämä teollisuusrobotti sopii normaaliin teollisuusympäristöön, mutta sarjasta on saatavilla myös malleja, jotka sopivat puhtaaseen tilaan sekä elintarviketeollisuuden ympäristöön. (KUKA KR 50 R2100, 2023)

Tähän KUKA:n robottiin kontrolleriksi valikoituisi joko KR C5 tai KR C4. Yleisesti C5 on uudempi versio kontrollerista, jolla on parempi suorituskyky ja omaa enemmän uusia ominaisuuksia, verraten C4- kontrolleriin (KUKA KR C5, 2024).

KUKA roboteissa laajempaan turvallisuuteen on mahdollisuus käyttää turvaohjelmaa nimeltä KUKA.SafeOperation, jolla onnistuu robotin työskentelyalueen rajaaminen ja turva-alueiden lisääminen (KUKA.SafeOperation n.d.).



KUVA 9. KUKA KR 50 R2100 (KUKA 2024)

4.2.4 Robotin valinnan painoarvotaulukko

Robotin valintaa arvioidaan vaatimusmäärittelyssä tehtyjen vaatimuksien mukaan. Kaikissa ratkaisuehdotuksien roboteissa huomattiin olevan samat toiminnot ja ominaisuudet ja taulukon 5 mukaan nähdään, että erot syntyvät hankintahinnasta ja operaattorien käytettävyydestä. Robotin hankintahinnan vertailu perustuu karkeaan arvioon toimeksiantajalta saatujen tietojen mukaan. Taulukosta nähdään, että ABB:n robotti on näillä vaatimuksilla paras vaihtoehto ratkaisuehdotukseksi.

TAULUKKO 5. Robotin valinnan painoarvotaulukko

	Käytettävyys operaattorien näkökannalta (30%)	Robottiohjelmoijien valmiudet (50%)	Hankintahinta (20%)	Pisteet
Fanuc	4	5	2	4,1
ABB	5	5	1	4,2
KUKA	3	3	3	3

4.3 Konenäköjärjestelmän vaihtoehdot

Konenäkövaihtoehtoihin tutustuttiin tutkimalla vaihtoehtoja internetistä, laitetoimittajien ja robottisoluvalmistajien haastatteluilla sekä keskustelemalla toimeksiantajan oman väen kanssa. Vaihtoehtoja otettiin 2D- ja 3D- konenäköjärjestelmistä ja konenäkötoimittajiksi valittiin maailmanlaajuisia yrityksiä. Läpikäytävistä vaihtoehtoista tehdään painoarvotaulukko, joka auttaa vertailemaan sekä perustelemaan esisuunnittelun ratkaisuehdotusta.

4.3.1 ABB konenäkövaihtoehdot

ABB:lta löytyy konenäköratkaisuja 3D- ja 2D-sovelluksiin. 2D- sovelluksiin tarjotaan Integrated Vision kamerajärjestelmiä ja 3D- sovelluksiin ABB tarjoaa FlexLoader 3D Vision kamerajärjestelmiä. Esisuunnittelussa ABB:n vaihtoehtoista otettiin tarkasteluun 2D- ja 3D- tekniikkaan perustuvat ratkaisut.

Integrated Vision, Cognex In-Sight 7905

Integrated Vision on ABB:n robotteihin integroitava kamerajärjestelmä, joka käyttää Cognexin konenäkökameroita, pääasiassa In-Sight 7000 sarjan älykameroita, mutta mahdollista myös muilla In-Sight kameroilla. Kaikki konenäön ”äly” sijaitsee kamerassa itsessään ja Integrated Vision- järjestelmän ohjelmisto on täysin integroitu ABB:n robottiohjelmointi ympäristöön, RobotStudioon. Konenäön konfigurointiin tarvitsee ainoastaan tietokonetta, ja ABB:n FlexPendantista eli robotin käyttöliittymästä voidaan monitoroida konenäön toimintaa ja tallentaa otettuja kuvia. Integrated Visioniin on mahdollista kytkeä maksimissaan 3 kameraa. (Integrated Vision 2023)

Kyseinen älykamerajärjestelmä on pitkälle integroitu ABB:n robotteihin, eikä vaadi erillistä tietokonetta toimiakseen, mikä on toimeksiantajalle suuri etu robottiohjelmoinnissa ja konenäköjärjestelmän käytettävyydessä. Cognexin kamerrat voidaan yhdistää myös muihin teollisuusrobotti- valmistajien robotteihin, esimerkiksi tämän työn ratkaisuehdotuksissa oleviin Fanuc- tai Kuka- robotteihin.

Integrated Visionin käytössä on Cognex Easybuilder- ohjelmointiympäristö, joka sisältää kaikki samat ominaisuudet, mitä EasyBuilder- ohjelmassa normaalisti on. Rajapinnoissa tapahtuvaan tiedonsiirtoon ja tunnistustyökaluihin päästään myös käsiksi In-Sight Spreadsheet- työkalun avulla, jolla voidaan esimerkiksi määrittää käyttöliittymässä nähtäviä tietoja, tehdä monimutkaisempia loogisia toimenpiteitä sekä tehdä kokonaan räätälöity tunnistusohjelma. (In-Sight EasyBuilder 2015) EasyBuilderissa onnistuu konenäköohjelmien teko yksinkertaisiin sovelluksiin helposti, mutta ohjelma taipuu myös monimutkaisiin operaatioihin, mikä on hyvä ominaisuus tämän työn robottisovelluksessa.

Kappaleiden tunnistuksessa määritetään tunnistettavan alueen koko, joka tässä sovelluksessa on eurolavan kokoinen alue. Kappaleen tunnistukseen voitaisiin esimerkiksi käyttää FindCircle- työkalua, jonka avulla määritetyltä alueelta etsitään hammasratiaan sisäkehä, jolloin saadaan kappaleen geometriset tiedot poimintaa varten. Poimintaa varten tarvitaan myös kappaleen syvyystiedot, jotka saadaan kalibroidulta poimintatasolta. Robottisovelluksessa on useita eri työstet-

täviä hammaspyöriä, jolloin tarvitaan jokaiseen kappaleeseen omat tunnistusohjelmat sekä monta kalibroitua poimintatasoa. Tällaisessa tapauksessa tunnistusohjelmien teossa voi olla hyötyä In-Sight Spreadsheet- työkalusta.

Kyseiseen konenäkösovellukseen soveltuisi In-Sight 7905 5 Mp kamera, jossa on 10–12 mm polttovälillä oleva linssi. Kyseinen kamera yhdistetään ABB:n Integrated Vision järjestelmään ethernetin avulla. Kameraa on saatavilla integroidulla valaisimella tai ilman, mutta kyseiseen konenäkösovellukseen tarvitaan silti vaatimusmäärittelyssä käsitelty konenäön lisävalaistus valaistuksen stabiloimiseksi.

FlexLoader Vision, VisioNerf Cirrus 1200/1600

FlexLoader Vision- on konenäköjärjestelmä, joka ohjaa teollisuusrobotteja erilaisissa materiaalinkäsittelysovelluksissa. Järjestelmän käyttöliittymän kerrotaan olevan markkinoiden helpoimmin käytettävistä. FlexLoader Vision- järjestelmään kuuluu itse ohjelmisto, teollisuustietokone Windowsin käyttöjärjestelmällä, sovellukseen sopiva 2D- tai 3D- kamera ja siihen liittyvät tarvikkeet, kalibrointi- levy ja CE- sertifikaatti. (FlexLoader Vision 2020,1–2)

Flexloader Vision- järjestelmän hyötyjä ja ominaisuuksia ovat

- korkea tarkkuus monimutkaisten kappaleiden tunnistukseen
- yksinkertainen ja intuitiivinen käyttöliittymä
- käyttöliittymässä parametroitu kappaleiden opetus
- kappaleiden opetus CAD- mallista tai kuvasta
- uuden kappaleen opetus alle 10 minuutissa
- esiohjelmoitu robottikoodi nopeuttaa käyttöönottamista
- kommunikointi erilaisten 2D- ja 3D- kameroiden kanssa
- maksimissaan 4 kameran liittäminen järjestelmään
- robotin törmäyksen tarkastus ja ehkäisy
- käyttäjän määrittämien tarttujien tukeminen
- mahdottomien tartuntojen ehkäisy
- monikielinen käyttöliittymä
- järjestelmän yhteensopivuuden testaus sovellukseen ennen hankintapäätöstä (FlexLoader Vision 2020)

FlexLoader Vision- järjestelmässä käytetään 3D-sovelluksissa lähtökohtaisesti VisioNerf Cirrus 3D- kameraa. VisioNerffin Cirrus- kameroiden kuvantamistekniikka perustuu strukturoituun valoon (VisioNerf n.d.). VisioNerffin 3D- kamera- valikoimasta sopiva kamera sovellukseen on tällöin Cirrus 1200, jolla pitäisi onnistua eurolavan kokoisen alueen tunnistus. VisioNerf Cirrus 1200- kameran näkötilavuus nähdään taulukosta 6.

TAULUKKO 6. Cirrus 1200- kameran näkötilavuustaulukko (VOV) (VisioNerf n.d.)

Min. etäisyys kamerasta [mm]	1600
Näkötilavuus alue (VOV) [mm]	1200x1000x1050

FlexLoader- järjestelmän integroitavuus ABB:n teollisuusrobotin kanssa katsotaan hyväksi ominaisuudeksi tässä vaihtoehdossa ja järjestelmän elinikä on varmasti sama mikä teollisuusrobotilla on. Ratkaisuvaihtoehdon valitsemisen edellytyksenä teollisuusrobotin valinnaksi on tultava ABB:n vaihtoehto, sillä järjestelmä on suunniteltu ABB:n robottien ohjaamiseen. Käytettävistä tunnistustyökaluista ei saatu tietoa tähän opinnäytetyöhön.

4.3.2 FANUC iRVision

Fanucilta löytyy sen robotteihin integroitava kamerajärjestelmä iRVision, josta löytyy ratkaisuja 2D ja 3D konenäkösovelluksiin. iRVision on integroitu Fanucin robotin kontrollereihin eli se ei tarvitse erillistä ohjausyksikköä, joka tyypillisesti olisi teollisuustietokone. iRVision- järjestelmä koostuu robotin controllerista, kamerasta ja mahdollisesta optiikasta, kameran kaapelista, kameroiden yhdistäjästä ja mahdollisesta valaistuksesta. (Fanuc 2019, 3) Fanucin kamerajärjestelmien ratkaisuvaihtoehtojen valintaan saatiin apua JTA-Connectionilta. iRVisionin hyviä puolia on, että se on suoraan integroitu Fanucin robotteihin eli konenäköjärjestelmän käyttöikä tulee olemaan sama kuin robotilla, mutta toisaalta järjestelmä rajautuu myös Fanucin robotteihin.

iRVisionin hyötyjä ja ominaisuuksia ovat

- asennus ja käyttö robotin iPendant- ohjauskapulasta tai tietokoneella verkkoselaimesta
- 2D-, 2½D- ja 3D- kuvantamistekniikan tukeminen
- yhteen robotin kontrolleriin jopa 27 kameraa liitettävissä
- kappaleiden opetus CAD-mallista tai kuvasta
- laaja määrä tunnistustyökaluja erilaisiin prosesseihin
- prosessin simulointi ROBOGUIDE ohjelmassa ennen hankintapäätöstä

iRVision 2D

2D ratkaisuun kameraksi valikoituisi 1.3 Mp kamera ja oikealla optiikalla kameran tarkkuus ja näköalue (FOV) saataisiin sopivaksi sovellukseen. Kappaleiden tunnistusprosessiin on iRVision- ohjelmassa valmis menetelmä nimeltä ”Depalletizing Vision Process”, jossa tunnistetaan kappaleen geometrinen sijaintitietojen (X, Y, R) lisäksi syvyysmitta (Z). Syvyysmitta saadaan laskettua otetun kuvan perusteella, ja menetelmään liittyy muutamia huomioita, esimerkiksi mitä kauempana kuvattava kappale on, sitä epätarkempi syvyysmitan laskenta on. (Fanuc 2017, 77–79) Tämän kyseisen tunnistusmenetelmän toimiessa oikealla tavalla ja riittävällä tarkkuudella, poistetaan 3D- tunnistustekniikan tarve sekä tehtäisiin selkeä säästö solun modernisoinnissa.

Toinen käytettävä tunnistusmenetelmä välipahvien tunnistukseen on ”2D Single-View Vision Process”, jossa tunnistetaan välipahvien reunat välipahvien tartuntaa varten. Tässä menetelmässä saadaan kappaleen X ja Y sijaintitiedot sekä kappaleen suuntatieto R. Tämän tunnistusmenetelmän asetuksia käytetään myös hyväksi muissa tunnistusmenetelmissä. (Fanuc 2017, 23) Kaikki tunnistettavat kappaleet opetetaan järjestelmälle kameralla otetuista kuvista. Kameralla pitäisi tehdä testi, jossa todennetaan tunnistustyökalujen toimivuus kyseiseen sovellukseen. 2D- kameraa käytettäessä syvyystiedon saaminen riittävän tarkasti on haastavaa, koska tämän robottisolun kappaleen purkusovelluksessa kappaleet ovat monessa eri kerroksessa. Kyseistä kameraa käytettäessä pitäisi käyttää myös vaatimusmäärittelyssä esiteltyä konenäön lisävalaistusta, jolloin stabiloidaan tunnistussovelluksen valaistus.

iRVision 3DV/1600

3D ratkaisuun sopivaksi kameraksi valikoituisi 3DV/1600, jonka kuvantamistekniikka perustuu strukturoituun valoon. Kyseisen kameran tunnistusalue soveltuu hyvin eurolavan kokoisen alueen tunnistukseen ja kameran näkötilavuuden arvot voidaan nähdä taulukosta 7.

TAULUKKO 7. 3DV/1600- kameran näkötilavuustaulukko (VOV) (Fanuc 2021, 2)

Min. etäisyys kamerasta [mm]	1448
Max. etäisyys kamerasta [mm]	3448
Kuvausalue min. etäisyydellä [mm]	1299x1223
Kuvausalue max. etäisyydellä [mm]	3258x2843

Kappaleiden tunnistusprosessi on mahdollinen ”3DV Single-View Vision Process” menetelmällä, jolla saadaan kappaleiden kolmiulotteiset sijaintitiedot, mutta iRVision- ohjelmassa on lukuisia eri menetelmiä ja työkaluja, jolla hammaspyörien tunnistus on mahdollista. Välipahvien tunnistukseen käytettäisiin ”2D Single-View Vision Process” menetelmää, jossa tunnistettaisiin välipahvin reunat. Välipahvien tunnistukseen ei vaadittaisi 3D- tekniikkaa, mutta Fanucin 3DV kameraa voidaan käyttää myös 2D kuvantamis- prosesseihin. (Fanuc 2017) Kyseisellä kameralla pitäisi tehdä testauksia, jotta saadaan varmuus sen suorituskyvystä kappaleiden tunnistukseen kappaleen purkusovelluksessa.

4.3.3 SICK konenäkövaihtoehdot

Sick tarjoaa räätälöityjä konenäköratkaisuja robottisovelluksiin, laadunvalvontaan ja esimerkiksi paikoitussovelluksiin. Sickin kamerajärjestelmät ovat yhdistettävissä tämän työn ratkaisuehdotuksissa oleviin robotteihin. Sickin vaihtoehdot konenäköratkaisuun ovat kilpailukykyisiä sen vankan ohjelmiston, laitteiston ylläpidon ja helposti käytettävän konenäköohjelmiston myötä. (Sick 2020)

Työssä otettiin tarkasteluun Sickin konenäköratkaisut, ja sopivat vaihtoehdot saatiin sekä 3D- että 2D kameroista. Konenäkö- ratkaisuja päästiin testaamaan Sickin kanssa heidän toimipisteellään sopivilla mallikappaleilla. Testaukset tehtiin PLOC2D- ja PLB- sarjan kameroilla, jolloin nähtiin yleiskuva koko konenäköjär-

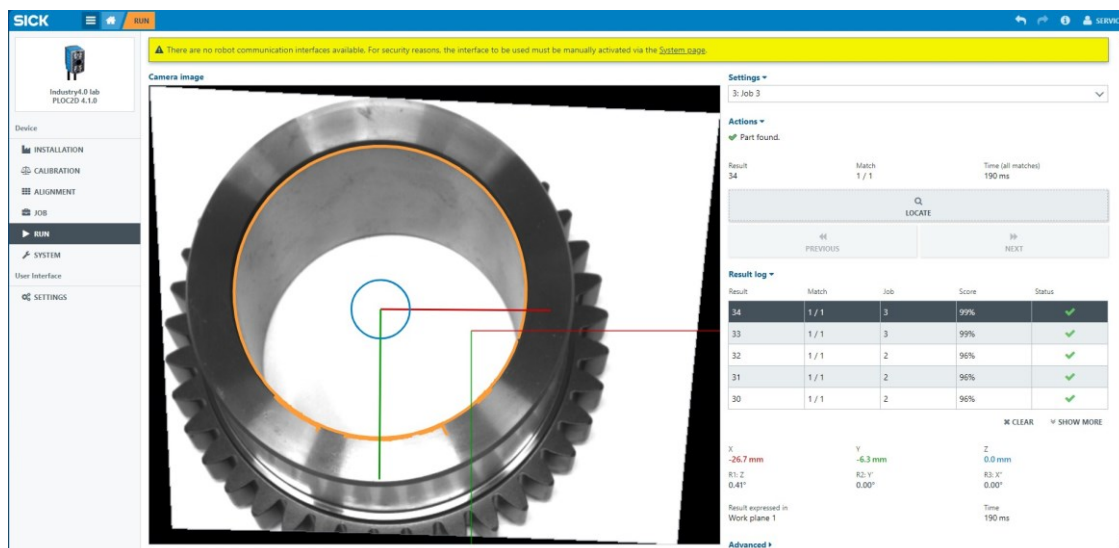
jestelmästä, kappaleiden opetus sekä tunnistustyökalujen säätäminen. Esisuunnitteluun ei vaadittu kamerajärjestelmien demotestien tekemistä, mutta Sickin kanssa oli mahdollisuus demotestien tekemiseen nopealla aikataululla.

2D Konenäkö PLOC2D-2000

Sickin suositus valittavaksi 2D- kameraksi on PLOC2D-2000 älykamera, jossa on 4,2 Mp tarkkuus. Kamerassa on integroitu valaistus, mutta tämän työn konenäkösovellukseen tarvitaan myös vaatimusmäärittelyssä mainittu konenäön lisävalaistus, jolla vakioidaan konenäön tunnistusolosuhteet. Kamera ei tarvitse erillistä tietokonetta toimiakseen, vaan kameraan on integroituna ohjelmisto ja kaikki toiminnot. (Sick n.d.)

Tietokonetta tarvitaan ainoastaan konfiguroinnissa eli kameran käyttöliittymä on verkkopalvelimessa, jossa tehdään kappaleiden opetukset sekä tunnistustyökalujen säädöt. Kamera on integroitavissa ABB:n, Fanucin ja Kukan robotteihin käyttämällä niille kohdistettuja ohjelmointikirjastoja. Kamerajärjestelmän voi yhdistää robotin tai erillisen PLC:n kanssa ethernetin välityksellä (TCP/IP), Profinet- tai Ethernet/IP- kenttäväylän välityksellä. (Sick n.d.)

PLOC2D- kameran demotesti tehtiin kameran yhdellä variantilla käyttäen testikappaletta. Testissä käytiin läpi yleisesti kappaleen opetus ja tunnistusparametrien säätö sekä tämän jälkeen tunnistustuloksien tarkistus. Testin tunnistustulos voidaan nähdä kuvasta 10. Demotestissä ei käy ilmi, onnistuuko kappaleiden tunnistus kerroksissa, eli soveltuvuutta sovellukseen ei voida tässä kohtaa täysin taata. Sickillä on mahdollisuus kuitenkin testata konenäkökameran toimivuutta ennen hankintapäätöstä.



KUVA 10. PLOC2D- kameran demotesti hammaspyörällä

3D Konenäkö PLB520-L 5Mp

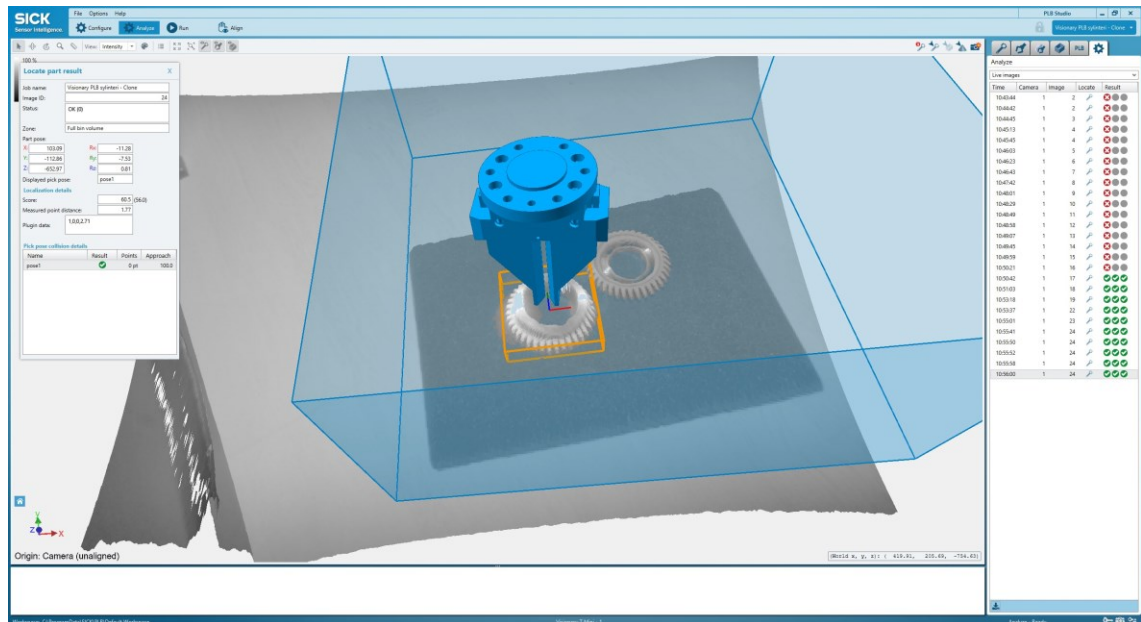
Sickiltä löytyy 3D sovelluksiin PLB- robottiohjausjärjestelmä, jota käytetään kappaleiden purkusovelluksissa (PLB n.d.). Sickin suositus käytettäväksi 3D-kameraksi on PLB520-L 5Mp, jonka näkötilavuus kalibroidaan sovellukseen sopivalle etäisyydelle, jolloin kappaleiden tunnistus tapahtuu kameras näkötilavuuden sisällä. Kameratyyppin merkintä "L" tarkoittaa isoimman kuvaamisalueen omaavaa kameraa ja kameras näkötilavuus nähdään taulukosta 8. (PLB520-L/M/S 2020) Taulukon tietojen perusteella voidaan todeta, että kameralla voidaan kuvata euralavan kokoista aluetta.

TAULUKKO 8. PLB520-L 5MP- kameras näkötilavuustaulukko (VOV)

Min. etäisyys kamerasta [mm]	1900
Max. etäisyys kamerasta [mm]	2900
Kuvausalue min. etäisyydellä [mm]	1300x1200
Kuvausalue max. etäisyydellä [mm]	1800x1800
Näkötilavuus oletusasetuksilla (VOV) [mm]	1300x1200x1000

Kyseisen kameras kuvantamistekniikka perustuu aktiiviseen stereonäköön ja strukturoituun valoon. Sickin PLB- kamerajärjestelmät tarvitsevat toimiakseen teollisuustietokoneen, jossa on asennettuna PLB-ohjelmisto. Sickiltä on saatavilla lisätarvikkeena räätälöity teollisuustietokone PLB-käyttöön. PLB- järjestelmään kappaleet voidaan opettaa CAD- mallista tai kuvasta opettamalla. (PLB520-L 5MP)

PLB- kameran demotesti tehtiin yhdellä PLB- kameralla käyttäen ”Circular Shape plugin” työkalua. Kuten työkalun nimi kertoo, tällaista työkalua käytetään sylinterin muotoisien kappaleiden tunnistukseen. Kappale opetettiin kuvasta ja ohjelmassa tehtiin käytettävän työkalun parametrien säätö tunnistustuloksen optimoimiseksi. Kuvassa 11 nähdään kappaleen tunnistus käyttäen edellä mainittua työkalua.



KUVA 11. PLB- kameran demotesti hammaspyörällä.

4.3.4 Konenäköjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko

Konenäköjärjestelmän valintaa arvioidaan vaatimusmäärittelyssä tehtyjen vaatimuksien mukaan. Valintakriteerin maksimipisteistä vähentyy pisteitä, mikäli toivottu ominaisuus ei täyty kokonaisuudessaan. Järjestelmän integroitavuuden pisteytys riippui integroitavuuden tasosta. Eli järjestelmä, joka on täysin integroitavissa robottiin, on älykamera, joka ei vaadi tietokonetta toimiakseen ja on integroitavissa eri robottivalmistajien robotteihin, saa täydet pisteet. Tunnistustyökalujen muokattavuuden pisteet riippuvat muokattavuuden tasosta. Eli mikäli tunnistustyökaluja päästään muokkaamaan esimerkiksi robotin käyttökapulasta tai konenäköjärjestelmän tietokoneesta, jossa käyttöliittymä on käytettävissä koko ajan, saa paremmat pisteet. Hankintahinnan pisteytys tehtiin 2D- ja 3D- konenäköjärjestelmien välille, jossa on selkeät erot 2D- ja 3D- tekniikan välillä. 3D-

konenäköjärjestelmän hankintahinnat ovat karkeasti arvioituna 3 kertaa kalliimpia verraten 2D- konenäköjärjestelmiin. Hankintahinnan karkeaan arvioon käytettiin toimeksiantajan antamia tietoja.

Painoarvotaulukon (taulukko 9) perusteella Integrated Vision saa isoimmat pisteet. Integrated Vision on integroitavissa kaikkiin tämän työn ratkaisuehdotuksissa oleviin robotteihin ja on täysin integroitu ABB:n robotteihin. Tunnistustyökaluihin päästään käsiksi erikseen kytkettävällä tietokoneella ja 2D- järjestelmän hankintahinta on selkeästi halvempi verrattuna 3D- järjestelmään. Integrated Vision- järjestelmän voi ottaa koekäyttöön, jolloin voidaan testata toimivuus sovelukseen täydellisesti ja mahdollisesti samalla voidaan testata konenäköjärjestelmän soveltuvuutta muihin kappaleentunnistussovelluksiin.

3D-konenäköjärjestelmistä parhaimmat pisteet sai iRVision 3D, koska järjestelmä on täysin integroitu Fanucin robotteihin, ei vaadi PC:tä ja tunnistustyökalujen muokkaus onnistuu robotin ohjauskapulasta tai tietokoneella verkkoselaimesta. Järjestelmän huonona puolena on sen rajautuminen Fanucin robotteihin, jos valittavalla robotilla on merkitystä. Tällaisessa tilanteessa on hyötyä 3. osapuolen konenäköjärjestelmästä, jossa on sopivuus kaikkiin toimeksiantajan robotteihin, eli esimerkiksi ratkaisuehdotuksissa oleva Sickin PLB 3D- konenäköjärjestelmä.

TAULUKKO 9. Konenäköjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko

	Järjestelmän integroitavuus (50%)	Tunnistustyökalujen muokattavuus (30%)	Hankintahinta (20%)	Pisteet
ABB 2D IV	5	4	4	4,5
ABB 3D FL	3	5	1	3,2
iRV 2D	4	5	4	4,3
iRV 3D	4	5	1	3,7
Sick 2D	4	4	4	4
Sick 3D	4	5	1	3,7

4.4 Ohjausjärjestelmä

Robottisolun ohjaukseen tarvitaan erillinen PLC, johon kerätään solun I/O- tiedot. Solun turvatietojen käsittely halutaan tehdä käyttäen turvalogiikkaa, joten samaa PLC:tä käytetään turvatietojen käsittelyyn sekä prosessitietojen käsittelyyn. Konepalvelusolun ohjausjärjestelmä on myös mahdollista rakentaa laajentamalla robottien I/O:ta ja käyttäen robotin kontrolleria solun PLC:nä, mutta robottisolujen ohjausjärjestelmien rakennuksessa pyritään samankaltaisiin järjestelmiin, jolloin solun ohjaukseen käytettävä PLC on tämmöisessä ratkaisussa hyvä erottaa robotista.

Esisuunnittelussa ohjausjärjestelmän suunnitteluun sisällytetään tarvittavan turva I/O:n ja prosessi I/O:n määrän selvitys, jolloin voidaan suunnitella alustavasti tarvittavien I/O- korttien määrä. Vaatimusmäärittelyn mukaisesti ratkaisuvaihtoehtoiksi otettiin PLC:n rakentaminen Siemensin tai Beckhoffin osilla. Näistä ratkaisuvaihtoehtoista tehtiin painoarvotaulukko, joka ohjaa ohjausjärjestelmän valinnan määrittelyssä.

Robottisolun tarvittavan I/O:n määrittelyssä on käytetty hyväksi solun vanhoja sähkökuvia, joiden perusteella arvioitiin tarvittavan I/O:n määrä. Tarvittavan I/O:n määrittelyssä ensiksi tarkastettiin tarvittavien turvatietojen määrä. Modernisoitavan solun turvatiedot käsitellään turvalogiikan avulla ja turvatietojen käsittely laitteiden rajapinnoissa hoidetaan turvareleiden avulla. Alustavat turvatiedot ovat lueteltuna taulukossa 10. Rajapinnoissa tapahtuvaan turvatietojen käsittelyyn tarvitaan alustavien turvatietojen mukaan 3 kappaletta turvareleitä.

TAULUKKO 10. Alustavat turvatiedot

Signaalin tyyppi	Kuvaus
Safe input	Palettien valoverho Ch1
Safe input	Palettien valoverho Ch2
Safe input	Hätäseis Ch1 nappikotelo
Safe input	Hätäseis Ch2 nappikotelo
Safe input	Robotin HS-piiri Ch1
Safe input	Robotin HS-piiri Ch2
Safe input	EMAG HS-piiri Ch1
Safe input	EMAG HS-piiri Ch2
Safe output	EMAG Turva-alue (Turvarele)
Safe output	Robotille HS-piiri (Turvarele)
Safe output	Robotille Turva-alue (Turvarele)

Esisuunnittelun kannalta oleelliset selvitettävät I/O- tiedot prosessipuolelta ovat Emagin rajapintatiedot, sillä modernisoinnissa Emag on ainoa entiselleen jäävä kone. Ohjausjärjestelmään tarvittavat I/O- tiedot Emag- kommunikoinnista on kerätty taulukkoon 11.

TAULUKKO 11. Emag-sorvin rajapintatietoja

Signaalin tyyppi	Kuvaus
Digital input	Aihio kelkassa EMAG
Digital input	Valmis kelkassa EMAG
Digital input	Kpl vaihto lupa EMAG
Digital input	Kpl valmis hylätty EMAG
Digital output	Robotti Ok EMAG
Digital output	Robotti ei alueella/kelkka vapaa EMAG
Digital output	Kappaleen vaihto suoritettu EMAG
Digital output	Tyhjennysajo EMAG

Alustavien turvatietojen ja Emagin kanssa kommunikointiin tarvittavien tietojen perusteella voidaan arvioida tarvittavan I/O:n määrä. Tarvittavan I/O:n määrittämisessä on otettu huomioon kaikki mahdollinen solussa tapahtuva tiedonkäsittely eli myös esimerkiksi robotin työkalutiedot, robotin työkalutelineiden tiedot, solun

ohjaukseen käytettävä painikekotelo ja solun tilan ilmaiseva valomajakka. Taulukossa 12 nähdään konepalvelusolun ohjausjärjestelmään tarvittavan I/O:n määrä.

TAULUKKO 12. Tarvittavan I/O:n määrä solun ohjausjärjestelmässä

Signaalin tyyppi	Määrä (kpl)
Safety input	16
Safety output	4
Digital input	32
Digital output	24

4.4.1 Siemens

Toimeksiantajalla on paljon ohjausjärjestelmiä, joissa on käytetty Siemens- logiikoita ja heillä on hyvät valmiudet Siemensin ohjausjärjestelmien ylläpitoon. Siemens logiikat ovat kalliita, mutta niiden järjestelmien tuntevuus parantaa ja varmentaa tuotannon ylläpitoa.

Siemensin osilla rakennettava ohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa käyttäen esimerkiksi Simatic S7-1200- tai Simatic ET 200SP- sarjan logiikan osia. Tähän projektiin ratkaisuehdotukseksi otettiin Simatic ET 200SP- sarjan logiikka. Siemensin ET 200SP- sarjan logiikka on helposti käyttöönotettava ja käyttäjäystävällinen ratkaisu kompakteihin järjestelmiin. Tehokkaassa logiikassa on mahdollisuus käyttää "fail-safe"- kontrollereita, jolloin voidaan käyttää samassa logiikassa turvalogiikan moduuleja. Sopiva kontrolleri ET 200SP- tuoteperheestä on CPU 1510SP F-1 PN, joka on yhdistettävissä muihin järjestelmiin Profinet- väylän avulla. (Siemens n.d.) Tarvittavan I/O:n perusteella taulukkoon 13 on kerätty tarvittavat moduulit.

TAULUKKO 13. Siemens moduulikokoonpano

Määrä (kpl)	Tuotekoodi	Tuotekuvaus
2	6ES7136-6BA01-0CA0	F-DI 8x24VDC HF, Safety input
1	6ES7136-6DB00-0CA0	F-DQ 4x24VDC/2A PM HF, Safety output
4	6ES7131-6BF01-0BA0	DI 8x24 VDC ST, Digital input
3	6ES7132-6BF01-0AA0	DQ 8x24VDC/0.5A BA, Digital output

4.4.2 Beckhoff

Beckhoffin vaihtoehto robottisolun PLC:n rakentamiseen on myös potentiaalinen, mutta Beckhoffin logiikan ohjelmointiin toimeksiantajayrityksellä ei ole samat valmiudet, mitä Siemensin logiikkaan on. Etuna Beckhoffilla on, että sen logiikan komponentit ovat edullisempia verrattuna Siemensin logiikkaan.

Beckhoffin osilla rakennettavan ohjausjärjestelmän controlleriksi valikoituisi CX9020, joka on kompakti ratkaisu modernisoitavaan robottisoluun. CX9020- logiikasta on olemassa erilaisia controllerin variantteja. Tähän työhön valitaan ratkaisuehdotukseksi Windows- pohjainen variantti, joka on malliltaan CX9020-0115. (Beckhoff n.d) Tähän controlleriin tarvitaan erillinen lisenssimoduuli (EL6070) sekä erillinen turvakommunikaatiomoduli (EL6910). Myös väyläkommunikaatioon tarvitaan oma moduuli ja se riippuu käytettävästä väyläkommunikaatiosta. Ratkaisuehdotus Beckhoffin moduuli kokoonpanosta on esitetty taulukossa 14, joka on tehty tarvittavan I/O:n perusteella.

TAULUKKO 14. Beckhoff moduulikokoonpano

Määrä (kpl)	Tuotekoodi	Tuotekuvaus
1	EL6070	License key terminal
1	EL6910	TwinSAFE Logic
2	EL1918	8-channel digital input, 24 V DC, TwinSAFE
1	EL2904	4-channel digital output, 24 V DC, 0.5 A, TwinSAFE
4	EL1008	8-channel digital input, 24 V DC, 3 ms
3	EL2008	8-channel digital output, 24 V DC, 0.5 A
1	EL6631	2-port communication interface, PROFINET RT

4.4.3 Ohjausjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko

Ohjausjärjestelmän valintaa arvioidaan vaatimusmäärittelyssä tehtyjen vaatimusten mukaan. Toimeksiantajalle Siemens- ohjausjärjestelmät ovat yksinkertaisesti tutumpia ja niiden ylläpitoon on isompi valmius verrattuna Beckhoff- ohjausjärjestelmiin. Taulukon 15 perusteella nähdään Siemensin olevan parempi vaihtoehto kyseisillä vaatimuksilla.

TAULUKKO 15. Ohjausjärjestelmän valinnan painoarvotaulukko

	Ohjelmointialustan ylläpitovalmiudet (50%)	Varaosien ylläpito (40%)	Hankintahinta (10%)	Pisteet
Siemens	5	5	1	4,6
Beckhoff	3	3	4	3,1

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tuotoksesta saatiin toimeksiantajalle materiaalia, jonka avulla toimeksiantaja pystyi laatimaan tarjouspyynnön robottisolun modernisoinnista. Työssä oli käsittelyssä potentiaalisia ratkaisuehdotuksia robotista, konenäköjärjestelmästä ja ohjausjärjestelmästä. Vaatimuksien mukaan tehdyistä painoarvotaulukoista saatiin tehtyä ratkaisuehdotuksien vertailua ja tehtyä lopullinen ratkaisuehdotus modernisointiin. Työssä tehty solun 3D- layout auttaa hahmottamaan robottisolun kokonaiskuvan ja laadittu toiminnallisuuskaavio kertoo robottisolun toiminnan, jota voidaan käyttää hyödyksi robottiohjelmien ja konenäköohjelmien luomisessa. Painoarvotaulukoiden avulla ratkaisuehdotuksia saatiin vertailtua ja niiden tuloksista nähdään yksinkertaisesti potentiaalisin vaihtoehto tämän työn tarkastelussa olleista vaihtoehtoista.

Robotin valinnan ratkaisuehdotus päättyi painoarvotaulukon mukaisesti ABB:n ratkaisuun, joka oli tuttu vaihtoehto robottisolussa, niin operaattoreille kuin robottiohjelmoijille. Robotin valinnassa huomioon nousi myös konenäköjärjestelmän integroitavuus robottiin, jota pidettiin painavimpana kriteerinä konenäköjärjestelmän valinnassa. Ratkaisuehdotus valittavaksi konenäköjärjestelmäksi kohdistui 2D Integrated Vision- järjestelmään, joka on täysin integroitu ABB:n robotteihin. Konenäköjärjestelmän ratkaisuehdotus voidaan ottaa opinnäytetyön jatkokehityskohteeksi, jossa kyseisellä 2D- konenäköjärjestelmällä tehdään testejä opinnäytetyön kaltaiseen kappaleen poiminta- sovellukseen. Myös muita konenäköjärjestelmiä olisi syytä testata, jolloin saadaan lopullinen tieto järjestelmien toimivuudesta kyseisessä kappaleen poiminta- sovelluksessa. Ohjausjärjestelmän ratkaisuehdotukseksi valikoitui Siemens-logiikka, joka oli toimeksiantajalle yksinkertaisesti parhain vaihtoehto järjestelmän ylläpidon kannalta.

Työn ratkaisuehdotukset robotin ja ohjausjärjestelmän valinnan kannalta olivat selkeämpiä verrattuna konenäköjärjestelmän valintaan. Ratkaisuehdotuksissa olevat konenäköjärjestelmät ovat kaikki suuria konenäkötoimittajia, joten valittavan järjestelmän ylläpito olisi taattu pitkälle tulevaisuuteen, jolloin ei kohdattaisi samankaltaista ongelmaa, kuin nykyisen vanhan konenäköjärjestelmän kanssa

on. Toimeksiantaja pystyy tämän opinnäytetyön perusteella keskittymään optimaalisimpaan ratkaisuehdotukseen jatkokehityksessä, konenäköä ajatellessa. Konenäön ratkaisusta voidaan myös pois lukea vaihtoehtoja, joilla ei ole optimaalisinta toteuttaa konenäköä tämän työn kaltaisissa tunnistussovelluksissa. Turvavaloverhomuutoksen vaaravyöhykkeen esimerkkilaskenta oli oleellinen esisuunnittelun kannalta, sillä robottisolun laitteiden positiot saattavat muuttaa paikkaansa tai solun kokoa joudutaan muuttamaan varsinaisessa suunnittelussa, jolloin on syytä laskea vaaravyöhykkeen vähimmäisetäisyys uudelleen.

Opinnäytetyö oli esisuunnittelua robottisolun modernisointiin ja työssä saavutettiin toimeksiantajan vaatimukset työlle onnistuneesti. Työn tuotos ohjaa valitsemaan optimaalisimmat ratkaisut robottisolun modernisointiin sekä auttaa robottisolun varsinaisessa layout- ja sähkösuunnittelussa. Tämän työn tuotosta voidaan käyttää pohjana myös muissa saman kokoluokan ja saman toiminnallisuuden omaavissa koneenpalvelu- robottisoluissa.

LÄHTEET

Korhonen, T. 2022. Komponenttipula ja saatavuushaasteet. Schneider Electric. Blogi-kirjoitus. <https://blog.se.com/fi/teollisuuden-alat/2022/05/komponenttipula-ja-saatavuushaasteet-miten-voimme-yhdessa-varautua-tulevaisuudessa/>

Agco Power. n.d. Yritys. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2024. <https://www.agco-power.com/fi/yritys/>

Emag. n.d. Vertical Turning and Grinding Centers. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023. <https://www.emag.com/products-services/machines/grinding-machines/vertical-turning-and-grinding-centers-chucked-components/vsc-ds-dds/>

Matrox Imaging. n.d. Component Legacy Products. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023. <https://imaging.matrox.com/en/products/legacy/components#me-teor-series>

Sony. n.d. Image Sensing Products. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023. https://www.sony.co.jp/Products/ISP/english/download/guide_discon.html

Beckhoff. n.d. BK5220 DeviceNet Bus Coupler. Verkkosivu. Viitattu 20.11.2023. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/bus-terminals/bkxxxx-bus-coupler/bk5220.html>

Karjalainen, J. 2016. Tuotekehitysprojektit PK-yrityksessä. Tuotekehitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 27.2.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/123456789/23839/3/karjalainen.pdf>

Välimäki, K., Niemelä, M. 2023. Teollisuuden robotiikka. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

OEM. n.d. Diffusoidut valot. Verkkosivu. Viitattu 24.11.2023. <https://www.oem.fi/tuotteet/konen%C3%A4k%C3%B6/led-valonlahteet/konen%C3%A4k%C3%B6valaisimet--529146/diffusoidut-valot--529092>

Sick. n.d. deTec2 Core Set 30/1350. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2024. <https://www.sick.com/fi/fi/catalog/tuotteet/safety/turvavaloverhot/detec/detec2-core-set-301350/p/p401878?tab=detail>

SFS-EN ISO 13855. 2010. Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. SFS Suomen Standardit ry. Viitattu 7.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Fanuc. n.d. M-710iC/50. Verkkosivu. Viitattu 17.1.2024. <https://www.fanuc.eu/it/en/robots/robot-filter-page/m-710-series/m-710ic-50>

Fanuc. n.d. Safety functions for robots. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2024. <https://www.fanuc.eu/rs/en/robots/accessories/safety>

ABB. 2021. Product specification IRB 4400. Dokumentti. <https://library.e.abb.com/public/ac-bdcf1597cd45898a0686d66e36f5d1/3HAC042478%20PS%20IRB%204400-en.pdf?x-sign=8YygEmwDEyQ/9I8aoMs48V19x1pzfpObDJP4hBrmyHMf-gRv6ndLcd5RmE2eoMYuP>

ABB. 2023. Product specification Controller IRC5. Datalehti. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC047400-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB. 2021. OmniCore™ V250XT controller. Datalehti. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108466A2623&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

SafeMove. n.d. ABB. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2024. <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/safemove>

KUKA. 2023. KR 50 R2100. Tietolomake. <https://www.kuka.com/event/media?itemId=8D87938F11214C5B8BC6EFA596F20DED>

KUKA. 2024. KUKA robot controller KR C5. Verkkosivu. Viitattu 9.1.2024. <https://www.kuka.com/en-se/products/robotics-systems/robot-controllers/kr-c5>

KUKA.SafeOperation. n.d. KUKA. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2024. https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/hub-technologies/kuka_safeoperation

Integrated Vision. 2023. ABB. Dokumentti. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC073385-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

In-Sight EasyBuilder-Introduction to spreadsheets. 2015. Cognex. Esittelyvideo. <https://www.cognex.com/videos/vision-systems/in-sight-easybuilder-introduction-to-spreadsheets>

FlexLoader Vision. 2020. ABB. Dokumentti. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A6001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

VisioNerf. n.d. 3D Visio Nerf sensor. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2024 <https://visionerf.com/services/cirrus-3d-2-2/>

Fanuc. 2019. iRVision 3DV Sensor Operator's Manual. (B-83914EN-3/04). Luettu 25.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://my.fanuc.eu/>

Fanuc. 2017. iRVision 2D Operator's Manual (B-83914EN-2/03). Luettu 25.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://my.fanuc.eu/>

Fanuc. 2021. 3D VISION SENSOR. Esite. <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/flyer/mfl-03304-3d-vision/3d-vision-sensor-flyer-en.pdf?la=en>

Fanuc. 2017. iRVision OPERATOR'S MANUAL (Reference) (B-83914EN/08). Luettu 25.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://my.fanuc.eu/>

Sick. 2020. We make machine vision accessible. https://cdn.sick.com/media/docs/0/50/050/special_information_we_make_machine_vision_accessible_en_im0089050.pdf

Sick. n.d. PLOC2D-2000. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. <https://www.sick.com/fi/fi/catalog/jaerjestelmaeratkaisut/robottiohjausjaerjestelmaet/ploc2d/ploc2d-2000/p/p551249?tab=detail#technical-details>

PLB. n.d. Sick. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. <https://www.sick.com/fi/fi/catalog/jaerjestelmaeratkaisut/robottiohjausjaerjestelmaet/plb/c/g259663?tab=overview>

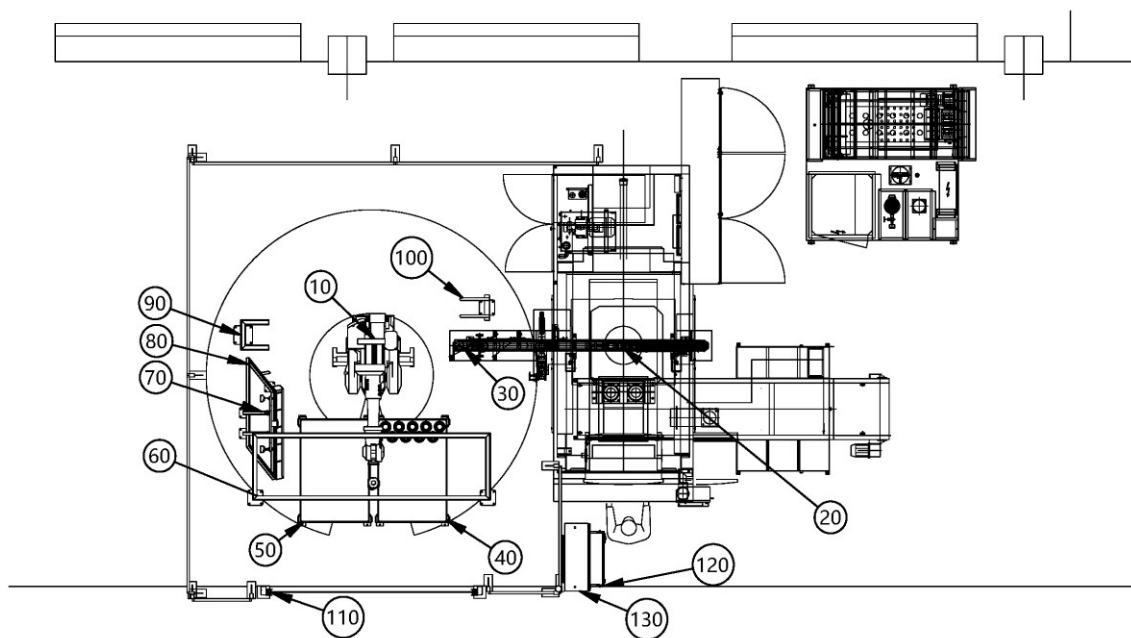
PLB520-L 5MP. 2024. Sick. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. <https://www.sick.com/fi/fi/catalog/jaerjestelmaeratkaisut/robottiohjausjaerjestelmaet/plb/plb520-l-5mp/p/p663175?tab=detail>

Siemens. n.d. Fail-safe CPUs. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Products/10255634?tree=CatalogTree#Overview>

Beckhoff. n.d. CX9020 | Basic CPU module. Verkkosivu. Viitattu 2.2.2024. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/embedded-pcs/cx9020-arm-cortex-a8/cx9020.html>

LIITTEET

Liite 1. Robottisolun 2D layout positiot näkyvissä.



Liite 2. Fanuc M-710iC-50 esite.

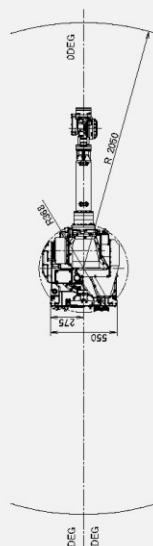
M-710iC/50

Max. reach:
2050 mm

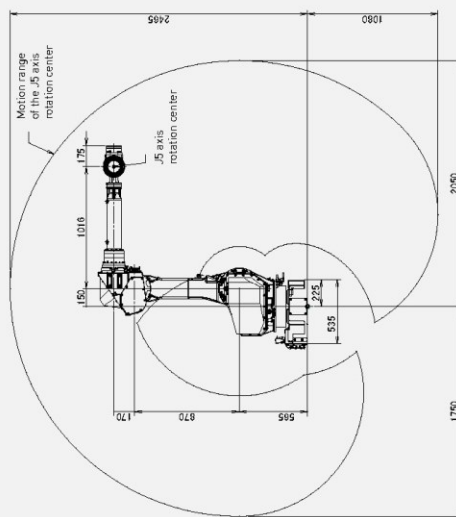
Max. load capacity
at wrist: **50 kg**

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/ inertia (Nm/kgm ²)	J5 Moment/ inertia (Nm/kgm ²)	J6 Moment/ inertia (Nm/kgm ²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.03°	560	360	225	440	720	250	720	175	175	175	250	250	355	206/28	206/28	127/11

Working range

 **Robot**

Robot	M-710/C/50
Robot footprint [mm]	535 X 550
Mounting position Floor	●
Mounting position Upside down	●
Mounting position Angle	●
Controller	R-30iB Plus
Open air cabinet	-
Mate cabinet	○
A-cabinet	●
B-cabinet	○
Pendant Touch	●
Electrical connections	380-575
Voltage 50/60Hz 3phase [V]	-
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	2.5
Average power consumption [kW]	
Integrated services	
Integrated signals on upper arm In/Out	8/8
Integrated air supply	1
Environment	
Acoustic noise level [dB]	71.3
Ambient temperature [° C]	0-45
Protection	
Body standard/optional	IP54/IP67
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67



Motion range may be restricted according to the mounting angle!

MDS-03859 EN

● standard ○ on request - not available () with hardware and/or software option

*Based on ISO9283



ROBOTICS

IRB 4600

Highly productive general purpose robot



IRB 4600 is a highly productive general purpose robot optimized for short cycle times where compact robots can help create high density cells. The IRB 4600 enables more compact manufacturing cells with increased production output and higher quality - and that means improved productivity.

Shortest cycle times

Thanks to the new compact and optimized design resulting in a low weight, the IRB 4600 can cut the cycle times of the industry benchmark by up to 25%. The maximum acceleration achievable is highest in its class, together with high maximum speeds. With the high acceleration it is possible to use to avoid obstacles or to follow the path. The benefit is increased production capacity and higher productivity.

Ultra-wide working range

You can position the IRB 4600 in the most favourable way with regard to reach, cycle time and auxiliary equipment. Flexible mounting with floor, tilted, semi-shelf or inverted mounting is very useful when you are simulating the best position for your application.

Compactness

The small footprint, the slim swing base radius around axis 1, the fine elbow behind axis 3, the small lower and upper arms, and the compact wrist all contribute to the most compact robot in its class. With the IRB 4600 you can create your production cell with reduced floorspace by placing the robot closer to the served machines, which also increases your output and your productivity.

Best protection available

Foundry Plus includes IP 67, resistant paint, rustprotected mounting flange and protection for molten metal spits on non-moving cables on the rear of the robot and extra protection plates over the floor cable connections on the foot.

Cleanroom ISO Class 5

The IRB 4600 cleanroom robot is sealed or covered, reducing particle contamination, and preventing grease and oil leakage into production areas for products and devices such as semiconductors, displays, and EV batteries. IRB 4600 cleanroom robot is ISO 14644-1 Class 5 certified, making it ideal for manufacturing settings requiring exceptional cleanliness and minimal particle emission, all while maintaining top-notch speed and performance.

Powered by OmniCore

OmniCore controller offers best-in-class motion control, 20 percent energy savings, security, and scalable functions. Faster performance and enhanced flexibility enable improved productivity and ability to respond to changing market demands.

Main applications

- Arc Welding
- Assembly
- Material Handling
- Machine Tending
- Material Removal
- Cleaning/Spraying
- Dispensing
- Packing
- Laser Cutting
- Laser Welding

(jatkuu)

Specification

Robot version	Reach (m)	Payload (kg)	Armload (kg)
IRB 4600-60/2.05	2.05	60	20
IRB 4600-45/2.05	2.05	45	20
IRB 4600-40/2.55	2.55	40	20
IRB 4600-20/2.50	2.51	20	11
Number of axes	6+3 external (up to 36 with MultiMove)		
Protection	Standard IP67, as option Foundry Plus 2		
Cleanroom	Option ISO 14644-1 class 5 Cleanroom option only for 40kg and 60kg.		
Mounting	Floor, shelf, inverted or tilted		
Controller	IRC5 Single cabinet, OmniCore V250XT, V400XT		

Performance (according to ISO 9283)

	Position repeatability	Path repeatability*
IRB 4600-60/2.05	0.06 mm	0.46 mm
IRB 4600-45/2.05	0.05 mm	0.13 mm
IRB 4600-40/2.55	0.06 mm	0.28 mm
IRB 4600-20/2.50	0.05 mm	0.17 mm

*Measured at speed 250 mm/s.

Technical Information

Electrical Connections

Supply voltage 200-600 V, 50-60 Hz

Physical

Robot base 512 x 676 mm

Height

IRB 4600-60/2.05 1727 mm

IRB 4600-45/2.05 1727 mm

IRB 4600-40/2.55 1922 mm

IRB 4600-20/2.50 1922 mm

Robot weight

IRB 4600-60/2.05 445 kg

IRB 4600-45/2.05 445 kg

IRB 4600-40/2.55 465 kg

IRB 4600-20/2.50 430 kg

Environment

Ambient temperature for mechanical unit

During operation +5° C (41° F) to +45° C (113° F)

During transportation -25° C (-13° F) to +55° C (131° F)

and storage

During short periods up to +70° C (158° F)

(max. 24 h)

Relative humidity Max. 95%

Safety Double circuits with supervisions,
emergency stops and safety
functions. 3-position enable device

Emission EMC/EMI shielded

Data and dimensions may be changed without notice.

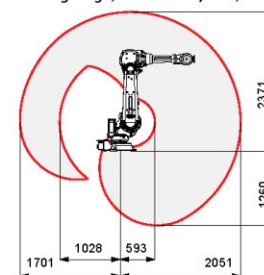
Movement

Axis movement	Working range	Axis max. speed
Axis 1 rotation ²	+180° to -180°	175°/s
Axis 2 arm	+150° to -90°	175°/s
Axis 3 arm	+75° to -180°	175°/s
Axis 4 wrist	+400° to -400°	250° (360° for IRB 4600-20/2.50)
Axis 5 bend	+120° to -125° ¹	250° (360° for IRB 4600-20/2.50)
Axis 6 turn	+400° to -400°	360° (500° for IRB 4600-20/2.50)

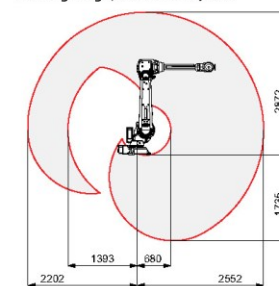
¹ IRB 4600-20/2.50, +120° to -120°.

² ±165° for Cleanroom option only

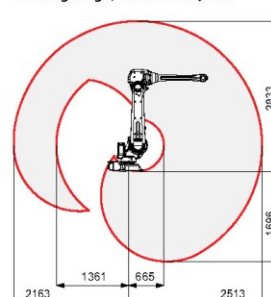
Working range, IRB 4600-60/2.05, IRB 4600-45/2.05



Working range, IRB 4600-40/2.55



Working range, IRB 4600-20/2.50



Liite 4. KUKA KR 50 R2100 esite.

KUKA



KR 50 R2100



Technical data

Maximum reach	2101 mm
Rated payload	50 kg
Maximum payload	61 kg
Maximum supplementary load, rotating column / link arm / arm	50 kg / 30 kg / 30 kg
Pose repeatability (ISO 9283)	± 0.05 mm
Number of axes	6
Mounting position	Floor; Ceiling; Wall; Desired angle
Footprint	603 mm x 480 mm
Weight	approx. 533 kg

Axis data

Motion range	
A1	±185 °
A2	-175 ° / 60 °
A3	-120 ° / 165 °
A4	±180 °
A5	±125 °
A6	±350 °
Speed with rated payload	
A1	180 °/s
A2	175 °/s
A3	175 °/s
A4	250 °/s
A5	250 °/s
A6	360 °/s

Operating conditions

Ambient temperature during operation	0 °C to 55 °C (273 K to 328 K)
--------------------------------------	--------------------------------

Protection rating

Protection rating (IEC 60529)	IP65
Schutzart Arm (IEC 60529)	IP65 / IP67
Protection rating, robot wrist (IEC 60529)	IP65 / IP67

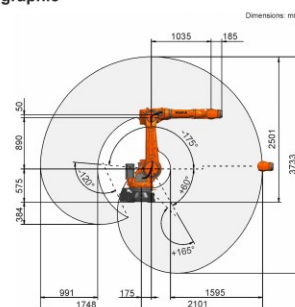
Controller

Controller	KR C5; KR C4
------------	-----------------

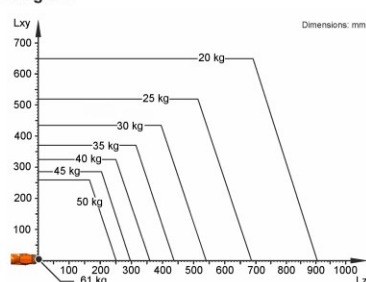
Certificates

ESD requirements	IEC61340-5-1; ANSI/ESD S20.20
------------------	-------------------------------

Workspace graphic

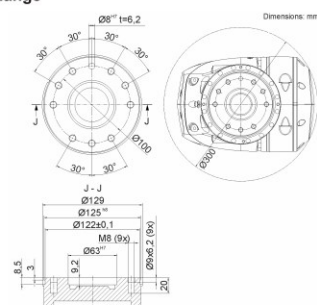


Payload diagram



The KR 50 R2100 is designed for a rated payload of 50 kg in order to optimize the dynamic performance of the robot. With reduced load center distances and favorable supplementary loads, a maximum payload of up to 61 kg can be mounted. The specific KUKA Load case must be verified using KUKA. For further consultation, please contact KUKA Service.

Mounting flange



Details provided about the properties and usability of the products are purely for information purposes and do not constitute a guarantee of these characteristics. The extent of goods delivered and services performed is determined by the subject matter of the specific contract. No liability accepted for errors or omissions.

0000-332-115 / V6.1 / 19.01.2023 / en

KUKA Deutschland GmbH Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Germany. Tel.: +49 821 797-4000, www.kuka.com