

Joel Sipilä STMI22SM

Yhteistyörobotin oppimisympäristön kehittäminen

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

Insinööri (AMK)

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Joel Sipilä
Työn nimi	Yhteistyörobotin oppimisympäristön kehittäminen
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2025
Sivut	37
Työn ohjaaja(t)	Tarmo Makkonen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Kouvolan kampuksella olevan Techman TM5-900 -yhteistyörobotin oppimisympäristöä, minkä kaltaiset yhteistyörobotit ovat yleistyneet viime vuosina teollisuudessa ja opetuskäytössä. Tämän takia aiheen tutkiminen oli ajankohtaista. Työn tarkoituksena oli hankkia opetusympäristöä kehittävää tietoa yhteistyöroboteista sekä niiden liittämisestä eri laitteisiin. Työn aikana yhteistyörobottiin tehtiin asennuksia, mutta pääosin painopiste oli automaatiototeutuksessa. Työssä pyrittiin I/O-kytkentöjen parantamiseen, Feston mukautuvan tarttujan käytön helpottamiseen ja yhteistyörobotin ohjaamisen parantamiseen nappikotelon avulla.

Tietoa hankittiin ammattikirjallisuudesta, muista tutkimuksista sekä yhteistyörobotteja koskevista standardeista ja direktiiveistä. Standardeista ja direktiiveistä tuotiin ilmi yhteistyörobotin riskien arviointiin sekä asennukseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen muu aineisto syntyi toiminnallisen työn dokumentaatiosta.

Lopputuloksena syntyi dokumentaatio, jota pystyy käyttämään ohjeena yhteistyörobotin oppimisympäristöön tutustuessa ja etsiessä lisätietoa laitteisiin liittyen. Työn aikana saatiin parannettua yhteistyörobotin I/O-kytkentöjä ja ohjattavuutta. Työn lopussa käsiteltiin vielä, mitä muita kehityskohteita yhteistyörobotin oppimisympäristössä olisi. Työllä saatiin parannettua yhteistyörobotin oppimisympäristöä, ja parannukset tulevat helpottamaan yhteistyörobotin käyttöä.

Asiasanat: yhteistyörobotti, oppimisympäristö, robotiikka

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Joel Sipilä
Thesis title	Developing a collaborative robotic learning environment
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences.
Time	2025
Pages	37
Supervisor	Tarmo Makkonen

ABSTRACT

This thesis developed the learning environment for the Techman TM5-900 collaborative robot located at the Kouvola campus of the South-Eastern Finland University of Applied Sciences (Xamk), a type of collaborative robot that has become more common in industry and education in recent years. For this reason, the research on the topic was timely. The purpose of the work was to acquire information about collaborative robots and their connection to various devices that would improve the teaching environment. During the work, installations were made to the collaborative robot, but the main focus was on the automation implementation. The work aimed to improve the I/O connections, make it easier to use the Festo adaptive gripper, and improve the control of the collaborative robot using a button box.

Information was obtained from professional literature, other studies and standards and directives concerning collaborative robots. The standards and directives revealed factors affecting the risk assessment and installation of the collaborative robot. Other material for the study was generated from the documentation of the functional work.

The final result was documentation that can be used as a guide to familiarize yourself with the collaborative robot learning environment and searching for additional information related to the devices. During the work, I/O connections and controllability of the collaborative robot were improved. At the end of the work, it was discussed what other development targets there should be in the collaborative robot learning environment. The work improved the collaborative robot's learning environment, and the improvements will make it easier to use the collaborative robot.

Keywords: collaborative robot, learning environment, robotics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN TAUSTA	6
3	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	7
4	TUTKIMUSTEHTÄVÄN RAJAUS JA TUTKIMUSONGELMA	7
5	TUTKIMUSMENETELMÄ.....	8
5.1	Tutkimustapa.....	8
5.2	Aineisto	8
6	YHTEISTYÖROBOTTI.....	8
6.1	Yhteistyörobotti yleisesti.....	8
6.2	Yhteistyörobotin käyttökohteet	11
7	TUTKIMUSTYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO.....	13
7.1	Yhteistyörobotti.....	13
8	TOTEUTUS.....	16
8.1	Hankinnat	16
8.2	Ulkoiset I/O-liitännät	17
8.3	Ohjauskotelo	21
8.4	Yhteistyörobotin ohjausyksikkö	24
9	TULOKSET	25
9.1	Ulkoiset I/O-liitännät	26
9.1.1	Pistetestaus.....	27
9.2	Ohjauskotelo	32
9.2.1	Pistetestaus.....	32
10	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty kehittämään Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Kouvolan kampuksen Techman TM5-900 -yhteistyörobotin oppimisympäristöä. Tutkimuksen lähtökohtana käytettävä yhteistyörobotti on hankittu alun perin hankkeen myötä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksen käyttöön. Tällä hetkellä yhteistyörobotti on käytössä pääsääntöisesti oppimiskäytössä Kouvolan kampuksella, mutta lisäksi sitä käytetään myös messu- ja tutkimuskäytössä.

Tässä tutkimuksessa pyritään ratkaisemaan tämän yhteistyörobotin oppimisympäristöä koskevia ongelmia siihen liitettävien laitteiden käytettävyydessä sekä opetuskäytössä olevaa laitteiston epäselkeyttä. Suurimpia ongelmakohtia yhteistyörobotin käytössä on ollut I/O-kytkentöjen sijainnissa keskusyksikön pohjassa, yhteistyörobotin ohjaimen rajallinen ulottuvuus ja Feston mukautuvan tarttujan aikaa vievä käyttöönotto.

Opinnäytetyön on tarkoitus parantaa laitteistoa, siten ettei kyseiset ongelmat haittaisi työskentelemistä yhteistyörobotin kanssa. Opinnäytetyössä keskitytään toiminnallisen työn laitteisiin ja siitä laadittavaan dokumentaatioon. Tästä työstä saatava tieto on yleishyödyllistä kaikille tätä alaa opiskelevalle, sekä työ tuo opetukseenkin paljon lisäarvoa. Tämä tutkimustyö on tällä hetkellä myös hyvin ajankohtainen ja tarpeellinen tulevaisuuden työelämässä.

2 TYÖN TAUSTA

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kouvolan kampuksen robotiikka ja tekoäly -insinöörin koulutusohjelma on alkanut syksyllä 2021, joten kyseessä hyvinkin tuore tutkinto. Tämän tutkinnon ensimmäistä vuosikurssia suorittaneena olen ollut paljon tekemisissä tämän yhteistyörobotin sekä siihen liittyvien ongelmien kanssa. Tämän opinnäytetyön idea on täten kehittynyt omien opintojen aikana tässä koulutusohjelmassa. Robotiikka ja tekoäly -insinöörin koulutusohjelman laboratoriotilasta vastaavalle opettajalle idean esitettyäni opinnäytetyö saatiin rajattua ja ideoitua mahdollisimman hyödylliseksi opetukselle.

3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tutkimuksen näkökulmana on selvittää, miten voisi kehittää yhteistyörobotin ympäristöä opetuksellisessa tarkoituksessa sekä tuottaa dokumentaatiota, joka auttaa tulevaisuuden opetuksessa. Keskeisinä käsitteinä toimii yhteistyörobotti, oppimisympäristö ja laboratorio. Tutkimuksen yhteydessä yhteistyörobottiin keskitytään opetuksellisessa näkökulmassa eikä niinkään teollisessa näkökulmassa. Oppimisympäristöllä tarkoitetaan fyysistä ympäristöä, missä opetus tapahtuu. Tämän tutkimuksen yhteydessä opetus tapahtuu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kouvolan kampuksen Insinööri (AMK), robotiikka ja tekoäly -koulutusohjelman luokahuoneessa. Laboratoriolla tarkoitetaan tieteellisiin, teknisiin ja taiteellisiin tutkimuksiin tarkoitettua tilaa tutkimuksia tekevässä laitoksessa tai korkeakoulussa. Tässä yhteydessä laboratoriolla tarkoitetaan robotiikkaan ja automaatioon keskittyvää laboratoriotilaa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kouvolan kampuksella. Tutkimustyö sijoituu laajemmassa käsitteellisessä yhteydessä robotiikka ja tekoäly -insinöörin koulutusohjelman laboratoriotilan kehittämiseen.

4 TUTKIMUSTEHTÄVÄN RAJAUS JA TUTKIMUSONGELMA

Tutkimusongelmana työssä oli, miten kehittää yhteistyörobotin oppimisympäristöä paremmaksi ja helppokäyttöisemmäksi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kouvolan kampuksella. Työssä keskityttiin pääosin automaatioteutukseen yhteistyörobotin oppimisympäristössä. Tarkoituksena oli helpottaa I/O-kytkentöjen tekemistä lisäämällä yhteistyörobottiin I/O-kytkennöille kytkentälaatikko, jolla kytkennät saadaan tehtyä etäammältä. Feston mukautuvan tarttujan käytön helpottamiseksi ja yhteistyörobotilla sen ohjaamisen parantamiseksi työssä tarttuja oli tarkoitus asentaa sähköisesti kiinteästi yhteisrobottiin, jotta sen käyttöönotto olisi mahdollisimman nopeaa. Työssä asennettavalla painonappikotelolla oli tarkoitus helpottaa yhteistyörobotin ohjausta ja laajentaa käytettävyyttä etäammältä. Yhteistyörobottiin liitettyä DUELCO-turvalogiikkaa työssä käsitellään vain tarvittaessa. Yhteistyörobotin käyttö keskittyy yhteistyötilaan tässä tutkimuksessa, joten erillistä turva-automaatiota ei käsitelty.

5 TUTKIMUSMENETELMÄ

5.1 Tutkimustapa

Tutkimusstrategiana tutkimuksessa käytetään toimintatutkimusta, missä aidon toimintaympäristön avulla tuotetaan tietoa ja kehitetään toimintoja. Kehittämistarpeiden pohjalta ideoitiin sekä suunniteltiin yhteistyörobottiin tulevan laitteiston toteutus. Tämän jälkeen laitteisto toteutettiin, ja lopuksi yhteistyörobottiin luotu kokonaisuus arvioitiin ja käyttöön otettiin testaamalla toiminnot. Tutkimustyön lopussa vielä pohdittiin tulevia kehityshankkeita. Tutkimusmenetelmien ominaisien käytäntöjen mukaisen tiedonhankinnan perusteella raporttiin sisältyy ammatillista tietoakin.

5.2 Aineisto

Aineisto kerättiin itse tähän tutkimukseen havainnoinnin ja kokeilujen avulla. Aineistonkeruu tapahtui toiminnallisesta työstä. Muina aineistoina käytettiin ammattikirjallisuutta, muita tutkimuksia ja yhteistyörobotteja koskevia standardeja sekä direktiivejä. Toiminnallisen työn tutkimusaineisto analysoitiin lopputuloksissa.

6 YHTEISTYÖROBOTTI

6.1 Yhteistyörobotti yleisesti

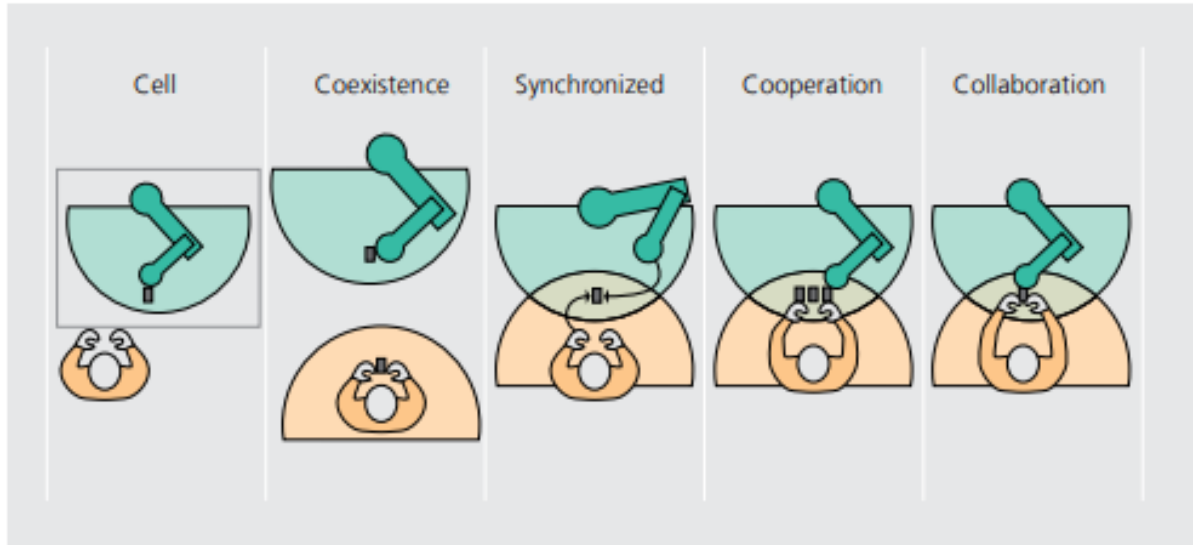
Coboteilla (eng. collaborative robot) toisin sanoen yhteistoiminnallisilla roboteilla tarkoitetaan sellaisia robotteja, jotka ovat valmiita jakamaan työalueen tarvittaessa ihmisten kanssa. Nämä yhteistyörobotit poikkeavatkin muista roboteista pienellä koolla ja turvallisuudella. Rakenteellisesti yhteistyörobotit ovatkin lähtökohtaisesti todella pyöristettyjä rakenteellisesti sekä mahdollisesti päällystetty pehmeällä materiaalilla. Turvallisuuttakin lisääviä ominaisuuksia ovat huomattava kevytrakenteisuus verrattuna teollisuusrobotteihin, hidasliikeisyys ja sekä erillisiä sensoreita turvallisuuden varmistamiseksi. [1, s. 8–10.] Muita erityispiirteitä yhteistyöroboteilla on, etteivät ne tarvitse aina turva-aitoja tai turvaskannereiden käyttöä sekä ne eivät vaadi suurta asennustilaa [2, s. 300]. Kuva 1 nähdään yhteistyörobotti liikuteltavan alustan päällä koneen täytötehtävissä.



Kuva 1. Yhteistyörobotti koneentäyttäjänä

Työskentely robottien kanssa on jaoteltu kahteen pääryhmään: osittaiseen synkronoituun työskentelyyn (eng. synchronized) ja rinnakkaiseloon (eng. coexistence). Synkronoidussa ryhmässä ihminen ja robotti pystyy työskentelemään samassa tilassa, tämän takia näitä robotteja kutsutaankin yhteistyöroboteiksi. Rinnakkaiselon tasolla tällaista yhteistä tilaa ei ole, joten ihminen voi työskennellä teollisuusrobotin kanssa, jolla ei ole samanlaisia turvaominaisuuksia kuin yhteistyörobotilla. [1, s. 8–10.]

Kuva 2 esittää yhteistyörobotin ja ihmisen yhteistyötä eri tilanteissa seuraavanlaisesti: Ensimmäisessä kuvassa vasemmalta katsottuna yhteistyörobotti on aidattuna (eng. Cell) ja ihminen valvoo sitä ulkopuolelta. Toisessa kuvassa ihminen ja yhteistyörobotti työskentelevät rinnakkaiselon (eng. coexistence) tasolla, jossa ihminen ohjaa yhteistyörobottia eri työtilasta. Kolmannessa kuvassa ihminen ja yhteistyörobotti on synkronoidussa (eng. synchronized) työssä, jossa ihminen tekee yhteistyörobotin kanssa työtehtäviä peräkkäin. Neljännessä kuvassa yhteistyörobotti ja ihminen tekevät yhteistoimintaa (eng. cooperation) samassa työtilassa samanaikaisesti. Viidennessä kuvassa yhteistyörobotti havainnoi ihmisen tekemää työtä ja muuttaa tehtävänsä ihmisen tekemän työn perusteella, joten yhteistyörobotti ja ihminen tekevät yhteistyötä (eng. collaboration). [3, s. 28.]



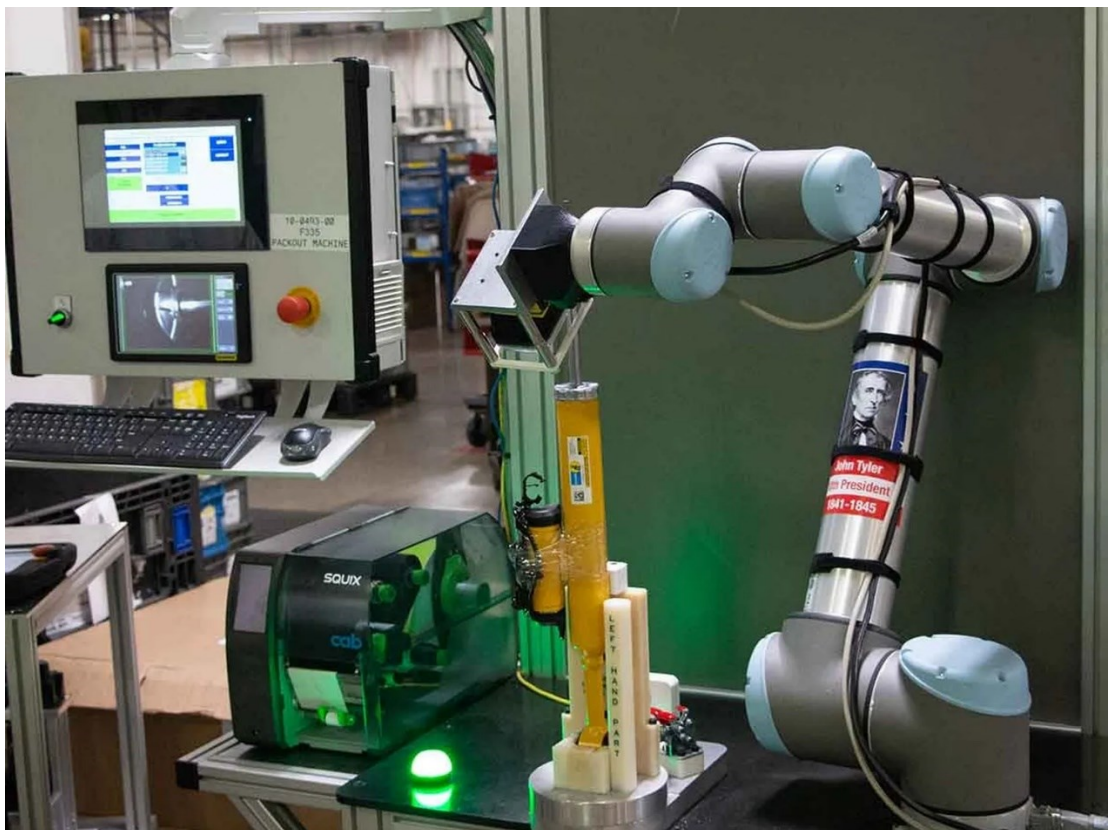
Kuva 2. Yhteistyörobotti eri työtiloissa ihmisen kanssa

Kansainvälisen robotiikkajärjestön IFR:n (eng. International Federation of Robotics) mukaan yhteistyörobottien suosio on viime vuosina kasvanut suhteutettuna tavallisiin teollisuusrobotteihin sekä tulevaisuudessa yhteistyörobottien määrän on ennustettu kasvavan entisestään. Yhteistyörobotit IFR:n mukaan jaotellaan kahteen tyyppiin. Yhteistoiminnalliset robotit, jotka täyttävät ISO 101218-1-standardin, ovat ensimmäinen tyyppi. Toiseen tyyppiin taas kuuluvat ne yhteistoiminnalliset robotit, jotka ei täytä tätä 101218-1-standardia. Standardi ISO 10218-1 määrittelee teollisuusrobottien turvallisuussuunnittelun ja suojaustoimenpiteiden vaatimukset. Vaikka yhteistyörobotti ei täyttäisi näitä vaatimuksia, se voi olla hyväksytty turvalliseksi jonkun muun standardin mukaan, esimerkiksi kyseisen robottivalmistajan oman standardin. [4, s. 128–130.] Kasvaneeseen yhteistyörobottien suosioon 2010-luvulla vaikutti myös, kun niistä kehitettiin kevyempiä ja edullisempia käsivarsityypisiä yhteistyöroboteja. Keveyden ansiosta niitä pystyykin siirtämään helposti eri tehtävästä toiseen sekä liikkeiden aiheuttamia suuria reaktivoimia lattiaan kohden ei synny samalla tavalla kuin teollisuusrobotista. Näiden tarkoitus on ollutkin vapauttaa yhteistyörobotti ja ihminen työskentelemään samassa työtilassa aitausta. Ohjelmointikin yhteistyöroboteissa tehdään roboteista poiketen pääsääntöisesti johdattamalla tai opettamalla, tällöin käyttäjä ei välttämättä edes näe yhteistyörobotin liikuttamiseen vaadittavaa ohjelmakoodia. Yhteis-

työroboteissa on panostettukin ohjelmoinnin helppouteen sekä tulevaisuudessa ohjausjärjestelmien eroavaisuudet robottien ja yhteistyörobottien välillä tulevat kaventumaan. [3, s.28–29.]

6.2 Yhteistyörobotin käyttökohteet

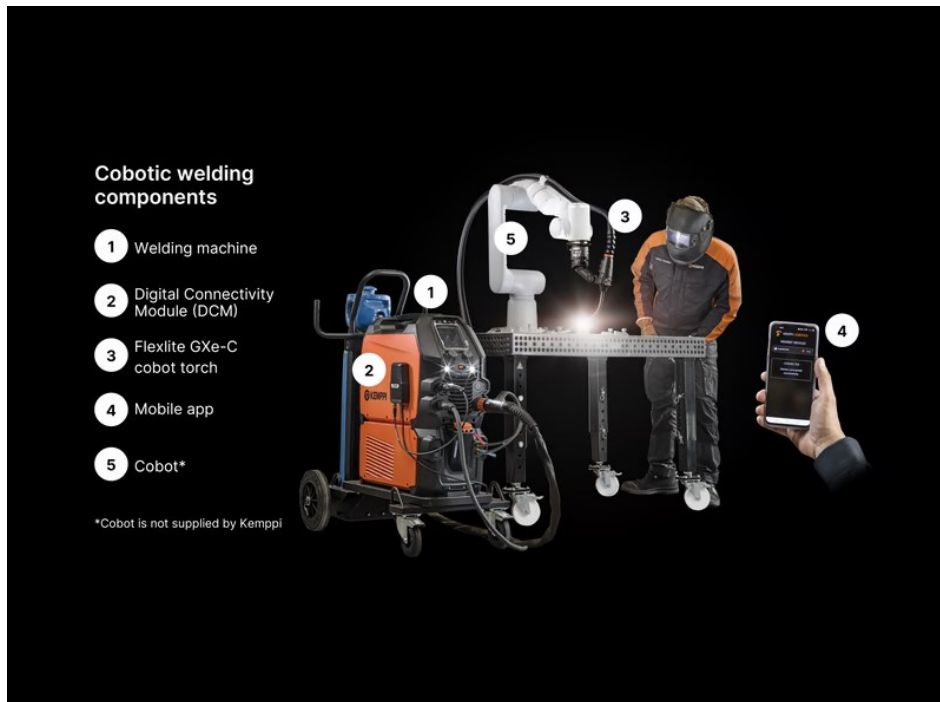
Yhteistyörobotilla on hyvin monenlaisia käyttökohteita varsinkin eri teollisuuden aloilla. Teollisuudessa hyviä käyttökohteita yhteistyörobotille on esimerkiksi CNC-koneen kanssa käyttö, koneidentäyttäminen, lavaus, ruuvaus, laaduntarkkailu oheislaitteiden avulla, pakkaaminen, liimaus, pinnankäsittely, koonpano ja hitsaaminen. [5.] Kuva 3 on esimerkki laadun tarkkailusta teollisuusprosessissa, jossa yhteistyörobottiin on liitetty tarvittavat oheislaitteet työn suorittamiseksi.



Kuva 3. Yhteistyörobotti laaduntarkkailutehtävissä

Varsinkin hitsausalalla ollut kova paine kasvattaa tuottavuutta sekä parantaa laatua. Yhteistyöroboteilla on pyritty myös ratkaisemaan kasvavaa puutetta ammattitaitoisesta työvoimasta hitsausalalla. Yhteistyörobotit ovat tuoneetkin tehokkaan ja joustavan tavan hitsauksen automatisointiin, missä ihmistä ei

kumminkaan korvata kokonaan. [6.] Kuva 4 esimerkki Kempin ratkaisusta käyttää yhteistyörobotia hitsauksessa oheislaitteiden kanssa.



Kuva 4. Kempin Cobotti-hitsaussoluratkaisu

Yhteistyörobotista ja mobiilirobotista saadaan yhdistelmä, jota kutsutaan mobiilimanipulaattoriksi tai mobiilicobotiksi. Tällaiset yhdistelmät ovat yleistyneet, koska silloin cobotti on paljon monikäyttöisempi ja pystyy välillä vaihtamaan työpistettään. [7.] Kuva 5 mobiilirobottiin on asennettu yhteistyörobotti päälle.



Kuva 5. Mobiilirobotti ja yhteistyörobotti samassa paketissa

7 TUTKIMUSTYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO

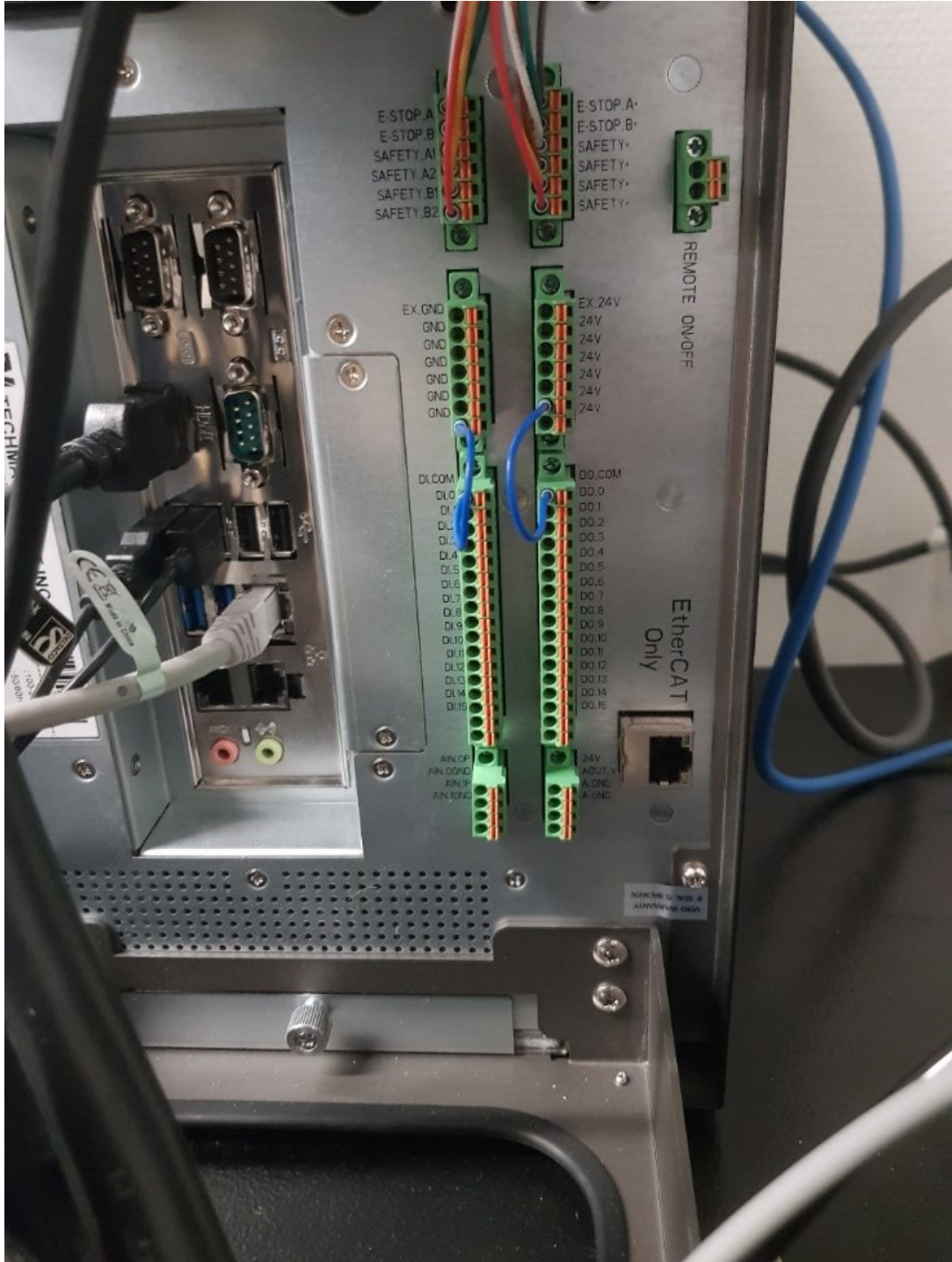
7.1 Yhteistyörobotti

Tässä tutkimustyössä yhteistyörobottina toimi aiemman hankkeen kautta hankittu Techman TM5-900 -yhteistyörobottiin liikuteltavan jalustan kanssa. Yhteistyörobottiin oli myös hankittu konenäkökamera ja On-robotin erilaisia tarttuvia ohjausyksikön kanssa, mutta nämä eivät olleet olennaisessa osassa tässä tutkimustyössä. Kuva 6 on yhteistyörobotti ennen muutoksia.



Kuva 6. Techman TM5-900 yhteistyörobotti ennen muutoksia

Yhtenä isoimpana haasteena yhteistyörobotissa oli I/O-liitännät ja niiden käytettävyys, sillä ne sijaitsivat yhteistyörobotin ohjausyksikön pohjassa. Kuva 7 yhteistyörobotin ohjausyksikön pohja, jossa on kaikki yhteistyörobotin liitännät. Kuva 7. I/O-liitännät yhteistyörobotin ohjausyksikön pohjassa selviää samalla, ettei vedonpoistojakaan alun perin ollut suunniteltu ollenkaan ohjausyksikköön. Tämä taas loi omat haasteensa käytettävyyteen, kun jatkuvasti tarvitsi varoa kytkettyjä johtoja vedolta.



Kuva 7. I/O-liitännät yhteistyörobotin ohjausyksikön pohjassa

Yhteistyörobotin ohjattavuudessa oli myös haaste, koska yhteistyörobotin mukana tuleva Kuva 8 näkyvä ohjauskapula on käytettävyydeltään epäselkeä. Toinen haaste ohjauskapulassa oli lyhyt johdon pituus, joka hankaloitti yhteistyörobotin käyttöä varsinkin tapahtumissa. Nykyiseen ohjauskapulaan ei pystynyt johtoa vaihtamaan sekä lisäkoskettimien lisääminen olisi ollut myös mahdotonta.



Kuva 8. Yhteistyörobotin ohjain

8 TOTEUTUS

8.1 Hankinnat

Hankinnat tähän opinnäytetyöhön päätettiin keskittää Elfa Distelectric Oy:lle, jotta suurin osa tarvittavista osista saataisiin samasta paikasta yhdellä tilauksella. Loput asennustarvikkeista oli tarkoitus hankkia tarpeen mukaan paikalliselta sähkötarviketukkukaupalta Pohjois-Kymen Sähkötarvike Oy:lta tai Sonepar Oy:lta. Työn budjetiksi arvioitiin 500 € kasaamalla tarvittavat tarvikkeet Taulukko 1 kaltaisesti ja laskemalla työhön kuluvat osat. Budjettiin ei laskettu valmiiksi saatavia pientarvikkeita, jotka eivät olleet hinnallisesti merkittäviä.

Taulukko 1. Toteutunut tarvikelistaus Elfa Distelectric Oy

Elfa Distrelec Oy tilaus yhteistyörobotti opinnäytetyö					
Tuote	Tuotenumero	Määrä	Linkki	Hinta kpl sis. alv	Hinta yht sis. alv
XALD05 - Tyhjä kotelo, Schneider Electric	135-12-371	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/tyhjae-kotelo-schneider-electric-	45,81	45,81
ZENL1111 - Kontaktilohko 1NO Harmony XAL / Harmony XAPS, Schneider Electric	301-12-666	2	https://www.elfadistrelec.fi/fi/kontaktilohko-1no-harmony-xal-harmony-xaps-schneider-electric-	7,34	14,68
ZENL1121 - Kontaktilohko 1NCHarmony XAL / Harmony XAPS, Schneider Electric	301-12-667	6	https://www.elfadistrelec.fi/fi/kontaktilohko-1nc-harmony-xal-harmony-xaps-schneider-electric-	6,6	39,6
ZB5AS844 - Hätkäkatkaisimen nuppi, ø40mm, pyöreä, kiertovapautus	135-12-285	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/haetka-katkaisimen-nuppi-40mm-pyorea-kiertovapautus	29,37	29,37
ZB5AW333 - Valaistu painike, vihreä nuppi, ø22mm, IP69 (K) Hetkellinen	135-12-246	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/valaistu-painike-22mm-ip69-k-hetkellinen-333	8,63	8,63
ZB5AW343 - Valaistu painike, punainen nuppi, ø22mm, IP69 (K) Hetkellinen	135-12-247	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/valaistu-painike-22mm-ip69-k-hetkellinen-343	9,01	9,01
ZB5AW363 - Valaistu painike, sininen nuppi, ø22mm, IP69 (K) Hetkellinen	135-12-249	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/valaistu-painike-22mm-ip69-k-hetkellinen-363	9,01	9,01
XB5AD53 - Kierrettävä kytkin, 3Asennot, 45° Seinäasennus	135-12-351	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/kierrettava-kytkin-3asennot-45-seinaasennus	35,27	35,27
ZBY4101 - Kilvenpidin Tyhjä Suorakulmainen ZB Series Pushbutton	135-12-307	5	https://www.elfadistrelec.fi/fi/kilvenpidin-tyhja-suorakulmainen-zb-series-pushbutton	2,8	14
SKINTOP BS-M 20X1.5 RAL 9005 BK - Kaapeliiliitin, jossa taipumisen estävä	300-20-045	4	https://www.elfadistrelec.fi/fi/skintop-bs-m-20x1.5-ral-9005-bk	4,32	17,28
SKINTOP GMP-GL-M 20X1.5 RAL 9005 BK - Kaapeliäpiviennin lukkomutteri M20	155-19-736	4	https://www.elfadistrelec.fi/fi/skintop-gmp-gl-m-20x1.5-ral-9005-bk	0,6763	2,7052
CHDX8-327C - Saranoitu kotelo raskaaseen käyttöön X8 200x300x150mm	301-13-308	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/chdx8-327c	52,2	52,2
FMC35F-SET FLANGE SET - Kalvotiivisteen leveysarja, Fibox	150-66-071	1	https://www.elfadistrelec.fi/fi/fmc35f-set-flange-set	26,67	26,67
G2R1SDI24DCSNEW - Teollisuusrele, G2RS 1CO DC24V 10A Pistoliitin, Omron	136-19-954	4	https://www.elfadistrelec.fi/fi/g2r1sdi24dcsnew	16,82	67,28
P2RFZ-05-E - Relekanta, G2R-S-sarja, 10A, 250V, Ruuviiliitin, Omron Industrial	302-04-762	4	https://www.elfadistrelec.fi/fi/p2rfz-05-e	7,58	30,32
Yhteensä:					401,8352

8.2 Ulkoiset I/O-liitännät

Ulkoisten I/O-liitäntöjen suunnittelu alkoi miettimällä, kuinka paljon mahdollisia digitaalisia sisään- ja ulostuloja tarvittaisiin normaalissa opetuskäytössä. Analogisia tuloja ja lähtöjä oli vain yksi, joten niitä tuli vain yksi kappale molempia ulkoiseen I/O-koteloon. Tässä vaiheessa oli myös tarpeellista harkita, mikä olisi järkevä kaapeli I/O-kotelo varten huomioiden tarvittavan ohjaustarpeen. Kaapelin valintaan lopulta vaikutti myös ohjauskoteloon käyvä kaapelintyyppi, joten tarvittaisiin vain yhtä kaapelityyppiä. Kaapeliksi näillä ehdoilla valikoitui GAMAKABEL YSLY-JZ 18x0,75 kaapeli, joka oli samalla sopivan ohut mahtuakseen vielä M20 taipumista estävään holkkitiivisteseen. Tämän kaapelin johtimet jakoutuivat I/O-kotelossa Taulukko 2 mukaisesti. Keviä kaapelista ei kytketty, kun sille yhteistyörobotissa ei ollut kytkentäpaikkaa.

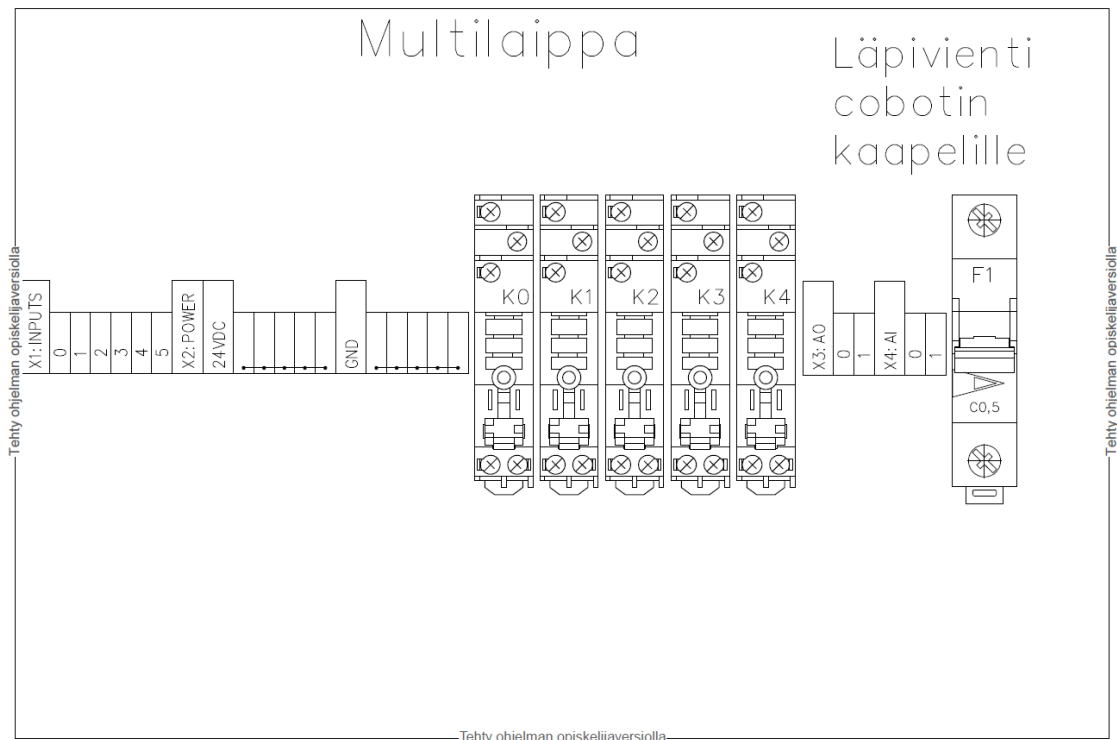
Muut kytkennät suunniteltiin suoraviivaisiksi hahmottamisen helpottamiseksi. Yhteistyörobotin digitaalisia sisään tuloja vastasivat X1-riviliitimessä olevat 0–5-numerot järjestyksessä. Digitaalisia ulostuloja vastasivat K0-K4-releet järjestyksessä. Yhteistyörobotin ainoata analogista ulostuloa vastasi X3-riviliitimessä numerot 0 ja 1. Yhteistyörobotin ensimmäistä analogista sisääntuloa vastasi X4-riviliitimessä numerot 0 ja 1. Yhteistyörobotin tasavirtasähköä varten oli varattu X2-riviliitin.

Taulukko 2. Yhteistyörobotin ulkoisen ohjausyksikön kytkennät

Yhteistyörobotin liittynät	Kaapelinjohdin numero	I/O-kotelon kytkentäpaikka
DI.0	1	X1:0
DI.1	2	X1:1
DI.2	3	X1:2
DI.3	4	X1:3
DI.4	5	X1:4
DI.5	6	X1:5
DO.0	7	K0:A1
DO.1	8	K1:A1
DO.2	9	K2:A1
DO.3	10	K3:A1
DO.4	11	K4:A1
24 VDC	12	X2:24VDC
AOUT.V	13	X3:0
A.GND	14	X3:1
AIN.OP	15	X4:0
AIN.OGND	16	X4:1
GND	17	X2:GND

Kytkentöjen ollessa selvillä I/O-kotelosta pystyi piirtämään layout-hahmotelman komponenttien sijoittelusta. Kuva 9 layout-piirros I/O-kotelosta.

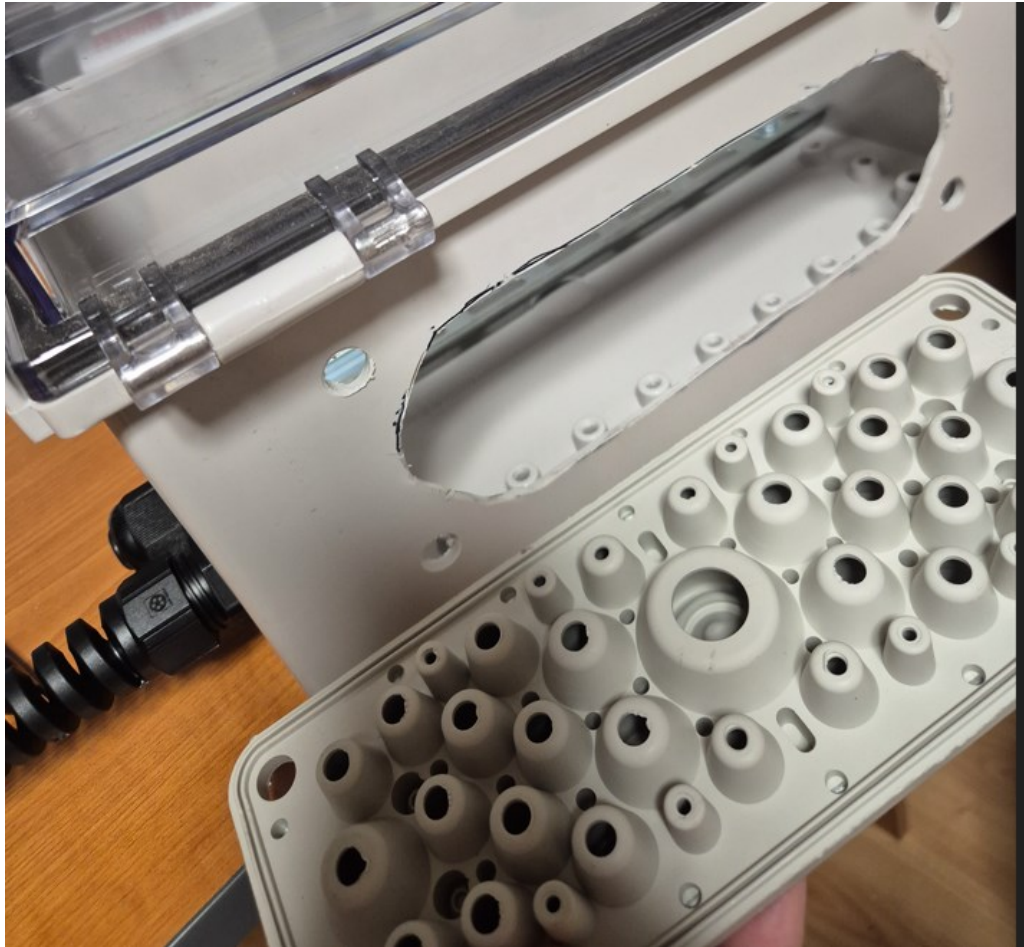
Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Kuva 9. Ulkoisen I/O-kotelon layout-hahmotelma

Ulkoisten I/O-liitosten ollessa selvillä työssä keskityttiin etsimään sopiva kotelo näiden tietojen pohjalta. Työhön valikoitui saranoilla varustettu kirkaskantinen kotelo, jotta käytettävyys olisi mahdollisimman hyvä. Koteloon laitettiin taipuisalla varrella oleva holkkitiiviste yhteistyörobotilta tulevaa kaapelia varten. Väliaikaisia läpivientejä varten koteloon asennettiin kalvoläpivientejä sisältävä multilaippa. Kuva 10 läpivientien tekohehkeltä.



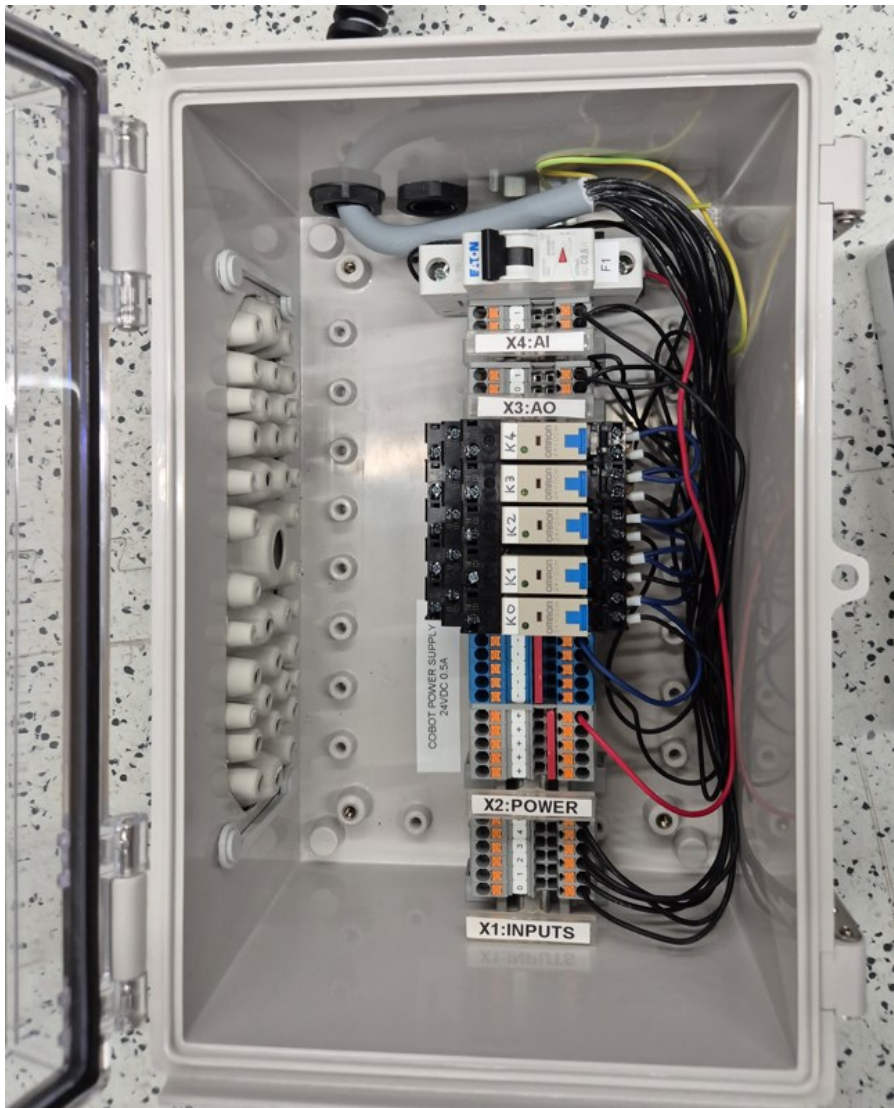
Kuva 10. I/O-kotelon läpivientien aukottamista ja asentamista

I/O-kotelo oli näiden toimenpiteiden jälkeen valmis kalustamiseen, joka tehtiin olemassa olevan Kuva 9 näkyvän layout-hahmotelman mukaisesti. Riviliittimiksi valikoituivat Phoenix Contact:in valmistamat käytännölliset PT 2,5 riviliittimet, kun niitä oli valmiiksi koululla.

Releet valittiin ehdoilla, että niissä olisi oltava käsikäyttömahdollisuus, indikointivalo ja estosuuntadiodi. Estosuuntadiodi oli ehdoton, koska rele aiheuttaa virtapiiriin induktiivista reaktanssia tarkoittaen mahdollisia virtapiikkejä.

Nämä virtapiikit saattaisivat rikkoa virtapiiristä komponentteja, joka tässä tapauksessa tarkoittaisi yhteistyörobotin digitaalisia lähtöjä. Rikkoutumisen estämiseksi estosuuntaan kytketyllä diodilla käänminrinnalla pystytään purkamaan nämä induktiiviset kuormat eli virtapiikit. [8, s.29.]

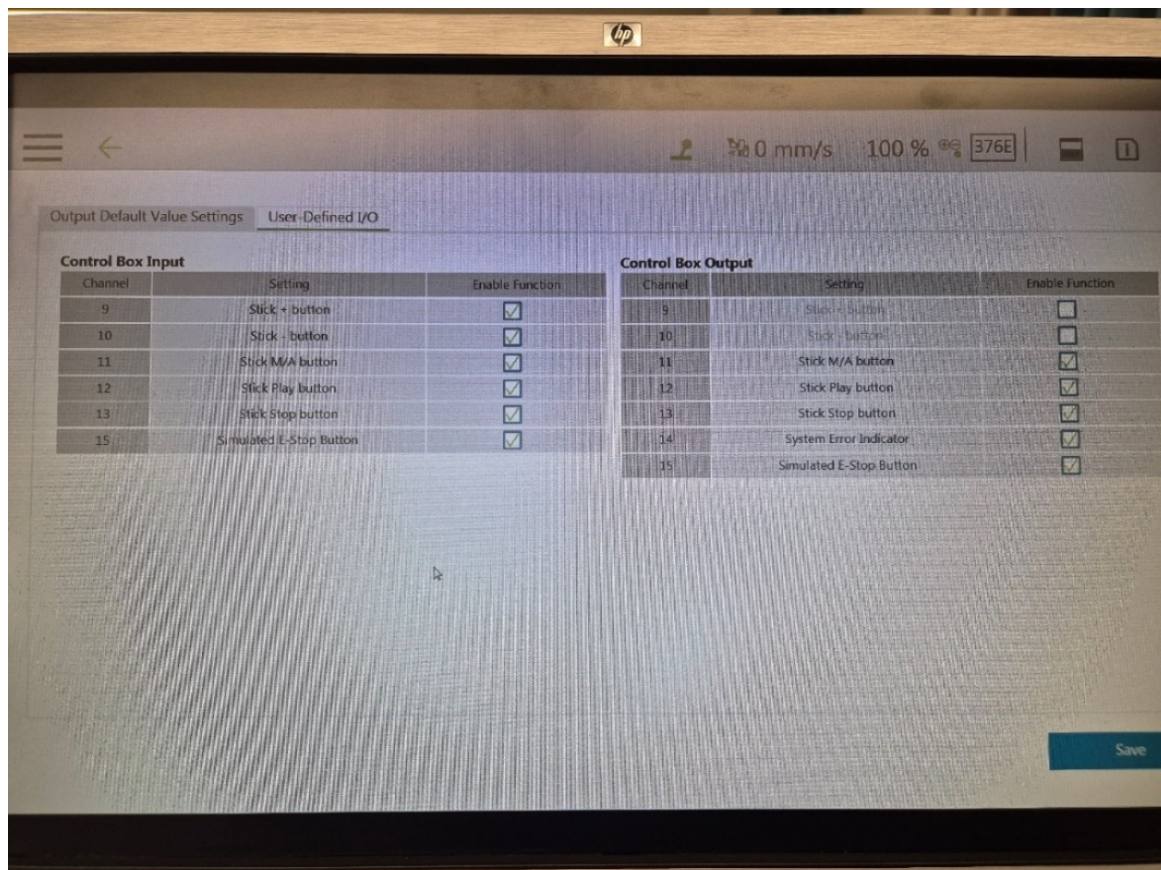
I/O-kotelon johdonsuojan valinta aloitettiin tutkimalla yhteistyörobotin teknisiä tietoja. Näistä selvisi teholähteen koon olevan yhteistyörobotin I/O-liitännöille 24VDC 2.0A [9]. Tämän tiedon pohjalta arvioitiin koululta valmiiksi löytyvän tasavirralla soveltuvan C0,5A johdonsuojan olevan riittävä etusulake I/O-kotelon riviliittimille, sillä yhteistyörobotilla käytettävät sähköiset anturit vievät vain vähän virtaa. Komponenttien valintojen jälkeen kytkennät ja merkinnät I/O-koteloon tehtiin Taulukko 2 mukaisesti. Kuva 11 näkyy I/O-kotelo kalustettuna, kytkettynä ja merkattuna.



Kuva 11. I/O-kotelon kalustaminen

8.3 Ohjauskotelo

Ohjauskotelossa johtimien tarve oli huomattavasti pienempi kuin I/O-kotelo mietittäessä, joten sama GAMAKABEL YSLY-JZ 18x0,75 kävi hyvin käytettäväksi myös ohjauskotelossa. Ohjauskotelon suunnittelu alkoi tarkastamalla mitä ulkoisia ohjauksia yhteistyörobotti sallii Kuva 12 mukaisesti, jotka ovat samat mitä yhteistyörobotin omassa ohjauskapulassa.



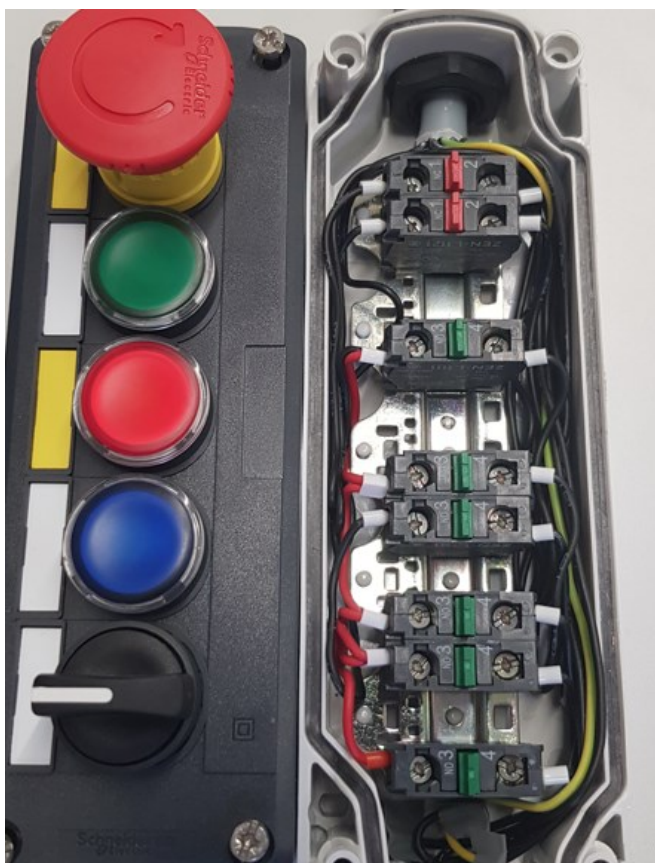
Kuva 12. Yhteistyörobotin ulkoisten ohjausten I/O

Näistä ulkoisista ohjauskotelon toiminnoista nopeutus, hidastus, kuittaus, käynnistys ja pysäytys suunniteltiin yhteistyörobotin digitaalisiin sisääntuloihin. Hätäseis-toiminnolle/painikkeelle yhteistyörobotissa oli olemassa valmis kahdennettu kytkentäpaikka. Turva-automaation kuittaamisen helpottamiseksi suunniteltiin kuittauspainikkeelle toinen kosketin, josta johdotettiin yhteistyörobotin ohjausyksikön kautta turva-automaatiokotelolle kaksi johdinta. Näistä tiedoista kasattiin Taulukko 3 näkyvät ohjauskotelon kytkennät.

Taulukko 3. Ohjauskotelon kytkennät

Nappikotelon toiminto	Kosketin	Nappikotelon kaapelinjohdin numerot		Yhteistyörobotin liitynnät
E-STOP	NC	1&2		E-STOP.A
E-STOP	NC	3&4		E-STOP.B
START	NO	5		DI.12 (Play button)
STOP	NO	6		DI.13 (Stop button)
RESET	NO	7		DI.11 (M/A button)
SPEED +	NO	10		DI.9 (+ button)
SPEED -	NO	11		DI.10 (- button)
24VDC		16		24VDC
		Nappikotelon kaapeli	Turva-automaatio-kotelon yhdyskaapeli	Turva-automaatiokotelo
RESET	NO	8&9	14&15	11 / REST_FBK2 (DUELCO)

Kytcentöjen ollessa selvillä ohjauskotelon rakentaminen aloitettiin kalustamalla se koskettimilla ja painikkeilla. Järjestys painikkeille määräytyi hyvin yleisestä tavasta sijoittaa painikkeet ylhäältä alas järjestykseen hätäseis, käynnistys, pysäytys ja kuittaus. Viimeiseksi kytkimeksi jäi kaksisuuntainen vipukytkin nopeuden säätämiseksi, joka on monesti omassa kotelossaan. Näiden jälkeen ohjauskotelo kytkettiin Kuva 13. Ohjauskotelon kalustaminen ja kytkeminen näkyvällä tavalla.



Kuva 13. Ohjaukotelon kalustaminen ja kytkeminen

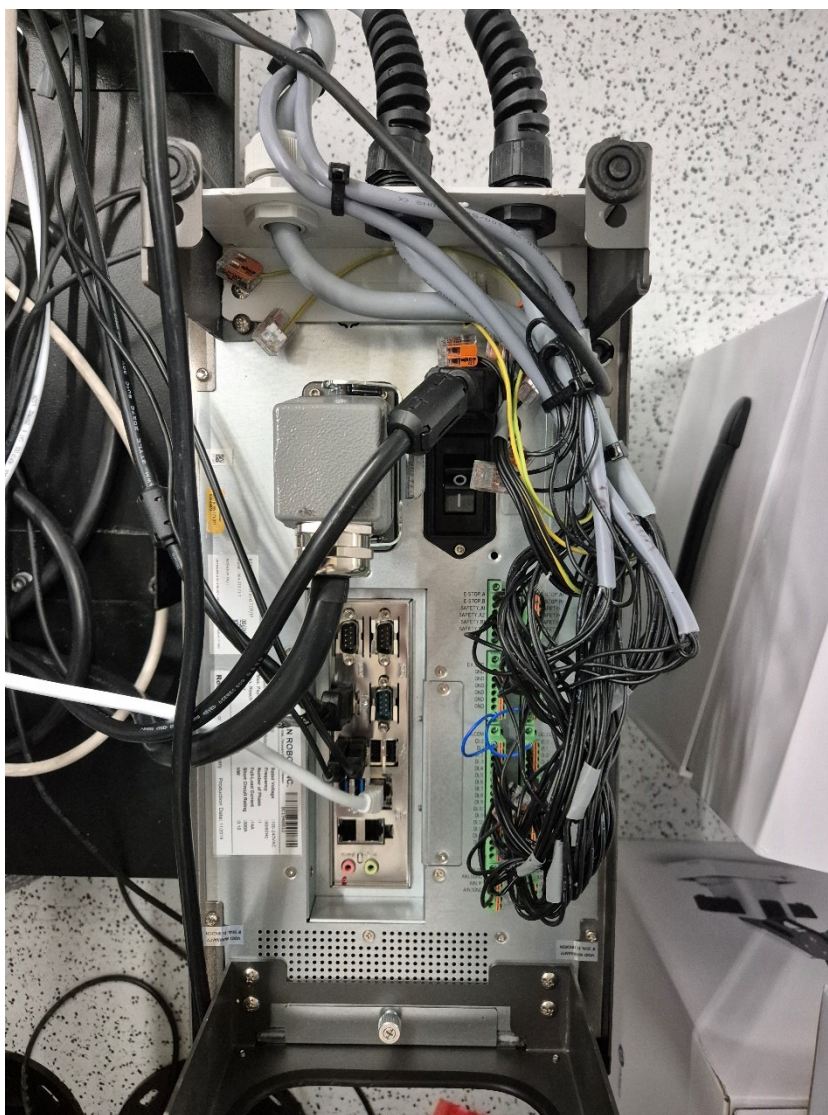
Ohjaukotelon painikkeet merkittiin lopuksi Kuva 14. Ohjaukotelon merkinnät näkyvällä tavalla. Reset (suom. kuittaus) painikkeelle merkittiin toinen merkitys, joka oli manuaali/automaattinappia vastaava toiminto yhteistyörobotin ohjaukskapulassa. Ohjaukoteloon tuli myös merkintä muistuttamaan, miten automaattiajon saa päälle.



Kuva 14. Ohjaukotelon merkinnät

8.4 Yhteistyörobotin ohjausyksikkö

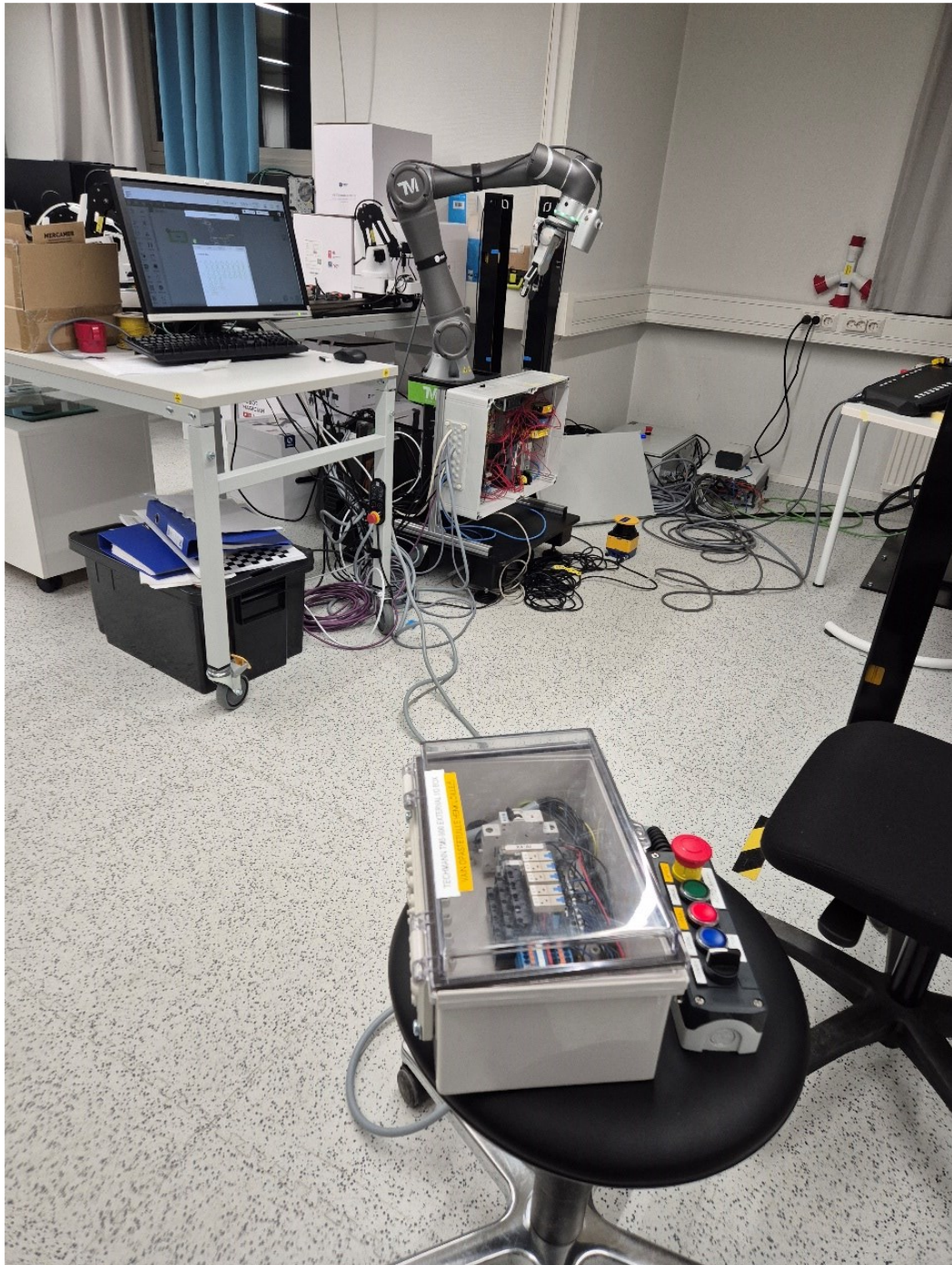
Yhteistyörobotin ohjausyksikköön piti suunnitella vedonpoistot ennen kytkentöjen tekemistä käytettävyyden ja luotettavuuden takia. Liiallinen veto I/O-liittimiin kohdistettuna olisi saattanut myös vahingoittaa yhteistyörobottia pahasti. Tämän opinnäytetyön ohella oli tiedossa turvalaitekotelon tarvitsevan ainakin yhden isomman vedonpoiston, joten yhteistyörobottiin suunniteltiin tämän työn puitteissa 3 vedonpoistoa. Vedonpoistoholkit saatiin yhteistyörobotin ohjauskoteloon tämän jälkeen kiinnitettyä käyttämällä muovista kulmalistaa hieman muokattuna. Ohjauskotelolle ja I/O-kotelolle laitettiin taipumista estävää holkkiivisteet liikkuvan käytön takia Kuva 15. Yhteistyörobotin I/O-kytkennät muutosten jälkeen näkyvällä tavalla.



Kuva 15. Yhteistyörobotin I/O-kytkennät muutosten jälkeen

9 TULOKSET

Ohjauskotelon ja I/O-kotelon 5 metrin johdoilla ulottuvuus I/O-liitännöille sekä ohjaustoimenpiteille kasvoi merkittävästi. Molemmat tulevat helpottamaan käyttämistä varsinkin silloin, kun yhteistyörobotilla on käytössä turva-automaatioilaitteita. Kuva 16. I/O-kotelon ja ohjauskotelon yhteistyörobotin kanssa yhteistyörobotti laitteistoineen sekä ulkoinen I/O-kotelo ja ohjauskotelo kauemaksi tuotuna.



Kuva 16. I/O-kotelon ja ohjauskotelon yhteistyörobotin kanssa

9.1 Ulkoiset I/O-liitännät

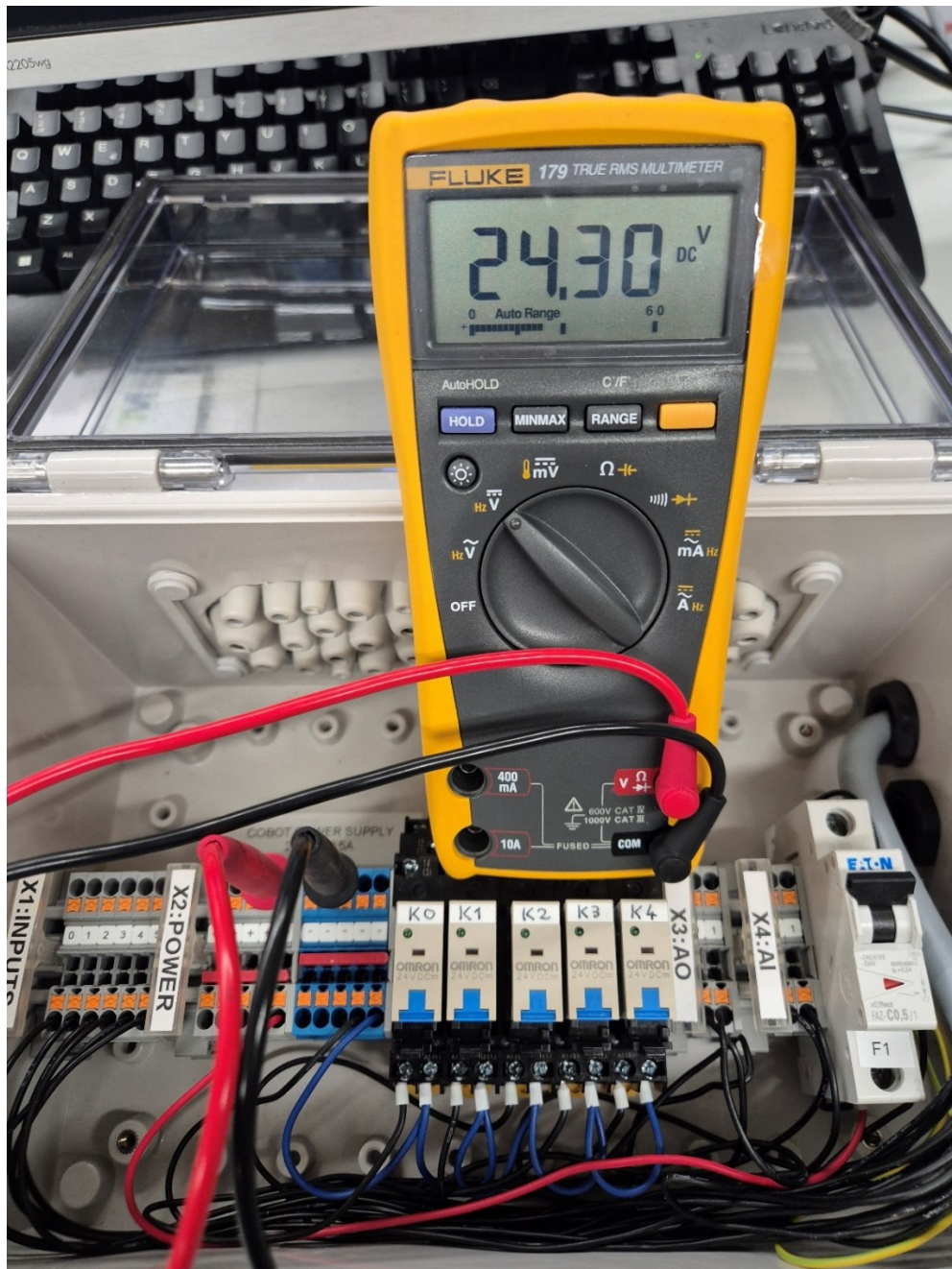
I/O-kotelon lopullinen ulkoasu päältä päin katsottuna näkyy Kuva 17. I/O-kotelo on myös tarkoitettu käytettäväksi samaisesta asennosta, tällöin multilaip-
paan tulevat johdot olisivat vähiten tiellä. Kanteen lisättiin vielä huomio oppi-
laille, että I/O-koteloä tulisi käyttää vain opettajan ohjeistuksesta. Ulkoiseen
I/O-koteloon lisättiin vielä etureunaan selitteet riviliittimistä ja releistä käytön
helpottamiseksi sekä selkeyttämiseksi.



Kuva 17. Ulkoinen I/O-kotelo päältä

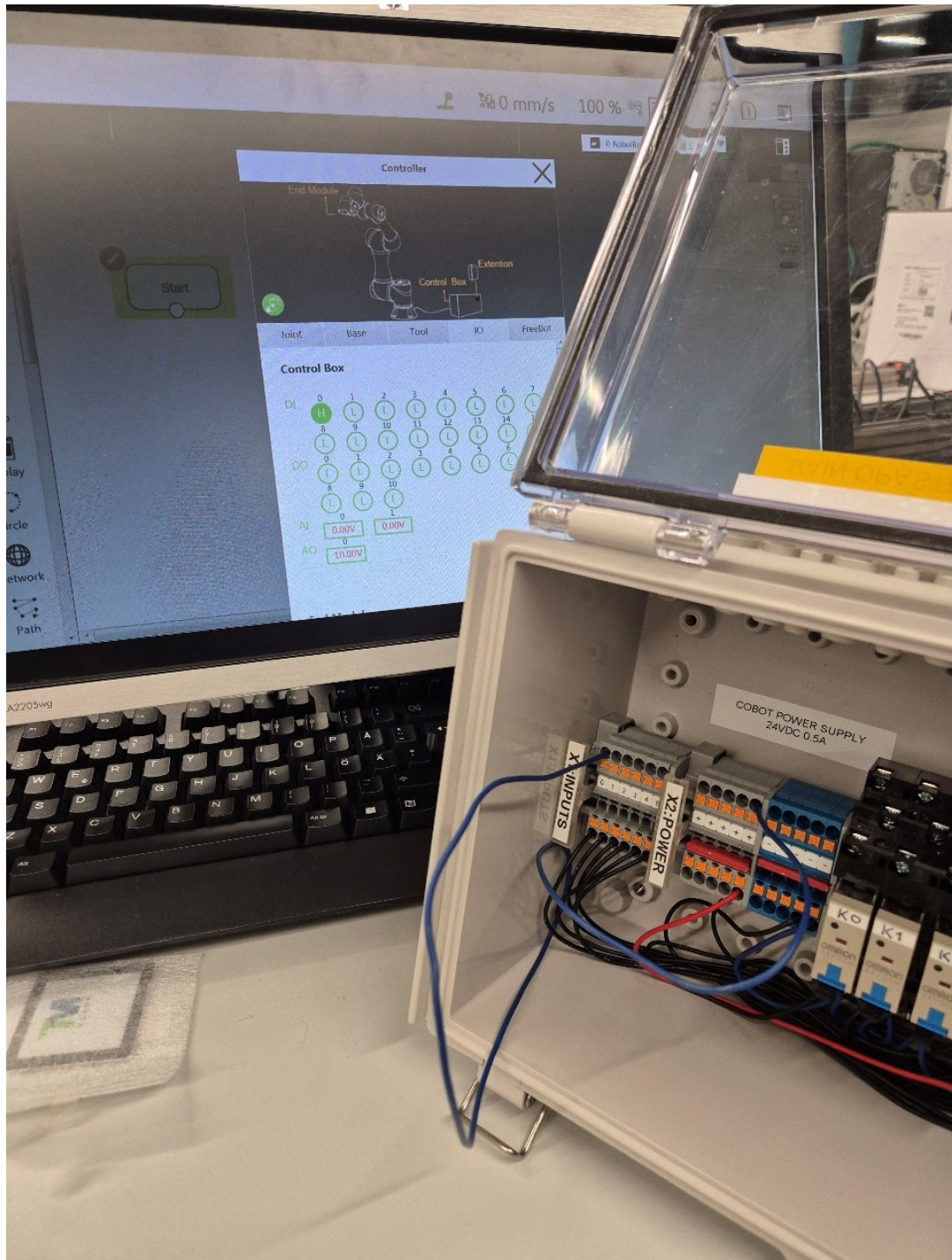
9.1.1 Pistetestaus

Ulkoisen I/O-kotelon osalta pisteiden eli toimintojen testaaminen aloitettiin yhteistyörobotin jännitteen tarkastamisella X2-riviliittimistä. Testaaminen suoritettiin mittaamalla jännite ja jännitteen napaisuus FLUKE 179-yleismittarilla tasavirta alueella Kuva 18 mukaisesti riviliittimistä. Napaisuuden ja jännitteen ollessa kunnossa testaamista jatkettiin testaamalla johdonsuojan toiminta I/O-kotelosta asettamalla se OFF-asentoon, jolloin mittarista hävisi jännite niin kuin kuuluukin.



Kuva 18. Ulkoisen I/O-kotelon jännitteenmittaus

Toisena testaamisessa oli vuorossa digitaalisten sisääntulojen testaaminen yhteistyörobotista. Testaaminen suoritettiin käyttämällä hyppylankaa, jonka toinen pää kytkettiin testauksen ajaksi X2-riviliittimen +24VDC liittimeen. Toisella päällä käytiin yksi kerrallaan järjestyksessä X1-riviliittimen liittimet 0–5 samalla seuraten, vaihtuuko digitaalisen sisääntulon tila yhteistyörobotin käyttöliittymässä. Kuvassa 19 digitaalisen sisääntulon 0 testaaminen käynnissä.



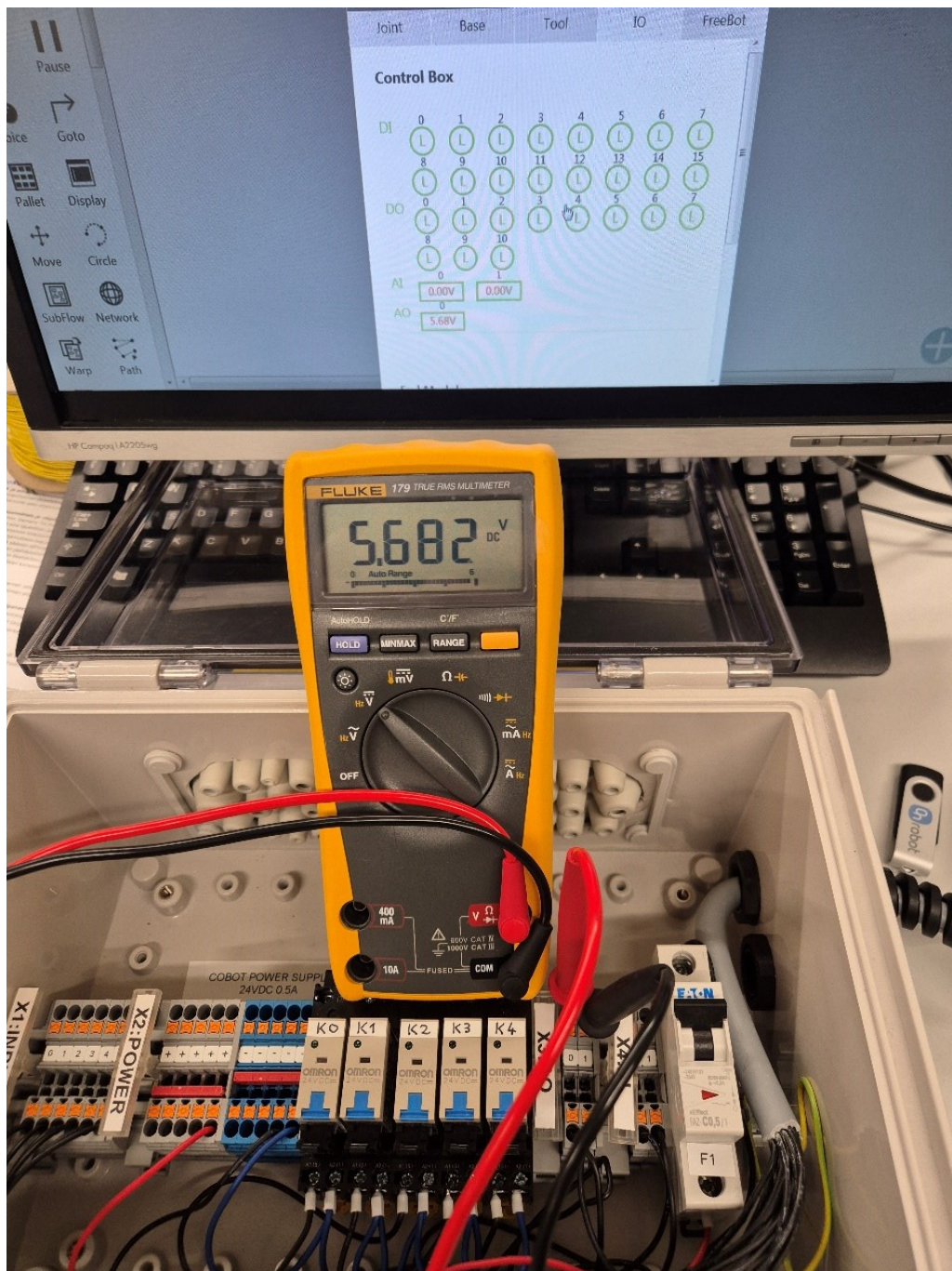
Kuva 19. Ulkoisen I/O-kotelon digitaalisten sisääntulojen testaaminen

Kolmantena testaamisessa oli vuorossa digitaaliset ulostulot. Testaaminen suoritettiin ohjaamalla yhteistyörobotin ohjelmasta yksi kerrallaan ulostuloja 0–5 päälle, jolloin releet K0-K4 vetivät samassa järjestyksessä. Kuva 20 yhteistyörobotin ohjelmasta kaikki 0–5-ulostulot ohjattu päälle, joten K0-K4-releet vetävät.



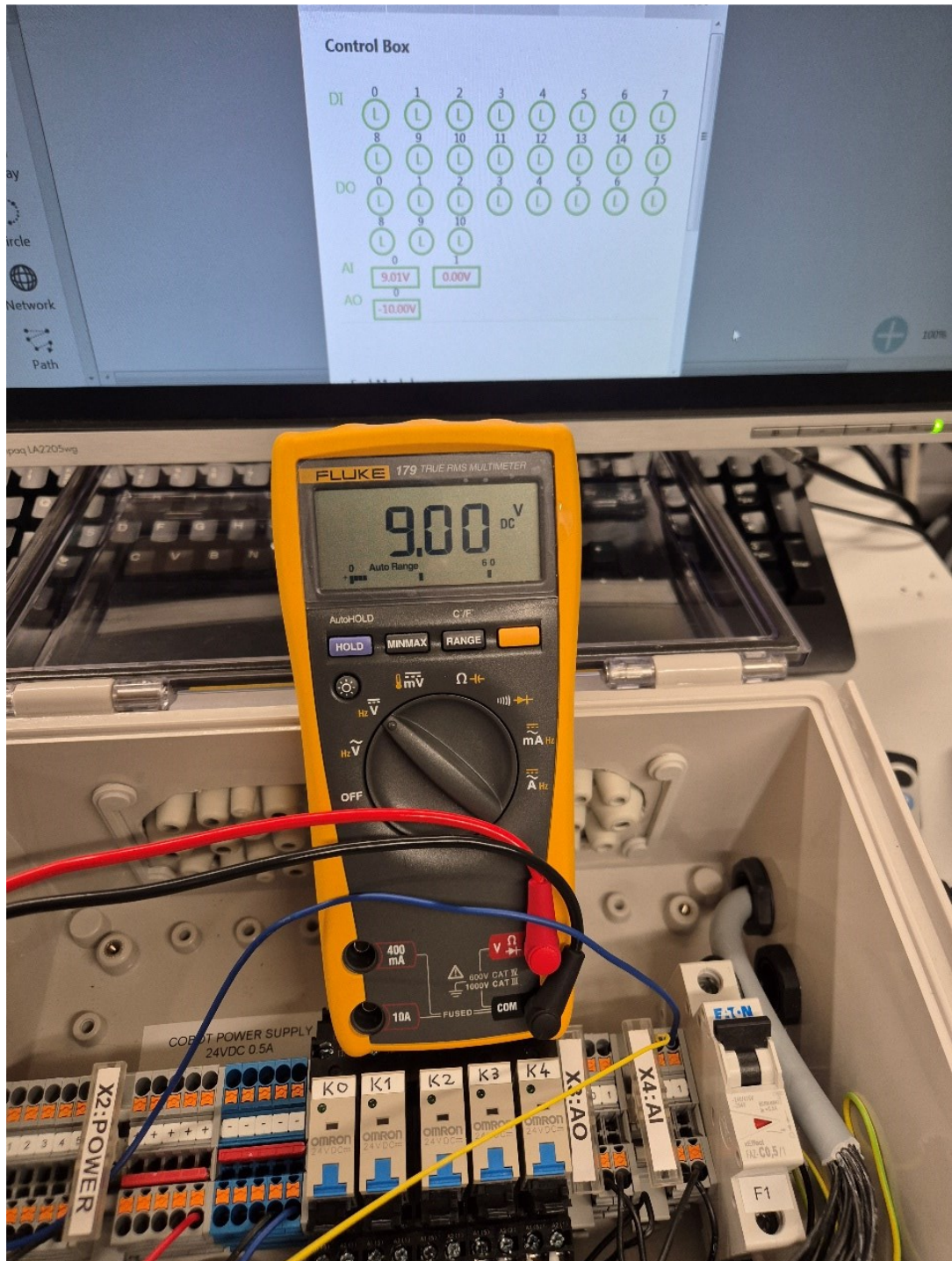
Kuva 20. Ulkoisen I/O-kotelon digitaalisten ulostulojen testaaminen

Neljäs testaamisen kohde I/O-kotelossa oli analoginen ulostulo, joita oli vain yksi yhteistyörobotissa. Testaaminen suoritettiin FLUKE 179-yleismittarilla ta-savirta-alueella X3-riviliittimien 0 ja 1 navoista, joista 1 oli kytketty analo-giaulostulon GND Taulukko 2. Yhteistyörobotin ulkoisen ohjausyksikön kyt-kennät mukaisesti. Yhteistyörobotin käyttöliittymästä pystyi asettamaan jännit-teen -10V ja +10V välille. Kuva 21 näkyy, kun käyttöliittymään on asetettu 5.68V jännite, jolloin jännitemittarissa oli vastaava jännite.



Kuva 21. Ulkoisen I/O-kotelon analogisen ulostulon testaaminen

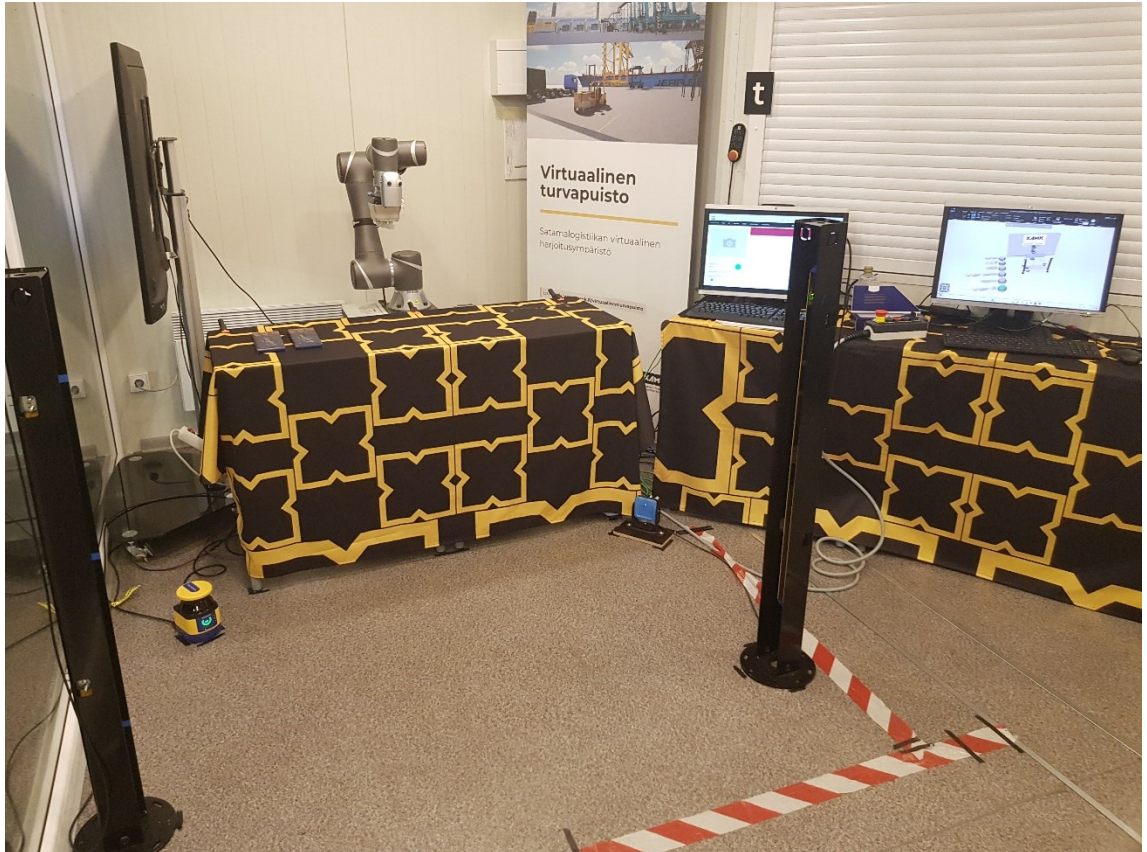
Viides testaamisen kohde I/O-kotelossa oli analoginen sisääntulo, joista oli vain toinen johdotettu I/O-kotelolle. Testaaminen suoritettiin liittämällä 9V paristo X4-riviliittimen 0 ja 1 liittimiin, joista 1 oli kytketty analogiasisääntulon GND Taulukko 2:n mukaisesti. Jännitteen varmistamiseksi FLUKE 179-yleismittari kytkettiin 9V pariston kanssa rinnalle. Kuva 22 nähdään yhteistyörobotin käyttöliittymästä 9.01V jännite, joka vastaa yleismittarilla mitattua.



Kuva 22. Ulkoisen I/O-kotelon analogisen sisääntulon testaaminen

9.2 Ohjauskotelo

Ohjauskoteloä päästiin testaamaan ensimmäistä kertaa Kuva 23 olevalla robotiikan rastilla Turvallinen Kaakko -tapahtumassa. Toisen kerran se oli samaa vuonna testissä Viranomaiset Maskilla tapahtumassa robotiikan rastilla. Sen todettiin helpottaneen huomattavasti yhteistyörobotin käyttämistä tämän kaltaisissa tapahtumissa.



Kuva 23. Ohjauskotelon hyödyntäminen Turvallinen Kaakko -tapahtumassa 2024

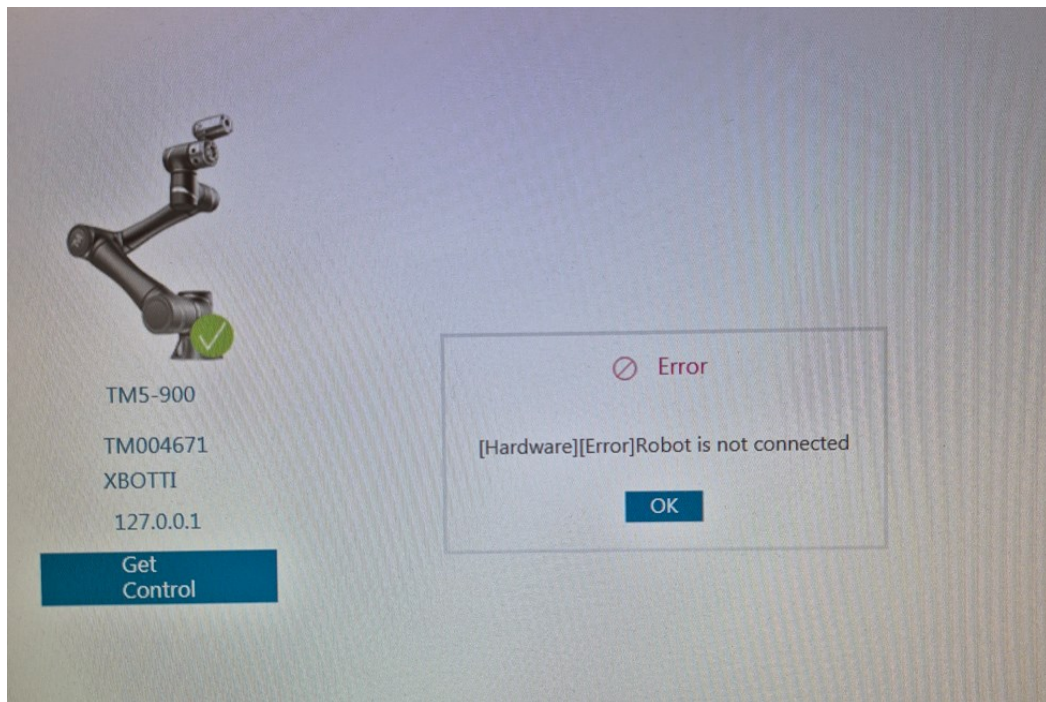
9.2.1 Pistetestaus

Ohjauskotelon toiminnoista nopeutus, hidastus, kuittaus, käynnistys ja pysäytys olivat helposti testattavissa seuraamalla Taulukko 3 esitettyjä sisääntuloja yhteistyörobotin käyttöliittymästä ja painamalla ohjauskotelon nappeja. Kuva 24 nähdään sisääntulon 11 aktivoituneen silloin, kun RESET-painiketta painettiin.



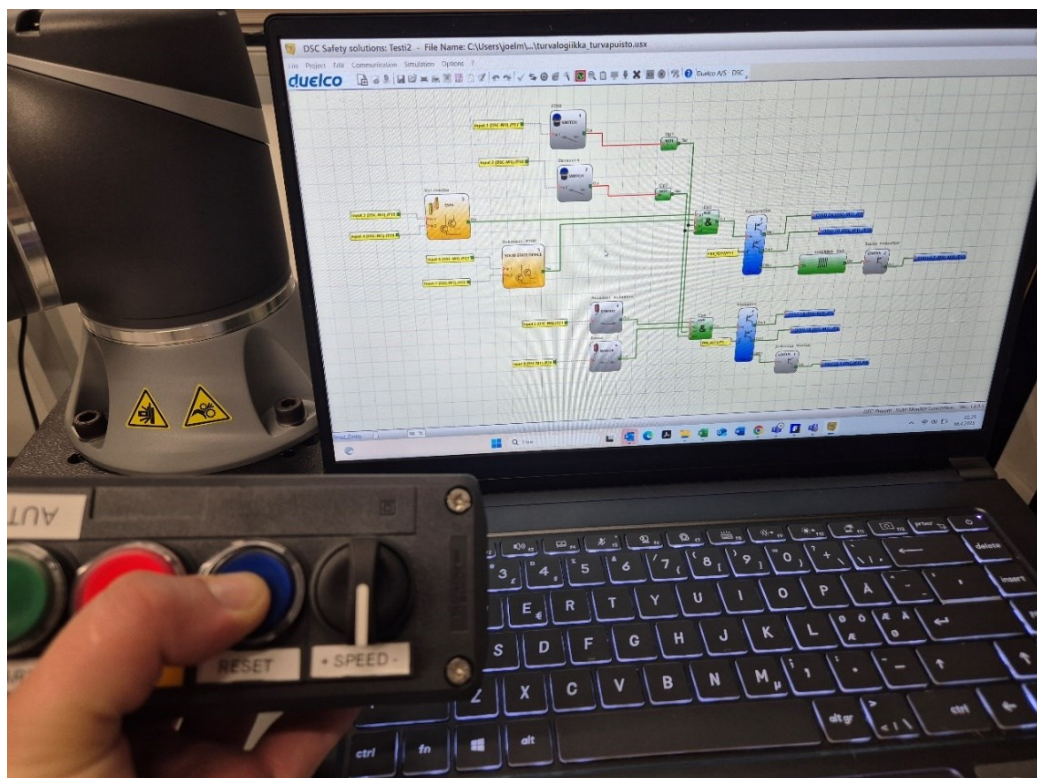
Kuva 24. Yhteistyörobotin käyttöliittymä ohjauskotelon testausvaiheessa

Hätäseis-painikkeen toimintaa ei testausvaiheessa pystynyt seuraamaan käyttöliittymästä suoraan, muuten kuin ohjelman keskeytyessä hätäseis-painiketta painettaessa. Samalla kun hätäseis aktivoitui, yhteistyörobotin nivelien lukot aktivoituivat ja pystyttiin varmistumaan sen toiminnasta. Kuva 25 yhteistyörobotin aloitusnäkyistä hätäseis-painikkeen ollessa painettuna.



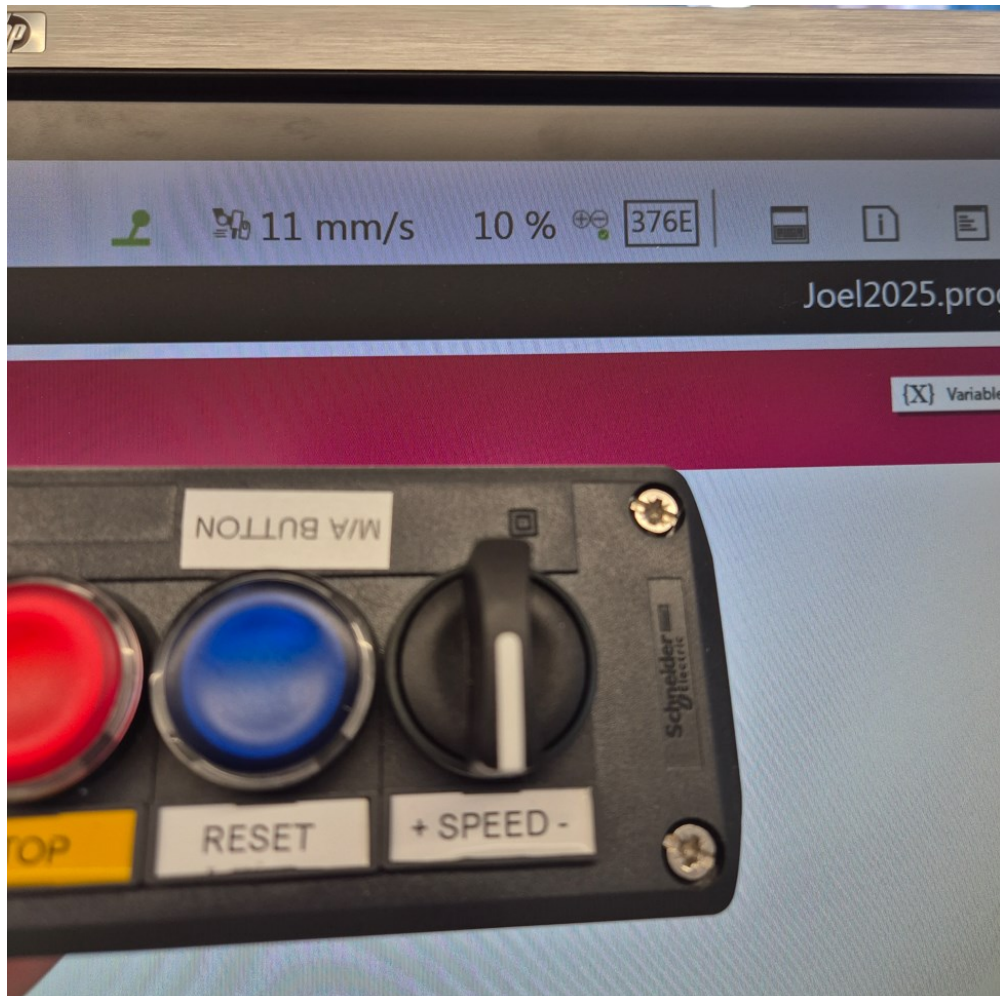
Kuva 25. Häätäseis aktivoituna yhteistyörobotia käynnistessä

Turvalogiikalle menevä kuittaus oli helpoin testata avaamalla turvalogiikan monitorointi näkymä, mitä pystyttiin seuraamaan reaaliajassa kuittauspainiketta painettaessa. Kuva 26 turvalogiikan ohjelman monitorointinäkymä ja ohjauksotelon kuittauspainike painettuna.



Kuva 26. Turvalogiikan kuittauksen testaamista ohjauksotelolla

Ohjauskotelon kaikki toiminnot testattiin vielä lopuksi yhteistyörobotin ohjelman ollessa päällä. Testausta varten yhteistyörobotille tehtiin yksinkertainen kahden liikepisteen ohjelma, mikä liikkui kahden pisteen välillä ja toisti tätä niin kauan kun ohjelma oli päällä. Ensimmäiseksi testattiin START-painike, josta valittu ohjelma lähti päälle ja painiketta uudelleen painettaessa ohjelma meni tauolle. Seuraavaksi ohjelman ollessa päällä testattiin ohjauskotelon vipukytkimessä olevat nopeutus ja hidastus toiminnot, jotka toimivat oikein lisäten tai vähentäen nopeutta viisi prosenttiyksikköä kerrallaan riippuen kytkimen asennosta. STOP-painiketta painettaessa ohjelma sulkeutui niin kuin oli tarkoituskin. Ennen ohjelman uudelleen käynnistämistä järjestelmä tulee kuitata RESET-painikkeella, joka toimi suunnitellulla tavalla. Häätäseis-painikkeen toiminta testattiin vielä lopuksi, jolloin yhteistyöroboti pysähtyi välittömästi ja ohjaustietokoneen näytölle tuli lisätietoikkunaan tieto hätäseis-toiminnon aktivoitumisesta. Kuva 27 ohjauskotelon nopeutuksen ja hidastuksen testaamista ohjelman ollessa käynnissä.



Kuva 27. Ohjauskotelon testaamista ohjelman ollessa käynnissä

10 POHDINTA

Työ onnistui ohjauskotelon ja I/O-kotelon osalta odotetulla tavalla. Feston mukautuva tarttuja jäi työstä pois, sillä sen todettiin olevan liian laaja kokonaisuus tämän työn puitteissa tehtäväksi. Tästä huolimatta työ edisti merkittävästi oppimisympäristön kokonaisuutta ja monipuolisuutta. Ohjauskotelo onkin jo päätenyt aktiiviseen käyttöön ja on todettu helpottavan yhteistyörobotin käyttöä varsinkin tapahtumissa. I/O-kotelo ei päästy vielä todellisissa harjoituksissa testaamaan, mutta se varmasti tulee tulevaisuudessa helpottamaan harjoitusten tekemistä

Nykyistä ohjauskoteloä pystyisi vielä kehittämään lisäämällä merkkivalot painikkeisiin, jolloin ohjauskotelon käyttöä saisi entisestään selkeytettyä. I/O-kotelolle taas voisi kehittää valmiiksi erilaisia harjoituksia, mitä seuraamalla tekijöiden olisi helpompaa ja nopeampaa sisäistää laitteiston toimintaa.

Opinnäyte kokonaisuutena osoitti tällaisten toimintojen lisäämistä kyseiseen yhteistyörobottiin työläämmäksi, mitä alussa olin ajatellut. Suurimpina haasteina suunnittelussa ja toteutuksessa olikin kyseisen yhteistyörobotin ei niin yleiset ratkaisut toteuttaa I/O-liitäntöjä ja johtojen vedonpoistoja. Työtä tehdessä oli erityisen tärkeää hahmottaa nämä erityispiirteet automaation toteutuksessa. Lisäksi varmasti tällaista laitteistoa käyttöönottaessa muuhunkin kuin opetuskäyttöön tulee huomioida edellä mainitut asiat. Kaiken kaikkiaan työ tuotti itselleni paljon asiantuntemusta kyseisistä laitteista ja toteutuksesta, mitä varmasti pystyn hyödyntämään tulevaisuudessa työelämässä.

LÄHTEET

1. Bauer, W., Bander, M., Braun, M. ym. Lightweight robots in manual assembly best to start simply! Examining companies initial experiences with lightweight robots. Fraunhofer Institute for Industrial Engineering. PDF-dokumentti. 2016. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots [viitattu 22.2.2025].
2. Keinänen, T. & Sumujärvi, M. Automaatiotekniikka. 1. painos Vsk. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 2019.
3. Liuha, A., Latokartano, J., Lempiäinen, J., Billing, M., Ahonen, T., Välimäki, K. & Niemelä, M. Teollisuuden robotiikka. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry. 2023.
4. Hänninen, P. Robotiikka ja tekoäly. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka. 2022.
5. Machine Tools. Tehosta tuotantoa yhteistyöroboteilla. PDF-dokumentti. 2019. Saatavissa: https://www.machinetool.fi/hubfs/2019/Esitteet/Tehosta%20tuotantoa%20coboteilla_Machine%20Tool.pdf?hsCtaTracking=ae6bd492-1221-4e83-86ba-d26b4f914e0a%7C8ef3d45c-6fa0-47f2-84d6-a0509457f2e8 [viitattu 20.2.2025].
6. Kemppe Oy. Kemppe tuo älykkäät kobottiratkaisut hitsausautomaatioon. WWW-dokumentti. 2024. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi/blogit/kemppi-tuo-alykkaat-kobottiratkaisut-hitsausautomaatioon> [viitattu 22.2.2025].
7. Dimalog Oy. Mobiilirobotti ja yhteistyörobotti samassa paketissa. WWW-dokumentti. 2020. Saatavissa: <https://www.dimalog.com/category/yhteistyorobotti/?lang=fi> [viitattu 8.4.2025].
8. Ahonen, J., Haiko, T. & Salonen, K. Elektroniikka. 2. painos Vsk. 2019. Helsinki: Sanoma Pro Oy;
9. TECHMAN ROBOT INC. TM5 – 900. PDF-dokumentti. 2019. Saatavissa: <https://www.tm-robot.com/en/tm5-900/> [viitattu 23.4.2025].

KUALUETTELO

Kuva 1. Yhteistyörobotti koneentäyttäjänä EasyRobotics ApS. ProFeeder Flex - highly maneuverable cobot stand. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://easyrobotics.biz/product/profeeder-flex/> [viitattu 22.2.2025].

Kuva 2. Yhteistyörobotti eri työtiloissa ihmisen kanssa Bauer, W., Bander, M., Braun, M. ym. Lightweight robots in manual assembly best to start simply! Examining companies initial experiences with lightweight robots. Fraunhofer Institute for Industrial Engineering. PDF-dokumentti. 2016. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots [viitattu 22.2.2025].

Kuva 3. Yhteistyörobotti laaduntarkkailutehtävissä Universal Robots USA, Inc. Presidential fleet of UR10 cobots optimize production. WWW-dokumentti. 2025. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/case-stories/thyssenkrupp-bilstein/> Kuva 3. [viitattu 22.2.2025].

Kuva 4. Kempin Cobotti-hitsaussoluratkaisu Kemppe Oy. Kemppe tuo älykkäät kobottiratkaisut hitsausautomaatioon. WWW-dokumentti. 2024. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi/blogit/kemppi-tuo-alykkaat-kobottiratkaisut-hitsausautomaatioon> [viitattu 22.2.2025].

Kuva 5. Dimalog Oy. Mobiilirobotti ja yhteistyörobotti samassa paketissa. WWW-dokumentti. 2020. Saatavissa: <https://www.dimalog.com/category/yhteistyorobotti/?lang=fi> [viitattu 8.4.2025].

Kuva 6. Techman TM5-900 yhteistyörobotti ennen muutoksia. Sipilä, J. 22.03.2024.

Kuva 7. I/O-liitynnät yhteistyörobotin ohjausyksikön pohjassa. Sipilä, J. 23.03.2024.

Kuva 8. Yhteistyörobotin ohjain KORVAA PAREMMALLA KUVALLA. Sipilä, J.

Kuva 9. Ulkoisen I/O-kotelon layout-hahmotelma. Sipilä, J. 23.04.2025.

Kuva 10. I/O-kotelon läpivientien aukottamista ja asentamista. Sipilä, J. 27.02.2025

Kuva 11. I/O-kotelon kalustaminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 12. Yhteistyörobotin ulkoisten ohjausten I/O. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 13. Ohjauskotelon kalustaminen ja kytkeminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 14. Ohjauskotelon merkinnät. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 15. Yhteistyörobotin I/O-kytkennät muutosten jälkeen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 16. I/O-kotelon ja ohjauskotelo yhteistyörobotin kanssa. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 17. Ulkoinen I/O-kotelo päältä. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 18. Ulkoisen I/O-kotelon jännitteenmittaus. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 19. Ulkoisen I/O-kotelon digitalisten sisääntulojen testaaminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 20. Ulkoisen I/O-kotelon digitalisten ulostulojen testaaminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 21. Ulkoisen I/O-kotelon analogisen ulostulon testaaminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 22. Ulkoisen I/O-kotelon analogisen sisääntulon testaaminen. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 23. Ohjauskotelon hyödyntäminen Turvallinen Kaakko -tapahtumassa 2024. Sipilä, J. 25.04.2024.

Kuva 24. Yhteistyörobotin käyttöliittymä ohjauskotelon testausvaiheessa. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 25. Häätäseis aktivoituna yhteistyörobotia käynnistäessä. Sipilä, J. 30.04.2025.

Kuva 26. Turvalogiikan kuittauksen testaamista ohjauskotelolla. Sipilä, J. 16.04.2025.

Kuva 27. Turvalogiikan kuittauksen testaamista ohjauskotelolla. Sipilä, J. 30.04.2025.