

Eetu Koskela

ROBOTTIKÄSIVARSI

ROBOTTIKÄSIVARSI

Eetu Koskela
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Eetu Koskela
Opinnäytetyön nimi: Robottikäsivarsi
Työn ohjaajat: Eero Korhonen, Matti Tikanmäki, Antti Tikanmäki
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 48 + 0 liitettä

Työn tavoitteena oli suunnitella robottikäsivarsi, joka suoriutuu Elrob-kilpailun tehtävistä. Tavoitteena oli myös, että käsivarsi olisi jatkojalostettavissa yrityksen muihin tarpeisiin. Käsivarren tuotekehitys lähti liikkeelle Elrob-kilpailun tehtävien vaatimusten pohjalta.

Työssä tutustuttiin Elrob-kilpailun tehtäviin ja kisoissa käytettyihin robotteihin. Lisäksi tehtiin markkinakatsaus olemassa oleviin valmiisiin käsivarsiin sekä moduuleihin, joista käsivarsia voitaisiin rakentaa. Markkinakatsauksen ja tehtävien vaatimusten pohjalta taulukoitiin löydetyt vaihtoehdot ja vertailtiin ominaisuuksia. Ominaisuuksien ja työnantajan ohjeiden pohjalta valittiin sopivin vaihtoehto käsivarren toteuttamiseksi.

Opinnäytetyön tavoite muuttui hieman työn edetessä. Työhön lisättiin hydraulikalla toimivan käsivarren esiselvitys. Opinnäytetyön tuloksena syntyi ensimmäinen malli hydraulikalla toimivasta robottikäsivarresta. Kyseinen käsivarsi on varustettu kahdella nivelvarrella sekä käsivartta pyörittävällä sähkömoottorilla. Kyseisen mallin pohjalta hydraulikalla toimivan käsivarren tuotekehitys on helppo aloittaa.

Asiasanat: robottikäsivarsi, hydraulikka, moduuli, Elrob

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineering, Machine automation

Author: Eetu Koskela
Title of thesis: Robotic Arm
Supervisors: Eero Korhonen, Matti Tikanmäki, Antti Tikanmäki
Term and year when the thesis was submitted: kevät 2018
Pages: 48 + 0 appendices

The main goal of this thesis was to design a robotic arm that would overcome the tasks of the Elrob competition. Another goal was that the arm could be further processed to the other needs of the company. The product development of the robotic arm started from the requirements of the Elrob-competition.

The first goal of the thesis was to become acquainted with the robots used in the Elrob-competition and with the tasks the competition includes. A market overview was made on the existing arms as well as on modules for which the arm could be made. Based on the market overview and the requirements of the robotic hand, the found options were tabulated and the features were compared. The best option was then chosen based on the features and the employer's instructions.

The goal of the thesis changed while the work progressed. The thesis changed more to a preliminary work of a hydraulic robotic arm. The result of the thesis was a model of a hydraulic robotic arm. The robotic arm is equipped with two arms and one electric motor that rotates the arm. Based on this model, further product development is easy to start.

Keywords: robot arm, hydraulics, module, Elrob

ALKULAUSE

Haluan kiittää koko Probot Oy:n henkilökuntaa ohjeista ja asiantuntevista vinkeistä ongelmatilanteissa opinnäytetyöni aikana. Erityiskiitokset opinnäytetyön ohjaajille ja aiheen antajille Probot Oy:n toimitusjohtaja Matti Tikanmäelle sekä tekniselle johtajalle Antti Tikanmäelle. Suuret kiitokset myös koulun puolesta minulle valitulle ohjaavalle opettajalle yliopettaja Eero Korhoselle.

Oulussa 14.5.2018

Eetu Koskela

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 ELROB 2018 -ROBOTTIKILPAILU	9
2.1 Saattue-tehtävä	9
2.2 Muuli-tehtävä	10
2.3 Rakenteiden tiedustelutehtävä	11
2.4 Nuken evakuointitehtävä	12
2.5 Pommien etsimis- ja hävittämistehtävä	13
2.6 Robottikäsivarren vaatimukset kilpailun tehtävien näkökulmasta	14
2.6.1 Saattueen vaatimukset	14
2.6.2 Muulin vaatimukset	14
2.6.3 Rakenteiden tiedustelun vaatimukset	15
2.6.4 Nuken evakuoinnin vaatimukset	15
2.6.5 Pommien etsinnän vaatimukset	16
2.7 Elrob 2016 -kilpailuihin osallistuneet robotit	16
2.7.1 iRobot PackBot 510 EOD	16
2.7.2 Joukkueen TNO – NLD EODD robotti	17
2.7.3 Telex ja Teodor	17
3 ROBOTTIKÄDEN VAATIMUSMÄÄRITTELY	19
4 MÖRRI-ROBOTTI	22
5 MARKKINAKATSAUS	25
5.1 Menetelmät	25
5.2 Käytetyt hakusanat	25
5.3 Iguksen valmiit käsivarret ja moduulit	26
5.4 Elfin- kollaboratiivinen robottikäsivarsi	28
5.5 Hansmotor D-moduuli	28
5.6 Hebi robotics	29

5.7 Servosila	31
5.8 Aubo robotic	31
5.9 Kinova robotics	33
5.10 Robotis manipulator DOF 6	34
5.11 Igusin nivelet Beckhoffin moottoreilla ja ohjaimilla	35
5.12 Hydraulikalla toimiva robottikäsivarsi	35
5.12.1 Hydraulikkajärjestelmän lähtötiedot	36
5.12.2 Hydraulikkajärjestelmän mitoitus	36
5.12.3 Hydraulikkakomponenttien valinta	38
5.12.4 Hydraulikkajärjestelmä standardiosia käyttäen	39
5.13 Hydraulikalla toteutettu käsivarsi	39
6 MARKKINAKATSAUKSEN YHTEENVETO	41
7 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on robottikäden suunnittelu Probot Oy:lle. Probot Oy on oululainen yritys, jonka toimenkuvaan kuuluvat automaatio ja robotiikka. Yritys on osallistunut usean vuoden ajan robottikilpailuihin ympäri maailmaa yhteistyössä Oulun yliopiston kanssa. Kisarobottia ei ole varustettu käsivarrella, joten käsivarren puuttuminen on rajoittanut kilpailuihin osallistumista oleellisesti. Näin ollen käsivarren lisääminen robottiin on perusteltua.

Työssä tehdään markkinakatsaus olemassa oleviin valmiisiin käsivarsiin ja moduuleihin, joista käsivarsia voi rakentaa. Lisäksi työssä vertaillaan markkinakatsauksessa löydettyjen komponenttien ominaisuuksia ja hintoja sekä suunnitellaan käsivarsi, joka pystyy suoriutumaan kisan tehtävistä. Käsivarsi suunnitellaan myös tulevaisuuden räätälöimismahdollisuuksia silmällä pitäen, koska toiveena on, että tulevaisuudessa käsivartta voitaisiin käyttää myös muuhun liiketoimintaan. Opinnäytetyö rajoittuu pelkkään käsivarteen, joten käsivarteen mahdollisesti liitettävä tarttuja ja käsivarren ohjelmointi eivät kuulu työn aiheeseen.

2 ELROB 2018 -ROBOTTIKILPAILU

European land robot trial (Elrob) -kilpailu järjestetään Belgiassa 24. - 28.9.2018. Kilpailu järjestetään yhteistyössä sotilasasiantuntijoiden kanssa. Kilpailun viisi tehtävää jäljittelevät tyypillisiä, vaarallisia sotilastehtäviä, jotka voitaisiin suorittaa myös roboteilla, ilman että ihmishenkiä joutuisi vaaraan. (1.)

Elrob-robottikilpailuja on järjestetty vuodesta 2006 asti, joten edellisissä kilpailuissa käytettyihin robottikäsivarsiin tutustuminen antaa myös hieman suuntaa, millaisilla kokoonpanoilla tehtävät on mahdollista varmasti suorittaa. Edellisten kilpailujen roboteista löytää kuvia ja videoita Elrobin internetsivuilta. (2.)

Kilpailun tehtäviin tutustuminen antoi tärkeää tietoa siitä, mitä ominaisuuksia toteutettava käsivarrelta vaaditaan. Näiden tehtävien pohjalta alustava vaatimusmäärittely oli mahdollista tehdä. Probot Oy:n on tarkoitus osallistua kahteen tai kolmeen tehtävään. Seuraavassa esitellään kaikki kisan viisi tehtävää.

2.1 Saattue-tehtävä

Saattue-tehtävä suoritetaan olosuhteissa, joissa on monenlaisia esteitä siellä operoivalle robotille. Alueella on mahdollisesti barrikadeja, umpikujia sekä oja. (3.)

Tehtävänä on siirtää kaksi ajoneuvoa kohdepisteeseen mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman itsenäisesti. Ajoneuvon painon tulee olla vähintään 50 kg. Aikaa tehtävän suorittamiseen on 45 minuuttia. Matkaa kohdepisteelle on noin 3 km. Vain operaattori saa ohjata ajoneuvoja. Ohjaaminen tapahtuu ohjausasemasta, joka on ajoneuvossa tai kiinteänä aloituspaikalla. Ohjausasemia saa olla vain yksi. (3.)

Joukkue saa tehtävän alussa digitaalisen kartan, jossa on UTM-koordinaatit reittipisteiden välillä. Pisteet on kuljettava oikeassa järjestyksessä. Ajoneuvot eivät saa ajaa suoraan pisteiden välillä, vaan niiden on hyödynnettävä maastossa olevia polkuja ja teitä. Ajoneuvojen kuljettu reitti ja koordinaatit pitää tallentua digitaaliseen karttaan. (3.)

Lisäksi tehtävänä on etsiä maastosta kohteita, jotka löytyvät reitin varrelta. Kohteen löytyessä sen paikka pitää merkitä karttaan ja siitä pitää ottaa kuva. (3.)

Tehtävän lopuksi kerätty data luovutetaan kisajärjestäjille. Tähän tehtävään yritys ei ole osallistumassa. Kilpailussa pitää olla kaksi painavaa ja todella hyvillä maasto-ominaisuuksilla varustettua ajoneuvoa, joten tehtävää ei voida suorittaa olemassa olevalla mobile robotti -alustalla. Kuvasta 1 näkee operointiympäristön. (3)



KUVA 1. Saattueen operointiympäristö (3)

2.2 Muuli-tehtävä

Tehtävä suoritetaan taajamaolosuhteissa. Alueella voi olla barrikadeja, umpikujia ja oja. Tehtävä alueella on kaksi leiriä (P1 ja P2), joiden välimatka toisistaan on noin 500 m. Ajoneuvon pitää toimia muulina kahden leirin välillä kuljettaen hyötykuormaa mukanaan leiristä toiseen. (4.)

Ajoneuvon pitää kulkea yhden operaattorin ohjastamana leiriltä P1 leirille P2. Tämä on niin sanottu opetusvaihe. Opetusvaiheen jälkeen ajoneuvon pitää pystyä kulkemaan mahdollisimman itsenäisesti opetettua reittiä, ilman että operaattori ohjaa sitä. Ajoneuvon ollessa autopilotilla se ajaa leirien väliä itsenäisesti mahdollisemman monta kertaa. (4)

Tehtävään saa käyttää vaan yhtä ajoneuvoa sekä ohjausasemaa. Kuljettava reitti pitää tallentua digitaaliseen karttaan koordinaattien kanssa. Lisäksi maastosta pitää etsiä sinne

vietyjä kohteita. Kohteiden olinpaikat merkitään karttaan ja niistä otetaan kuva. Koko tehtävän suorittamiseen on aikaa 30 minuuttia. Tähän tehtävään Probot on osallistumassa. Kuvasta 2 näkee operointiympäristön. (4)



KUVA 2. Muulin operointiympäristö (4)

2.3 Rakenteiden tiedustelutehtävä

Tehtävä suoritetaan rakennetussa kaupunkiympäristössä. Tässä tehtävässä haasteita tuovat portaat, pimeät huonetilat, suljetut ovet, kivet ja muut mahdolliset esteet robotin operointialueella. (5)

Tehtävänä on tutkia rakennuksien sisätilat ja etsiä sieltä kohteita. Rakennuksista ja alueesta tehdään myös 3D-malli. Aina objektin löydyttyä se merkitään tehtyyn 3D-malliin ja siitä otetaan kuva. Robotin kulkema reitti piirretään karttaan ja tehtävän jälkeen kaikki kerätty data lähetetään kisan järjestäjille. Koko tehtävän suorittamiseen on aikaa 30 minuuttia. Tähän tehtävään Probot on osallistumassa. Kuvasta 3 näkee operointiympäristön. (5)



KUVA 3. Rakenteiden tiedustelun operointiympäristö (5)

2.4 Nuken evakuointitehtävä

Tehtävä suoritetaan taajamaympäristössä, jossa voi olla monenlaisia esteitä. Tehtävänä on pelastaa haavoittuneet henkilöt kahdesta eri pisteestä, P1 ja P2. Matkaa aloituspaikalta pisteisiin on noin 50 - 75 metriä. Kohteiden löydyttyä ne evakuoidaan lähtöpaikalle. (6)

Lähdössä tiimi saa digitaalisen kartan, jossa on pisteiden P1 ja P2 sijainnit. Nuken löydyttyä pisteeltä se evakuoidaan lähtöpaikalle. Nukke on noin 170 cm pitkä ja painaa 10 - 70 kg. Tähän tehtävään Probot on osallistumassa. Kuvasta 4 näkee tehtävän operointiympäristön sekä evakuoitavat nuket. (6.)



KUVA 4. Nuken evakuoinnin operointiympäristö sekä evakuoitavat nuket (6)

2.5 Pommien etsimis- ja hävittämistehtävä

Tehtävä tapahtuu taajamaympäristössä, jossa portaat, suljetut ovet ja huono valaistus tuovat haastetta tehtävään. Tutkittava alue on noin 100 x 100 metriä. Joukkue saa tehtävän alussa digitaaliseen kartan, jossa näkyvät tutkittavan alueen rajat. Pommit voivat olla piilotettuina putkiin, autoihin, rakennuksiin tai maahan. Koko tehtävän suorittamiseen aikaa on 60 minuuttia. Tämän tehtävän suorittaminen on tarkoitettu vaan ammattilaisille. Tähän tehtävään Probot ei ole osallistumassa. Kuvassa 5 on tehtävän operointiympäristö. (7)



KUVA 5. Pommitehtävän operointiympäristö (7)

2.6 Robottikäsivarren vaatimukset kilpailun tehtävien näkökulmasta

Kilpailun tehtäviin tutustuminen antaa tietoa, mitä käsivarrelta vaaditaan, jotta se selviytyy tehtävistä. Suurimmassa osassa ovat robotin nostokyky sekä ulottuvuus. Myös vapausasteiden määrällä on merkitystä. Käsivarsi, jossa on vähän vapausasteita, ei saa mahdollisesti käsivarteen liitettävää tarttujaa oikeaan asentoon ja kulmaan parhaan mahdollisen tartunnan aikaan saamiseksi. Seuraavassa on esitetty robottikäsivarren vaatimukset tehtävien suorittamiseen.

2.6.1 Saattueen vaatimukset

Tehtävässä tulee kuljettaa kaksi maastoajoneuvoa pisteestä toiselle. Tehtävässä vaaditaan paljon Mobile robotti -alustalta, mutta käsivartta tämän tehtävän suorittamiseen ei tarvitse.

2.6.2 Muulin vaatimukset

Tehtävän suorittamiseen ei käsivarrella ole merkittävää merkitystä. Käsivarresta on mahdollisesti hyötyä kohteiden kuvaamisessa. Tehtävän pääpainopiste on hyvässä Mobile robotti -alustassa.

2.6.3 Rakenteiden tiedustelun vaatimukset

Tehtävän suorittamiseen käsivarsi on lähes välttämätön. Tehtävä tapahtuu kaupunkiympäristössä ja operointi tapahtuu osaksi rakennuksissa.

Kiinni olevien ovien aukaisuun tarvitsee tietyn voiman, jotta kahvaa saa väännettyä. Myös ulottuvuutta täytyy olla, jotta robotti yltää kahvaan. Suuresta ulottuvuudesta on myös hyötyä rakennuksia tutkiessa rakennuksen ulkopuolelta. Robottikäsivarten kiinnitetty kamera on mahdollista kurkottaa ikkunan tasolle ja näin operaattori näkee huoneen ilman huoneeseen menoa. Tämä säästää aikaa huomattavasti.

Oven kahvat ovat normaalisti 850 - 1 100 mm:n korkeudella maan pinnasta. Pitää ottaa huomioon, että käsivarsi tulee mobile robotti -alustan päälle. Näin ollen käsivarren ulottuvuus ei tarvitse olla 1 100 mm. Kahvan aukaisuun tarvitaan noin 20 N:n voima sekä kiertävä akseli.

2.6.4 Nuken evakuoinnin vaatimukset

Tehtävässä pitää evakuoida kaksi 10 - 70 kg painoista nukkea. Nuken painoa ei ole annettu tarkasti, joten se saattaa olla jopa 70 kg painoinen. Käsivarren vaatimusmäärittelyn näkökulmasta pitää olettaa, että nukke on 70 kg painoinen ja käsivarren pitää suoriutua tehtävästä.

Tehtävänannossa ei ole määritelty, miten nukke pitää evakuoida. Nuken painon vuoksi viisain vaihtoehto lienee vetää nukkea perässä kantamisen sijasta.

Kuvista huomaa, että nukilla on taisteluliivit päällä. Näin ollen tarttuminen käsivarrella on mahdollista liivin remmeistä. Mobile robot -alustassa voisi olla koukku, johon remmin saa laitettua. Käsivarren tehtäväksi jäisi ujuttaa remmi alustan koukkuun. Evakuointi tapahtuisi nukkea perässä vetämällä, nuken ollessa mobile robotin koukussa ja käsivarren ollessa vapaana.

Tämän tehtävän suorittamiseen käsivarrelta ei vaadita paljoa ulottuvuutta tai kantokykyä. Alustan voi ajaa aivan nuken viereen, josta käsivarsi poimii remmin ja ujuttaa sen aivan nuken vieressä olevaan koukkuun.

2.6.5 Pommien etsinnän vaatimukset

Tehtävä vaatii suurella kantokyvyllä varustetun tarttujan, jolla on ulottuvuutta. Tehtävässä pommien etsintä tapahtuu ovia aukoen ja paikkoja tutkien. Tehtävän suorittamiseen vaaditaan myös paljon muuta teknologiaa.

2.7 Elrob 2016 -kilpailuihin osallistuneet robotit

Seuraavassa esitellään kolme erilaista kilpailuissa käytettyä robottia. Nämä robotit on varustettu käsivarsilla ja ne ovat osallistuneet vuonna 2016 samoihin tehtäviin kuin Probot on osallistumassa.

2.7.1 iRobot PackBot 510 EOD

Robotti iRobot PackBot 510 EOD on osallistunut rakennustiedustelu-, nuken evakuointi- ja pommienetsintätehtäviin. Robottikäsivarressa on kahdeksan vapausastetta. Kantokykyä käsivarrella 4,5 kg käsivarren ollessa ojennettuna. Käsivarrella itsellään on painoa 9,3 kg ja ulottuvuutta 1 870 mm. (8.)

Robottimalli on toiminut Yhdysvaltojen sotilastehtävissä Irakissa ja Afganistanissa. Tästä voi päätellä, että robotissa käytetään parasta teknologiaa ja sen takana on suuri työryhmä suurella budjetilla. Robotti on mukana vertailussa sen monipuolisen kisamenestyksen vuoksi. (Kuva 6.) (9.)



KUVA 6. iRobot 510 PackBot (9)

2.7.2 Joukkueen TNO – NLD EODD robotti

Robotista ei löydy tarkempia tietoja internetistä, joten ilmeisesti se ei ole yleisesti markkinoilla. Kuvan 7 robotissa on neljä vapausastetta. Robotin hyvän kisamenestyksen huomioon ottaen voi päätellä, että neljällä vapausasteella tehtävien suoritus on mahdollista.

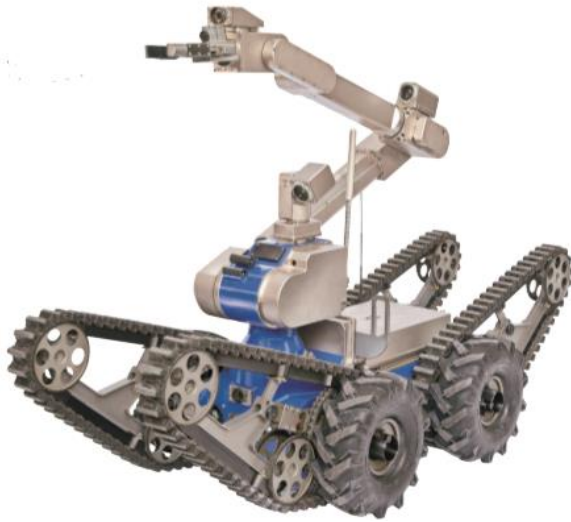


KUVA 7. Joukkueen TNO - NLD EODD robotti (10)

2.7.3 Telemax ja Teodor

Cobham-niminen saksalainen joukkue osallistui kilpailuun kahdella robotilla. Telemax-robotin tekniset tiedot löytyivät internetistä. (11.)

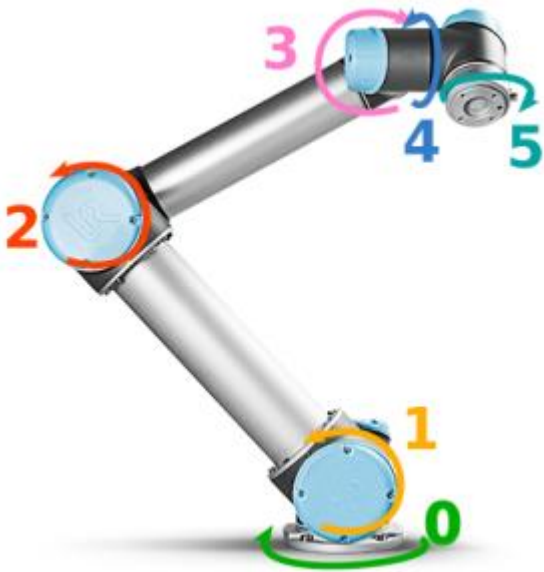
Telemax-robotin käsivarsi on varustettu seitsemällä vapausasteella, joista yksi nivelvarsi on teleskooppinen. Maksimi kantokyky on 30 kg. Ulottuvuus eteenpäin kurkottaessa on 1 530 mm, teleskoopilla +290 mm. (Kuva 8.) (11.)



KUVA 8. Telemax-robotti (11)

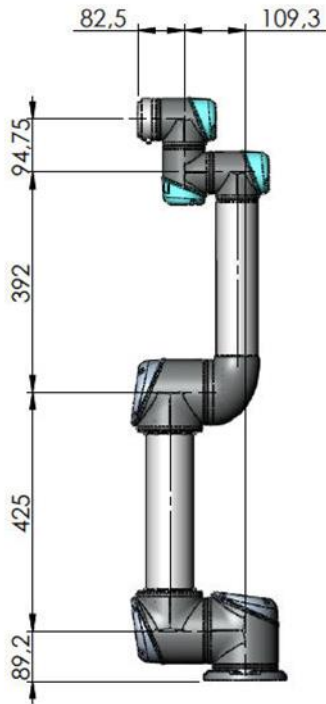
3 ROBOTTIKÄDEN VAATIMUSMÄÄRITTELY

Robottikäden toiminnalliset vaatimukset vastaavat Universal Robotsin valmistamaa UR5-robottikäsiä. UR5-robotin ominaisuuksilla robottikäsi suoriutuu kisan kolmesta skenaariosta. Jotta robottikäden vaatimukset selviävät, pitää tutustua UR 5-robotin spesifikaatioon ja uuden robottikäden kehittäminen pitää aloittaa niiden vaatimuksien pohjalta. Kuvasta 9 näkee UR5-robotin nivelet ja niiden nimeämistavan.



KUVA 9. UR5-robotti (12)

Robottikäsiä valinnassa tärkeässä asemassa ovat myös kustannustehokkuus ja tietynlainen räätälöitävyys tulevaisuutta ajatellen. Ajatuksena on, että tulevaisuudessa käsiä voitaisiin käyttää myös yrityksen muuhun liiketoimintaan. Kuvasta 10 näkee UR5-robotin nivelvarsien mitat.



KUVA 10. UR5-robotin mitat

UR5-robotin nivelet koostuvat 1 ja 3 koon moduuleista, joita kumpiakin on robotissa kolme. 3 koon nivelen maksimi vääntö on 150 Nm ja 1 koon nivelen 28 Nm. Kun nivelien väännöt ovat tiedossa irtomoduurien mitoittaminen on helpompaa. Taulukossa 1 on UR5-robotin teknillinen spesifikaatio. (12)

TAULUKKO 1. UR5-robotin spesifikaatio (12)

UR5-robotin spesifikaatio	
Paino	18,4 kg
Kantokyky	5 kg
Ulottuvuus	850 mm
Vapausasteiden toimintasäde	+/- 360°
Nopeus	180 °/s
Toistotarkkuus	0.1 mm
Vapausasteiden määrä	6 kpl
IP-luokitus	54

Robottikäsivarren painolla ei ole niin suurta merkitystä, kunhan paino pysyy kohtuuden rajoissa. Robotti alustan kantavuus on hieman yli 150 kg, joten sillä ei ole merkitystä painaako käsivarsi 5 kg, vai 15 kg. Robotin ulottuvuus, kantokyky, vapausasteiden määrä ja paikoitus tarkkuus määräävät suunniteltavan robottikäsivarren ominaisuudet. Robottikäsivarren ulottuvuus ja kantokyky ovat ratkaisevat suuret käsivarrelle. Kilpailun tehtävissä joutuu mahdollisesti avaamaan ovia, joten voimaa kahvan liikuttamiseen pitää olla tietty määrä, sekä ulottuvuutta pitää olla kahvan korkeudelle.

Käsivarsi kiinnitetään liikkuvaan alustaan, joka voi myös kääntyä. Näin ollen käsivarsi voi suoriutua tehtävistä vähemmällä vapausasteilla kuin UR5:n kuudella. Robottikäden tuotekehitys lähtee liikkeelle UR5-robotin spesifikaation pohjalta.

4 MÖRRI-ROBOTTI

Mörri mobiilirobotti on Oulun yliopiston älykkäiden järjestelmien tutkimusryhmän suunnittelema ja kehittämä ulko-robotti. Robotti on valmistunut vuonna 2008 parin vuoden kehittämisen tuloksena. Kyseinen robotti on osallistunut yhteistyössä Probotin kanssa Elrob-kilpailuihin. (13.)

Mörrin tiedot ovat seuraavat:

- korkeus 60 cm
- leveys 50 cm
- pituus 90 cm
- paino noin 60 kg
- melutaso < 80 dB
- toiminta-aika noin 6 h
- maksiminopeus 40 km/h
- maksimikuorma +150 kg. (12)

Probot kaupallistaa vanhan Mörrin pohjalta uuden mobiilirobotti alustan, johon myös käsisivarsi asennetaan. Kyseisen uuden Mörrin tiedot eivät ole vielä saatavissa, koska alusta on vielä kehityksessä. Varmaa kuitenkin on, että robotin teho kasvaa. Kuvassa 11 on Mörri-robotti.



KUVA 11. Mörri-robotti (14)

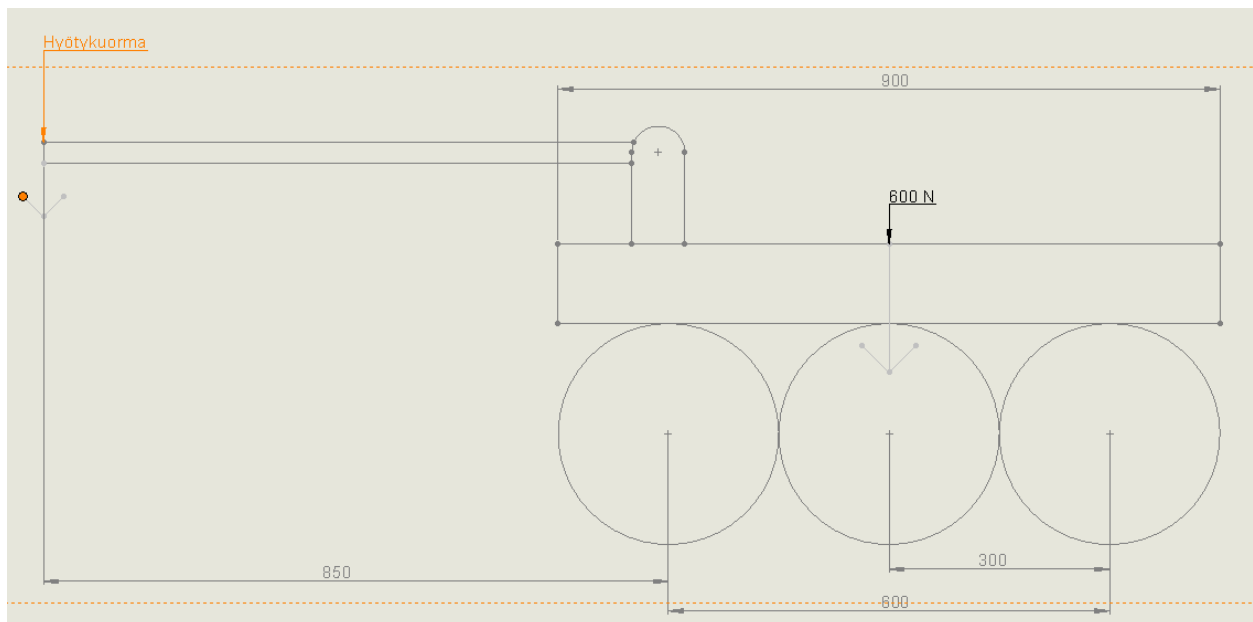
Robottikäsi­varren mitoituksessa on otettava huomioon paino, jonka käsi­varsi voi nostaa ilman että alusta pyö­rähtää tukipisteensä ympär­i. Käsi­varren ulottuvuuden vuoksi vii­sainta on, että käsi­varsi asennetaan alustan jompaankumpaan päähän. Vanhan Mörrin ulkomittojen ja UR5-robotin ulottuvuuden avulla maksimi kantokyky ilman keikahtamista on mahdollista laskea.

Kaavalla 1 on mahdollista laskea kuvan 12 mukainen tilanne ja selvittää hyötykuorma alustan keikkaamatta. Laskussa ei ole otettu huomioon käsi­varren omaa massaa.

$$600 \text{ N} \times 0,3 \text{ m} - \text{hyötykuorma} \times 0,85 \text{ m} = 0$$

KAAVA 1

Alustan reunaan kiinnitetyllä 850 mm varrella on mahdollista nostaa 21 kg ilman että alusta pyö­rähtää tukipisteensä ympär­i.



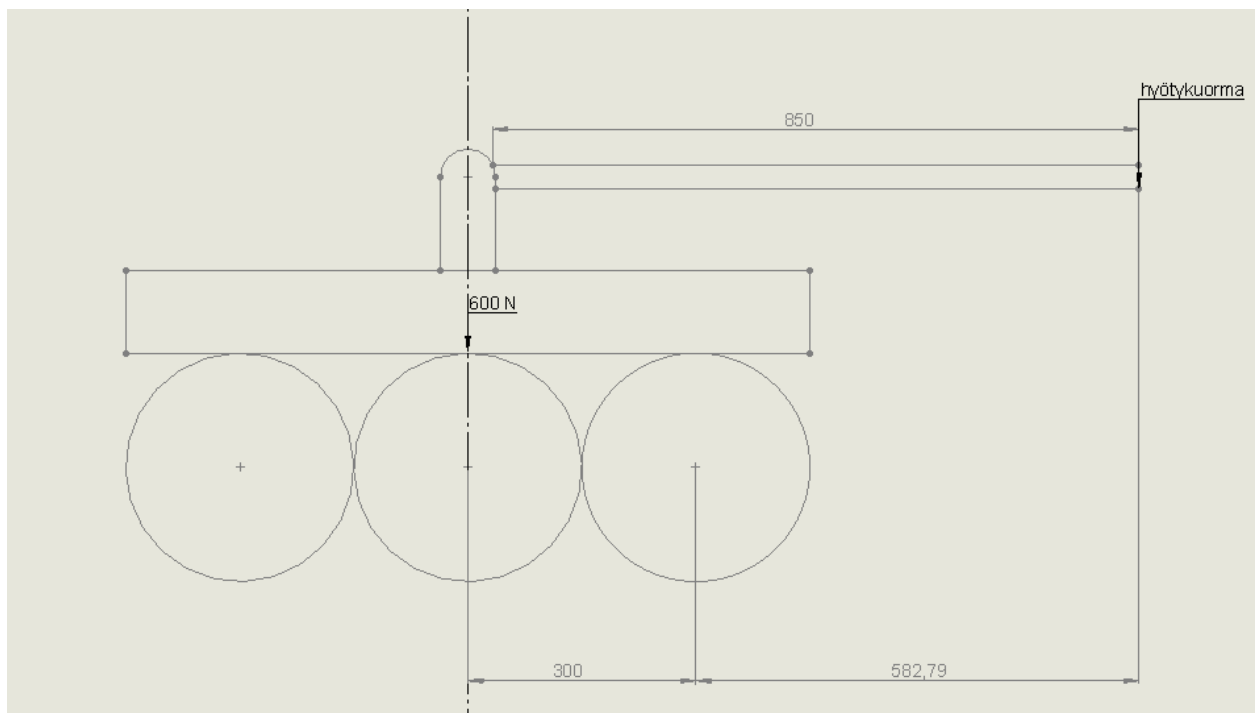
KUVA 12. Statiikkatarkastelu varren ollessa alustan reunassa.

Kaavalla 2 on mahdollista laskea kuvan 13 mukainen tilanne ja selvittää hyötykuorma alustan keikkaamatta. Laskussa ei ole otettu huomioon käsi­varren omaa massaa.

$$0,582 \text{ m} \times \text{hyötykuorma} - 0,3 \text{ m} \times 600 \text{ N} = 0$$

KAAVA 2

Alustan keskelle kiinnitetyllä 850 mm varrella on mahdollista nostaa 30 kg ilman että alusta pyörähtää tukipisteensä ympäri.



KUVA 13. Statiikkatarkastelu varren ollessa alustan keskellä.

5 MARKKINAKATSAUS

Opinnäytetyön haastavimpia työvaiheita on moduulien ja käsivarsien löytäminen internetistä. Robottikäsivarsi- ja moduulimarkkinat ovat kohtalaisen suuret, mutta löytäminen Googlestä tuotti hieman päänvaivaa tuotteiden nimien takia. Samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettut moduulit ja käsivarret ovat yrityksissä nimetty erilaisilla tavoilla, joten eri hakusanoja joutui käyttämään paljon.

Vaatimusmäärittelyn pohjalta sopivien komponenttien etsiminen ja taulukointi helpottivat niiden vertailua ja vaihtoehtojen karsimista. Tässä vaiheessa komponenttien hinta ei ole tiedossa, mutta ominaisuuksien ja käyttöliittymän pohjalta mahdollisesti sopivimmat komponentit esitellään toimeksiantajalle. Seuraavassa on esitetty markkinakatsauksessa löydetty komponentit.

Markkinakatsauksessa selvitettiin myös, voiko robottikäsivarren toteuttaa osaksi tai kokonaan hydraulilla. Näin robotin paino pysyisi kurissa ja robotilla olisi mahdollista liikkua suurempia taakkoja kuin sähkönivelillä.

5.1 Menetelmät

Markkinakatsauksessa komponenttien etsiminen tapahtui Google hakupalvelulla. Löydetty komponentit taulukoitiin Exceliin. Lisäksi asian läpikäyntiä varten toteutettiin myös Powerpoint-esitys.

5.2 Käytetyt hakusanat

Taulukossa 2 on listattuna markkinakatsauksessa käytetyt hakusanat.

TAULUKKO 2. Käytetyt hakusanat

Robot joint module
Smart actuator
Snake module
Robot arm
Robot arm module
Robot arm joint
Smart servo module
Robot module
Smart robot actuators
Micro hydraulic cylinders
Hydraulic cylinders
Mikroaluokan hydrauliiikka koneikko

5.3 Igusien valmiit käsivarret ja moduulit

Taulukossa 3 on listattu Igusin valmistamat valmiit käsivarret. Käsivarsia on neljä eri mallia ja jokaista mallia kahdessa eri kokoluokassa. Käsivarren hinta on alkaen 7 000 €.

TAULUKKO 3. Igusin valmiit käsivarret (15)

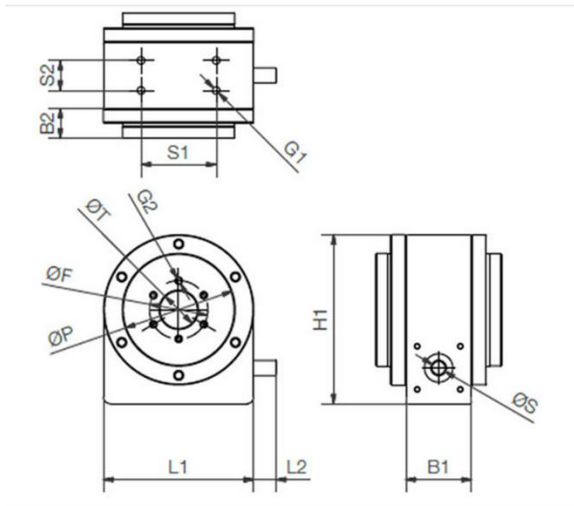
Igus Robolink valmiit käsivarret				
Malli	Nivelet	Ulottuvuus	Max kuorma	IP
RL-DC, pieni versio	4	600 mm	1 kg	52
RL-DC, suuri versio	4	750 mm	3 kg	52
RL-DC, pieni versio	5	600 mm	0.5 kg	52
RL-DC, suuri versio	5	750 mm	2.5 kg	52
RL-DQ, pieni versio	4	600 mm	1.5 kg	52
RL-DQ, suuri versio	4	750 mm	4 kg	52
RL-DQ, pieni versio	5	600 mm	1 kg	52
RL-DQ, suuri versio	5	750 mm	3.5 kg	52

Igusilla on myös niveliä irtotavaroina. Niitä on kolmea kokoa:

- halkaisija (ØT) 20 mm, 30 mm, 50 mm
- kuluttajalla sopivia materiaalivaihtoehtoja on low-cost, standard ja high-end, joita on kolmea mallia
- symmetrinen, kahdella laakerilla varustettu

- epäsymmetrinen, yhdellä laakerilla varustettu
- ilman laakeria oleva. (16)

Kuvassa 14 on Igusin kahdella laakerilla varustettu nivel.



KUVA 14. Igus Robolink nivel (16)

Kuvassa 15 on Igus RL-DC käsivarsi nelinivelisenä pienenä versiona. Kyseisen käsivarren kantokyky on 1 kg.



KUVA 15. Igus Robolink RL-DC (15)

5.4 Elfin- kollaboratiivinen robottikäsivarsi

Kiinalaiselta Hansmotorilta löytyy kollaboratiivinen käsivarsi, joka vastaa monilta osin UR5-robottia. Toistotarkkuus ja kantokyky on myös UR5-robotin kanssa samaa luokkaa. Käsivarsi on valmistettu alumiinista. (17)

Kuvassa 16 on Elfinin pienin malli. Käsivarret ovat ulkonäöltään saman näköisiä, koko vain kasvaa suurempaan mentäessä.



KUVA 16. Elfin E3 -robottikäsivarsi (17)

Taulukossa 4 luetteloituna kaikki Elfinin käsivarsimallit. Kaikissa käsivarsissa on kuusi vapausastetta, kuten UR5-robotissa

TAULUKKO 4. Elfin robottien -spesifikaatio (17)

Tyyppi	E3	E5	E5-L	E10	E15	Yksikkö
Paino	17	23	24	40	40	kg
Max. Kantokyky	3	5	3,5	10	10	kg
Ulottuvuus	590	800	950	1000	700	mm
Toistotarkkuus	+0,05	+0,05	+0,05	+0,05	+0,05	mm
Vapausasteet	6	6	6	6	6	kpl
IP-luokitus	52	52	52	52	52	

5.5 Hansmotor D-moduuli

Hansmotorilta löytyy moduuleita viidessä eri kokoluokassa. Taulukossa 5 on esitelty moduuleiden tiedot.

TAULUKKO 5. Hansmotor-moduulit (18)

Hansmotor moduulien speksit					
Tyyppi	14	17	20	25	32
Vääntö	9,4 Nm	30 Nm	49 Nm	85 Nm	156 Nm
Vääntö max.	34 Nm	69 Nm	104 Nm	200 Nm	420 Nm
Paino	2,8 kg	3,8 kg	5,8 kg	9,6 kg	17 kg
IP-luokitus	54	54	54	54	54

Kuvassa 17 Hansmotorin kaikki moduulimallit. Moduulit on valmistettu alumiinista.



KUVA 17. Hansmotorin moduulit (18)

5.6 Hebi robotics

Hebi Roboticselta löytyy valmiita käsivarsia sekä moduuleita myös yksittäisinä kappaleina. Moduuleita löytyy kuutta eri mallia kahdessa eri kokoluokassa ulkomitoiltaan. Valmiita käsivarsia löytyy kolmea eri mallia neljällä, viidellä, sekä kuudella vapausasteella varustettuna. Taulukoissa 6 ja 7 Hebi roboticsen käsivarsien sekä moduuleiden tiedot. Kyseiset käsivarret eivät ole ulottuvuudeltaan ja kantokyvyltään yhtä hyviä kuin UR5-robotti.

TAULUKKO 6. Hebi Robotics -moduulit (19)

Hebi robotics X-series moduuli						
Malli	X5-1	X5-4	X5-9	X8-3	X8-9	X8-16
Paino	315 g	335 g	360 g	460 g	480 g	500 g
Vääntö max.	2,5 Nm	7 Nm	13 Nm	7 Nm	20 Nm	38 Nm
Vääntö jatkuva	1,3 Nm	4 Nm	9 Nm	3 Nm	8 Nm	16 Nm
RPM	90	32	14	84	30	15

TAULUKKO 7. Hebi Robotics -käsivarret (20)

Hebi robotics -käsivarret			
Vapausasteet	4 kpl	5 kpl	6 kpl
Paino	3 kg	3,5 kg	4 kg
Ulottuma	650 mm	650 mm	650 mm
Kantokyky	1,25 kg	1,75 kg	1 kg
Kantokyky max.	1,75 kg	4,4 kg	3,75 kg

Kuvissa 18 ja 19 on Hebi Roboticsen -moduuli sekä nelinivellinen käsivarsi.



KUVA 18. Hebi robotics -moduuli (19)



KUVA 19. Hebi roboticsen nelinivellinen käsivarsi (20)

5.7 Servosila

Servosilta löytyy korkealla IP-luokituksella varustettuja moduuleita, jotka soveltuvat myös kovaan käyttöön. Moduuleita on kolme eri mallia. Servosilan moduuleiden hinta on todella korkea verrattuna valmiiseen UR5-robottiin. Taulukossa 8 on esiteltynä Servosilan kolme eri moduulimallia.

TAULUKKO 8. Servosila-moduulit (21)

Servosila moduulit			
Malli	Servo 35	Servo 56	Servo 64
Vääntö	35 Nm	56 Nm	64 Nm
Paino	1 kg	1 kg	1,25 kg
IP-luokitus	68	68	68

Kuvassa 20 on Servosilan servo 56 -moduuli. Kyseisen moduulin suositushinta on 4 000 €.



KUVA 20. Servosilan servo 56 -moduuli (21)

5.8 Aubo robotic

Aubo roboticselta löytyy robottikäsi, joka vastaa ominaisuuksiltaan suurilta osin UR5-robotista. Aubo tarjoaa moduuleita myös yksittäisinä kappaleina, neljänä eri mallina. Aubo i5 hinta on 14 500 €. Taulukoissa 9 ja 10 on tiedot Aubon robotista sekä moduuleista.

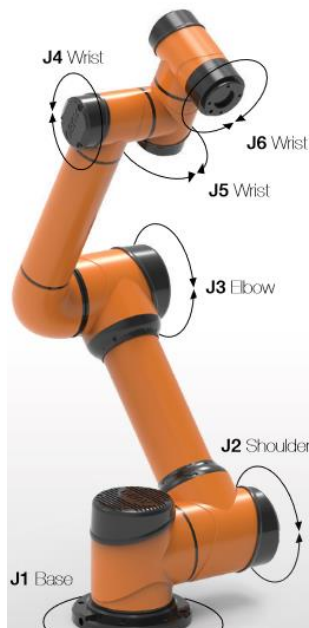
TAULUKKO 9. Aubo Robotics-moduulit (22)

Aubo robotics moduulit				
Malli	MRJ090A-II	MRJ075A-II	MRJ075A-I	MRJ060A-I
Nimellinen vääntö	30 Nm	16 Nm	14 Nm	5 Nm
Vääntö max.	90 Nm	67 Nm	67 Nm	33 Nm
Paino	1393 g	927 g	758 g	471 g

TAULUKKO 10. Aubo Robotics, Aubo i5 (23)

Malli	Aubo i5
Vapausasteet	6
Ulottuvuus	880 mm
Kantokyky	5 kg
Paino	24 kg
Toistotarkkuus (laskennallinen)	+0.05 mm
IP-luokka	54

Kuvissa 21 ja 22 on Aubon robottikäsi ja moduulit.



KUVA 21. Aubo i5-robotti (23)



KUVA 22. Aubo robotics -moduulit (22)

5.9 Kinova robotics

Kanadalaisella Kinova roboticsella on kahdenlaisia moduuleita. Kinovan moduuleille ei ole annettu IP-luokitusta. Kinovan moduulista näkee piirilevyt, jotka ei ole ollenkaan suojassa. Näin ollen IP-luokitus ei liene kovin suuri. (Kuva 23.) Taulukossa 11 on moduulien tiedot.

TAULUKKO 11. Kinova Robotics moduulit (24)

Kinova robotics moduulit		
Malli	K-75+	K-58
Vääntö	12 Nm	3,6 Nm
Vääntö max	30,5 Nm	6,8 Nm
Paino	570 g	357 g



KUVA 23. Kinovan moduulit (24)

5.10 Robotis manipulator DOF 6

Robotikselta löytyy valmis käsivarsi. Kantokyky ja ulottuvuus jää hieman UR5-robotista, mutta muilta osin käsivarsi vaikuttaa todella hyvältä vaihtoehdolta lopulliseksi tuotteeksi. Hintaa käsivarrella on 15 000 €. Käsivarren tiedot taulukossa 12. Kuvassa 24 Robotiksen kuusinivelinen käsivarsi.

TAULUKKO 12. Robotiksen valmis käsivarsi (25)

Robotis manipulator-h. DOF 6	
Ulottuma	645mm
Kantokyky	3kg
Paino	5.5kg
Toistotarkkuus	±0.5mm
Nopeus	180°sec



KUVA 24. Robotis manipulator (25)

5.11 Igusin nivelet Beckhoffin moottoreilla ja ohjaimilla

Toimeksiantaja halusi myös selvityksen Igusin nivelten ja Beckhoffin moottoreiden yhdistelmästä. Beckhoffin moottoreilla ja ohjaimilla saadaan kaikki mahdollinen vääntö irti Igusin nivelistä, kesto huomioon ottaen. Nivelten liikuttamiseen valitsin servomoottorit askelmoottorien sijaan. Servomoottorit eivät syö virtaa paikallaan ollessaan toisin kuin askelmoottorit. Taulukossa 13 on nivelien rakentamiseen käytetyt komponentit sekä tiedot, mitä nivelistä saa irti tällä kokoonpanolla.

TAULUKKO 13. Igus-nivelet Beckhoffin moottoreilla ja ohjaimilla (26) (27) (16)

		Iigus nivelet Beksun moottoreilla ja ohjaimilla								
	Tyyppi	Vääntö max.	Nopeus max.	Paino	Virta max	Virta	Hinta		Tuotekoodi	
Joint1	Nivel1	46Nm	20RPM	2.3kg	36.2A	8A		Linkki	RL-D-50-102-48-01035	
	Moottori1			2.8kg				Linkki	AM8141-wxyz	
	Ohjain1			95g				Linkki	EL7221-9014	
Joint2	Nivel2	46Nm	20RPM	3kg	36.2A	8A		Linkki	RL-D-50-101-48-01033	
	Moottori2			2.8kg				Linkki	AM8141-wxyz	
	Ohjain2			95g				Linkki	EL7221-9014	
Joint3	Nivel3	18.2Nm	33RPM	1.180kg	27.8A	5A		Linkki	RL-D-30-101-50-01000	
	Moottori3			1.8kg				Linkki	AM8131-wxyz	
	Ohjain3			95g				Linkki	EL7211-0010	
Joint4	Nivel4	18.2Nm	33RPM	1.180kg	27.8A	5A		Linkki	RL-D-30-101-50-01000	
	Moottori4			1.8kg				Linkki	AM8131-wxyz	
	Ohjain4			95g				Linkki	EL7211-0010	
Joint5	Nivel5	18.2Nm	33RPM	1.180kg	27.8A	5A		Linkki	RL-D-30-101-50-01000	
	Moottori5			1.8kg				Linkki	AM8131-wxyz	
	Ohjain5			95g				Linkki	EL7211-0010	

5.12 Hydraulikalla toimiva robottikäsi

Toimeksiantajalta tuli idea markkinakatsauksen loppupuolella siitä, voisiko robottikäsi saada voimansa hydraulikasta. Käsiarten saataisiin paljon enemmän voimaa kuin sähkönelillä toimivaan käsiarten. Ideana oli, että robottikäsiarren mekaniikka olisi kaivinkoneen tapainen, kolmella sylinterillä varustettu.

Markkinoilla on paljon kaivinkoneiden pienoismalleja, joissa käytetään oikeaa hydraulikaa. Kaivinkoneet ovat akkukäyttöisiä ja niitä voi liikuttaa kauko-ohjauksen avulla. Kuvassa 25 on CAT 320 kaivinkoneen pienoismalli. Kaivinkone on 1/16 suhteessa oikeaan kaivinkoneeseen.



KUVA 25. CAT 320 -kaivinkone pienoismalli (28)

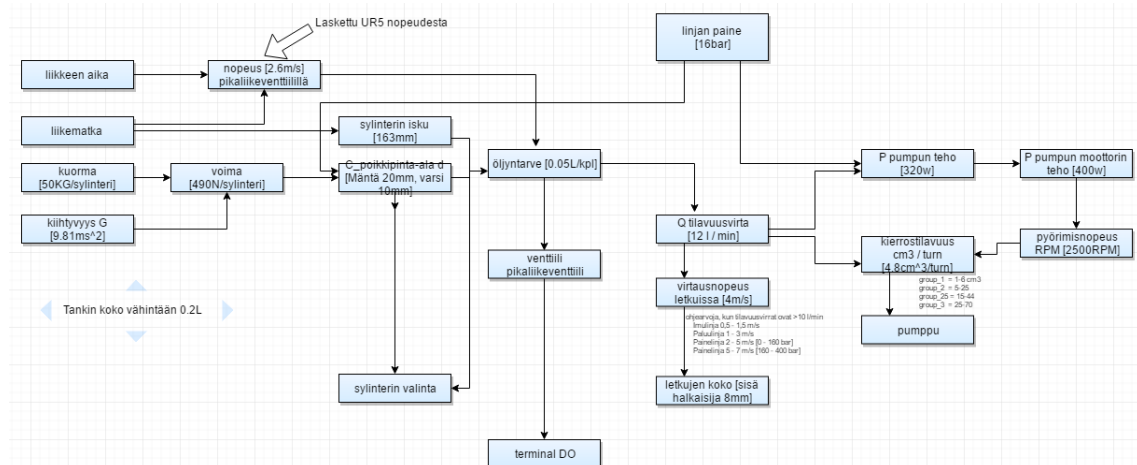
5.12.1 Hydraulikkajärjestelmän lähtötiedot

Lähtötiedot käsivartta liikuttavaan hydraulikkaan oli seuraavat:

- Paine on noin 20 bar.
- Nopeus on vastaava kuin UR5-robotissa.
- Sylintereinä tulisi käyttää RC -kaivureiden osia tai muita pieniä sylintereitä.
- Pumppu sekä moottori ovat pienikokoisia, tasavirralla toimivia.

5.12.2 Hydraulikkajärjestelmän mitoitus

Hydraulikkajärjestelmän suunnittelemisen helpottamiseen käytettiin Draw.io-sovellustasta (Kuva 26).



KUVA 26. Draw.io-kaavio hydraulijärjestelmästä

Komponenttien mitoitukseen käytettiin Hydoring Oy:n laatimaa Excel -taulukkoa. (Kuva 27.)

HYDORING		HYDRAULIIKKALASKENTA			
					Takaisin Hydoringin WEB-sivuille
SYLINDERIT					
Männän halkaisija	D = 20,00 mm	Pinta-ala (työntö)	A+ = 6,28 cm ²		
Varren halkaisija	d = 16,00 mm	Pinta-ala (veto)	A- = 2,26 cm ²		
Iskun pituus	i = 163,00 mm	Pinta-ala suhde	R= 2,78		
Lukumäärä	k = 2,00 kpl	Tilavuus (työntö)	V+ = 102,42 cm ³ =	0,10 l	
		Tilavuus (veto)	V- = 36,87 cm ³ =	0,04 l	
		Vaihtuvuus	V = 65,55 cm ³ =	0,07 l	
Paine	p = 16,00 bar	Voima (työntö)	F+ = 1,01 kN =	0,1 t	
Tilavuusvirta	Q = 12,00 l/min →	Voima (veto)	F- = 0,36 kN =	0,0 t	
		Iskuaika (työntö)	t+ = 0,5 s		
		Iskuaika (veto)	t- = 0,2 s	0,7 s	
		Nopeus (työntö)	v+ = 0,32 m/s =	318,3 mm/s	
		Nopeus (veto)	v- = 0,88 m/s =	884,2 mm/s	
		Paluuvirtaus (työntö)	Q= 4,32 l/min		
		Paluuvirtaus (veto)	Q= 33,33 l/min		
		Tehontarve	P = 0,32 kW =	0,44 hv	
Maksimipituus	l = 363,00 mm	Kimmoduuli	E = 210 000 N/mm ² (teräkselle)		
Asennustapakerroin	x = 2,00 (0.7...2)	Nurjahduspituus	Lred = 726 mm		
Nurjahdusvarmuus	v = 25,17	(Suositeltu nurjahdusvarmuus >3.5)			
PUMPUT JA MOOTTORIT					
Kierrostilavuus	Vr = 4,80 cm ³ /r →	Tilavuusvirta	Q= 12,0 l/min		
Pyörintänopeus	n = 2500,00 r/min	Vääntömomentti	M= 1,2 Nm		
Paine	p = 16,00 bar	Teho	P= 0,3 kW		
Teho	P= 0,50 kW →	Vääntömomentti	M= 4,0 Nm		
Pyörintänopeus	n= 1200,00 r/min	Kierrostilavuus	Vr= 10,0 cm ³ /r		
Tilavuusvirta	Q= 12,00 l/min	Paine	p= 25 bar		
PUTKIKOKO					
Tilavuusvirta	Q= 12,00 l/min	Virtausnopeus	v= 3,98 m/s		
Sisähalkaisija	d= 8,00 mm				
		Suositellut arvot			
		Imulinja	0,5...1,5 m/s		
		Paluulinja	2...3 m/s		
		Painelinja	4 m/s	< 50 bar	
			4...5 m/s	50...100 bar	
			5...6 m/s	100...200 bar	
			6...7 m/s	> 200 bar	

KUVA 27. Hydrauliiikkalaskenta

5.12.3 Hydraulikkakomponenttien valinta

Sopivat sylinterit löytyivät MagonHrc:ltä. Kyseisien sylintereiden maksimi työpaine on 16 bar. Sylinterin laskennallinen voima 16 bar paineella on 490 N plus-liikkeessä ja miinusliikkeessä 372 N. Sylinteri on varustettu 10 mm männänvarrella ja 20 mm männällä. Sylinterin öljyntarve on 0,05 L. Nurjahdusvarmuus on 25,17 asennustapakertoimella 2. Näiden sylintereiden heikkoudeksi voitane sanoa lyhyttä iskunpituutta. Hydraulikassa tämän kokoluokan sylinterit ovat harvinaisia, joten valikoima ei ollut aivan toivotunlainen. Vastaavasti 200 bar työpaineella varustettuja sylintereitä on markkinoilla lukemattomia erilaisia. Taulukossa 14 on sylinterien tiedot. (29)

TAULUKKO 14. Hydraulikkasyylinterit (29)

Hydraulikka sylinterit										
Nivelet	Työ paine	Maksimi paine	Varren halkaisija	Männän halkaisija	Voima (työntö/veto)	Öljyn tarve	Pituus	Iskun pituus	Nopeus	Hinta
Sylinteri 1	16bar	20bar	10mm	20mm	50kg/38kg	0.05L	200mm	164mm		50 €
Sylinteri 2	16bar	20bar	10mm	20mm	50kg/38kg	0.05L	200mm	164mm		50 €
Sylinteri 3	16bar	20bar	10mm	20mm	50kg/38kg	0.05L	200mm	164mm		50 €

Kolmen edellä mainitun sylinterin käyttöön löytyi pienehkö tasavirta koneikko Hydranit nimiseltä valmistajalta. Koneikon maksimi jatkuva paine on 160 bar, virtauksen ollessa 12 l/min luokkaa. Korkealla virtauksella saadaan nopeutta järjestelmään, jolloin käsivarren liikkeet ovat nopeampia. Tasavirtakoneikon heikkoutena on sen käyttöaika. Se ei sovellu pitkäaikaiseen käyttöön kuumenemisen vuoksi. Robottialustaan kiinnitettävän robottikäden käyttö on kerrallaan aina lyhytaikaista käyttöä, joten tasavirtakoneikon käyttö on mahdollista. Kuvassa 28 koneikossa käytettävä moottori. (30)

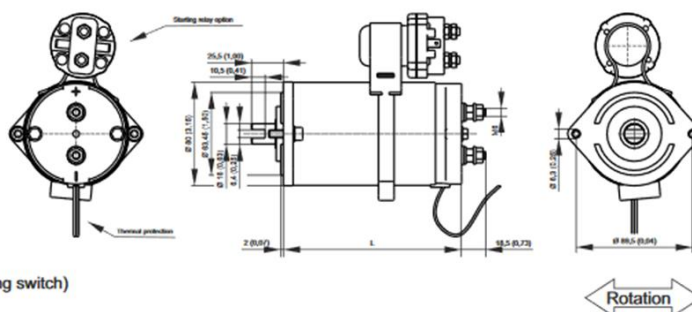
INTEGRAL DC MOTORS Ø80



Permanent magnets
Protection degree: IP54
Insulation class: F
Weight 300W/500W/800W: 2,6 kg (without starting switch)
Weight 150W: 2 kg (without starting switch)

Code

500W 12V DC + thermal protection	0,5 12DC_T	M46C1ST05	S2: 5 min S3: 15% ED	2400 rpm	68 A	137 mm
----------------------------------	------------	-----------	-------------------------	----------	------	--------



KUVA 28. Koneikon sähkömoottori (30)

5.12.4 Hydraulikkajärjestelmä standardiosia käyttäen

Standardi sylintereillä ja 200 bar paineella käsivarren kantokyky olisi paljon suurempi kuin pienellä 16 bar paineella. Toisaalta käsivarren paino kasvaisi moninkertaiseksi ja käsivarren mekaniikasta pitäisi tehdä paljon tukevampi, jotta se kestäisi sylinterien voiman.

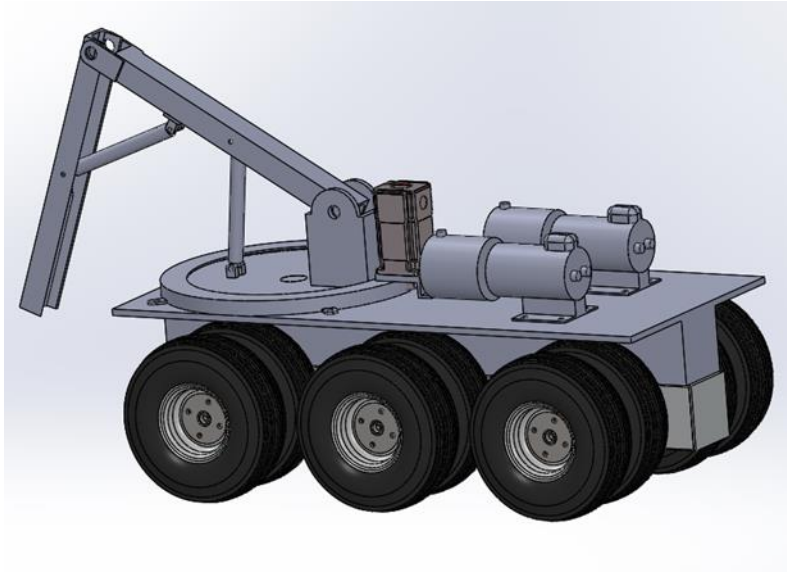
Sylinterien maksimi kapasiteettia ei voisi käyttää täysin hyödyksi, koska mobilerobotin paino on kohtalaisen pieni ja alusta tulisi keikkaamaan suuria taakkoja nostaessa. Myös moottori ja pumppu olisivat aivan eri kaliiperia kuin pienpainejärjestelmässä. Näin ollen kyseiseen sovellukseen pienpainejärjestelmä on viisaampi vaihtoehto.

5.13 Hydraulikalla toteutettu käsivarsi

Toimeksiantaja halusi alustavan mekaniikkamallin siitä, miltä mobile-robotin päälle istutettu käsivarsi voisi näyttää kahdella nivelvarrella varustettuna ja miten komponentit sopisivat alustan päälle. Toiveena oli myös selvittää käsivarren maksimikantokyky.

Kyseisessä mallissa on kaksi nivelvartta ja niitä liikuttavat hydraulikkasylinterit. Viimeisen nivelvarren jatkoksi tulisi jatkokehityksessä myös sähkömoottorilla pyöritettävä nivelvarsi sekä tarttuja.

Käsivarsi on sijoitettu alustan reunaan ja käsivarren pyöritys tapahtuu sähkömoottorilla. Sähkömoottori pyörittää kiekkoa, jossa on hammastus. Alustan toiseen päähän on sijoitettu hydraulikoneikot. (Kuva 29.)



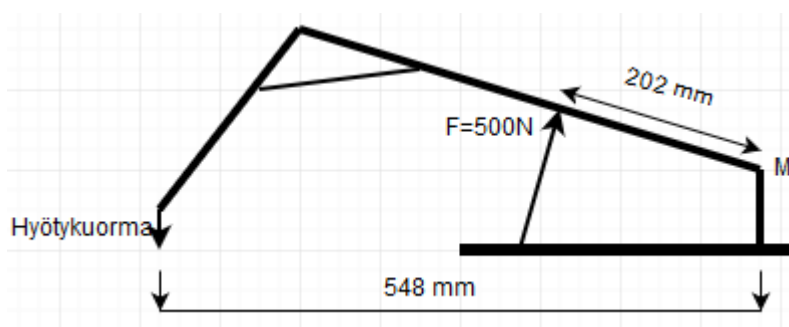
KUVA 29. Hydraulikalla toimiva käsivarsi

Kyseisen kombinaation maksiminostokyky on mahdollista laskea kaavalla 3. Kaavassa ei ole otettu huomioon käsivarren omaa massaa.

$$500 \text{ N} \times 0,202 \text{ m} - \text{hyötykuorma} \times 0,548 \text{ m} = 0$$

KAAVA 3

Kyseisellä kombinaatiolla on mahdollista nostaa 18,4 kg. Kuvassa 30 statiikkatarkastelu kyseiselle tilanteelle.



KUVA 30. Hydraulisen käsivarren nostokyvyn statiikkatarkastelu.

6 MARKKINAKATSAUKSEN YHTEENVETO

Markkinakatsauksessa löydetyt komponentit ja käsivarret vastaavat osin tai suurilta osin vaatimusmäärittelyn pohjaksi asetettua UR5-robottia. Markkinakatsauksen yhteydessä löytyi myös paljon muita erilaisia käsivarsia ja moduuleita, mutta niiden ominaisuudet olivat niin kaukana vaadittua, joten niitä ei ole otettu ollenkaan huomioon markkinakatsauksessa.

Markkinakatsauksen yksi tavoite oli vertailla hintoja suhteessa UR5-robottiin. Tämä oli hieman vaikeaa, koska vain harva valmistajista oli antanut suositushinnat tuotteilleen. Osalle tuotteista hinnan sai kaivettua jälleenmyyjien verkkosivuilta. Mutta täytyy muistaa, että suositushinnat internetissä ovat harvoin lopullisia hintoja ja tarjouspyynnöllä hinta voi olla paljonkin alhaisempi. Näin ollen kattavan hintavertailun tekemiseen vaadittaisiin paljon sähköpostittelua valmistajien kanssa. Taulukossa 15 on esitelty markkinakatsauksessa olevat käsivarret verrattuna UR5-robottiin.

TAULUKKO 15. Markkinakatsauksessa esille tulleet käsivarret

Markkinakatsauksessa olevien valmiiden käsivarsien speksit verrattuna UR5-robottiin									
Käsivarsi	Kantokyky	Kantokyky max	Ulottuvuus	IP-luokitus	Paino	Toistotarkkuus	Nopeus	Vapausasteet	Hinta
UR5	5kg	-	850mm	54	18.4kg	+/-0.1mm	180°/s	6	24 000 €
RL-DC-4, pieni	-	1kg	600mm	52	-	+/-0.05mm	-	4	alkaen 7000€
RL-DC-4, suuri	-	3kg	750mm	52	-	+/-0.05mm	-	4	alkaen 7000€
RL-DC-5, pieni	-	0.5kg	600mm	52	-	+/-0.05mm	-	5	alkaen 7000€
RL-DC-5, suuri	-	2.5kg	750mm	52	-	+/-0.05mm	-	5	alkaen 7000€
RL-DQ-4, pieni	-	1.5kg	600mm	52	-	+/-0.05mm	-	4	alkaen 7000€
RL-DQ-4, suuri	-	4kg	750mm	52	-	+/-0.05mm	-	4	alkaen 7000€
RL-DQ-5, pieni	-	1kg	600mm	52	-	+/-0.05mm	-	5	alkaen 7000€
RL-DQ-5, suuri	-	3.5kg	750mm	52	-	+/-0.05mm	-	5	alkaen 7000€
Elfin E3	-	3kg	590mm	52	17kg	+/-0.05mm	-	6	-
Elfin E5	-	5kg	800mm	52	23kg	+/-0.05mm	-	6	-
Elfin E5-L	-	3.5kg	950mm	52	24kg	+/-0.05mm	-	6	-
Elfin E10	-	10kg	1000mm	52	40kg	+/-0.05mm	-	6	-
Elfin E15	-	10kg	700mm	52	40kg	+/-0.05mm	-	6	-
Hebi robotics DOF 4	1.25kg	1.75kg	650mm	-	3kg	-	180°/s	4	-
Hebi robotics DOF 5	1.75kg	4.4kg	650mm	-	3.5kg	-	180°/s	5	-
Hebi robotics DOF 6	1kg	3.75kg	650mm	-	4kg	-	180°/s	6	-
Aubo i5	5kg	-	880mm	54	24kg	+/-0.05mm	150°/s	6	14 500 €
Robotis manipulator-h	3kg	-	645mm	-	5.5kg	+/-0.05mm	180°/s	6	15 000 €

Markkinakatsauksessa olevat nivelet ovat suurilta osin moduuleita, eli nivelessä on sisään rakennettu moottori. Ainoastaan Igusin nivel vaatii irrallisen sähkömoottorin. Igusin nivelten ja Beckhoffin moottoreiden kokoonpanon speksit ovat taulukossa 10. Igusilla oli

myös omia sähkömoottoreita nivelilleen, mutta niiden ominaisuudet olivat niin paljon huomattavampia kuin Beckhoffin vastaavissa, joten niitä ei ole otettu huomioon ollenkaan tässä työssä.

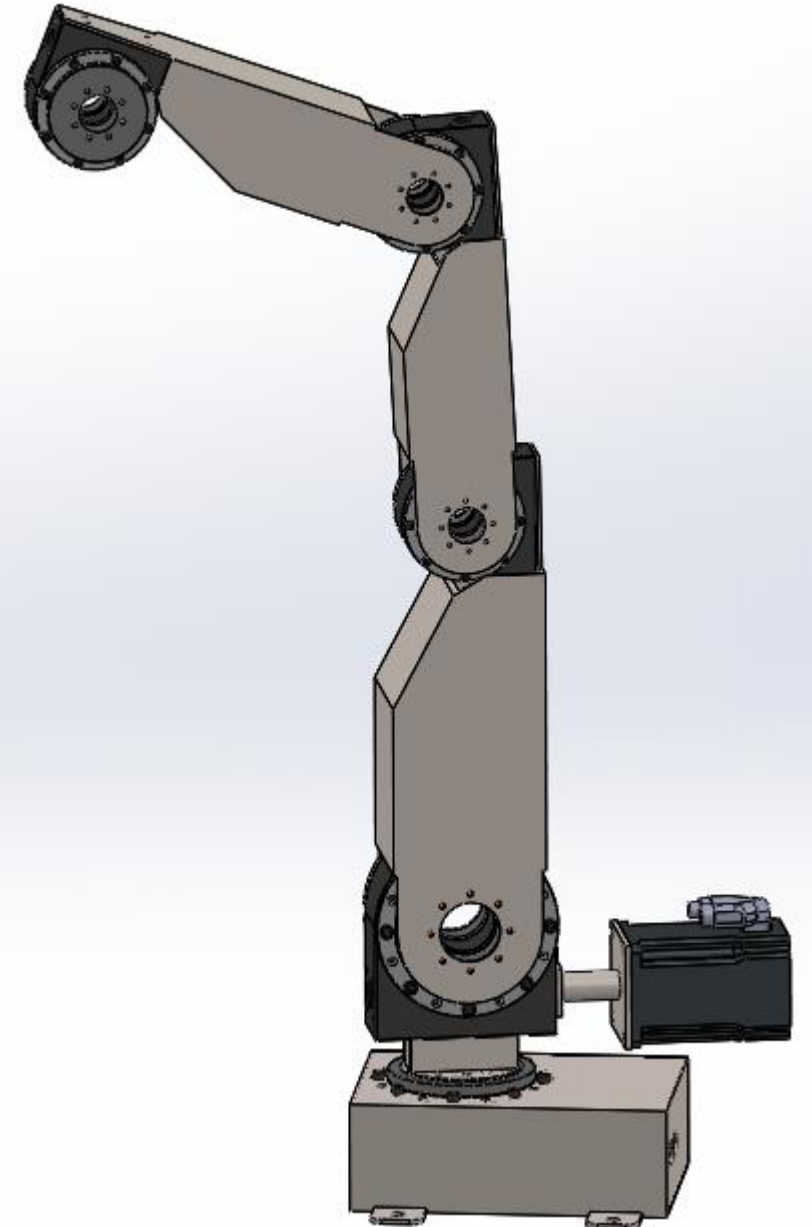
Taulukossa 16 ovat ainoastaan valmiit moduulit sekä UR5-robotissa käytetyt 1 ja 3 koon moduulit. Näistä moduuleista ei löytynyt mitään muuta tietoa kuin maksimi väännöt. Universal robot ei halua ilmeisesti nivelten tarkempia speksejä julkisuuteen.

TAULUKKO 16. Markkinakatsauksessa löydetty moduulit

Markkinakatsauksen moduulit						
Moduuli	Tyyppi/koko	Vääntö max	Vääntö	Paino	IP-luokitus	Hinta
UR5 moduuli	1	28Nm	-	-	54	-
UR5 moduuli	3	150Nm	-	-	54	-
Hansmotor D-moduuli	14	34Nm	9.4Nm	2.8kg	54	-
Hansmotor D-moduuli	17	69Nm	30Nm	3.8kg	54	-
Hansmotor D-moduuli	20	104Nm	49Nm	5.8kg	54	-
Hansmotor D-moduuli	25	200Nm	85Nm	9.6kg	54	-
Hansmotor D-moduuli	32	420Nm	156Nm	17kg	54	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X5-1	2.5Nm	1.3Nm	315g	-	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X5-4	7Nm	4Nm	335g	-	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X5-9	13Nm	9Nm	360g	-	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X8-3	7Nm	3Nm	460g	-	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X8-9	20Nm	8Nm	480g	-	-
Hebi Robotics x-series moduuli	X8-16	38Nm	16Nm	500g	-	-
Servosila moduuli	Servo 35	35Nm	-	1kg	68	-
Servosila moduuli	Servo 56	56Nm	-	1kg	68	-
Servosila moduuli	Servo 64	64Nm	-	1.25kg	68	-
Aubo robotics moduuli	MRJ090A-II	90Nm	30Nm	1.4kg	-	-
Aubo robotics moduuli	MRJ075A-II	67Nm	16Nm	927g	-	-
Aubo robotics moduuli	MRJ075A-I	67Nm	14Nm	758g	-	-
Aubo robotics moduuli	MRJ060A-I	33Nm	5Nm	471g	-	-
Kinova robotics moduuli	K-75+	30.5Nm	12Nm	570g	-	-
Kinova robotics moduuli	K-58	6.8Nm	3.6Nm	357g	-	-

Kuvassa 31 on 3D-luonnostelu käsivarresta, johon on käytetty Beckhoffin moottoreita ja Igusin niveliä. Jos käsivarsi toteutetaan näillä edellä mainituilla komponenteilla, robotti voisi olla jotakuinkin kuvan mukainen. Käsivarrella on ulottuvuutta noin 900 mm. Painoa käsivarrella on kaikki komponentit mukaan laskien noin 33 kg. Nivelvarret, moottorin ak-

seli kytkimet ja ensimmäisen nivelen laatikko on ruostumatonta terästä. Jos kyseistä koonpanoa lähdetään jatkokehittämään lopulliseksi tuotteeksi, käsivarren painoa saadaan luultavasti pudotettua huomattavasti.



KUVA 31. 3D-luonnos viisiakselisesta robottikäsivarresta, toteutettuna Igusin nivelillä ja Beckhoffin moottoreilla.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä markkinakatsaus robottikäsivarsiin ja moduuleihin sekä suunnitella markkinakatsauksen pohjalta käsivarsi, joka suoriutuu Elrob-kilpailun tehtävistä.

Opinnäytetyön aikana tavoitteeseen lisättiin opinnäytetyön antajan aloitteesta esiselvitys hydraulikalla toimivan käsivarren rakentamiseksi. Työ eteni aiheen antajan ohjeiden mukaan ja lopputuloksena oli ensimmäinen malli hydraulikalla toimivasta käsivarresta.

Työssä suunniteltu hydraulikalla toimiva käsivarsi on varustettu vain kahdella nivelvarrella sekä käsivartta pyörittävällä moottorilla. Jotta käsivarsi suoriutuu kilpailun tehtävistä, se tarvitsee lisää niveliä sekä oikeanlaisen tarttujan. Opinnäytetyön pohjalta voi aloittaa tuotekehityksen hydraulikalla toimivan käsivarren toteuttamiseksi.

LÄHTEET

1. Elrob The European Land Robot Trial. Elrob 2018 European Land Robot Trial. Saatavissa: <http://www.elrob.org/elrob-2018>. Hakupäivä 29.1.2018.
2. Elrob The European Land Robot Trial. Elrob 2016 European Land Robot Trial Participating Teams. Saatavissa: <http://www.elrob.org/elrob-2016-teams>. Hakupäivä [29.1.2018](http://www.elrob.org/elrob-2016-teams).
3. Movements - Convoying. Elrob 2018. Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2018/Transport_Convoy.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
4. Transport – repeated shuttling between two camps. Elrob 2018 Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2018/Transport_Mule.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
5. Reconnoitring of building structures. Elrob 2018. Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2018/Reconnaissance_Structure.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
6. Search and retrieval of human casualties in outdoor environments. Elrob 2018. Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2018/Search_and_Rescue.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
7. Reconnaissance and disposal of bombs and explosive devices. Elrob 2018. Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2018/EOD_IED.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
8. iRobot 510 PackBot. iRobot. Saatavissa: https://www.darley.com/documents/guides/robotics/spec_sheets/PackBot_Specs.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
9. iRobot 510 PackBot Multi-Mission Robot. Army Technology. Saatavissa: <https://www.army-technology.com/projects/irobot-510-packbot-multi-mission-robot/>. Hakupäivä 27.3.2018.

10. Team information. Elrob 2016. Saatavissa: http://www.elrob.org/files/elrob2016/TeamInformation_TNO-NLD_EODD.pdf. Hakupäivä 20.3.2018.
11. Telemax PRO. Telerob. Saatavissa: <http://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-pro>. Hakupäivä 20.3.2018.
12. UR5. Universal Robots. Saatavissa: https://www.universal-robots.com/media/1801303/eng_199901_ur5_tech_spec_web_a4.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
13. Mörrri. 2014. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Mörri>. Hakupäivä 20.4.2018.
14. Mikkola, Arja 2018. Euroopan suurin robotiikkatapahtuma kokoaa satoja ekspertejä Tampereelle, Oulun yliopistosta mukana on Mörrri-robotti. Kaleva&Talous 13.3.2018. Saatavissa: <http://www.kaleva.fi/uutiset/talous/euroopan-suurin-robotiikkatapahtuma-kokoo-satoja-ekspertteja-tampereelle-oulun-yliopistosta-mukana-on-morri-roboti/787555/>. Hakupäivä 20.4.2018.
15. Robolink modular system for robotics. Igus Saatavissa: <https://www.igus.com/robo-link/robot>. Hakupäivä 27.3.2018.
16. Direct drive joints. Igus. Saatavissa: [https://www.igus.com/contentData/Products/Downloads/tech_data_RL_D_101_\(D_ENG\)_2017_02.pdf](https://www.igus.com/contentData/Products/Downloads/tech_data_RL_D_101_(D_ENG)_2017_02.pdf). Hakupäivä 27.3.2018.
17. Technical specification. Hansrobot. Saatavissa: <http://www.hansrobots.eu/index.php/elfin-collaborative-robot>. Hakupäivä 27.3.2018.
18. D- module series modular joint. Hansmotor Saatavissa: <http://en.hansmotor.com/hansagvrobot/162-198.html>. Hakupäivä 27.3.2018.

19. X- series smart actuators. Hebi Robotics. Saatavissa: <https://static1.squarespace.com/static/544857eae4b04131eb2ed556/t/5a8df0c60d9297529241d139/1519251674882/X-Series+Datasheet.pdf>. Hakupäivä 27.3.2018.
20. Hebi kits. Hebi Robotics Saatavissa: <http://hebirobotics.com/products/#>. Hakupäivä 27.3.2018.
21. Servosila servo drives. Servosila. Saatavissa: <https://www.servosila.com/en/servo-drives/index.shtml>. Hakupäivä 27.3.2018.
22. Aubo MRJ joint module. Aubo Robotics. Saatavissa: <https://aubo-robotics.com/wp-content/uploads/2017/06/MRJ-joint-module.pdf>. Hakupäivä 27.3.2018.
23. Aubo i5. Aubo Robotics. Saatavissa: <https://aubo-robotics.com/en/products/aubo-i5/>. Hakupäivä 27.3.2018.
24. Actuators. Kinova Robotics. Saatavissa: <http://www.kinovarobotics.com/wp-content/uploads/2017/08/Kinova-Specs-Actuators-Print-170512.pdf>. Hakupäivä 27.3.2018.
25. Robotis manipular-H. Robotis. Saatavissa: <http://www.robotis.us/robotis-manipulator-h/>. Hakupäivä 27.3.2018.
26. AM8141. Beckhoff. Saatavissa: https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/am8141.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.
27. AM8131. Beckhoff. Saatavissa: https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Drive_Technology/am8131.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.

28. Hydraulic CAT 320 excavator. MagonHrc. Saatavissa: <http://www.magonhrc.com/en/cat-320-excavator/56-hydraulic-cat-320-excavator.html>. Hakupäivä 5.4.2018.
29. Hydraulic cylinder 22 mm M3. MagonHrc. Saatavissa: <http://www.magonhrc.com/en/hydraulic-cylinders/254-hydraulic-cylinder-22-mm.html>. Hakupäivä 27.3.2018.
30. Integral DC motors Ø80. Hydronit. Saatavissa: https://www.hydrauliikka-pumppu.fi/media/files/Motopompe_Bull_1.pdf. Hakupäivä 27.3.2018.