VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ilari Männikkö

KESTOTESTAUSSOLUN SUUNNITTELU

Tekniikka
2023

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ilari Männikkö
Opinnäytetyön nimi	Kestotestaussolun suunnittelu
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	32
Ohjaaja	Juho Pölönen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella tuotteiden kestotestaukseen soveltuva robottisolu MSK Cabins Oy:lle. Tämän opinnäytetyön pääpainona oli solun vaatimusten kartoittaminen, sekä solun suunnittelu kyseisten ehtojen perusteella.
Käyn läpi opinnäytetyön teoriaosiossa teollisuusrobotin historiaa ja toimintaperiaatetta. Tämän avulla kuvaan myös opinnäytetyölle olennaisemman yhteistyörobotin toimintaa. Käyn läpi myös kestotestien määritelmää, tarkoituksia, sekä mahdollisia käyttökohteita.
Opinnäytetyön käytännön osuus keskittyy käytettävän robotin valintaan, suunnitteluvalintojen perusteluun, suunnittelemani tuotoksen kuvaamiseen, sekä riskien arviointiin. Lopputuloksena näistä on vaatimukset tarpeellisesti täyttävä robottisolu, sekä kohtuu laaja jatkokehityslista.

Avainsanat Robotiikka, Koneensuunnittelu, Robottisolu

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja automaatiotekniikka

ABSTRACT

Author	Ilari Männikkö
Title	Durability testing cell design
Year	2023
Language	Finnish
Pages	32
Name of Supervisor	Juho Pölönen

Purpose of this thesis was to design a durability testing capable robot cell for MSK Cabins Oy. Focus of this thesis was on acquiring the requirements for the cell and designing the cell within said requirements.
I will go through the history and working principle of an industrial robot, in the theory section of this thesis. On top of this I will describe the operation of collaborative robots with the help of the previous subject. I will also go through the definition, purposes, and possible applications of durability testing.
Hands-on part of this thesis focuses on choosing the robot, justifying the made design choices, describing the work I have made and risk assessment. The result is a robot cell that meets the given requirements, and a reasonably extensive list for further development ideas.

Keywords Robotics, Machine design, Robot cell

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO ... 5

2 LÄHTÖKOHDAT ... 6

2.1 Tehtävän pohjatiedot ... 6

2.2 Tavoitteet ja vaatimukset ... 6

2.3 Työn rajaus ... 7

3 YHTEISTYÖROBOTIN TOIMINTA ... 8

3.1 Teollisuusrobotti ... 8

3.2 Yhteistyörobotti ... 10

4 KESTOTESTAUS ... 12

4.1 Mitä on kestotestaaminen? ... 12

4.2 Kestotestauksen käyttökohde ohjaamovalmistuksessa ... 13

5 TEHTÄVÄN TOTEUTUS ... 14

5.1 Robotin valinta ... 14

5.2 Tarttujat ... 16

5.3 Kärry ... 17

5.4 Järjestelmän sähköt ja ohjaus ... 22

5.5 Turvallisuus ja ergonomia ... 24

6 LOPPUTULOS ... 27

6.1 Solu tässä vaiheessa ... 27

6.2 Käyttökohteita ... 28

6.3 Jatkokehitys ... 28

7 YHTEENVETO ... 30

LÄHTEET ... 31

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. MSK Group Oy & MSK Cabins Oy julkisivu. 5
Kuva 2. Universal UR16e kuusi niveltä 9
Kuva 3. Universal UR16e Käsivarsirobotin osat 10
Kuva 4. Universal Robots UR16e CAD-Malli 16
Kuva 5. Yksinkertainen työkalu robotille 17
Kuva 6. Solun mitat määrittävät rajat 18
Kuva 7. Kiinnityslevy 19
Kuva 8. Alumiiniprofiilit, kansi ja pohja, sekä kiinnityslevy kohdistuskiiloilla 20
Kuva 9. Solu ilman robottia ja katteita 22
Kuva 10. Ohjainyksikkö ja kaapeleiden kaukalot solun rungon sisällä 23
Kuva 11. Solu nyt 27

Taulukko 1. Robottien ominaisuudet 15
Taulukko 2. Robottisolun riskiarvio 25

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kestotestaukseen soveltuva robottisolu. Solun suunnittelussa kiinnitetään huomioitava käytön ja toiminnan turvallisuuteen, ergonomiaan, helppouteen, sekä varmuuteen. Kustannustehokasta ja mahdollista robottisolua suunnitellessa huomioidaan myös komponenttien ja materiaalien saatavuuteen, hintaan, sekä ominaisuuksiin.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Kauhavan Ylihärmässä sijaitseva turvaohjaamoiden valmistukseen erikoistunut MSK Cabins Oy. MSK Cabins Oy on osa MSK Group -konsernia. MSK Group -konserniin kuuluu Suomessa Cabins Oy:n lisäksi Ylihärmässä sijaitsevat muoviteollisuuden osaaja MSK Plast Oy, ja maatalouskoneita valmistava Junkkari Oy. MSK Group -konsernin osana ohjaamoita valmistavat ulkomailla saksalainen MSK Matec GmbH ja slovakialainen MSK Cabins s.r.o.. Cabins Oy valmistaa ohjaamoita esimerkiksi Valtralle. [1]

Kuva 1**.** MSK Group Oy & MSK Cabins Oy julkisivu.

2 LÄHTÖKOHDAT

Tässä kappaleessa käyn läpi syyt, miksi tätä työtä lähdettiin tekemään, ja mitä työltä vaadittiin. Käyn myös läpi karkean rajauksen työhön sisällytettävistä asioista.

2.1 Tehtävän pohjatiedot

MSK Cabins on aiemmin suorittanut kestotestauksia, ja haluaisi suorittaan niitä tulevaisuudessa entistä tehokkaammin. Kestotestauksia helpottaisi ja nopeuttaisi niiden automatisointi esimerkiksi robotilla. Cabins haluaisikin tutkia mihin, ja miten robobottia voisi hyödyntää omien tuotteidensa kestotestaamisessa, sekä kuinka paljon kyseinen ratkaisu voisi maksaa. Kyseessä olevalla kestotestaussolulla ei ole ensisijaisesti tarkoitus testata suuria kokoonpanoja, kuten ohjaamorunkoa, vaan pienempiä tai pienemmällä laitteistolla käsiteltäviä osakokoonpanoja. Esimerkkejä tällaisista pienemmistä kokoonpanoista ovat jarrupoljinmekanismi tai painokytkin.

2.2 Tavoitteet ja vaatimukset

Tehtävän tavoitteena oli suunnitella kestotestaukseen soveltuva robottisolu, joka olisi ostoa ja valmistusta lukuun ottamatta valmis. Tehdyn tuotoksen perusteella toimeksiantaja pystyy arvioimaan kyseisen laitteen hankinnan kannattavuutta, sekä soveltuvuutta yrityksen toimintaan.

Solussa tuli käyttää tehtävään soveltuvaa yhteistyörobottia, toiminnan seuraamisen ja ohjelmoinnin helpottamiseksi. Tämän lisäksi solun tai robotin tuli olla helposti liikuteltavia ja mahdollisesti ahtaisiin tiloihin asennettava, minkä monet rakenteeltaan teollisuusrobotteja kevyemmät yhteistyörobotit mahdollistavat. Robotin tarttujat tuli suunnitella alipaine tai servomoottori toimisiksi, yhteistyökelpoisuuden säilyttämiseksi.

Solun tuli olla kokonaisuudessaan helposti liikuteltava, sekä eri työpisteille helposti ja nopeasti liitettävä. Mitoiltaan solun oli oltava pinta-alansa puolesta EUR-lavalle sopiva. Korkeus määräytyi pinta-alaan verraten, ja eri rahtiyritysten suositusten mukaisesti kohtuulliseksi, sekä työergonomiaa ajatellen. Solun rakenne tulisi olla ensisijaisesti alumiiniprofiilia toimeksiantajan toiveesta.

2.3 Työn rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskityn solun suunnitteluun, käytössä huomioitavien seikkojen kartoittamiseen ja alustavan hinnan sekä valmistustapojen selvittämiseen. En perehdy opinnäytetyössä robottisolun simuloimiseen, kannattavuuslaskelmiin, tarkempiin käyttökohteisiin, huoltosuunnitelmiin, tai muihin sovitun ulkopuoleisiin seikkoihin. Tuon tarvittaessa joitain rajauksen ulkopuolisia aiheita ilmi, jos näen sen tarpeelliseksi.

3 YHTEISTYÖROBOTIN TOIMINTA

Yhteistyörobotti on olennaisessa osassa tämän opinnäytetyön kohteena olevan robottisolun suunnittelua, ja siksi käyn tässä kappaleessa läpi mikä se on. Yhteistyörobotin kuvaaminen on helppoa vertaamalla sitä teollisuusrobottiin, yhteistyörobotin polveutuessa teollisuusrobotista. Siksi kerronkin ensin teollisuusrobotin keskeisitä piirteistä, ominaisuuksista, sekä muista aiheen ymmärtämiselle olennaisista asioista.

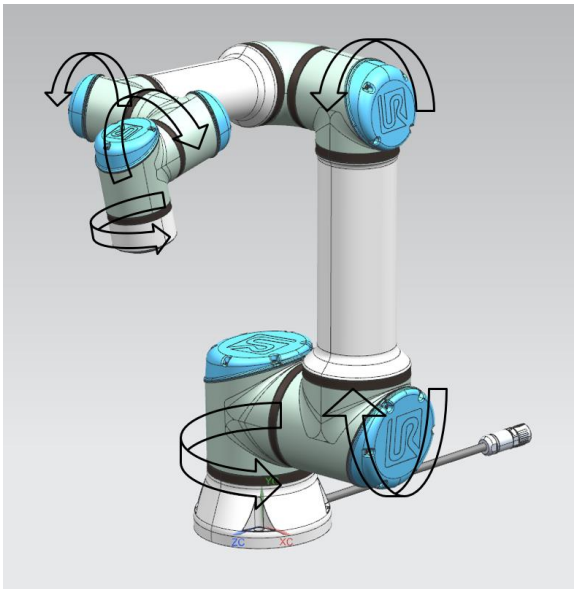
3.1 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotilla tarkoitetaan konetta, jota ei ole suunniteltu tekemään yhtä tiettyä työtä tai liikerataa, vaan on ohjelmoitavissa eri toimiin. Määritelmän mukaisesti teollisuusrobotilla on myös oltava työkalu, ja vähintään kolme vapausastetta, eli liikesuuntaa, kuten X-, Y-, ja Z- akselit. Teollisuusrobotit siis eroavat muista automatisoiduista tuotantovälineistä siten, että ne ovat joustavampia, eivätkä ominaisuuksiltaan sitoudu yhteen tehtävään. [2, s. 17–19]

Modernin teollisuusrobotin piirteitä omaavia kojeita on tehty ja käytetty läpi historian. Robotti termi sai kuitenkin alkunsa vuonna 1920 näytelmästä nimeltä Rossumovi Univerzalni Roboti, missä esiintyy robotti terminä ja laitteena [2, s. 16]. Ensimmäinen dokumentoitu robotin vaatimukset täyttävä kone oli vuonna 1938 Griffith B. Taylorin suunnittelema ja Meccanoista rakentama Robot Gargantua. Vaikka robotti ei ollut suunniteltu teollisuuskäyttöön, pystyi se tekemään vastaavanlaisia tehtäviä. Robot Gargantuan kykeni pinoamaan palikoista torneja, ennalta määritetyn ohjelman mukaisesti. Robotti luki ohjelman reikäkortilta, ja nämä ohjeet ohjasivat yhtä sähkömoottoria sekä viittä solenoidia. Täten Robot Gargantuan kykeni toimimaan itsenäisesti nostokurjen tavoin jopa kolme tuntia. [3, s. 10–17; 4, s. 172] Ensimmäinen varsinainen teollisuusrobotti oli kuitenkin vuosina 1961–1980 valmistettu hydraulinen Unimate 1900 -robotti, mikä oli suuressa roolissa teollisuuden robotisoinnissa. 1980-luvulla sähköiset teollisuusrobotit veivät

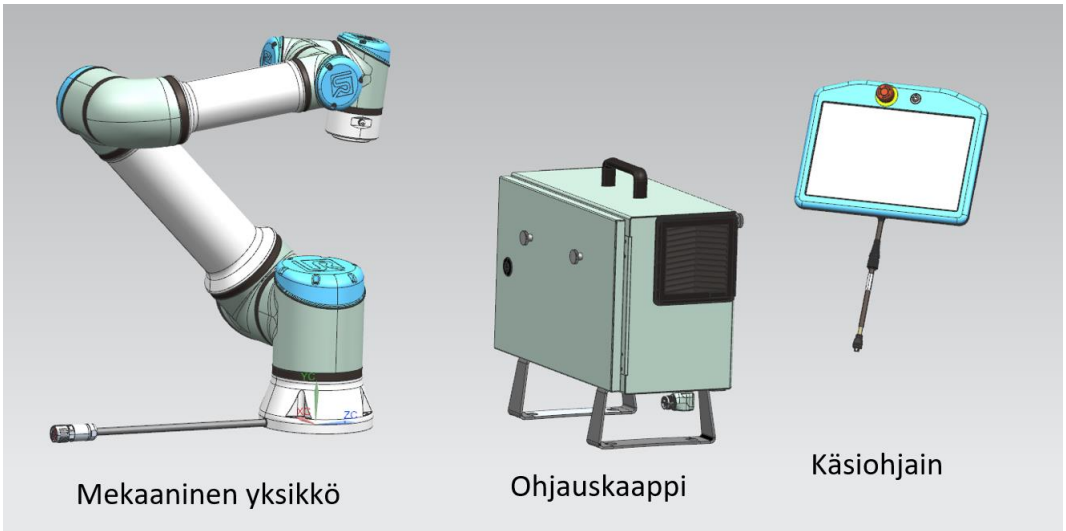
valtaosin hydraulisilta ja pneumaattisilta roboteilta markkinat, ja 1990-luvulla robottien ohjelmointi muuttui PC-pohjaiseksi. [2, s. 16–17]

Nykymaailmassa teollisuusrobotit voidaan jakaa eri kategorioihin niiden piirteiden perusteella. On olemassa neljä vapausasteisia SCARA-robotteja, kolme vapausasteisia ASRS-robotteja, kevyitä ja nopealiikkeisiä delta-robotteja, sekä näistä selvästi yleisimpiä käsivarsirobotteja [2, s. 17–18]. Olennaisin näistä tyypeistä tämän opinnäytetyön osalta on käsi- eli nivelvarsirobotit.



Kuva 2. Universal UR16e kuusi niveltä

Tyypillinen nivelvarsirobotti koostuu mekaanisesta yksiköstä, ohjauskaapista ja käsiohjaimesta. Mekaaninen yksikkö, eli se osa mitä yleisimmin kutsutaan robotiksi, koostuu jalustasta, kahdesta toisiinsa liitetystä tukivarresta, sekä työkalulaipasta. Mekaanisella yksiköllä on enintään, ja nykyään tavanomaisesti kuusi vapausastetta. Nämä vapausasteet ovat robotin työkalun liikesuuntia ylös, alas, eteen, taakse, ja sivuille, sekä pyörimissuunnat kyseisille akseleille. Ohjauskaappi sisältää tietokoneen, minkä avulla robotti toimii halutulla tavalla. Käsiohjaimella ohjataan ja ohjelmoidaan robottia. [2, s. 118]



Kuva 3. Universal UR16e Käsivarsirobotin osat

Nykyään käsivarsityyppisiä teollisuusrobotteja käytetään moniin teollisuuden toimiin. Esimerkkejä tehtävistä on hitsaus, plasmaleikkaus, hionta, jäysteenpoisto ja muut viimeistelytehtävät, laadunvarmistus, kokoonpano, pakkaaminen, sekä monet muut [2, s. 35–66].

Perinteinen teollisuusrobotti on kuitenkin ihmiselle kohtuu vaarallinen laite, koska se ei näe tai tunnista ulottuvillaan olevaa ihmistä tai sitä että robotti osuu ihmiseen. Törmäykset monen teollisuusrobotin kanssa ovat erittäin vaarallisia, koska robotit suunnitellaan käyttötarkoituksensa mukaan usein tehokkaiksi, ja sen seurauksena raskaiksi. Teollisuusrobotti aidataankin yleensä omaan tilaansa, mihin työntekijä ei pääse pysäyttämättä robottia. Tällainen häkki on hyvä esimerkki robottisolusta, mitä ei voi liikutella, ja mikä kuluttaa paljon pinta-alaa. [2, s. 73–75]

3.2 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotti on yhdenlainen teollisuusrobotti, joita on alettu kehittämään 2010-luvulla perinteisistä teollisuusroboteista edullisemmiksi ja kevyemmiksi ratkaisuiksi. Olennaisena erona perinteiseen teollisuusrobottiin on se, että ihminen

voi työskennellä yhteistyörobotin kanssa samassa tilassa yhdenaikaisesti, tai nämä kaksi voivat työskennellä keskenään jatkuvassa vuorovaikutuksessa. Yhteistyörobotit saavuttavat tämän kyvyn monilla antureilla, tarkennetulla vastuksen mittauksella, ja yleisesti perinteistä teollisuusrobottia kevyemmällä rakenteella ja liike-energialla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pahimmassa tapauksessa robotin törmätessä ihmiseen, robotti ei saa tehdä vahinkoa ihmiselle. [2, s. 28–29]

Eli yksinkertaistetusti, jotta toiminta on turvallista, ihminen seuraa ja varoo perinteisen teollisuusrobotin toimintaa; yhteistyörobotti seuraa ja varoo ihmisen toimintaa. On kuitenkin huomioitavaa, että jos käyttäjä toimii robotin kanssa samassa tilassa, tulee käyttäjän varoa liikkuvaa robottia sen tyypistä riippumatta.

Yhteistyörobottien käyttö ja ohjelmointi on myös tehty helpoksi, vanhoja tapoja käyttämällä. Perinteisen modernin teollisuusrobotin ohjaaminen tapahtuu lähes poikkeuksetta käsiohjaimella. Tämän lisäksi robotti ohjelmoidaan kyseisellä ohjaimella, tai etänä simuloinnin avulla. Tästä poiketen yhteistyörobottien kohdalla on otettu käyttöön johdattamalla ohjelmointi, jota on käytetty robottien ohjelmoinnissa jo ennen käsiohjainten kehittymistä. Johdattamalla ohjelmoinnilla tarkoitettaan sitä, että robotin työkalu kuljetetaan haluttua reittiä haluttuihin pisteisiin lihasvoimin. Robotti tallentaa tämän reitit ohjelmaansa, minkä jälkeen sitä voidaan halutessa muokata tai käyttää. Johdattamalla ohjelmoinnista on tullut yhteistyörobottien kohdalla nopein ja helpoin ohjelmointitapa, mikä ei välttämättä vaadi käyttäjältä varsinaista ohjelmointitaitoa. [2, s. 231]

4 KESTOTESTAUS

Solun suunnittelun kannalta on myös olennaista tietää, mitä kestotestaamisella tarkoitetaan. Olennaisimpana kestotestauksesta tämän projektin kohdalla on mielestäni testaamisen käyttökohteet, koska ne määrittävät tekevälle koneelle vaatimuksia ja rajoitteita. Selitän siis tässä kappaleessa, mitä kestotestaamisella tarkoitetaan.

4.1 Mitä on kestotestaaminen?

Kestotestaaminen on jonkin komponentin tai osakokoonpanon luotettavuuden tai kestävyyden selvittämistä, ennen komponenttien tai osakokoonpanojen lopulliseen käyttökohteeseen pääsyä. Kestotestauksella saadaan täten selvitettyä ensinnäkin, että kestääkö tuote halutun kulutuksen. Jos tuote ei kestä, niin testaaja saa selville, että mistä tuote hajoaa. Tuotteen valmistaja hyötyy kestotestauksesta siten, että hän saa valmistettua luotettavampaa tuotetta heti valmistuksen alkaessa. Silloin valmistaja säästyy esimerkiksi mahdollisilta takaisinkutsuilta ja tuotantotapojen muutoksilta. Tämän lisäksi valmistajan maine paranee luotettavuuden ollessa hyvä. Asiakas hyötyy paremmasta luotettavuudesta tuotteen ollessa toimintavarmempi ja edullisempi ylläpitää. Yleisesti luotettavuus vähentää esimerkiksi käyttäjävahinkoja, kuolemia, sekä ajallista ja materiaalista hävikkiä. [5, s. 81–82; 6, s. 26]

Kestoa, lujuutta ja luotettavuutta voidaan simuloida tietokoneella, käytännössä käyttökohteen mukaisesti, tai kiihdytetysti. Esimerkiksi nostoapuvälineiden lujuus tai tukirakenteiden väsyminen on nykyään kohtuullisen vaivatonta ja luotettavaa simuloida tietokoneella. Monien luonnonvoimien vaikutuksen alaisena olevien kappaleiden, sekä suurten kokoonpanojen testaus on kuitenkin vielä toistaiseksi luotettavampaa, halvempaa, ja joskus nopeampaakin käytännössä. Käytännön testaus voidaan suorittaa kiihdytetysti, jos testattavan kohteen tulokset eivät ole testauksen tahtiaikaan sidonnaisia, tai testauksen tahdinajan vaikutus tulokseen voidaan laskea luotettavasti.

4.2 Kestotestauksen käyttökohde ohjaamovalmistuksessa

Yksi kestotestausta vaativa kohde on standardit. Esimerkiksi rekkojen, linja-autojen ja työkoneiden pyyhkijöitä koskevassa standardissa SAE J198, mainitaan että pyyhkijöiden toiminta ja luotettavuus on testattava käytännössä. Kyseisessä standardissa mainitaan myös, että koko pyyhinjärjestelmä ohjauskytkimeltä pyyhkimelle asti on testattava sen kestävyyden todistamiseksi. Pyyhkijöiden kytkimen kestävyyden testaus olisikin robotille loistava, sillä kytkimelle tulisi testissä vähintään 5000 käyttökiertoa. [7]

Kestotestejä voisi suorittaa omille tuotteille myös ilman standardien vaatimuksia. Testauksella voitaisiin esimerkiksi selvittää yleisimmin käytettävien kulutusosien kestävyyttä, ja siten kartoittaa heikkoja kohtia.

Edellä mainituista voi päätellä, että solun tehtävät ovat tässä tapauksessa fyysiseltä kokoluokaltaan kohtuu pieniä. Robotin työtä voisi verrata ihmisen käden, tai sormien tekemään työhön.

5 TEHTÄVÄN TOTEUTUS

Työn pääpaino oli solun suunnittelussa. Suunnitteluun sisältyy sopivien ominaisuuksien ja rajoittavien tekijöiden kartoittaminen, komponenttien valinta sekä kokoonpanon mallintaminen. Suunnittelun lisäksi tulee selvittää tarvittaville komponenteille paras toimittaja.

Mallinnukseen on käytetty Dassault Systemsin SolidWorks, sekä PTC:n Creo 7 suunnitteluohjelmistoja. Suunnitteluohjelmistojen ohessa käytin PTC:n Windchill PLM-järjestelmää.

5.1 Robotin valinta

Aloitin solun suunnittelun robotin valinnalla. Robotti antaa kokoonpanossa eniten vaatimuksia ja rajoitteita, mitä on muun solun ominaisuuksilla helpompi myötäillä. Robotin valintaan vaikuttavia kiinteitä vaatimuksia olivat keveys käsin liikuteltavuuden mahdollistamiseksi, sekä yhteistyöominaisuus käytön helpottamiseksi, kuten aiemmin mainitsin. Näiden lisäksi robotin ulottuvuuden tuli olla tarpeeksi laaja ylettämään esimerkiksi ohjaamossa istuimen paikalta eri ohjauslaitteisiin, ja samalla olla riittävän kompakti mahtuakseen ohjaamon ovesta. Laadin taulukon 1 mahdollisista roboteista ja niiden olennaisimmista ominaisuuksista havainnollistamaan kunkin sopivuutta käyttötarkoitukseen.

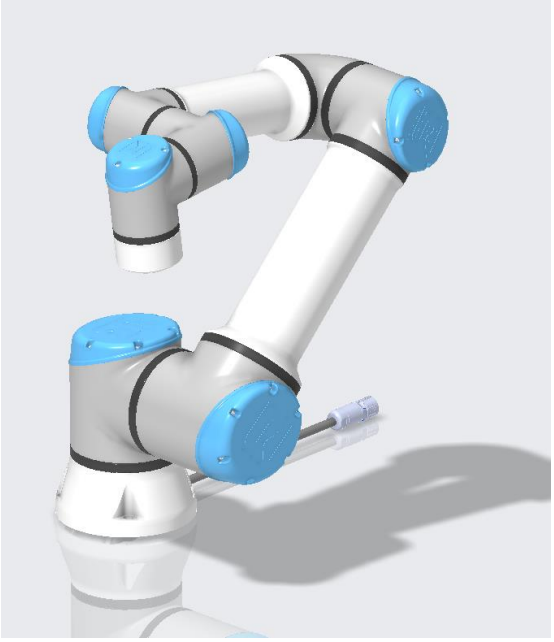
Taulukko 1. Robottien ominaisuudet

Merkki	Malli	Nosto-voima (kg)	Ulot-tuvuus (mm)	Jalan Pinta-ala (mm)	Paino (kg)	ohjain	Huom.
Universal	UR16e	16	900	Halkaisija 190	33,1	CB5.2 450x470x 250	**Hyvä**
	UR20	20	1750	Halkaisija 245	64		Liian Painava!
Fanuc	CRX-14	14	911	Laatikko 297x235	55	R-30iB Plus	Liian Painava!
	CRX-20	20	1418	Halkaisija 190	41		iso
	CRX-25	25	1889	Halkaisija 283	135		Liian painava!
	CR-35	35	1831	Laatikko 346x346	386		Liian painava!
Yaskawa/ Motoman	HC10	10	1379	Laatikko n.230x230	58		Heikko ja painava
	HC20	20	1900	Laatikko n. 300x300	140		Liian painava!
	HC30PL	30	1700	Laatikko n. 300x301	140		Liian painava!
ABB	CRB1300	11	900	Laatikko 220x220	75		Heikko ja Painava!

Taulukon 1 tiedot on hankittu robottivalmistajien nettisivuilta, tai robottien esitteistä. Vertailulla päädyin valitsemaan Universal Robots UR16e robotin, kuvassa 4. Lähes identtisiä robotteja valmistaa myös esimerkiksi Omron ja Techman, mutta Cabinsilla on jo kokemusta Universalin roboteista, joten valitsin kyseisen.

UR16e on yksi Universal Robotsin e-sarjan yhteistyöroboteista. Sarjan neljä eri robottia eroavat toisistaan nostovoimallaan ja ulottuvuudellaan. UR16e:n suurin nostokapasiteetti on 16 kg, ja ulottuvuuden säde 900 mm [8]. Universal Robots valmistaa myös painoltaan verrattavaa, 10 kg nostovoimalla olevaa UR10e yhteistyörobottia, minkä ulottuvuus olisi 1300 mm [9]. UR16e sopisi mielestäni tehtävään paremmin, koska äärimitoiltaan suurempaa robottia olisi huomattavasti han-

kalampi liikutella. Eikä edellä mainittua pienemmällä robotilla välttämättä olisi riittoisaa ulottuvuutta. 16 kg:n nostovoima tuo tehtäviin toimintavarmuutta, kuitenkaan nostamatta robotin painoa liian korkeaksi.

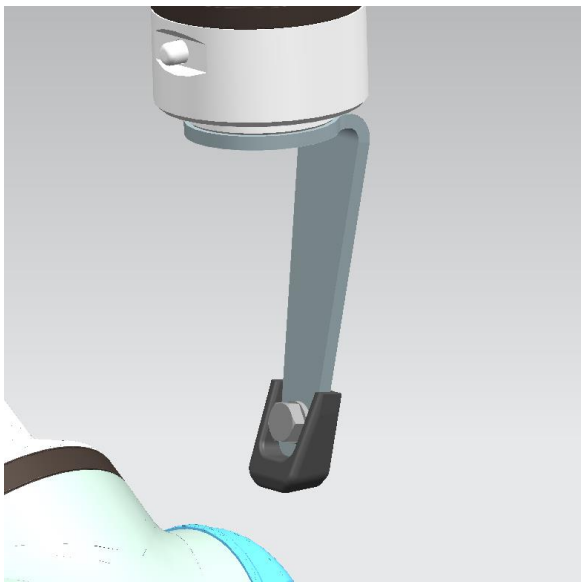


Kuva 4**.** Universal Robots UR16e CAD-Malli

5.2 Tarttujat

Robotin tarttujan kiinnitys tapahtuu neljällä 8.8-vahvuisella M6-pultilla, sekä yhdellä 6 mm-halkaisijalla olevalla kohdistustapilla [10, s. 25]. Robotista saa tarttujaan ohjauksen logiikan ja virran RKMV 8-354 I/O portista [10, s. 45]. Tarttujan tulee olla yhteistyörobotin turvallisuuden takia paineilma- tai sähkökäyttöinen, ja toimeksiantajan pyynnöstä tarttujana tulisi käyttää ensisijaisesti sähköistä. Universal Robots tarjoaakin valmista sähköistä tarttujaa, mikä olisi varmasti yhteensopiva ja helppokäyttöinen. Yleismallisia tarttujia on saatavilla lukemattomilta valmistajilta, esimerkiksi Destacolta. Tämän lisäksi tarttujan voisi tehdä tehtävään räätälöidymmin yrityksellä esimerkiksi 3D-tulostamalla, tai ohutlevyleikkeistä. Tällöin tarttujan ohjaus ja sähköistys pitäisi kuitenkin tehdä itse. Yksinkertaisimmil-

laan tarttujaa ei tarvittaisi kuitenkaan ollenkaan, vaan voidaan robotille tehdä kiinteä painaja tai testattavaan komponenttiinkin kiinnitettävä varsi. Kyseiset tarttujat voitaisiin tehdä testauskohtaisesti hyvin nopeasti ja halvalla, jopa vain yhdestä rankaleikkeestä, joka pehmustettaisiin tarpeenmukaisesti. Kuvassa 5 olen mallintanut yksinkertaisen työkalun robotille, millä voitaisiin esimerkiksi testata painokytkimiä. Työkalu koostuu yhdestä särmätystä ohutlevyleikkeestä, sekä yhdestä 3D-tulostetusta muoviosasta.

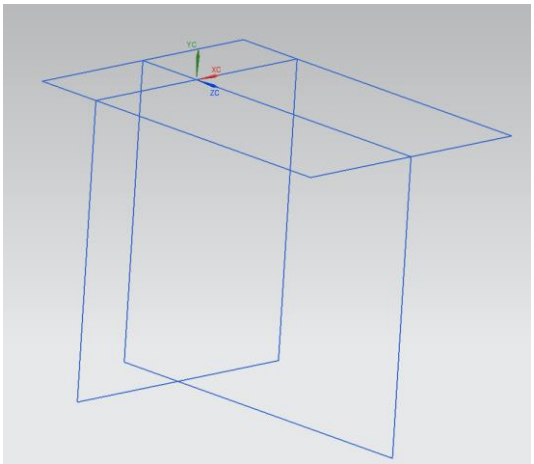


Kuva 5. Yksinkertainen työkalu robotille

5.3 Kärry

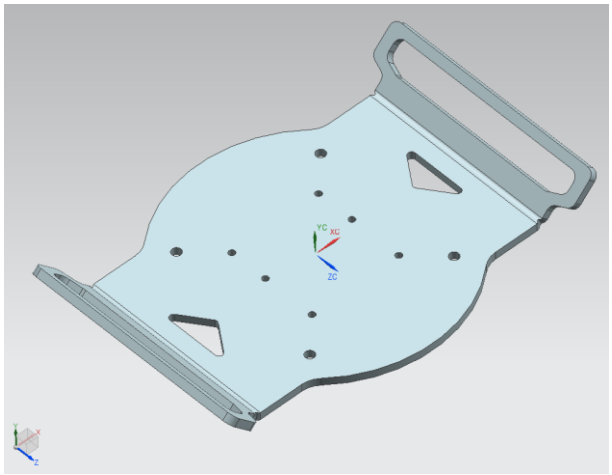
Suurin osa solun suunnitteluvalinnoista kohdistuvat solun kärryyn, minkä kriteerit mainitsin aiemmin kappaleessa 2.2 Tavoitteet ja vaatimukset. Aloitin kärryn suunnittelun päämitat sisältävän luurankomallin luomisella, mikä määrittää kärryn rungon äärimittoja; nähtävissä kuvassa 6. Kärryn rungolla tarkoitan kärrylle rakenteellisen vahvuuden luovia alumiiniprofiileja, kärryn pohja- ja kansilevyä, sekä robotin jalan kiinnityslevyä. Mitoiltaan luurankomallin ulkopuolelle ulottuvat komponentit ovat työntökahva ja pyörät, mitkä jätin ulos muokattavuuden ja vaihdettavuuden

helpottamiseksi. Jokainen kärryn rungon komponentti on rajoitettu suoraa luurankomalliin, ja muut komponentit on kiinnitetty runkoon tai luurankomalliin tarpeen mukaisesti.



Kuva 6. Solun mitat määrittävät rajat

Ensimmäinen komponentti solussa robotin jälkeen on sen jalustan kiinnityslevy. Kiinnityslevyn tarkoituksena on helpottaa robotin siirtämistä pois solun päältä, sekä takaisin kiinnitystä. Kiinnityslevy olisi 10 mm vahvaa EN AW5754 H111 alumiinilevyä. Kiinnityslevy jyrsitään tarvittaessa, koska robotti vaatii alustan kiinnitysalueelta 0.05 mm tasomaisuuden, IP-luokituksensa ylläpitämiseksi [10, s. 24–25]. Jalusta paikoitetaan kiinnityslevyyn kahdella 8 mm halkaisijan paikoitustapilla, ja kiinnitetään neljällä M8-pultilla.



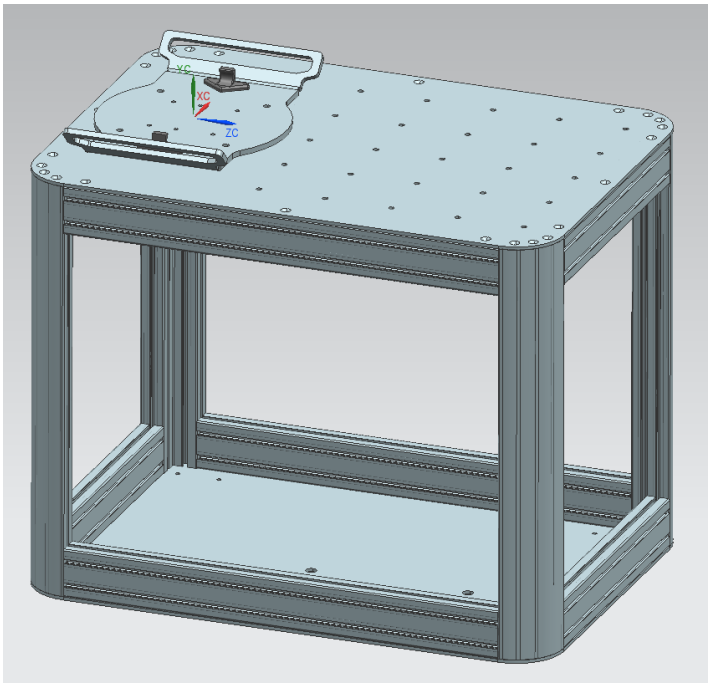
Kuva 7. Kiinnityslevy

Seuraavat merkittävät rakenteet solussa ovat kärryn kansi- ja pohjalevy. Robotin jalustan kiinnityslevy kohdistetaan kärryn 6 mm vahvaan teräksiseen kansilevyyn kahdella 3D-tulostetulla kiilalla, ja kiinnitetään neljällä M12-pultilla. Kansilevyssä on 5x5 järjestyksessä 125 mm väleillä olevat kiinnitysreiät mahdollisille jigeille tai testattaville komponenteille. Kiinnitysrei'issä on M8-hitsausmutterit käytön nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi, kansilevyn paksuuden ollessa liian ohut kestävälle kierteitykselle. Kansilevyssä on alumiiniprofiileihin kiinnitystä varten uppokantaruuveja varten viistetyt reiät, jotta pultin kannat eivät ole testausten tiellä tai jäämässä kiinni käyttäjän vaatteisiin. Pohjalevy on äärimitoiltaan ja vahvuudeltaan samanlainen kansilevyyn verrattuna, mutta jiginkiinnitysreiät jäävät pois, ohjainyksikköä varten lisätään kiinnitysreiät ja uppokantaruuvien reiät ovat upottamattomia tavallisia ruuveja varten.

Kiinnityslevy kohdistettaisiin kansilevyyn 3D-tulostetuilla kiiloilla. Kiilojen käyttö olisi paikoitustappeja helpompaa ja nopeampaa. Tämän lisäksi kiilat kuluisivat ympäröivää materiaalia aiemmin, ja olisi siten helpompi uusia tarvittaessa.

Kansi- ja pohjalevyn välissä solulle rakenteen tekee alumiiniprofiili. Päätin käyttää soluun nk. 45-sarjan profiilia, koska omien löytöjeni mukaan kyseinen profiili on

yleisintä, monipuolisinta, riittävän lujaa ja muihin sarjoihin verraten edullista. Tämä tarkoittaa sitä, että profiilien poikkileikkausta katsoessa niiden leveys ja korkeus on 45 mm, tai jokin sillä jaollinen mitta. Suunnittelussa käytin GreenLab -nimisen yrityksen profiilikatalogia ja materiaalipankin 3D CAD-kirjastoa [11; 12]. Kärryn nurkat ovat 90 x 90 mm pyöristettyä profiilia. Vaihtoehtona tälle olisi ollut 90 x 45 ja 45 x 45 profiilit yhteen pultattuna, mutta päädyin edellä mainittuun. Valintaan vaikutti profiilin ulkonäkö, sekä yksinkertaisuus, hintojen ollessa lähes samat. Muut kärryn profiilit ovat 90 x 45 lujuuden ja joustamattomuuden ylläpitämiseksi. Suunnittelin profiilit kiinnitettäviksi toisiinsa GreenLabin 45-sarjan kulmapaloilla ja niihin sopivilla ruuveilla sekä neliömuttereilla. Paikoissa, missä kulmapaloja ei voi käyttää, on 45-sarjan pikakiinnike. Edellä mainitut komponentit näkyvät kokoonpantuna kuvassa 8. Solun profiileihin ei ole porattu ruuvinreikiä.

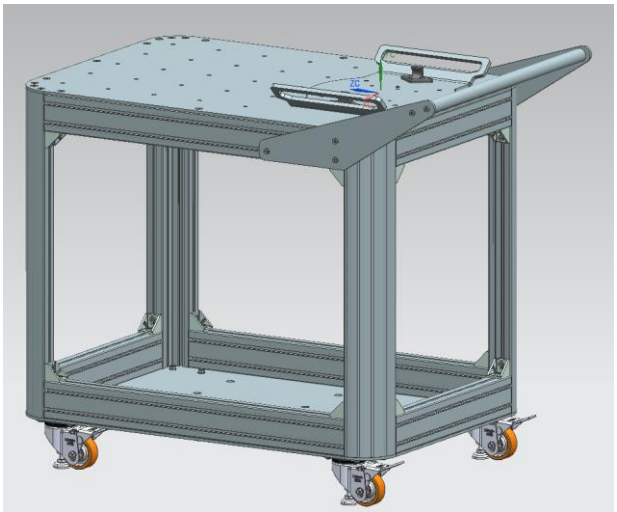


Kuva 8. Alumiiniprofiilit, kansi ja pohja, sekä kiinnityslevy kohdistuskiiloilla

Kärryn liikuttelua varten siinä olisi työntökahva. Kahva kiinnittyy kärryyn kahdella 6 mm vahvalla ohutlevyleikkeellä, ja olisi alumiinista kahvaprofiilia. Kärry kokonaisuudessaan liikkuu nostopyörillä, mitkä pitäisivät solun paikallaan sitä käytettäessä. Tällaisia renkaita olisi kärryssä neljä, ja kukin kiinnittyisi soluun neljällä M8-pultilla. Malliin olen valinnut Blicklen katalogista ”HRLK-ALTH 80K-F” tuotekoodilla olevan renkaan, sen täyttäessä vaatimukset tarpeen mukaisesti.

Kärryn sisälle asennettaisiin robotin ohjausyksikkö, säilytyksen ajaksi robotin ohjain, sekä robotin virta ja ohjauskaapelit. Kaapeleita varten kärryssä on levyleikkeistä särmätyt kaukalot. Kärryn sisälle jää näiden lisäksi jonkin verran tilaa, minkä voi käyttää jigien, tarttujien ja varaosien säilömiseen.

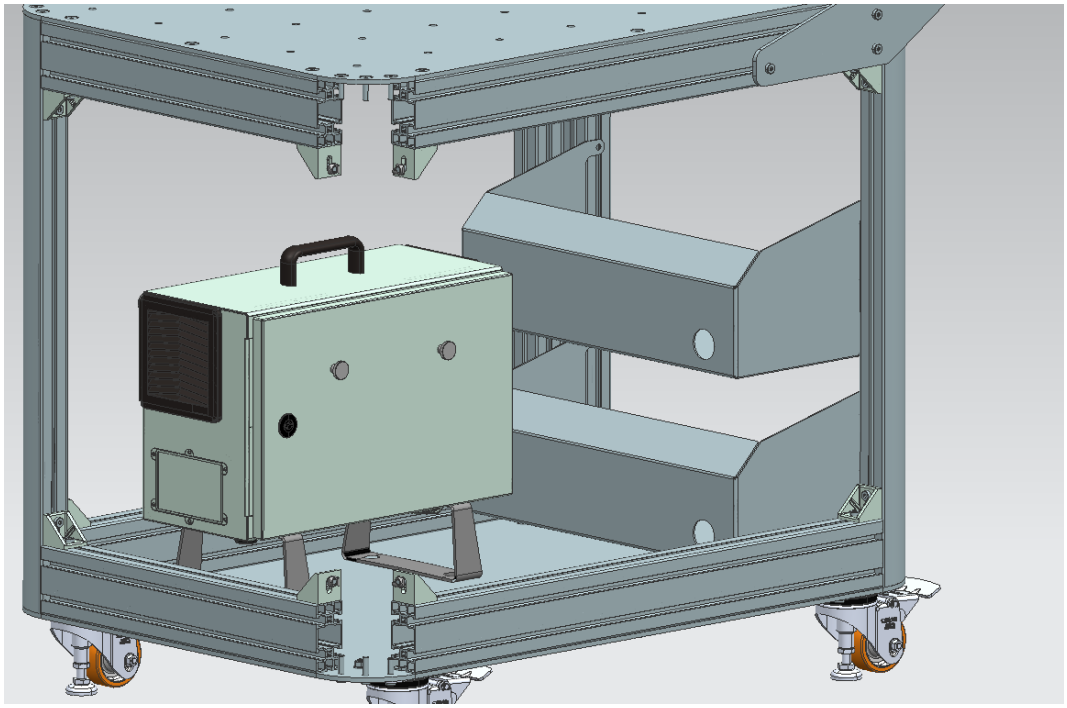
Solun pinta-alaksi määritettiin enintään 800 mm x 1200 mm, standardin mukaisen puisen kuormalavan mukaan [13]. Tämä päätös tehtiin, koska standardimittaista solua on helpompi kuljettaa ja varastoida sellaiselle mitoitetussa tilassa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi kuormalavahyllyt, joita löytyy lähes jokaisesta tehtaasta tai teollisuuden varastosta. Solun korkeus määrittyi sen vakauden ja ergonomian pysyessä mahdollisimman hyvänä. Renkaiden ollessa maassa robotin jalustan kiinnityspinnan korkeus lattiasta on 915 mm. Tällöin solun kansi asettuu 905 mm, ja solun työntökahva 980 mm korkeudelle. Solun kokonaiskorkeus robotin ollessa mahdollisimman matalassa asennossa on 1187 mm. Solu on leveimmästä kohdasta 722 mm, ja pituus on työntökahva mukaan lukien 1162 mm.



Kuva 9. Solu ilman robottia ja katteita

5.4 Järjestelmän sähköt ja ohjaus

UR16e robottia käytettäessä solun ohjausyksikkönä olisi sille yhteensopivan Universal Robots Control Box CB5.2, mikä toimitetaan robotin yhteydessä. Ohjainyksikkö sijoittuisi solussa kärryn sisälle, kuten kuvasta 10 voi nähdä. Kärryn sisällä se olisi suojattuna iskuilta, ja suurimmalta osalta pölystä, sekä mahdolliselta vedeltä. Ohjainyksikön asettelussa on huomioitavaa, että ohjainyksiköllä on riittävä ilmankierto jäähdytystä varten. Tämä vaatii myös 50 mm etäisyyden lähimpiin rakenteisiin joka suunnasta [10, s. 26]. Ohjainyksikköön liitetään virtakaapeli, sekä ohjaimen ja robotin johdot, mitkä voidaan säilöä kuljetuksen ja säilönnän aikana kärryn kyydissä. Robotin ohjaimena käytettäisiin alustavasti Universal Robotsin Standard Teach Pendantia. Vaikka sähkölaitteet suojattaisiin elementeiltä solun sisälle, olisi solu kuitenkin ainoastaan sisäkäyttöön.



Kuva 10. Ohjainyksikkö ja kaapeleiden kaukalot solun rungon sisällä

5.5 Turvallisuus ja ergonomia

Ennen robottisolun ensimmäistä käyttöönottoa, on tunnistettava käyttöön liittyvät riskit, pyrkiä minimoimaan ne. Robotin valmistaja on määrittänyt käyttöön liittyviä määräyksiä, mitkä voi löytää UR16e käyttöohjeen sivuilta 7–22. Lyhyesti robotin käyttö on turvallista silloin kuin sitä käyttää sen käyttöön perehdytetty henkilö, robotin ollessa oikein asennettu, täydessä toimintakunnossa, sekä ehjä, ja kun järjestelmän toiminnasta on tehty riskiarvio. Päällimmäisiä riskejä, ja niiden ehkäisytoimia olen miettinyt alla olevaan taulukkoon.

Taulukko 2. Robottisolun riskiarvio

Riski	Todennäköisyys (V, 1–5)	Vaikutus (V, 1–5)	Tärkeys (T*V)	Ennaltaehkäisevät toimenpiteet
Kappale irtoaa tarttujasta ajon aikana	3	2	6	-Robotilla liikutellaan vain sen ja sen tarttujan ominaisuuksien sallimia kappaleita. -Robottiohjelman tekijä huomioi kiihtyvyydet ja massamomentit robotin liikkeissä.
Tarttuja hajoaa käytön aikana	1	3	3	- Robottia käytettäessä huomioidaan tarttujan ominaisuudet, käyttötarkoitus ja rajoitteet -Itsetehdyt tarttujat suunnitellaan tarpeeksi lujiksi -Tarttujat tarkastetaan ja huolletaan riittävän usein
Robotti törmää lähellä olevaan esineeseen tai henkilöön	4	1	4	Vaikka yhteistyörobotti on periaatteessa yhteistyöturvallinen, niin: -Robotin ohjelmoinnin, ja ajon valmistelun tekee siihen koulutettu henkilö. -Robottia ohjelmoitaessa robottia lähimpänä on aina robotin ajaja, ja robotin nopeudet pidetään hillittynä
Henkilön vaatetus, hiukset, ym. tarttuu soluun	2	4	8	-Solun suunnittelussa pyritään pyöristämään terävät kulmat ja tasoittamaan mahdolliset takertumispaikat. -Solun valmistuksessa pyöristetään terävät kulmat. -Solun kanssa työskennellessä käytetään normaalia työpaikkavaatetusta
Robottisolu kaatuu	1	5	5	-Solun kuljetusta ja käyttöä vältetään kaltevilla pinnoilla, ja tarvittaessa solu kiinnitetään paikalleen käytön ajaksi -Kuljetuksen aikana huomioidaan mahdolliset kynnykset, kivet ym. esteet. -Robotti asetetaan siten, että sen painopiste on mahdollisimman keskellä ja matalalla soluun nähden.
Robotin siirtäminen kärryltä nostettuna tai putoaminen kannosta aiheuttaa venähdyksen, haavan ym. vamman	2	4	8	-Robottia siirretään kärryltä vain pakon tullen, ja siirrot suunnitella etukäteen -Nostoon käytetään tilanteen salliessa nostoapuvälineitä. -Robotin siirtoihin käytetään tilanteen salliessa kahta henkilöä
Robotin vikatila aiheuttaa vaaratilanteen. Tulipalo, oikosulku, virheliike, yms.	1	4	4	-Robottia käyttää vain siihen koulutettu henkilö -Robotti ja sen oheislaitteet huolletaan niille määrätyin väliajoin, tai tarpeen tullen.
Solun johdot takertuvat ympärillä oleviin ihmisiin, tai rakenteisiin	5	2	10	-Solua ei liikuteta käytön aikana -Solun ulkopuolelle ulottuvat johdot kerätään käytön ulkopuolella solun sisään, niille tarkoitetuille paikoille.

Kärryn käytön turvallisuudessa päällimmäisen on takertumis-, kompastumis-, sekä solun kaatumisriski. Edellä mainitut riskit on helppo kitkeä käyttökoulutuksella. Muut riskit kärryn osalta pohjautuvat hyvin pitkälti ergonomiaan. Suunnittelin solun korkeuden siten, että sen kansilevyn päälle olisi helppo ja miellyttävä kiinnittää eri komponentteja, kuitenkaan tekemättä korkeudella solusta liian epävakaata.

Tämän lisäksi työntökahvan korkeus ja etäisyys kärrystä on sellainen, että kärryä on solun mittoihin verraten hyvä liikutella.

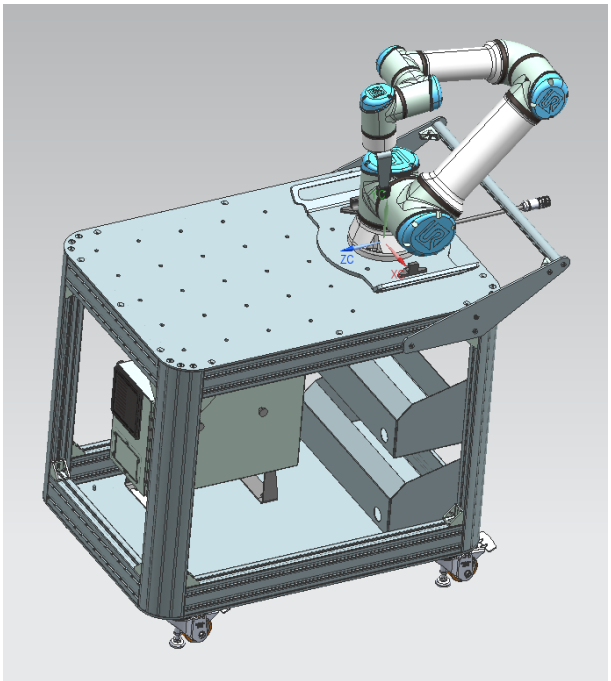
Suurin osa tämän solun käyttöturvallisuudesta perustuu käyttäjäkoulutukseen, ja siihen että solun annetaan yhteistyökyvystään huolimatta toimia omassa tilassaan yksin. Yhteistyön turvallisuuteen perehdytään tarkemmin, jos solun käyttötarkoitus muuttuu sitä vaativaksi.

6 LOPPUTULOS

Kokonaisuudessaan solun suunnittelun alkuperäiset tavoitteet ovat täyttyneet, mutta jatkokehitettävää on. Tässä kappaleessa käyn läpi, mihin olen projektissa päässyt, mitä jäi tekemättä, ja mitä muita jatkokehityskohteita löytyi.

6.1 Solu tässä vaiheessa

Robottisolun malli ja dokumentointi on siinä vaiheessa, että siitä voi selvittää olennaisten komponenttien hinnan, ja sen toimivuutta voi arvioida toimeksiantajayrityksen henkilöstön kanssa. Kokoonpano ei ole täysin valmis, mutta solun hinnan pystyy arvioimaan tällä hetkellä muutaman sadan euron tarkkuudella.



Kuva 11. Solu nyt

6.2 Käyttökohteita

Solun alustava käyttötarkoitus olisi edelleen tuotteiden kestotestaus. Kestotesteillä voitaisiin todistaa omien tuotteiden standardin mukaisuus, ja saataisiin mahdollisesti hankittua tuotteille sertifikaatteja. Tämän lisäksi solulla voitaisiin testata omien tuotteiden kestävyyttä heikkojen kohtien kartoittamiseksi. Jos robottisolu jää kestotestien osalta toimettomaksi, voitaisiin se siirtää esimerkiksi tuotannon avuksi, missä se voisi avustaa kokoonpanoissa. Kestotestaussolu on siis tälle solulle vain nimi, eivätkä käyttökohteet rajoitu siihen. Robottisoluna kyseinen järjestelmä on hyvin joustava ja soveltuu moneen tehtävään.

6.3 Jatkokehitys

Solu ei tullut opinnäytetyön aikana kokonaisuudessaan valmiiksi. Solun kehitystä jatketaan joko itseni tai jonkun muun toimesta, jos toimeksiantaja niin päättää. Solun mallinnuksessa ja simuloinnissa olisi vielä joitain tehtäviä ja läpikäytäviä asioita. Käytännössä olisi myös asioita, mitä haluaisin käydä läpi, ennen kuin kokonaiseen soluun investoitaisiin.

Mallinnuksen puolesta soluun pitäisi lisätä vielä katelevyt, mahdollinen ohjaimen pidike, käyttötarkoitus solun sisällä olevalle tyhjälle tilalle, Lenkit tai muu ratkaisu trukin piikeille, sekä miettiä johtojen säilytykseen parempaa ratkaisua. Katelevyt olisivat joko muovi- tai metallilevyä, riippuen siitä kumman teettäminen ja kiinnitys tulisi halvemmaksi. Katteissa tulisi huomioida ilman kiertävyys ohjainyksikölle, pölytiiveys, tarpeenmukainen kestävyys, sekä ulkonäkö. Ohjaimen pidike, tai tasku, voisi olla mielestäni muovia, koska tärkeintä on, että ohjain ei törmäile teräviin reunoihin. Ohjain itsessään ei painaisi muovitelineelle liikaa, ja telineen voisi esimerkiksi tulostaa nopeasti ja edullisesti. Telinettä miettiessä kannattaa myös harkita UR:n tarjoamat vaihtoehdot. Solun sisälle jäisi tällä hetkellä noin 300 x 650 x 600 mm tyhjä tila, mille pitäisi keksiä käyttöä. Tähän tilaan on ideoitu toimeksiantaja kanssa esimerkiksi robotin ja ohjaamon penkin kiinnityksen väliin menevää adapteria, tai muita robotin toimintaan liittyviä jigejä. Solun siirtelyä ja kuljetusta

varten, siinä olisi hyvä olla lenkit trukin piikeille. Nämä voisivat olla yksinkertaiset särmätyt leikkeet solun pohjassa, mutta ratkaisua on mietittävä tilan ollessa melko vähäinen. Solun käsiohjaimen kaapelille sekä virtajohdolle kannattaisi suunnitella tarpeenmukainen vedonpoisto, jotta vältyttäisiin ohjainkaapin hajoamiselta, tilanteessa missä solua liikutellaan kesken ajon. Johtojen säilytykseen olemme miettineet toimeksiantajan kanssa kaapelikeloja, mutta ratkaisu vaatii lisää tutkimusta, sekä mahdollisesti enemmän sähköalan osaamista.

Käytännössä olisi hyvä testata solussa käytettävää robottia käyttötarkoitukseensa esimerkiksi kevennetyllä kestotestauksella. Tämä voitaisiin suorittaa esimerkiksi Vaasan Technobothnialla ABB:n yhteistyörobotilla, tai sopivammin Vaasan yliopistolla tai SeAMK:lla, missä on mahdollista käyttää UR:n yhteistyörobotteja.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella vaatimukset täyttävä kestotestaukseen soveltuva robottisolu, sekä selvittää tälle solulle hinta. Loppujen lopuksi pääsin tavoitteeseen, ja toimeksiantaja sai pyytämänsä tuotoksen. Tästä hyvästä toimeksiantaja on saanut paremman kuvan opinnäytetyössä käsitellyn robottisolun ominaisuuksista, rajoitteista sekä kustannuksista.

Työn eteneminen oli kokonaisuudessaan suunniteltua hitaampaa, ja jälkikäteen katsottuna olisin voinut tehdä joitain asioita toisin. Mielestäni työ on kuitenkin onnistunut, ja sitä tehdessä sain kokea vielä muutamat oppimiskokemuksetkin.

LÄHTEET

1. Kotisivut. MSK Group. [Internet]. [viitattu 17.11.2023]. Saatavilla: https://mskgroup.fi/fi/
2. Ahonen T-P, Aro J, Asikainen J, Billing M, Christophe F, Gautam M, Haapakoski T, Holamo O-P, Kapiainen P, Karvonen H, Kolehmainen P, Kytöharju J, Lanz M, Latokartano J, Leinonen J, Lempiäinen J, Liljamo J, Liuha A, Närhi J, Paasio L, Partanen A, Pöysäri S, Röning J, Salmela A, Siltala N & Skriko T. Teollisuuden robotiikka. Keuruun Laatupaino KLP Oy Suomen Robotiikkayhdistys ry; 2023.
3. Shute, C. THE ROBOT GARGANTUAN. MECCANO SOCIETY of SCOTLAND NEWSLETTER 2007; 74(2), 10–17.
4. An Automatic Block-Setting Crane, The Meccano Magazine 1938; March, 172.
5. Klyatis L. Accelerated Reliability and Durability Testing Technology. Singapore: John Wiley & Sons, Inc; 2012.
6. Anderson E & Klyatis L. Reliability Prediction and Testing Textbook. John Wiley & Sons, Inc. 2018
7. SAE J198_202006. Windshield Wiper Systems - Trucks, Buses, and Multipurpose Vehicles. SAE International. 2020.
8. Universal Robots. UR16e Technical Specification. [Internet]. [viitattu 14.10.2023]. Saatavilla: https://www.universal-robots.com/media/1811483/ur16e-rgb-fact-sheet-landscape-a4.pdf
9. Universal Robots. UR10e technical details. [Internet]. [viitattu 14.10.2023]. Saatavilla: https://www.universal-robots.com/media/1802458/ur10e-tech-specs-eng.pdf
10. Universal Robots. UR16e User Manual. [Internet]. [viitattu 20.9.2023]. Saatavilla: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/181391/99473_UR16e_User_Manual_en_Global.pdf

11. Tuoteluettelo. GreenLab. [Internet]. [viitattu 15.10.2023]. Saatavilla: https://greenlab.fi/tuotteet/
12. Materiaalipankki. GreenLab. [Internet]. [viitattu 15.10.2023]. Saatavilla: https://greenlab.fi/materiaalipankki/
13. SFS-EN 13698-1. Kuormalavat. Osa 1: 800 mm x 1200 mm puisen kuormalavan rakenne. Suomen Standardisoimisliitto. 2004.