

Ville Vaaranmaa

Materiaalipursottimen ohjaus Raspberry Pi -tietokoneella

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikenne

Tekijä: Ville Vaaranmaa

Työn nimi: Materiaalipursottimen ohjaus Raspberry Pi -tietokoneella

Ohjaaja: Toni Luomanmäki

Vuosi: 2020 Sivumäärä: 61

Opinnäytetyö toteutettiin Seinäjoen ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyö palveli SeAMK Tekniikan hallinnoimaa Mixed Reality and Collaborative Robotics -hanketta. Yksi hankkeen tavoitteista oli tutustua elintarvikkeiden 3D-tulostamiseen, jota opinnäytetyössä tutkittiin.

Opinnäytetyön tavoite oli ohjata materiaalipursotinta Raspberry Pi 3 Model B -tietokoneella. Materiaalipursotin oli varustettu lineaariaskelmoottorilla. Moottorin ohjaukseen käytettiin erillistä Motor HAT -ohjainkorttia, joka liitettiin Raspberry Piin. Moottorin ohjausta varten asennettiin tarvittavat Python-kirjastot. Materiaalipursotin liitettiin UR10-yhteistyörobottiin, jonka ohjaus tapahtui yhteistyörobotin käyttöpaneelista. Yhteistyörobotin käyttöpaneelin kautta lähetettiin digitaalisia signaaleja Raspberry Piin GPIO-pinneille. Näillä signaaleilla ohjattiin askelmoottorin eri askeltapoja. Raspberry Piin ja yhteistyörobotin välille rakennettiin kytkentä optoerottimista ja vastuksista elektronisten signaalien turvallista kulkua varten.

Työn lopputuloksena saatiin toimiva materiaalipursotin, jonka tulostusta voitiin ohjata yhteistyörobotin käyttöpaneelin avulla. Työssä saavutettiin tärkeimmät tavoitteet ja lopputulos jätti varaa myös jatkokehitykselle.

Avainsanat: Raspberry Pi, yhteistyörobotti, askelmoottori, materiaalipursotin

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Network Technology

Author: Ville Vaaranmaa

Title of thesis: Controlling a Thick Paste Extruder with Raspberry Pi

Supervisor: Toni Luomanmäki

Year: 2019 Number of pages: 61

This thesis was created for Seinäjoki University of Applied Sciences. The thesis served a project called Mixed Reality and Collaborative Robotics that is led by SeAMK Technology. One of the goals of this project was to explore 3D-printing with food, which was experimented in this thesis.

The goal of the thesis was to control a thick paste extruder with a Raspberry Pi 3 Model B computer. The thick paste extruder was equipped with a linear stepper motor. The motor was controlled with a separate Motor HAT driver, which was attached to Raspberry Pi. The required Python libraries were installed to control the motor. The thick paste extruder was mounted to a UR10 collaborative robot arm, which was controlled using the control panel. Digital signals were sent by the control panel to the GPIO pins of Raspberry Pi. These digital signals were used to control the stepping ways of the stepper motor. A coupling that uses optocouplers and resistors was built between Raspberry Pi and the collaborative robot for electronic signals to travel safely.

The final result of the thesis was a functioning thick paste extruder, that can be controlled using the control panel of the collaborative robot. The most important goals were achieved, and the final product can be improved in the future.

Keywords: Raspberry Pi, collaborative robots, stepper motor, thick paste extruder

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite	10
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely.....	11
2 RASPBERRY PI	12
2.1 Historia.....	12
2.2 Mallit.....	12
2.3 Laitetiedot	14
2.4 GPIO-portti.....	15
2.5 Käyttöjärjestelmä.....	16
2.5.1 Raspbian.....	16
3 ASKELMOOTTORIT	17
3.1.1 Rakenne ja toiminta	17
3.1.2 Ominaisuudet.....	18
3.1.3 Askelmoottorin ohjaus.....	19
3.2 Adafruit askelmoottorihjainkortti	21
3.3 ZMorph-materiaalipursotin	22
3.3.1 NEMA 17 -lineaariaskelmoottori.....	24
4 YHTEISTYÖROBOTIT	25
4.1 Yhteistyörobotin käsite	25
4.2 Yhteistyörobotit ja teollisuusrobotit.....	25
4.3 Standardit ja tekniset määrittelyt	26
4.4 Universal Robots -yhteistyörobotti.....	27
4.4.1 UR-ohjauspaneeli	28

5	OPTOEROTINKYTKENTÄ.....	30
5.1	Optoerotin	30
5.2	Kytkenän rakentaminen	31
5.3	Vastusten suuruus	32
6	TUTKIMUKSEN KUVAUSTA	33
6.1	Signaalin kulku.....	34
7	TYÖN TOTEUTUS.....	36
7.1	Raspberry Piin ja moottoriohjaimen kokoaminen	36
7.2	Kirjastojen asennus.....	38
7.3	Moottorin kytkentä.....	39
7.4	Optoerotinkytkennän rakennus	42
7.5	Ohjelman luonti ja moottorin testaus	43
7.5.1	Testiohjelma moottorin testaukseen	44
7.5.2	Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen.....	44
7.5.3	Lopullinen ohjelma	47
7.5.4	Ohjelman käynnistys.....	48
7.6	Liittimet ja kotelointi.....	49
7.6.1	Liittimet.....	49
7.6.2	Kotelointi	52
7.7	Materiaalipursottimen testaus	54
8	TULOKSET	56
9	YHTEENVETO JA POHDINTA	58
	LÄHTEET	59

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Raspberry Pi 3 Model B+.....	14
Kuva 2. Askelmoottorin rakenne.	18
Kuva 3. Full step, jossa yksi vaihe jännitteellinen.	19
Kuva 4. Full Step, jossa kaksi vaihetta jännitteellisenä.	20
Kuva 5. Half step -ajossa askelten määrä kaksinkertaistuu full step -ajoon verrattuna.....	20
Kuva 6. Microstep-ajossa siniaallot ohjaavat askellusta A- ja B-vaiheiden välillä.	21
Kuva 7. Moottoriohjain ja ohjaimen juotettavat riviliittimet sekä liitinrunko (2x20).	22
Kuva 8. Työssä käytettävä materiaalipursotin.....	23
Kuva 9. Yhteistyörobotti UR10.	27
Kuva 10. UR10-robotin ohjauspaneeli.	28
Kuva 11. Yhteistyörobotin I/O-liittimet, joista käytetyt digitaaliset ulostulot on ympyröity.	29
Kuva 12. Optoerottimen rakenne.	30
Kuva 13. Optoerotinmallin 4n35 rakenne.	31
Kuva 14. Optoerotinkytkentä yhdelle ulostulolle.....	31
Kuva 15. Työn kuvaus	33
Kuva 16. Signaalin kulku järjestelmän läpi.....	34
Kuva 17. Raspberry Piin vastaavat GPIO-pinnit merkittynä moottoriohjaimeen. ...	35
Kuva 18. Moottoriohjain liitettynä Raspberry Pi -tietokoneeseen.	36

Kuva 19. Komento Raspberryn konfigurointipaneeliin.	37
Kuva 20. Konfigurointivalikko.	37
Kuva 21. Muutosten hyväksyntä.	38
Kuva 22. Päivitysten haku.....	38
Kuva 23. Päivitysten asennus.....	38
Kuva 24. Työkalujen päivitys.	38
Kuva 25. RPI.GPIO-kirjaston asennuskomento.	39
Kuva 26. Adafruit Blinka -kirjaston asennus.....	39
Kuva 27. Moottorin ohjaukseen liittyvä kirjasto.	39
Kuva 28. Moottorin johtimien värijärjestys.....	40
Kuva 29. Moottoriin kytketty ulkoinen virtalähde.	41
Kuva 30. Moottorin virtajohtojen sekä virtalähteen kytkentä.	42
Kuva 31. Adafruit-koekytkentälevy.....	42
Kuva 32. Optoerotinkytkentä liitettynä moottorihjaimen.	43
Kuva 33. Testiohjelma moottorin toiminnan testaukseen.....	44
Kuva 34. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (1).	45
Kuva 35. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (2).	46
Kuva 36. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (3).	46
Kuva 37. Lopullinen ohjelma (1).....	47
Kuva 38. Lopullinen ohjelma (2).....	48
Kuva 39. Lopullinen ohjelma (3).....	48

Kuva 40. Crontab-tiedoston avaus.....	48
Kuva 41. Tiedoston loppuun liitetään kyseinen lause.	49
Kuva 42. 6-pinnisen liittimen naaras- ja urospuoli.....	50
Kuva 43. DC-liitin askelmoottorin virtalähteelle.....	50
Kuva 44. Askelmoottorin johtimet liitettynä kaapeliin.	51
Kuva 45. Liittimen urospuoli liitettynä kaapeliin.....	52
Kuva 46. Kotelon sisältö.	53
Kuva 47. Liittimen yksi läpi kulkevat signaalit ja niiden toiminta.....	53
Kuva 48. Liittimen kaksi ja moottoriohjaimen välinen kytkentä.	53
Kuva 49. UR10-yhteistyörobotin ohjauspaneelilla luotu pursotintestausohjelma. .	54
Kuva 50. Pursottimen testaus suklaamassalla.....	55
Taulukko 1. Raspberry Pi B -mallien vertailu.	13
Taulukko 2. Nema 17-askelmoottorin elektroniset tiedot.	24
Taulukko 3. NEMA 17 lineaariaskelmoottorin kytkentä.	24

Käytetyt termit ja lyhenteet

USB	Universal Serial Bus. Sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
HDMI	High Definition Multimedia Interface. Näyttölaitteiden liitäntästandardi kuvan ja äänen siirtoon.
RCA	Radio Corporation of America. Liitin video- ja äänisignaalien siirtoon.
SSH	Secure Shell. Tiedonsiirtoprotokolla, joka mahdollistaa salatun etäyhteyden SSH-asiakasohjelmalla SSH-palvelimeen.
APT	Advanced Package Tool on Debian-jakeluversiossa käytetty apuohjelma ohjelmistopakettien hallintaan.
NOOBS	New Out Of Box Software. Asennustyökalu käyttöjärjestelmän asennukseen Raspberry Pi -tietokoneessa.
GPIO	General Purpose I/O. Mikroprosessorissa yleinen pinni, joka voi lähettää tai vastaanottaa dataa.
HAT	Hardware Attached on Top. Lisäosa Raspberry Pi -tietokoneeseen.
Python	Ohjelmointikieli.
IP-osoite	Numerosarja, joka yksilöi verkkoon kytketyt laitteet.
RAM	Muistityyppi, joka sisältää sekä kirjoitus- että lukumuistia.
DC	Tasavirta
Optoerotin	Elektroniikassa käytetty komponentti, jolla ohjataan digitaalisia signaaleja virtapiirin välillä.
IDLE	Python-ohjelmointia varten luotu ympäristö

UR10

Yksi yhteistyörobotin malleista

PuTTY

Avoimeen lähdekoodiin perustuva ohjelmisto SSH-palvelimen muodostamiseen.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Seinäjoen ammattikorkeakoulussa on käynnissä Tekniikan yksikön hallinnoima Euroopan Aluekehitysrahaston rahoittama hanke Mixed Reality and Collaborative Robotics. Hankkeen keskeisenä tavoitteena on lisätä yhteistyörobotiikan tunnettuutta ja osaamista Etelä-Pohjanmaalla. Hankkeen yhtenä tavoitteena on tutustua elintarvikkeiden 3D-tulostamiseen robotin avulla. Koska valmiita pursottimia ei juurikaan ole saatavilla tai niiden hinta on hyvin korkea, hankkeessa päädyttiin rakentamaan robotin pursotintyökalu itse erilliskomponenteista.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa askelmoottoriohjattuihin materiaalipursottimiin askelmoottoriohjaimella ja Raspberry Pi 3 -tietokoneella ohjaus siten, että askelmoottorin nopeutta ja muita parametreja voidaan säätää. Nopeuden ja muiden parametrien säätö tapahtuu Universal Robots -yhteistyörobotin käyttöpaneelista. Lisäksi käyttöpaneeliin kehitetään käyttöliittymä materiaalipursotimen ohjausta varten.

1.3 Työn rakenne

Luvussa kaksi käydään läpi teoriaa Raspberry Pi -tietokoneesta ja tutustutaan laitteen rakenteeseen ja tekniikkaan.

Luku kolme kertoo askelmoottorin toiminnasta ja ohjauksesta sekä työssä käytetyn pursotintyökalun rakenteesta. Lisäksi kerrotaan elintarvikkeen 3D-tulostuksesta lyhyesti.

Luvussa neljä kerrotaan yhteistyörobotin määritelmästä ja niitä koskevat yleisimmät säädökset.

Luvussa viisi käsitellään optoerotinkytkentä. Tämän jälkeen, luvussa kuusi, tarkennetaan ja kuvaillaan tutkimusta ja siihen liittyviä vaiheita.

Työn toteutus käydään läpi vaihe vaiheelta luvussa seitsemän. Luvussa kahdeksan esitellään saavutetut tulokset ja tärkeimmät havainnot. Lopuksi tehdään lopullinen yhteenveto ja pohdinta.

1.4 Yritysesittely

Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK) on aloittanut toimintansa vuonna 1992. SeAMKissa on tällä hetkellä neljä yksikköä, joita ovat SeAMK Liiketoiminta ja kulttuuri, SeAMK Ruoka, SeAMK Sosiaali- ja terveysala ja SeAMK Tekniikka. Nykyisin SeAMKissa on noin 4700 opiskelijaa, 180 opettajaa ja yli 90 tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan parissa työskentelevää sekä 110 muuta henkilökuntaan kuuluvaa. (SeAMK [Viitattu 19.4.2020].)

Mixed Reality and Collaborative Robotics -hankkeen tavoitteena on kehittää demonstraatioympäristö tukemaan teknologian käyttöönottoa ja soveltamista alueen pk-yrityksissä ja pitkällä aikavälillä perehdyttää yrityksiä teknologian hyödyntämisessä yritysten omista tuotannonkehitysprojekteissaan. SeAMK Tekniikka toimii Mixed Reality and Collaborative Robotics -hankkeessa vastuullisena yksikkönä. Hankkeessa ovat mukana myös SeAMK Ruoka ja SeAMK Sosiaali- ja terveysala. Hankkeen rahoittajana toimii Pirkanmaan/Etelä-Pohjanmaan liitto EAKR. (SeAMK [Viitattu 20.4.2020].)

2 RASPBERRY PI

Raspberry Pi on edullinen luottokortin kokoinen yhden piirilevyn tietokone. Raspberry Pi toimii täysin samalla tavalla kuin tavallinen tietokone ja sen käyttöön tarvitaan näppäimistö, hiiri ja näyttö. Tämä minitietokone mahdollistaa helpon tavan opetella laitteen ohjelmointia ja eri ohjelmointikieliä. Raspberry Pi on suosittu ympäri maailman ja siitä löytyy kattava määrä erilaisia projekteja, jotka liittyvät vahvasti esi-
neiden internettiin. (Raspberry Pi [Viitattu 12.3.2019].)

2.1 Historia

Raspberry Pi sai alkunsa Iso-Britanniasta Cambridgen yliopistosta tietotekniikan laboratorion. Tiedemiehet Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang ja Alan Mycroft perustivat yhdessä Raspberry Pi Foundation tarkoituksenaan opettaa opiskelijoille tietokoneen toimintaa ja periaatteita. Kuuden vuoden ajan tiedemiehet suunnittelivat halpaa ja käytännöllistä laitetta, jota koulut voisivat käyttää tietotekniikan opetuksessa. Näin syntyi ensimmäinen yleisölle tarkoitettu Raspberry Pi -laite helmikuussa 2012. (Dennis 2016, 1–2.)

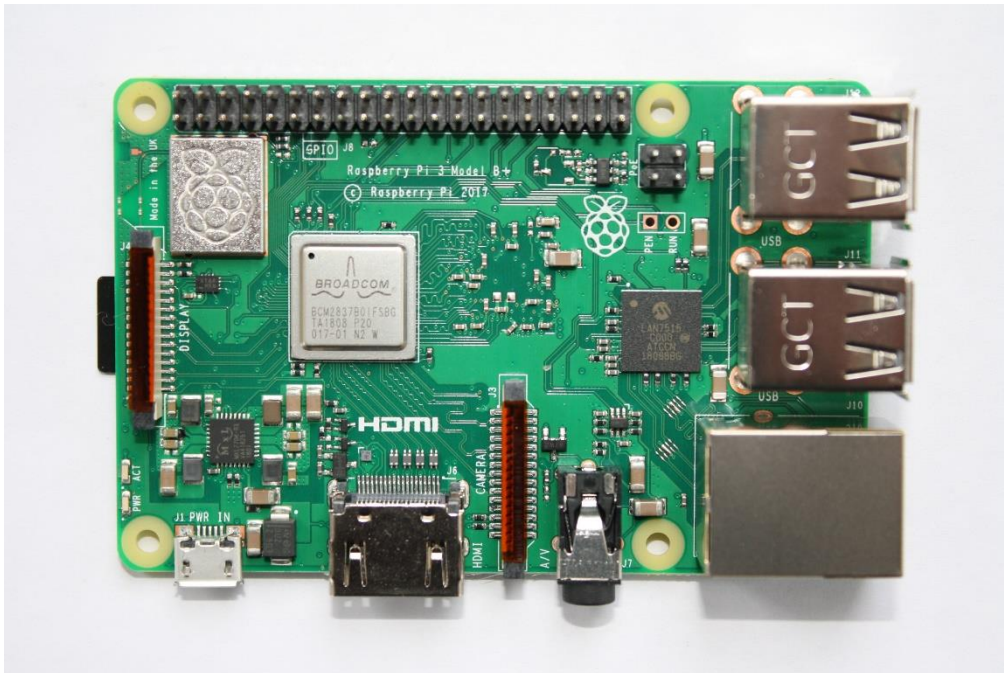
2.2 Mallit

Raspberry Pi -tietokoneesta on julkaistu eri versioita vuosien varrella, joista viimeisimpänä Raspberry Pi 3 Model B+ maaliskuussa 2018. Suurimmat eroavaisuudet eri versioiden välillä on niiden suoritusnopeus, muistin ja porttien määrä sekä langattomat tiedonsiirto-ominaisuudet. (Raspberry Pi [Viitattu 13.3.2019].) Tarkemmat B-mallien tiedot ja eroavuudet voidaan havaita seuraavasta taulukosta.

Taulukko 1. Raspberry Pi B -mallien vertailu. (Raspberry Pi [Viitattu 13.3.2019])

Tuote	Raspberry Pi model B+	Raspberry Pi 2 model B	Raspberry Pi 3 model B	Raspberry Pi 3 model B+
SoC	BCM2835	BCM2836	BCM 2837	BCM2837B0
Nopeus	700Mhz	900Mhz	1200Mhz	1400Mhz
RAM	512MB	1GB	1GB	1GB
USB-portit	4	4	4	4
Ethernet	10/100	10/100	10/100	100/1000
Wi-Fi	Ei	Ei	802.11n	802.11ac/n
Bluetooth	Ei	Ei	4.1	4.2

2.3 Laitetiedot



Kuva 1. Raspberry Pi 3 Model B+.

Keskeltä piirilevyä löytyy integroitu mikrosiru. Tätä mikrosirua kutsutaan *system-on-chip* (SoC)-moduuliksi. Sen tarkoitus on prosessoida, renderöidä grafiikkaa ja ohjata sisääntulo/ulostulolähtöjä. Tässä mallissa on neliytiminen 64-bittinen BCM2837 -prosessori. Prosessorissa on käytetty ARM-arkkitehtuuria, joka on tyypillistä mobiililaitteille sen yksinkertaisen rakenteen ja pienen virrankulutuksen takia. Piirilevyiltä löytyy myös toinen integroitu mikrosiru. Tämä mikrosiru toimii Raspberry Piin keskusmuistina. Keskusmuisti on tyypiltään RAM-muistia sen kirjoitus- ja lukuominaisuuksien vuoksi. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki tallennettu muisti häviää, kun virta katkeaa tai laite sammutetaan. Prosessorin alapuolelta löytyy HDMI (High-Definition Multimedia Interface) -portti, jonka kautta video ja ääni kulkee laitteelta näytölle HDMI-kaapelia pitkin. Mikäli näytöstä ei löydy HDMI-paikkaa, voidaan käyttää liittinadapteria, joka muuttaa HDMI-kaapelin pään näytölle sopivaksi liittimeksi. Näytöön yhdistäminen voidaan suorittaa myös RCA-videoliitännältä, jonka portti löytyy HDMI-portin oikealta puolelta. (Upton & Halfacree 2016, 14.)

Kuvan 1 vasemmalta yläkulmasta löytyy GPIO-nastat. Ohjelmoitavia GPIO-nastoja käytetään silloin, kun halutaan kytkeä lisäosia tai muita elektronisia komponentteja Raspberry Pi:iin. Kyseissä mallissa nastojen määrä on 40. Virran Raspberry Pi saa virtalähteestä micro-USB-kaapelia pitkin. Raspberry Pi -laitteesta ei löydy erillistä virtakatkaisijaa, vaan se käynnistyy heti, kun siihen liitetään sopiva virtalähde, tässä tapauksessa 5 V. Piirilevyn alareunasta löytyy paikka micro-SD-kortille. SD-kortille asennetaan käyttöjärjestelmä, ohjelmat ja tiedostot, jotka halutaan tallentaa muistiin. SD-kortilla tulisi olla vähintään 8 GB tallennustilaa, jotta kaikki tarvittavat tiedostot mahtuvat sinne. SD-kortille tallennettu data jää muistiin laitteen sammutuksesta huolimatta toisin kuin RAM-muistin data. (Upton & Halfacree 2016, 15.)

Lisäksi Raspberry Pi 3 on varustettu neljällä USB-portilla. Verkkoon liittäminen tapahtuu joko Ethernet-portilla tai langattomasti Wi-Fi-yhteydellä. (Upton & Halfacree 2016, 16.)

2.4 GPIO-portti

GPIO-nastat on jaettu kahteen riviin. Alempaa riviä kuvataan parittomilla numeroilla ja yläriviä parillisilla numeroilla. Tämä helpottaa muistamaan, mikä pinni on mikäkin, koska pinnejä ei ole merkattu näkyviin fyysisesti Raspberry Pi:lle. Vaikka Pi pystyy tuottamaan 5 V jännitteen, sen komponenttien toiminta soveltuu maksimissaan 3,3 V:n jännitteen käsittelyyn. 3,3 V suuremman jännitteen kytkeminen ohjelmoitaviin GPIO-nastoihin vaurioittaa Raspberry Pi:tä pysyvästi. Riippuen Raspberry Pi -laitteen mallista, jokaisessa mallissa on vähintään 8 ohjelmoitavaa pinniä: pinnit 7, 11, 12, 13, 15, 16, 18 ja 22. Kyseiset pinnit voidaan ohjelmoida joko ulostuloksi tai sisään tuloksi. Ulostulolla on kaksi eri tilaa: "high", joka tuottaa positiivisen 3,3 V, ja "low", joka vastaa 0 V tai maadoitusta. Ulostuloja kuvataan binäärijärjestelmässä 1 ja 0. (Upton & Halfacree 2016, 210.)

2.5 Käyttöjärjestelmä

Raspberry Pi tarvitsee toimiakseen jonkin käyttöjärjestelmän. Raspberry Pi on suunniteltu toimimaan Linux-käyttöjärjestelmällä, joka perustuu avoimeen lähdekoodiin. Tämä tarkoittaa sitä, että lähdekoodi on vapaasti nähtävissä ja sitä voi muokata haluamallaan tavalla. Linuxista on tehty erilaisia versioita, joita kutsutaan jakeluversioiksi. Eri jakeluversiot soveltuvat ominaisuuksiltaan eri tarkoituksiin, joten käyttöjärjestelmä tulisi valita sen käyttötarkoituksen mukaan. Koska Raspberry Pi käyttää ARM-arkkitehtuuria, vain sille käännetyt ohjelmat toimivat Raspberry Piillä. Tästä syystä Windowsin ohjelmat eivät toimi Linuxilla. (Upton & Halfacree 2016, 20–22.)

2.5.1 Raspbian

Raspbian on yksi monesta käyttöjärjestelmästä, joka on nimenomaan suunniteltu Raspberry Pi -alustalle. Raspbian on ilmainen ja se perustuu Linuxin Debian-jakeluversioon. (Raspbian [Viitattu 12.3.2019]).

Raspbianista löytyy valmiiksi asennettuna hyödyllisiä ohjelmia ja työkaluja, kuten web-selain, ohjelmointiympäristö Pythonille ja graafinen käyttöliittymä. Ohjelmien asennus onnistuu asennuspakettien hallintatyökalulla nimeltä *apt*, joka on tunnettu Linux-pohjaisissa käyttöjärjestelmissä. (Upton & Halfacree 2016, 47.)

Raspbianin asentaminen tapahtuu helpoiten NOOBS-työkalun avulla. NOOBS on käyttöjärjestelmän asennustyökalu Raspberry Pi -tietokoneelle. NOOBS-lyhenne tulee englannin kielestä New Out Of Box Software. Sen voi hankkia joko valmiiksi asennettuna SD-kortille tai ladata NOOBS-asennustiedoston tyhjälle SD-kortille Raspberryn virallisilta sivuilta. NOOBS sisältää useampia käyttöjärjestelmiä, joista käyttäjä saa valita haluamansa, mutta ainoastaan Raspbian on esiasennettu, eikä asentaminen vaadi internetyhteyttä. (Raspberry Pi [Viitattu 14.3.2019].)

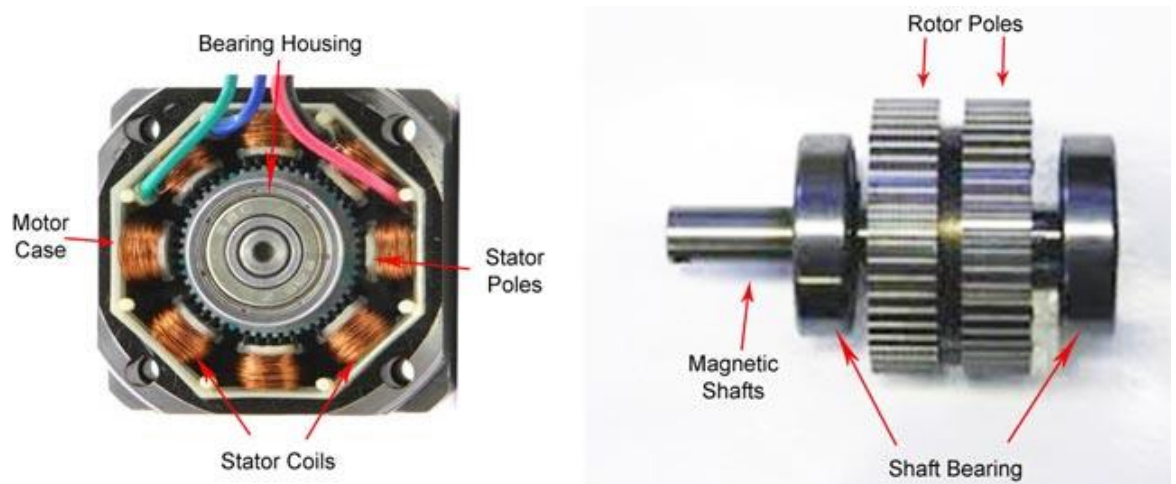
3 ASKELMOOTTORIT

Askelmoottorit ovat elektronisia moottoreita, joiden perusperiaate on muuntaa sähkö pyörimisliikkeeksi. Pyörimisliikkeen lisäksi askelmoottorille voidaan tarkasti määrittää pyörimisaika ja -nopeus. Askelmoottori saa nimensä sen toimintatavasta, jokainen elektroninen pulssi ajaa moottoria yhden askeleen verran. Askelmoottoreita ohjataan ohjainkortilla, joka lähettää elektroniset pulssit moottorin käämeille, jolloin moottori pyörii syötettyjen pulssien taajuudella. Askelmoottoreita suositaan laitteissa, jotka vaativat nopeita ja tarkkoja liikkeitä. Tyypillisiä laitteita ovat CNC-koneet, robotit ja 3D-printterit. Askelmoottorit jakautuvat pääasiassa kolmeen kategoriaan niiden rakenteen puolesta. Näitä ovat reluktanssi-, kestopagneettimoottori sekä näiden yhdistelmä hybridiaskelmoottori. (Electrical Technology [Viitattu 29.3.2019].)

Edellä mainittujen kolmen kategorian lisäksi askelmoottorit jakautuvat niiden käämin kytkentöjen perusteella kahteen ryhmään, jotka ovat unipolar- ja bipolar-askelmoottorit. Unipolar-kytkennässä on kaksi käämintä per vaihe, kun taas bipolar-kytkennässä on yksi käämintä per vaihe. Tämä toimii käytännössä siten, että unipolar-moottoreissa kulkevaa virtaa ei tarvitse kääntää vastakkaiseksi polaarisuuden vaihtamiseksi. Bipolar-moottori tarvitseekin erityisen ohjainkortin, joka mahdollistaa käämeissä kulkevan virran kääntämisen vastakkaiseksi. Tämä onnistuu H-Bridge-kytkennän avulla, joita esiintyy ohjainkorkeissa integroituna mikroprosessorina. (Circuitspecialists, 2012.)

3.1.1 Rakenne ja toiminta

Moottorin keskeisimmät osat ovat roottori ja staattori. Roottori koostuu kahdesta hammaspyörästä, joiden keskellä on akseli. Toinen hammaspyörä toimii etelänapana ja toinen pohjoisnapana. Hammaspyörän hampaiden lukumäärä määrittää moottorin askelkulman. Keskellä olevaa roottoria ympäröi sähkömagneettinen staattori. Staattori sisältää myös hampaita, joita ympäröi käämi. Nämä käämit muodostavat ryhmiä, joita kutsutaan vaiheiksi. Virran polaarisuudesta riippuen staattorin hammas voi toimia joko pohjoisnapana tai etelänapana. (Bhatt 2011.)



Kuva 2. Askelmoottorin rakenne. (Agnihotri 2011)

Askelmoottorien toiminta perustuu sähkömagnetismiin. Kun staattoriin johdetaan virta, roottori liikkuu asettamalla itsensä staattorin mukaan. Kun staattorin käämejä aloitetaan jännitteistä vaiheittain, moottori alkaa pyöriä. Askelmoottorin pyörähdys koostuu tietyistä askelmäärästä. Eri askelmoottorit vaativat eri määrän askeleita saavuttaakseen täyskierroksen. Mikäli moottorin täyskierrokseen menee 200 askelta, se tarkoittaa, että moottori pyörii 1,8 astetta joka askeleella. (Agnihotri 2011.) Pyörähdysten astemäärä per askel ilmaistaan yleensä resoluutiona eli tarkkuutena. (Earl 2019).

3.1.2 Ominaisuudet

Askelmoottoreita on saatavilla erikokoisia ja mitä suurempi moottori, sitä enemmän voimaa on käytössä. Moottorin teknisistä tiedoista selviää vääntömomentin määrä, joka antaa suuntaa sille, onko moottori tarpeeksi tehokas. On siis hyvä tietää, mihin tarkoitukseen moottoria käyttää, kun valitsee sopivaa moottoria. Toisin kuin tavallisilla tasavirtamoottoreilla, askelmoottoreilla on korkea vääntömomentti pienillä nopeuksilla. Tämän vuoksi se on hyvä valinta sovelluksille, jotka vaativat pieniä nopeuksia ja suurta tarkkuutta. Vääntömomentti säilyy niin kauan, kun keloissa kulkee virta. Tämä mahdollistaa kuorman paikallaan pitämisen, vaikka roottori on täysin paikallaan. Kääntöpuolena askelmoottoreilla on matala hyötysuhde. Ne kuluttavat

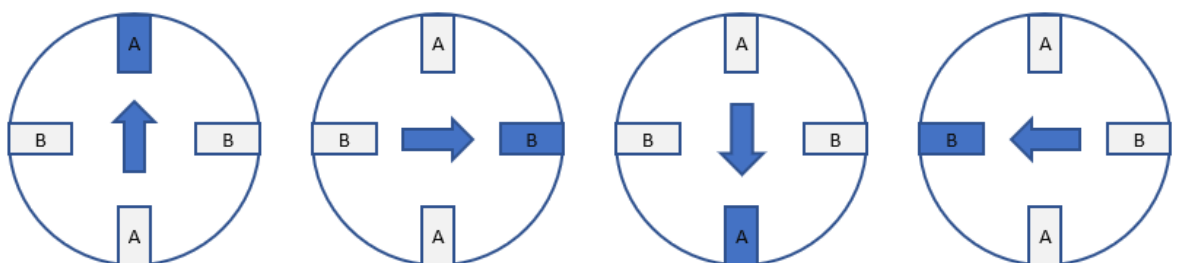
virtaa, vaikka moottori pysyisi paikallaan. Lisäksi niiden vääntömomentti pienenee nopeuden kasvaessa. (Earl 2019.)

Askelmoottoreilla esiintyy jonkin verran virhemarginaalia askeltaessa. Yksi askelmoottorin merkittäviä ominaisuuksia kuitenkin on, että virhemarginaali ei kumuloidu askelmäärän kasvaessa. Tämä tarkoittaa käytännössä, jos askelkulma on $1,8^\circ$ per askel ja virhemarginaali $\pm 0,10^\circ$, niin 100 askeleen jälkeen askelkulma on $180^\circ \pm 0,10^\circ$. (Orientalmotor [Viitattu 6.4.2019].)

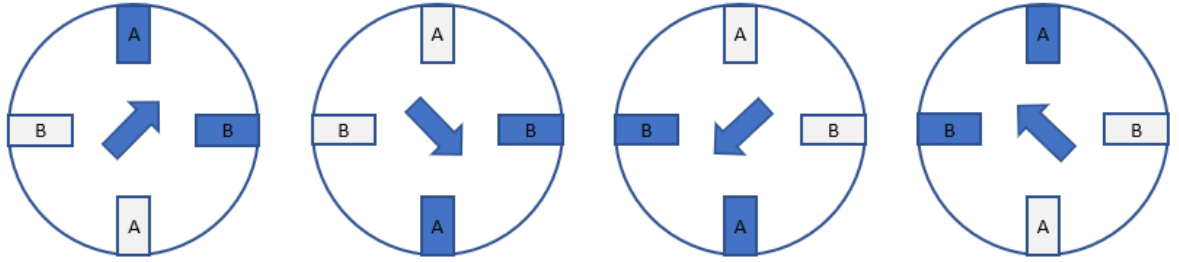
3.1.3 Askelmoottorin ohjaus

Ohjainkortin avulla on mahdollista määrittää erilaisia askellustapoja askelmoottorille. Kolme yleisintä askellustapaa ovat full step, half step ja microstep. Jokaisella askellustavalla on erilaiset moottorin käyntiominaisuudet ja vääntömomentin arvot. Full step -ajoa voidaan suorittaa joko yksi tai kaksi vaihetta jännitteellisenä. Yksi vaihe jännitteellisenä askelmoottori vie vähemmän virtaa verrattuna kaksivaiheiseen, mutta sen suoritusteho ja vääntömomentti ovat heikommät. (Designspark 2015.)

Seuraavat kuvat havainnollistavat edellä mainittuja askellustapoja. Kuvat on yksinkertaistettu, niissä yksi täyspyörähdys koostuu neljästä askeleesta. Keskellä oleva nuoli kuvaa roottorin magneettikenttää ja nuolen suunta vetovoimaa. Suorakulmiot A ja B kuvaavat staattorin magneettikenttää. Väritetty staattorin vaihe kuvaa jännitteellistä staattoria.

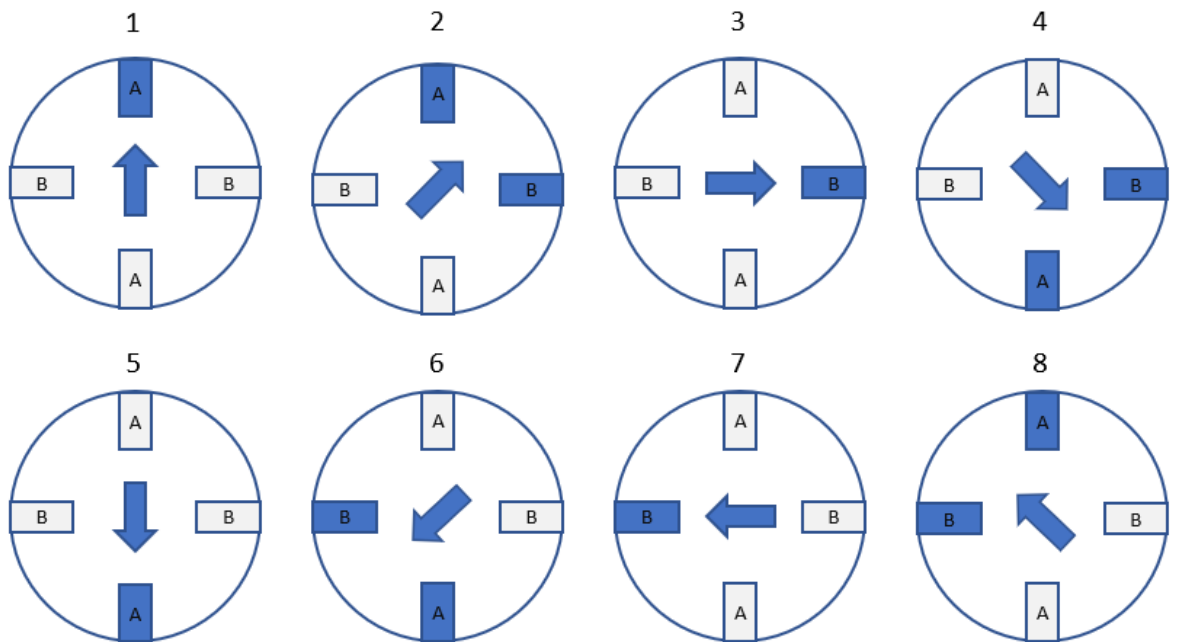


Kuva 3. Full step, jossa yksi vaihe jännitteellinen. (Perustuu: Designspark 2015)



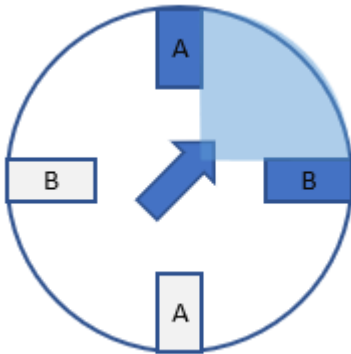
Kuva 4. Full Step, jossa kaksi vaihetta jännitteellisenä. (Perustuu: Designspark 2015)

Half step -ajossa vaiheiden ohjaus vuorottelee yhden ja kahden vaiheen välillä. Half step -ajossa moottorin täyskierrokseen vaatima askelmäärä kaksinkertaistuu full step -ajoon verrattaessa. Pienempi askelmäärä antaa sulavamman pyörimisliikkeen ja vähentää moottorin aiheuttamaa tärinää. (Designspark 2015.)



Kuva 5. Half step -ajossa askelten määrä kaksinkertaistuu full step -ajoon verrattuna. (Perustuu: Designspark 2015)

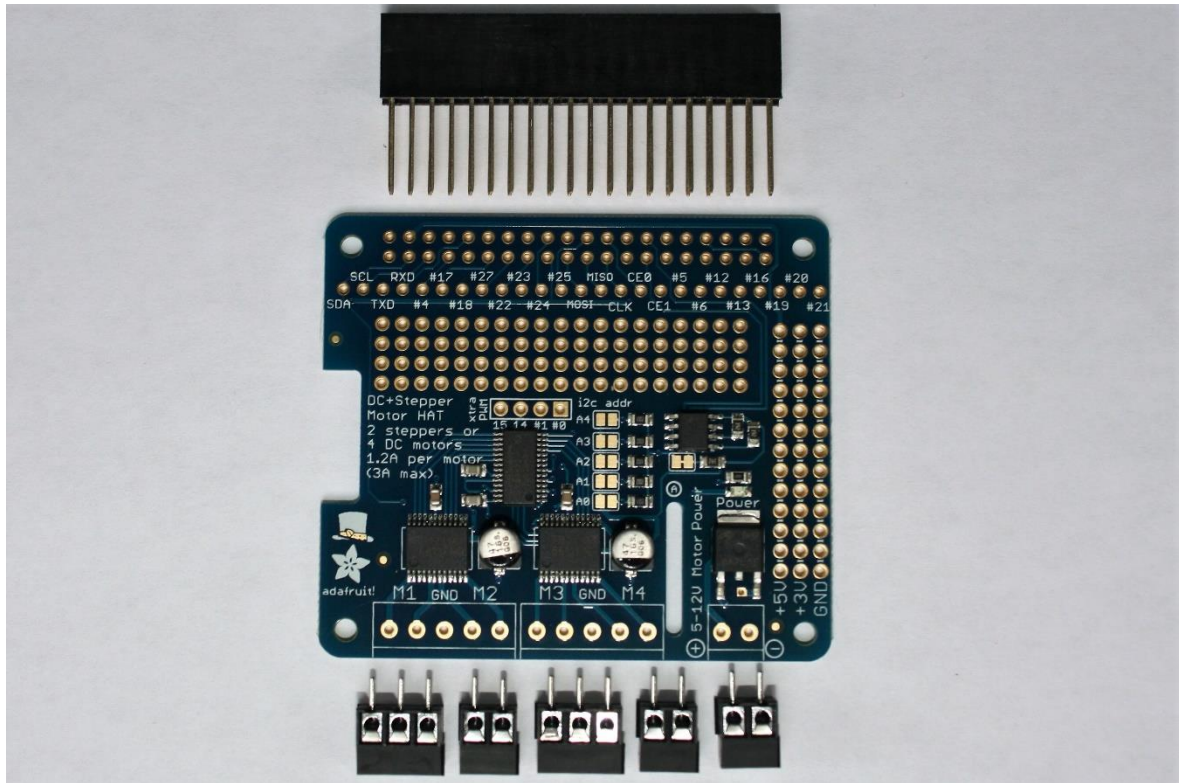
Microstep-ajossa askeleet jaetaan vielä pienempiin palasiin – jopa 256 kertaa pienempiin askelkulmiin, mikä antaa entistä sileämmän pyörimisliikkeen heikomman vääntömomentin kustannuksella. Näin pieni askelkulma saavutetaan kahdella sini-aallolla, jotka ovat 90° vaihe-erossa toisistaan. (Designspark 2015.)



Kuva 6. Microstep-ajossa sini-aallot ohjaavat askellusta A- ja B-vaiheiden välillä. (Perustuu: Designspark 2015)

3.2 Adafruit askelmoottoriohjainkortti

Adafruit on tuonut markkinoille ohjainkortin erityisesti moottorien ohjausta varten. Moottoriohjain on Raspberry Pi -tietokoneeseen kiinnitettävä lisäosa. Sen tarkoitus on ohjata tasavirta- tai askelmoottoreita täysin säädettävällä pulssinleveysmodulaatiolla. Yksi ohjain voi ohjata maksimissaan neljää tasavirtamoottoria tai kahta askelmoottoria. Moottoriohjaimia on mahdollisuus koota päällekkäin, mikäli haluaa ohjata useampaa moottoria. Ohjain ohjaa moottoreiden suuntaa ja nopeutta I²C-tiedonsiirtoväylän avulla. Ohjaimesta löytyy TB6612-piirisarja, joka tarjoaa 1,2 A virran moottoreille. Ohjain sopii moottoreille 4,5–13,5 VDC ja se sisältää polaarisuojatun 2-nastaisen riviliittimen ulkoisen 5–12 VDC-jännitteen kytkemiseksi. (Adafruit [Viitattu 12.3.2019].)



Kuva 7. Moottoriohjain ja ohjaimen juotettavat riviliittimet sekä liitinrunko (2x20).

3.3 ZMorph-materiaalipursoitin

Materiaalipursoittimella on mahdollista tulostaa erilasia massoja. Pursotus tapahtuu männän avulla, joka luo korkean paineen. Pursotusta ohjataan 2 mm halkaisijaltaan olevalla suuttimella. Tulostusnopeus vaihtelee välillä 10 mm/s ja 100 mm/s, riippuen pursotettavan materiaalin ominaisuuksista. Pursotin toimii parhaiten käyttämällä materiaaleja, jotka ovat keskikovia ja tiheitä massoiltaan, kuten silikoni, suklaa ja taikina. (ZMorph3d [Viitattu 13.3.2019].) Materiaali, joka on liian harva tiheydeltään taas vuotaa suuttimesta ennen aikojaan. ZMorph-materiaalipursoittimella tulostettuja kappaleita ei ole kuitenkaan varmennettu syömäkelpoisiksi tällä hetkellä, pursotinta voidaan käyttää ainoastaan koristeluun ja testaukseen (Traczyk [Viitattu 13.3.2019]).

Yksi 3D-tulostamisen nousevista ilmiöistä on elintarvikkeiden tulostus. Elintarvikkeiden tulostuksesta on tullut suosittua sekä ammattilaisten että yksityisten käyttäjien keskuudessa. Suurin osa elintarvike-3D-tulostimista käyttää pursotinteknologiaa massojen tulostamiseen. Ruoan tulostukseen käytetään tahnamaisia ainesosia. Tyypillisimmät ruoan tulostukseen käytetyt ainesosat ovat suklaa, taikina ja kerma. Pursotin tulostaa materiaalin kerros kerrokselta annetun mallin mukaisesti. Elintarvikkeiden 3D-tulostuksen mahdollisia etuja ovat ajan säästö, kustomointi ja luovat taideteokset. Tällä hetkellä elintarvikkeiden tulostamiseen liittyy seuraavanlaisia heikkouksia: Elintarvikkeen tulostamiseen voidaan vain käyttää vain tahnamaista tekstuuria. Sillä voidaan suorittaa vain osittaisia vaiheita ruoanlaittoa varten. Lisäksi tulostimien hinta on melko korkea ja teknologia kallista. (Lansard 2019.)



Kuva 8. Työssä käytettävä materiaalipursotin.

3.3.1 NEMA 17 -lineaariaskelmoottori

Työssä käytetyn pursotintyökalun moottorina toimii hybridi Nema 17 -lineaariaskelmoottori. Lineaariaskelmoottori pohjautuu ja toimii samalla perusteella kuin tavallinen askelmoottori. Moottoriin on liitetty kierretanko, jota voidaan ajaa edestakaisin.

Taulukko 2. Nema 17-askelmoottorin elektroniset tiedot. (Stepperonline [Viitattu 14.4.2019])

Nema 17 Lineaarinen askelmoottori	
Mallinumero	17LS19-1684N-200D
Tyyppi	Bipolar
Virta (A) / vaihe	1,68
Askel kulma (°)	1,80
Askel tarkkuus (%)	5
Resistanssi (Ω) / vaihe	1,65
Jännite(V)	2,80
Roottorin inertia($g \cdot cm^2$)	68
Pitomomentti (Nm)	0,44

Taulukko 3. NEMA 17 -lineaariaskelmoottorin kytkentä. (Stepperonline [Viitattu 14.4.2019])

Kytkentä tyyppi		Moottori	
Pin no	Bipolar	Johdot	Käämintä
1	A	Sininen	
2	C	Punainen	
3	B	Vihreä	
4	D	Musta	

4 YHTEISTYÖROBOTIT

4.1 Yhteistyörobotin käsite

Nimi yhteistyörobotti tulee englannin kielestä *Collaborative robot* tai lyhennettynä *Cobot*. Yhteistyörobotilla tarkoitetaan sitä, että ihminen ja robotti jakavat saman työpisteen ja tekevät yhteistoimintaa tuotteen valmistuksessa. Verrattaessa niitä teollisuusrobotteihin, jotka ovat erotettu ihmisistä turva-aidoilla turvallisuuden vuoksi, ei teollisuusrobotin ja ihmisen välistä yhteistyötä juurikaan ole. Yhteistyöroboteilla on mahdollisuus valjastaa robottien tarkkuus ja voima ja yhdistää se ihmisen luovuuden ja älykkyyden kanssa, jolloin tuloksena on mahdollinen tuotannon kasvu. (Lazarte 2016.)

4.2 Yhteistyörobotit ja teollisuusrobotit

Molempia robotteja löytyy tehtaista, mutta miten ne eroavat toisistaan? Yhteistyörobotit on usein varustettu antureilla, jonka avulla ne havaitsevat ihmisiä, mikä mahdollistaa samassa ympäristössä työskentelyn. Perinteiset teollisuusrobotit ovat autonomisia eli luotu tekemään tiettyä prosessia itsenäisesti, kun taas yhteistyörobotit usein avustavat monimutkaisissa tehtävissä, joita ei voi täysin automatisoida. Yhteistyörobotit on helppo ohjelmoida, eivätkä ne vaadi laajaa tuntemusta ohjelmoinnista. Mallista riippuen ohjelmointi voidaan tehdä joko itse liikuttamalla robottia tai käyttämällä graafista käyttöliittymää. Yhteistyörobotit ovat myös kevyitä ja ne ovat helposti siirrettävissä ja tarvittaessa uudelleen ohjelmoitavissa, mikä tekee niistä joustavan ja monipuolisen avustajan. Tällainen joustavuus on päinvastaista teollisuusrobotille, joka on suunniteltu tekemään itsenäistä ja samaa työtä pysyvässä ympäristössä. (Mobile automation [Viitattu 18.3.2019].)

4.3 Standardit ja tekniset määrittelyt

Robotteja koskevat vaatimukset on määritelty standardeilla. Näistä keskeisimmät ovat ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 sekä tekninen määrittely ISO/TS 15066. ISO/TS 15066 on maailman ensimmäinen säädös, joka määrittelee turvallisuusvaatimukset yhteistyörobottiohjelmille. Yksi säädöksen perimmäisistä ajatuksista on että, robotin kosketus ei saa aiheuttaa kipua tai vammaa. (Bouchard 2016.)

Standardissa ISO 10218-2 yhteistoiminta määritellään ihmisen ja robotin välisenä toimintana, jossa robotti jakaa yhteisen työtilan ihmisen kanssa. Yhteistoiminta on käytettävissä ja mahdollista vain, kun tarvittavat turvallisuustoimenpiteet ovat aktiivisena ja vain robotille, joka on nimenomaan suunniteltu yhteistoimintaan standardin ISO 10218-1 mukaisesti. Tila, jossa yhteistoiminta tapahtuu, on merkittävä selkeästi esimerkiksi lattiamerkeillä tai huomiokylteillä. Suunniteltaessa toimintatapoja yhteistoimintaa varten on valittava yksi tai useampi tekniikka seuraavista turvallisuusominaisuuksista. Näillä tekniikoilla luodaan turvallinen ympäristö henkilöille, joilla on mahdollisuus altistua vaaroille yhteisessä työtilassa. (SFS 10218-2 2017, 38–40.)

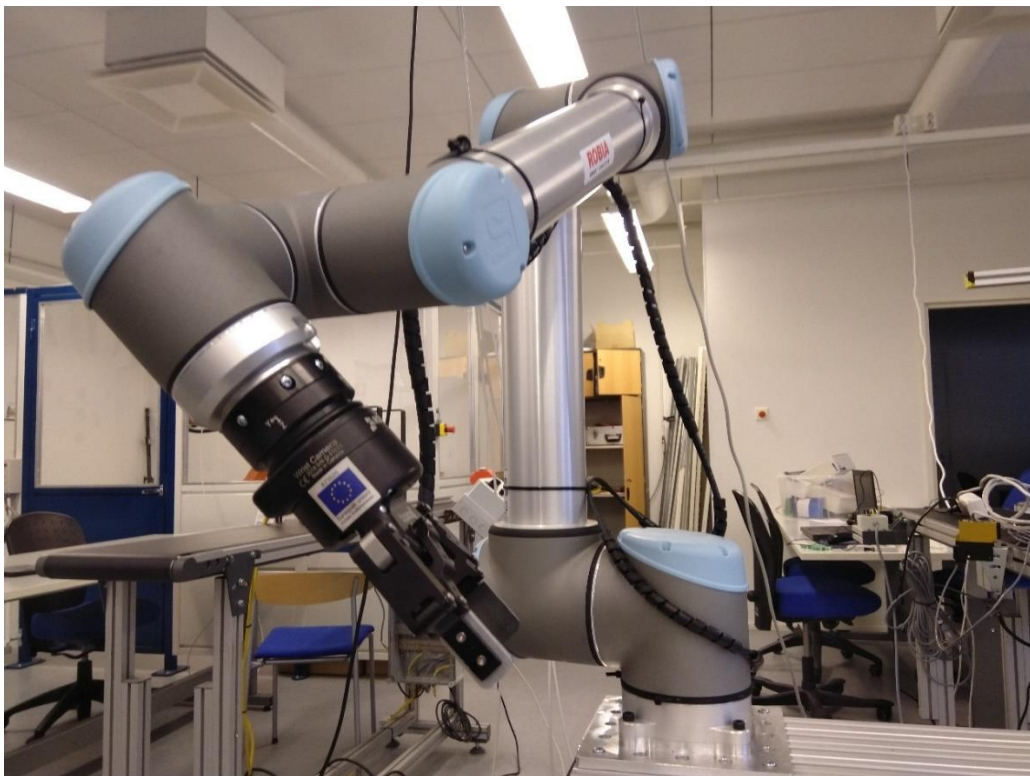
Yhteistoiminnassa olevien robottien on noudatettava yhtä tai useampaa seuraavista neljästä tekniikasta:

- 1) Turvaluokiteltu valvottu pysäytys: Robotin tulee pysähtyä, kun ihminen on yhteisessä työtilassa. Robotti voi jatkaa toimintaansa, kun ihminen poistuu tilasta.
- 2) Käsien ohjaaminen: Laitteisto, jolla robottia voi ohjata on sijoitettava lähelle robottia, ja siinä on oltava vaatimusten mukainen hätäpysäytin ja sallintalaite.
- 3) Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta: Robotin tulee ylläpitää määritettyä nopeutta ja vähimmäisetäisyyttä käyttäjästä. Rajoitusten rikkomisen tulee aiheuttaa suojauspysäytys.
- 4) Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella: Robotin ja teho ja voima on rajoitettu ihmiselle vaarattomaksi. Rajojen ylittyessä robotin on pysähdyttävä. (SFS-EN ISO 10218-1 2013, 36.)

Standardi ISO 10218 ei ole kuitenkaan kovin tarkka yhteistyörobottien suhteen, koska standardi on tehty teollisuusrobottien näkökulmasta. Tämän takia on kirjoitettu tekninen määrittely ISO/TS 15066, joka antaa täydennystä edellä mainittuun standardiin. ISO/TS 15066 keskittyy tarkemmin yhteistyörobotteihin ja antaa täsmennystä riskien arvioimiseen ja kartoittamiseen. Kyseinen määrittely sisältää tietoa tutkimuksesta, jossa mitattiin ihmisen kipupisteitä ja niiden kynnyksiä. Tätä tietoa voidaan hyödyntää robotin voiman rajoitusta koskevissa sovelluksissa. (Lazarte 2016.)

4.4 Universal Robots -yhteistyörobotti

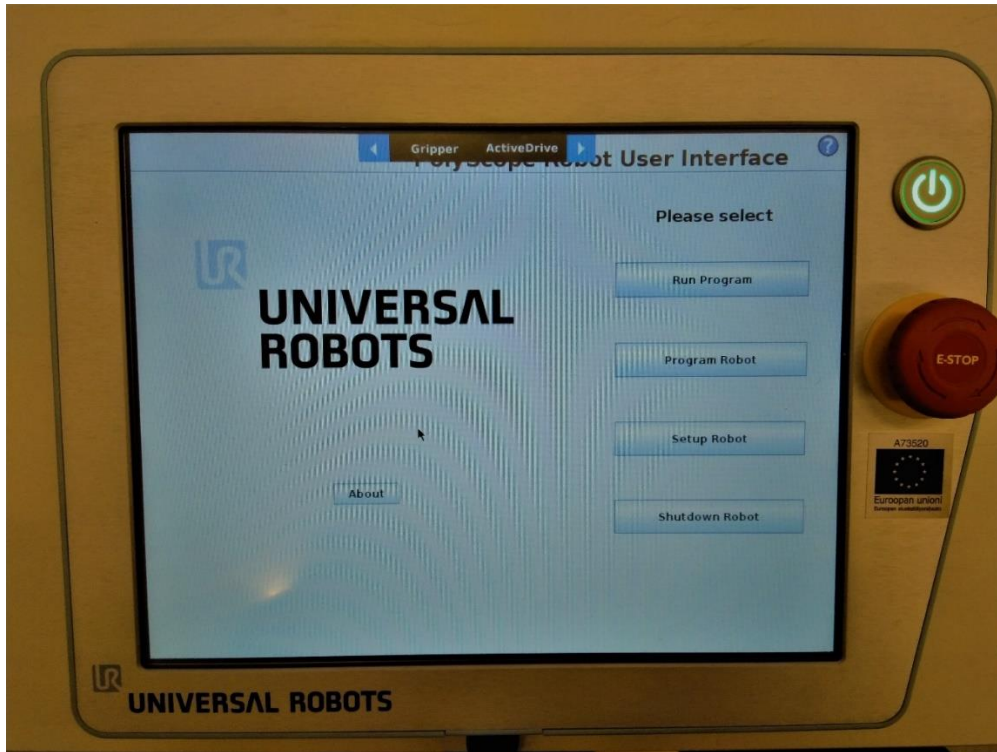
Työssä käytetty robotti on Universal Robots -yhtiön valmistama UR10-yhteistyörobotti. UR10-yhteistyörobotin käsi koostuu kuudesta nivelestä, jotka kääntyvät 360 astetta sekä alumiiniputkista. UR10-malli painaa 28,9 kg ja sillä voi kannatella maksimissaan 10 kg:n kuormaa. Robotin ohjaaminen tapahtuu Universal Robots -ohjauspaneelilla. Käyttäjä voi ohjauspaneelilla suorittaa eri ohjelmia tai rakentaa uusia ohjelmia. (Universal Robots [Viitattu 17.4.2019].)



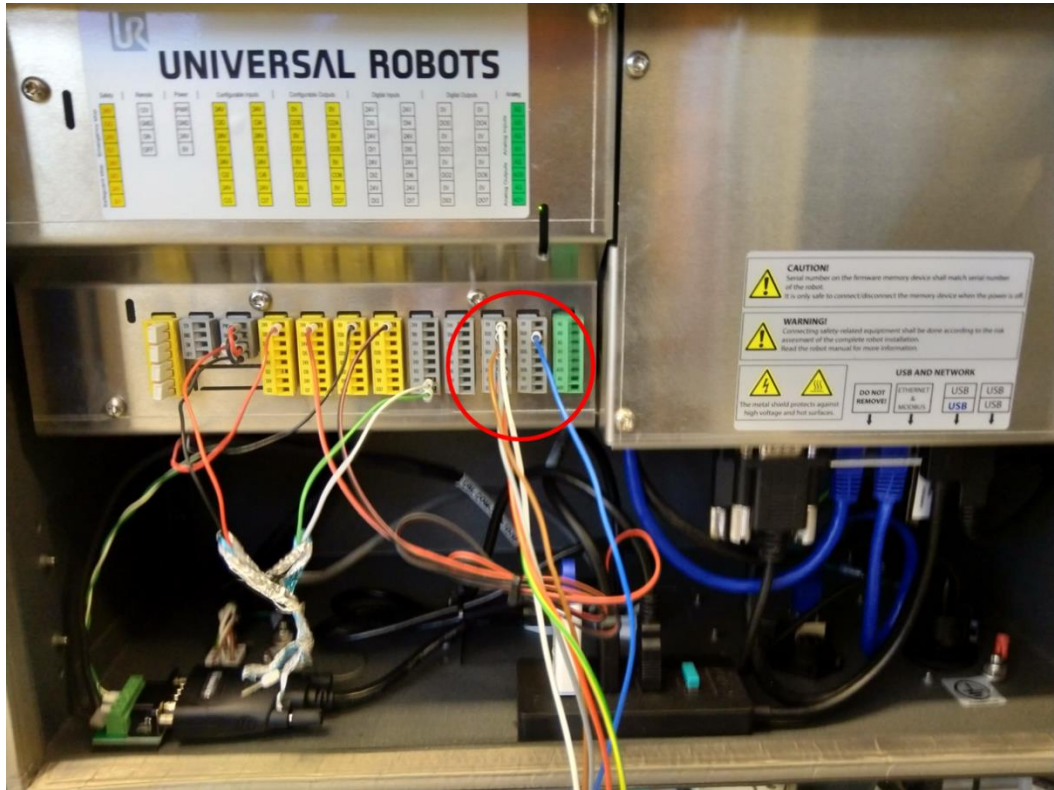
Kuva 9. Yhteistyörobotti UR10.

4.4.1 UR-ohjauspaneeli

Ohjauspaneelin käyttöjärjestelmä on Polyscope, joka toimii graafisena käyttöliittymänä. Polyscope on käyttäjäystävällinen siinä mielessä, että käyttäjän ei tarvitse olla ohjelmoinnin ammattilainen ohjatakseen robottia, vaan perustaidot riittävät. Käyttöliittymä toimii kosketusnäytöllä ja se noudattaa hierarkkista rakennetta. (Universal Robots [Viitattu 17.4.2019].)



Kuva 10. UR10-robotin ohjauspaneeli.



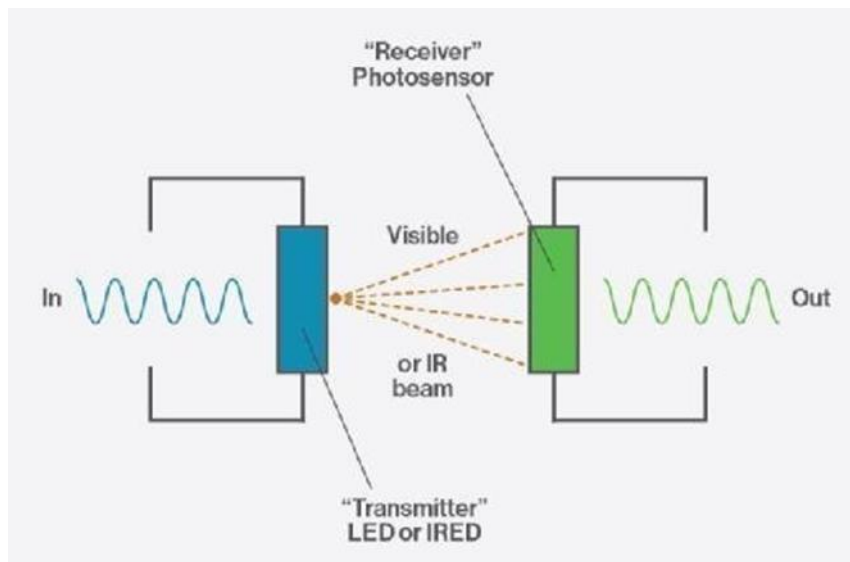
Kuva 11. Yhteistyörobotin I/O-liittimet, joista käytetyt digitaaliset ulostulot on ympyröity.

5 OPTOEROTINKYTKENTÄ

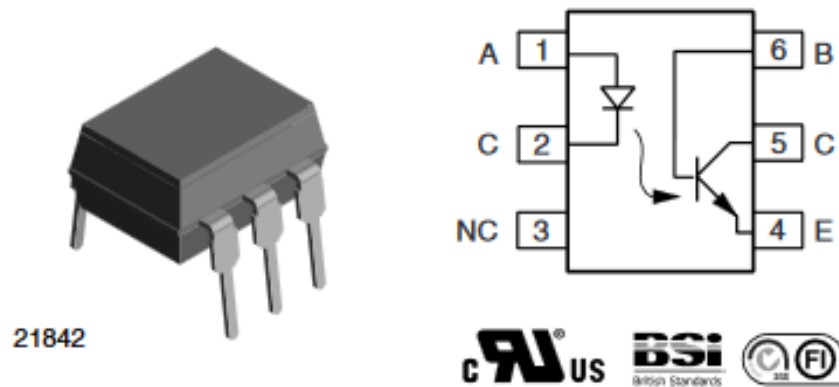
Koska Raspberry Pi ei kestä robotilta tulevaa 24 V:n jännitettä, pitää niiden välille rakentaa järjestelmä, joka mahdollistaa digitaalisen signaalin käsittelyn niin, ettei korkea jännite vaurioita Raspberry Pi -laitetta. Tähän valittiin ratkaisuksi optoerotin-kytkentä. Kytkentä muodostetaan kytkentälevylle, johon komponentit juotetaan kiinni.

5.1 Optoerotin

Optoerotin on elektroniikassa käytetty komponentti, jolla voidaan siirtää elektronisia signaaleja virtapiirien välillä, ja samalla pitää virtapiirit eristettynä toisistaan. Optoerottimet tarjoavat turvallisen kytkennän korkeavolttisten komponenttien ja pienivoltttisten laitteiden välille. Optoerotin sisältää valoa säteilevän diodin signaalin lähetystä varten ja fototransistorin signaalin vastaanottoa varten. Kun virta kulkee diodin läpi, se alkaa tuottaa valoa. Fototransistori vastaanottaa valon ja muuntaa sen takaisin signaaliksi. (Rouse 2015.)



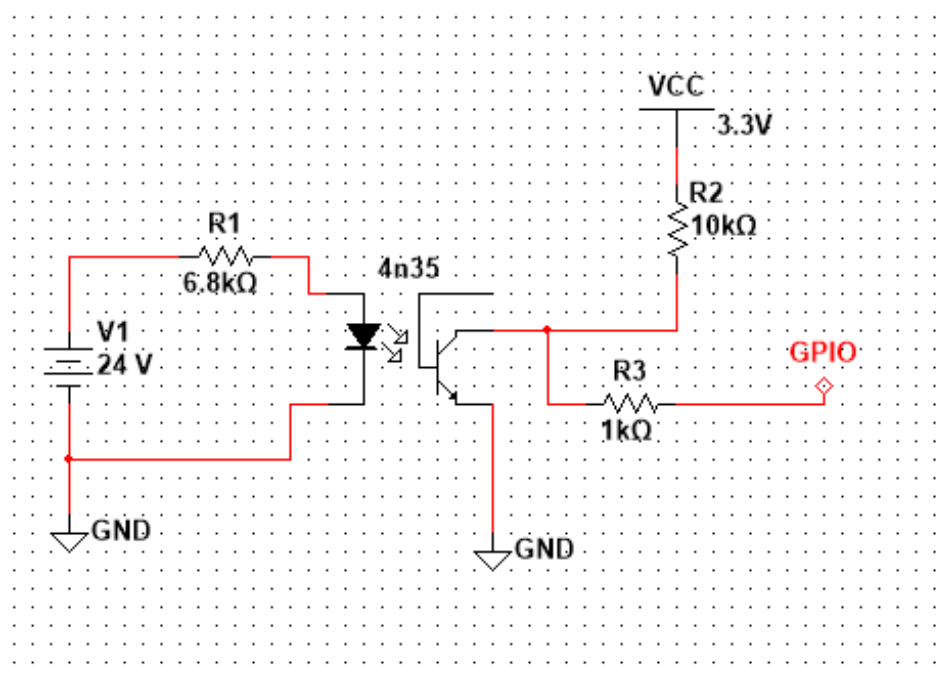
Kuva 12. Optoerottimen rakenne. (Rouse 2015)



Kuva 13. Optoerotinmallin 4n35 rakenne. (Vishay [Viitattu 10.1.2020])

5.2 Kytkennän rakentaminen

Kytkeä koostuu optoerottimesta, vastuksista ja hyppylangasta. UR10-robotin I/O-laatikosta käytetään kuutta ulostulolähtöä ja jokaiselle ulostulolle rakennetaan oma kytkentä yhdelle koekytkentälevylle. Optoerottimet ovat mallia 4n35 ja vastukset läpjiuotettavia metallikalvovastuksia, joiden tehonkesto 0,25 wattia. Seuraava kuva havainnollistaa kytkentää:



Kuva 14. Optoerotinkytkentä yhdelle ulostulolle.

Yksi kytkentä koostuu kolmesta vastuksesta: R1, R2 ja R3 sekä yhdestä optoerottimesta. R1-vastuksen tehtävä on pienentää sähkövirtaa optoerottimelle sopivaksi. R2-vastus toimii ylösvetovastuksena, sen tarkoitus on selkeyttää signaalin tilaa eli tässä tapauksessa se on 3,3 V tai 0 V. R3-vastuksen tehtävä on suojata GPIO-nastaa, mikäli se on vahingossa sisääntulon sijasta ulostulo. 3,3 V tulee suoraan Raspberry Pi -laitteen GPIO-portista. Kytkentä toimii niin, että Raspberry Piiltä tulee 3,3 V suoraan GPIO-nastaan, mikä tarkoittaa sitä, että GPIO-taso on nyt "high". Kun robotilta lähetetään 24 V:n signaali, se asettaa GPIO-tason "low"-tilaan.

5.3 Vastusten suuruus

R1 vastuksen suuruus voidaan laskea Ohmin lakia soveltamalla:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

$$R = \frac{(V_s - V_{led})}{I} \quad (2)$$

missä, V_s on lähdejännite eli 24 V, V_{led} on optoerottimen läpi kulkeva jännite ja I optoerottimen läpi kulkeva virta. V_{led} -suuruus on 1,3 V ja se saadaan optoerottimen teknisistä tiedoista. 3,5 mA on haluttu virran suuruus.

$$R = \frac{(24V - 1.3V)}{0.0035A} = 6485,71 \Omega$$

6800 Ω on siis sopiva suuruus. Nyt voidaan laskea, onko vastuksen tehonkesto riittävä. Arvon tulisi olla pienempi kuin 0,25 Wattia. Teho saadaan kaavalla:

$$P = RI^2 \quad (3)$$

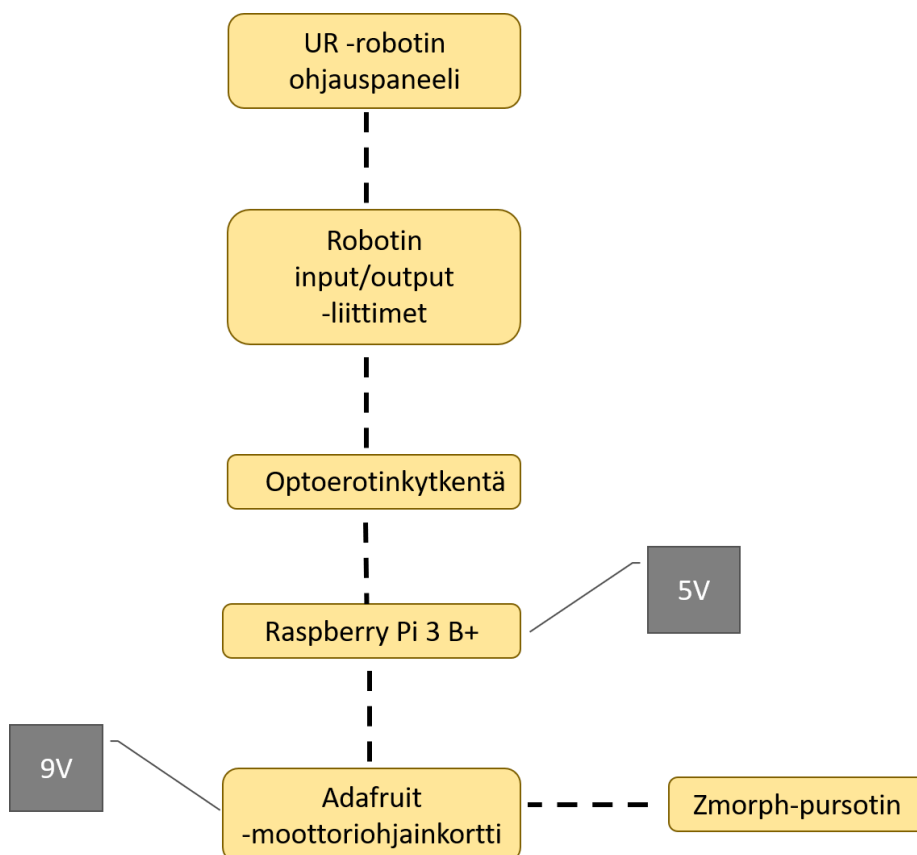
$$P = 6800 * (0.0035A)^2 = 0,083 W$$

0,083 W on pienempi kuin 0,25 W eli vastuksen tehonkesto on riittävä.

R2-vastuksen kokoa ei tarvitse laskea kaavalla. Tavallisen ylösvetovastuksen suuruus on luokkaa 1 k Ω - 10 k Ω . R3-vastus ei ole pakollinen, vaan lähinnä varotoimenpide. 1 k Ω on riittävä suojaamaan GPIO-pinniä.

6 TUTKIMUKSEN KUVAUSTA

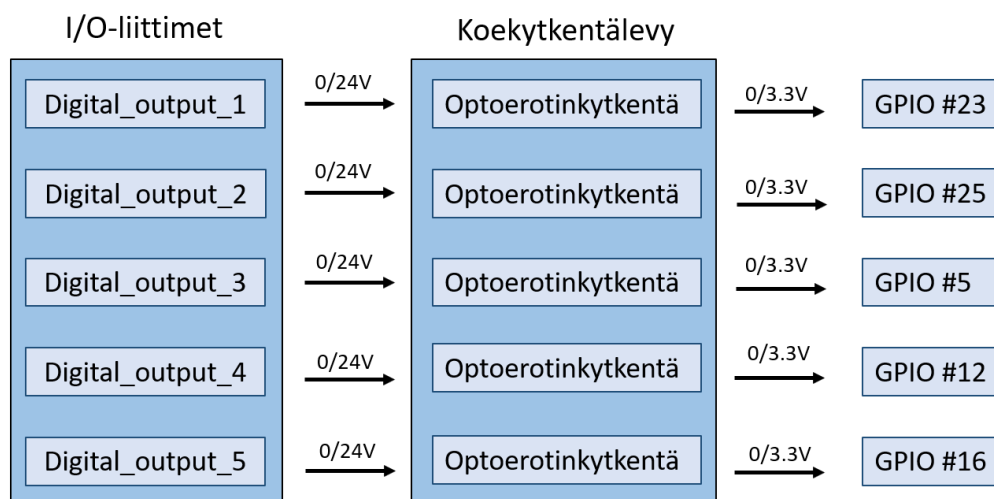
Työn tarkoituksena on pystyä ohjaamaan Zmorph-pursotintyökalua Universal Robots -ohjauspaneelin kautta. UR10-robotti sisältää I/O-liittimet, jolla voidaan lähettää tai vastaanottaa digitaalisia signaaleja. Ohjauspaneelilla lähetetään robotilta 24 V:n digitaalinen signaali Raspberry Piille. Koska Raspberry Pi ei kestä 24 V:n jännitettä, tehdään robotin ja Raspberryn välille kytkentä, jossa käytetään optoerottimia ja vastuksia. Raspberry Piihin kiinnitetään Adafruitin moottoriohjainkortti, jolla ohjataan pursotintyökalun lineaariaskelmoottoria. Raspberry Piille asennetaan Python-kirjasto, joilla saadaan Raspberry Piin ja ohjainkortin välinen tiedonsiirto ja askelmoottorin hallinta mahdolliseksi. Pursotintyökalun virtajohtimet liitetään oikeille paikoille ohjainkortin riviliittimiin. Materiaalipursottimen moottori saa virran ulkoisesta virtalähteestä, joka myös liitetään ohjainkorttiin. Seuraava kuvio havainnollistaa työn prosessia.



Kuva 15. Työn kuvaus

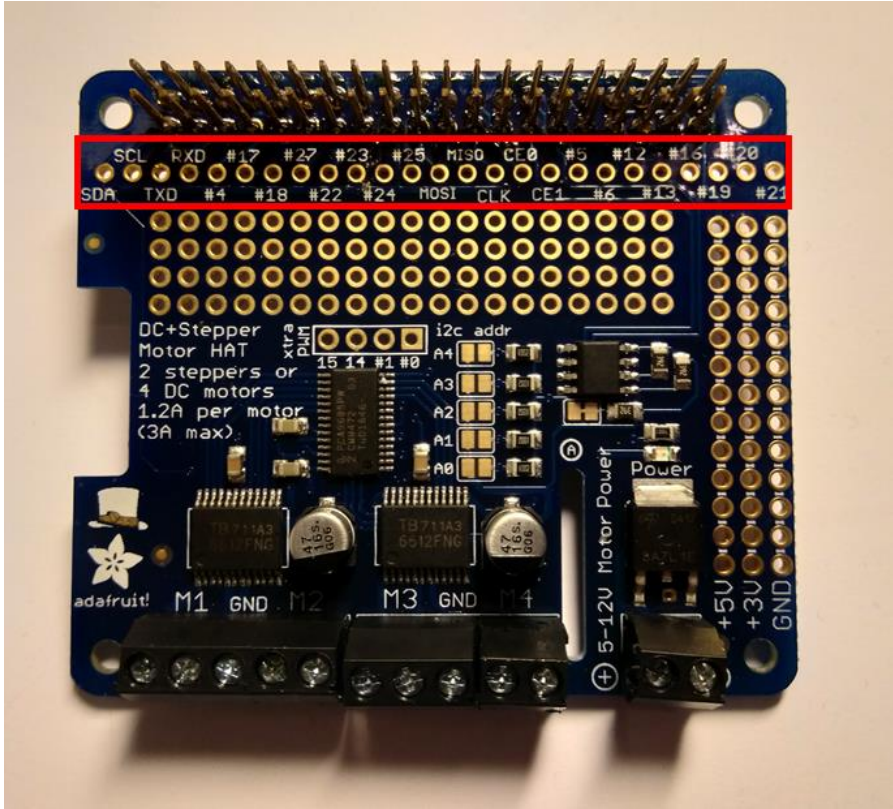
6.1 Signaalin kulku

24 V:n digitaalinen signaali voidaan lähettää kuudelta eri ulostulolta. Työhön otettiin kaikki käytössä olevat ulostulot käyttöön, jotta saataisiin mahdollisimman monipuolinen järjestelmä. Se ei kuitenkaan tarkoita, että kaikkia ulostuloja tarvittaisiin. Jokaiselle GPIO-paikalle voidaan asettaa pursotustapa, joka viittaa askelmoottorin askelustapaan. I/O-laatikolta lähetetään yksi signaali kerrallaan. Signaali aktivoi vastaa- van GPIO-pinnin ja ohjelmoitu pursotus tapahtuu. Pursotuksen jälkeen ohjelma jää kuuntelemaan uutta signaalia. Ohjelmasta kerrotaan tarkemmin Työn toteutus -lu- vussa. Seuraava kuva havainnollistaa signaalin kulkua.



Kuva 16. Signaalin kulku järjestelmän läpi.

Koska Adafruitin moottoriohjain vie koko GPIO-portin, kytkentä suoraan Raspberryn GPIO-pinniin ei ole mahdollista. Tästä syystä moottoriohjaimeen on merkitty vas- taavat GPIO-pinnit, joihin johtimet liitetään. Seuraava kuva havainnollistaa vapaana olevia GPIO-portin paikkoja.



Kuva 17. Raspberry Piin vastaavat GPIO-pinnit merkittynä moottoriohjaimen.

7 TYÖN TOTEUTUS

7.1 Raspberry Piin ja moottoriohjaimen kokoaminen

Työ alkaa juottamalla liitinrunko (2x20) ja riviliittimet moottoriohjaimeen. Liitinrunko mahdollistaa ohjaimen liittämisen ja irrottamisen Raspberry Piin GPIO-pinneihin. Riviliittimiin saadaan kytkettyä helposti ulkoinen virtalähde ja askelmoottorit. Kun juotokset ovat valmiit, voidaan ohjain liittää Raspberry Pi -laitteeseen kuvan osoittamalla tavalla.



Kuva 18. Moottoriohjain liitettynä Raspberry Pi -tietokoneeseen.

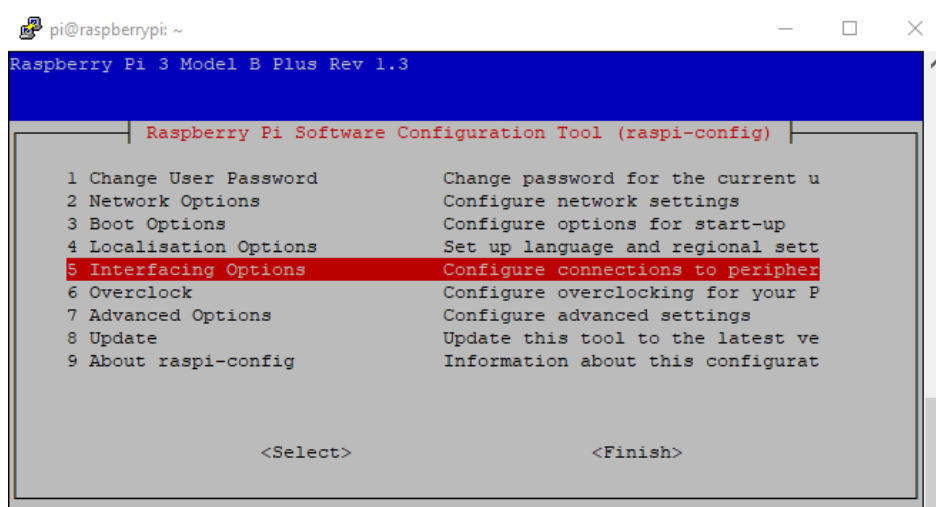
Tämän jälkeen voidaan käynnistää Raspberry Pi. Raspberry Pi liitetään paikalliseen langattomaan verkkoon, joka antaa laitteelle IP-osoitteen. Verkkoon liittäminen onnistuu helpoimmin graafisen käyttöliittymän kautta. Raspberry Piin terminaalin on mahdollista ottaa langaton yhteys verkon kautta. Yhteyden muodostaminen onnistuu helposti PuTTY-ohjelmalla. SSH-protokollan avulla on mahdollista luoda salattu yhteys Raspberry Piin ja tietokoneen välille. Nyt Raspberry Piin ei tarvitse kytkeä erillistä näyttöä tai näppäimistöä, vaan kaikki hoituu yhdellä tietokoneella.

Jotta Raspberry Pi ja Adafruit-moottoriohjain toimisivat halutulla tavalla, pitää Piistä avata I²C-väylä, joka on oletuksena pois päältä. Terminaalin kirjoitetaan kuvassa 19 näkyvä lause.

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo raspi-config
```

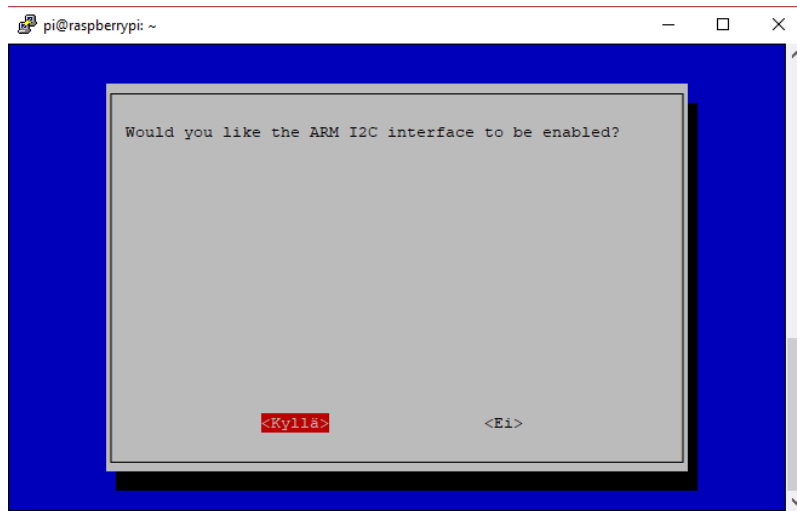
Kuva 19. Komento Raspberryn konfigurointipaneeliin.

Tämä avaa Raspberryn konfigurointi-ikkunan. Interfacing Options valitaan painamalla Enter.



Kuva 20. Konfigurointivalikko.

Tämän jälkeen valitaan listasta I²C ja painetaan Enter ja hyväksytään valinta painamalla Kyllä.



Kuva 21. Muutosten hyväksyntä.

Ennen kuin aloitetaan asennuspakettien ja kirjastojen asentamien on syytä päivittää Raspberry Piin ohjelmat ja paketit ajan tasalle. Tämä parantaa laitteen turvallisuutta ja vähentää mahdollisten virheiden määrää. Uusimmat päivitykset haetaan kuvassa 22 näkyvällä komennolla:

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get update
```

Kuva 22. Päivitysten haku.

Päivitykset asennetaan kuvassa 23 näkyvällä komennolla:

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get upgrade
```

Kuva 23. Päivitysten asennus

7.2 Kirjastojen asennus

Moottorien ohjausta varten asennetaan tarvittavat Python-kirjastot. Työssä käytetään Adafruitin suosittelemaa CircuitPython-kirjastoa. Tarvittavien kirjastojen asennus aloitetaan kuvassa 24 näkyvällä komennolla.

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo pip3 install --upgrade setuptools
```

Kuva 24. Työkalujen päivitys.



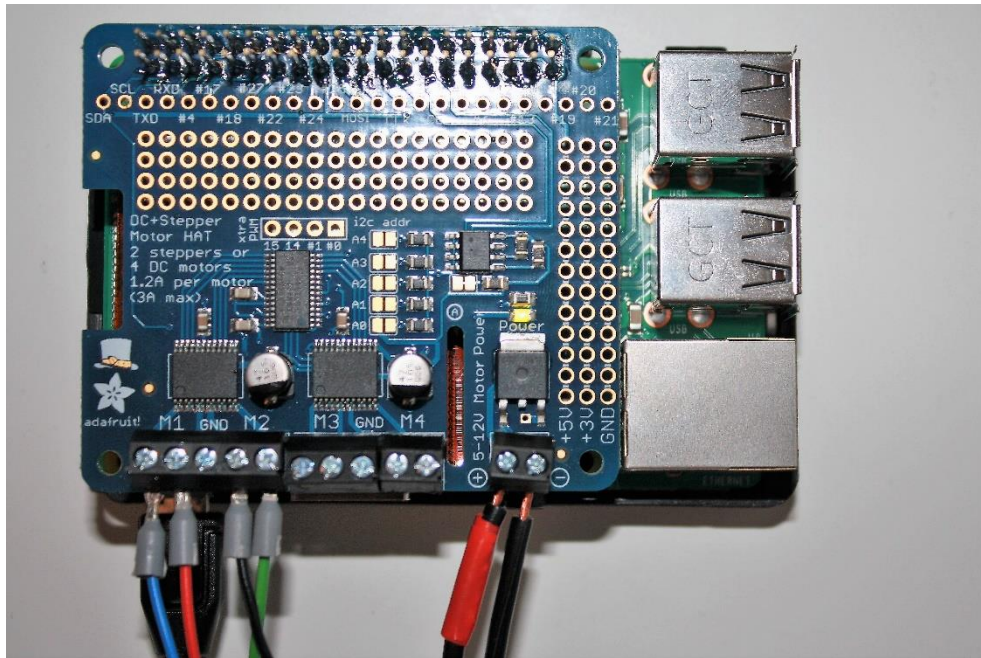
Kuva 28. Moottorin johtimien värijärjestys.

Moottorit eivät toimi ainoastaan Raspberry Piin virralla, vaan siihen tarvitaan erillinen virtalähde. Ohjainkortin valmistajan sivulla suositellankin käyttämään täysin erillistä virtalähdettä sekä Raspberry Piille että ohjainkortille. Tällä estetään mahdollisten sähköhäiriöiden synty ja parannetaan järjestelmän vakautta. Työtä varten hankittiin muuntaja, jossa ulostulevan lähtöjännitemäärän voi itse säätää. Säädettävät vaihtoedot ovat 3 / 4,5 / 6 / 7,5 / 9 tai 12 volttia. Virran polaarisuus varmistettiin jännitemittarilla, ja positiivinen johdin merkittiin punaisella sähköteipillä. Johtimien päät kuorittiin riviliittimille sopiviksi.



Kuva 29. Moottoriin kytketty ulkoinen virtalähde.

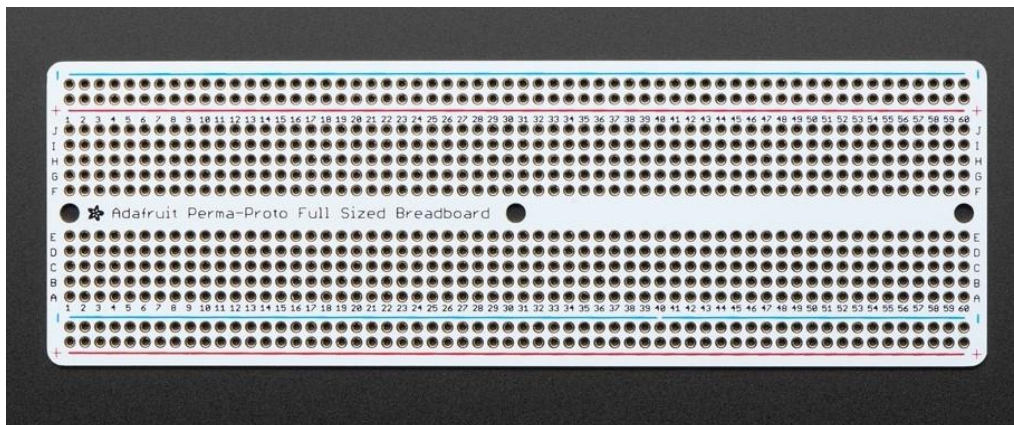
Kun ulkoinen virtalähde on liitetty polaarisesti oikein, vihreä led-valo syttyy onnistuneen kytkennän merkiksi. Kyseisellä Motor HAT -kortilla on mahdollista ohjata sekä unipolar-moottoria että bipolar-moottoria. Mikäli kyseessä olisi unipolar-moottori, virtajohtimia olisi vielä yksi enemmän maadoitusta varten. Kuvasta 30 voidaan havaita, että ensimmäinen käämipari liitetään M1-paikkaan ja toinen käämipari M2-paikalle. Maadoituspaikka jää tässä tapauksessa tyhjäksi. M3- ja M4-paikka mahdollistavat vielä toisen askelmoottorin liittämisen tai kahden tavallisen tasavirtamoottorin liittämisen. Pyörimissuunta on mahdollista kääntää tässä tapauksessa vaihtamalla vihreän ja mustan johtimen paikka keskenään tai sinisen ja punaisen paikka keskenään.



Kuva 30. Moottorin virtajohtojen sekä virtalähteen kytkentä.

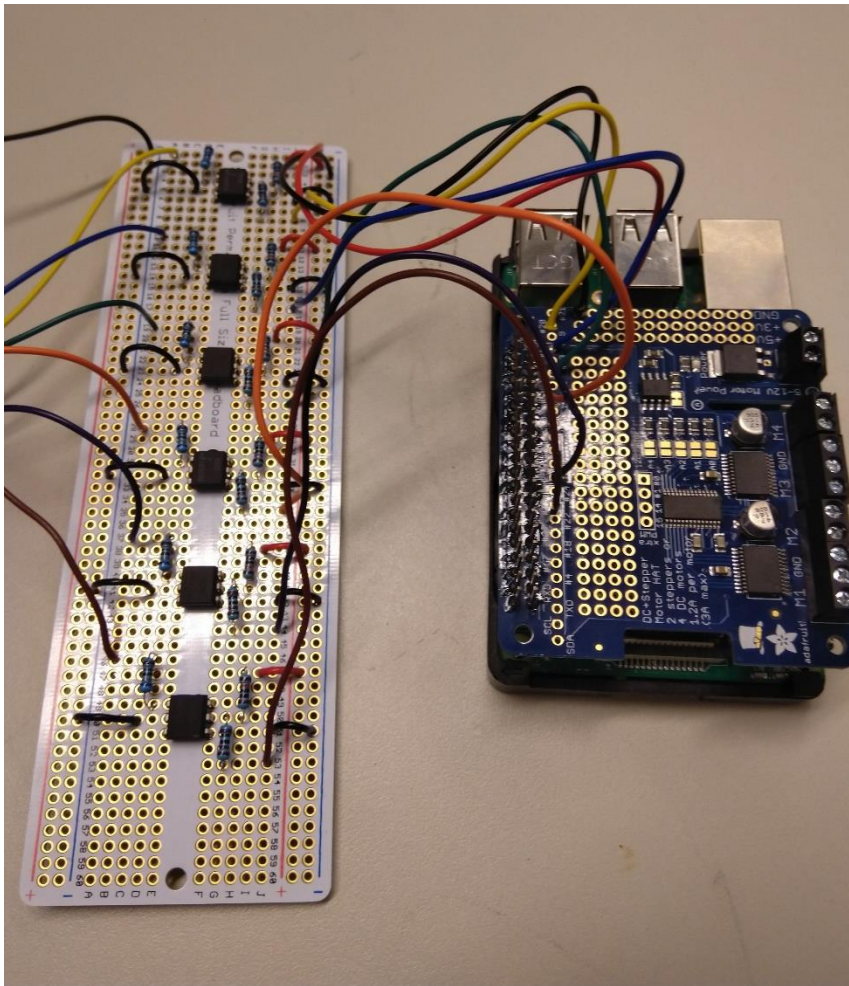
7.4 Optoerotinkytkennän rakennus

Optoerotinkytkentä rakennetaan Adafruitin Perma-Proto-koekytkentälevylle. Kyseiselle koekytkentälevylle komponentit juotetaan kiinni.



Kuva 31. Adafruit-koekytkentälevy. (Adafruit [Viitattu 24.3.2020].)

Kun komponentit saadaan juotettua koekytkentälevylle, yhdistetään se hyppylangalla moottoriohjaimen GPIO-paikoille kuvan 32 osoittamalla tavalla.



Kuva 32. Optoerotinkytkentä liitettynä moottorihjaimen.

7.5 Ohjelman luonti ja moottorin testaus

Ohjelman luonti on jaettu kolmeen osaan, jotta mahdolliset virheet ja ongelmat on helpompi rajata. Ensin testataan moottorin toimivuus ja askellustavat. Seuraavaksi testataan GPIO-pinnien ja optoerotinkytkennän toimivuus. Lopuksi yhdistetään nämä edellä mainitut yhdeksi lopulliseksi ohjelmaksi. Ohjelma on mahdollista kirjoittaa eri alustoilla. Tässä työssä ohjelmat on kirjoitettu Raspberry Piin terminaalien avulla sekä IDLE-alustalla, joka tulee Raspbian-käyttäjärjestelmän mukana.

7.5.1 Testiohjelma moottorin testaukseen

Yksi tapa luoda Python-skripti on kirjoittaa Raspberry Piin terminaalien kautta. Tavallinen tekstitiedosto luodaan komennolla `sudo nano`, johon skripti kirjoitetaan. Kun skripti on valmis, tallennetaan tiedosto laittamalla nimen loppuun ".py". Näin luodaan tavallisesta tekstitiedostosta Python-skripti. Ohjelma ajetaan terminaalien kautta kirjoittamalla Pythonin versio ja sen perään skriptin nimi. Esimerkiksi: `python3 testiohjelma.py`.

```
from adafruit_motorkit import MotorKit
from adafruit_motor import stepper

kit = MotorKit()

kit.stepper1.release()

for i in range(1000):
    kit.stepper1.onestep(direction=stepper.FORWARD, style=stepper.SINGLE)

kit.stepper1.release()
```

Kuva 33. Testiohjelma moottorin toiminnan testaukseen.

7.5.2 Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen

Kyseisellä ohjelmalla testataan kytkennän toimivuutta. Kun ohjelma on käynnissä, se odottaa digitaalista signaalia. Kun 24 V:n signaali lähetetään yhdelle GPIO-pinille, sitä vastaava pursotusteksti tulostuu näytölle. Tärkeimmät koodin vaiheet on selitetty kuvissa 34, 35 ja 36 kommentteilla. Ohjelma on kirjoitettu IDLE-alustalla, mutta kuvat ovat Notepad++ muodossa selkeyden vuoksi.


```

1  #!/usr/bin/python3
2
3  #Tuodaan tarvittavat kirjastot
4  import RPi.GPIO as GPIO
5  import time
6
7  #Asetetaan viittaustapa GPIO pinneille
8  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
9  #Asetetaan valitut GPIO pinnit input-tilaan
10 GPIO.setup(23, GPIO.IN)
11 GPIO.setup(25, GPIO.IN)
12 GPIO.setup(5, GPIO.IN)
13 GPIO.setup(12, GPIO.IN)
14 GPIO.setup(16, GPIO.IN)
15 GPIO.setup(20, GPIO.IN)
16
17 print("odottaa signaalia")
18
19 #Try-lauseella ajetaan koodi virheiden varalta
20 try:
21     #While-loop suorittaa ohjelmaa niin kauan, kunnes se halutaan keskeyttää
22     while True:
23
24         #Luodaan muuttujat input-tiloja varten
25         input_value_1 = GPIO.input(23)
26         input_value_2 = GPIO.input(25)
27         input_value_3 = GPIO.input(5)
28         input_value_4 = GPIO.input(12)
29         input_value_5 = GPIO.input(16)
30         input_value_6 = GPIO.input(20)
31

```

Kuva 34. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (1).

```

32 #Ehtolauseella kuunnellaan inputin tilaa.
33 #Niin kauan kun inputin tila on 1 eli True,
34 #mitään ei tapahdu.
35 #Kun inputin tila on 0 eli False ohjelmoitu
36 #pursotusohjelma voi käynnistyä.
37 if input_value_1 == 0:
38     time.sleep(.5)
39     print("pursotus 6")
40     #Toinen while-loop tarkkailee inputin-tilaa niin kauan,
41     #kunnes inputin tila on taas 1.
42     #Ilman kyseistä loop-silmukkaa ohjelmoitu pursotusohjelma
43     #tulostuu useita kertoja.
44     while input_value_1 == 0:
45         input_value_1 = GPIO.input(23)
46
47 #Jokaiselle GPIO pinnille luodaan oma ehtolause
48 elif input_value_2 == 0:
49     time.sleep(.5)
50     print("pursotus 5")
51     while input_value_2 == 0:
52         input_value_2 = GPIO.input(25)
53
54 elif input_value_3 == 0:
55     time.sleep(.5)
56     print("pursotus 4")
57     while input_value_3 == 0:
58         input_value_3 = GPIO.input(5)
59
60 elif input_value_4 == 0:
61     time.sleep(.5)
62     print("pursotus 3")
63     while input_value_4 == 0:
64         input_value_4 = GPIO.input(12)

```

Kuva 35. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (2).

```

66 elif input_value_5 == 0:
67     time.sleep(.5)
68     print("pursotus 2")
69     while input_value_5 == 0:
70         input_value_5 = GPIO.input(16)
71
72 elif input_value_6 == 0:
73     time.sleep(.5)
74     print("pursotus 1")
75     while input_value_6 == 0:
76         input_value_6 = GPIO.input(20)
77
78 #Jos inputin tila on 1 niin ei tee mitään ja
79 #kuunnellaan saapuvaa signaalia.
80 else:
81     pass
82
83 #Keskeytetään ohjelma Ctrl + C
84 except KeyboardInterrupt:
85     print("Ohjelma keskeytetty")
86 #Nollataan käytetyt GPIO pinnit
87 finally:
88     GPIO.cleanup()
89

```

Kuva 36. Testiohjelma signaalin vastaanottamiseen (3).

Moottori toimi niin kuin pitikin, ja sitä voitiin ohjata eteen ja taakse neljällä eri askelustavalla. Signaalin vastaanoton testauksessa taas oli aluksi pieniä ongelmia. Väliillä, kun lähetettiin 24 V:n signaali GPIO-nastalle, se vaikutti toisinaan toiseen GPIO-pinniin, jolloin tuli päällekkäisiä tulostuksia, mikä ei ole haluttu lopputulos. Kyseessä saattoi olla pelkkä kytkentähäiriö. Lisäksi koodiin lisättiin pieni ajastin *time*-funktioilla, jolla vaikutetaan signaalin tulostukseen. Koodin parantelun ja kytkentöjen vahvistusten jälkeen ohjelma toimi halutulla tavalla.

7.5.3 Lopullinen ohjelma

Kun askelmoottorin sekä signaalin vastaanottamisen toimivuus saatiin todettua, voitiin luoda lopullinen ohjelma yhdistämällä edellä mainitut testiohjelmat yhdeksi ohjelmaksi. Toisin kuin testiohjelmassa moottorin toiminnan testaus, jossa ajettiin tietty askelmäärä for-lauseella, askelmoottori pyörii niin kauan, kun 24 V:n tulo on päällä eli kun GPIO on 0-tilassa.

```

1  #!/usr/bin/python3
2
3  import RPi.GPIO as GPIO
4  import time
5  from adafruit_motor import stepper
6  from adafruit_motorkit import MotorKit
7
8  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
9  GPIO.setup(23, GPIO.IN)
10 GPIO.setup(25, GPIO.IN)
11 GPIO.setup(5, GPIO.IN)
12 GPIO.setup(12, GPIO.IN)
13 GPIO.setup(16, GPIO.IN)
14
15 kit = MotorKit()
16
17 print("odottaa signaalia")
18
19 try:
20     while True:
21         input_value_1 = GPIO.input(23)
22         input_value_2 = GPIO.input(25)
23         input_value_3 = GPIO.input(5)
24         input_value_4 = GPIO.input(12)
25         input_value_5 = GPIO.input(16)
26

```

Kuva 37. Lopullinen ohjelma (1).


```

26
27     #Sen sijaan, että ajettaisiin tietty askelmäärä ja jäätäisiin odottamaan
28     #uutta signalia, nyt pursotusta tapahtuu niin kauan kun tulo on päällä
29
30     #Full step ajotyyli, jossa yksi vaihe energisoituna
31     if input_value_1 == 0:
32         kit.stepper1.onestep(direction=stepper.FORWARD, style=stepper.SINGLE)
33         time.sleep(0.01)
34
35     #Full step ajotyyli, jossa kaksi vaihetta energisoituna
36     elif input_value_2 == 0:
37         kit.stepper1.onestep(direction=stepper.FORWARD, style=stepper.DOUBLE)
38
39     #Half step ajotyyli
40     elif input_value_3 == 0:
41         kit.stepper1.onestep(direction=stepper.FORWARD, style=stepper.INTERLEAVE)
42
43     #Microstep ajotyyli
44     elif input_value_4 == 0:
45         kit.stepper1.onestep(direction=stepper.FORWARD, style=stepper.MICROSTEP)
46

```

Kuva 38. Lopullinen ohjelma (2).

```

47     #Full step ajotyyli, jossa yksi vaihe energisoituna (peruutus)
48     elif input_value_5 == 0:
49         kit.stepper1.onestep(direction=stepper.BACKWARD, style=stepper.SINGLE)
50
51     #vapautetaan askelmoottori
52     else:
53         kit.stepper1.release()
54
55 except KeyboardInterrupt:
56     print("Ohjelma keskeytetty")
57 finally:
58     GPIO.cleanup()

```

Kuva 39. Lopullinen ohjelma (3).

7.5.4 Ohjelman käynnistys

Ohjelman käynnistys voidaan automatisoida Crontab-sovelluksella, joka löytyy valmiiksi Raspbian-käyttöjärjestelmästä. Tavallisesti ohjelman käynnistys suoritetaan näppäimistön avulla esimerkiksi terminaalien kautta. Sen sijaan tietty ohjelma voidaan käynnistää alkamaan haluttuun ajankohtaan. Tässä tapauksessa asetetaan lopullinen pursotusohjelma alkamaan joka kerta kun Raspberry Pi käynnistyy. Konfigurointi tapahtuu terminaalien kautta kuvassa 40 esitetyllä tavalla.

```

pi@raspberrypi:~ $ sudo crontab -e

```

Kuva 40. Crontab-tiedoston avaus.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.7.4 Tiedosto: /tmp/crontab.I6WyjB/crontab
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
@reboot python3 /home/pi/PythonOhjelmat/finalprogram.py &

```

Kuva 41. Tiedoston loppuun liitetään kyseinen lause.

Lauseessa määriteellään, milloin ohjelma käynnistetään, mikä Python-versio on kyseessä ja ohjelman tiedostosijainti. Lauseen loppuun lisätään &-merkki, koska ohjelmassa käytetään silmukkalauseetta. &-merkin pois jättäminen voi aiheuttaa ongelmia Raspberry Piin käynnistyksessä. Lopuksi tallennetaan tehdyt muutokset. Ohjelma käynnistyy nyt Raspberry Piin käynnistyksen yhteydessä.

7.6 Liittimet ja kotelointi

Raspberry Pi, moottoriohjain ja koekytkentälevy asetetaan koteloon, koska se suojaa piirilevyjä ja tekee siitä käytännöllisemmän. Koteloon porataan reiät liittimiä varten. Liittimien naaraspuoli kiinnitetään koteloon ja urospanuoli kaapeliin. Kaapeli koostuu seitsemästä kuparijohtimesta. Kaapeli tulee ensimmäisen liittimen ja yhteistyörobotin välille sekä toisen liittimen ja materiaalipursottimen välille.

7.6.1 Liittimet

Koteloon kiinnitetään kolme liittintä. Ensimmäinen liitin on yhteistyörobotilta tulevia digitaalisia signaaleja varten. Toinen liitin on pursottimen askelmoottoria varten.

Sekä ensimmäiselle että toiselle liittimelle käytetään samaa 6-pinnistä liitinmallia. Kolmas liitin on DC-liitin askelmoottorin virtalähteelle. Raspberry Pi -virtalähteelle ei tule omaa liitintä koteloon, vaan virtaliittimen kohdalle porataan reikä, johon virtalähde kytketään.

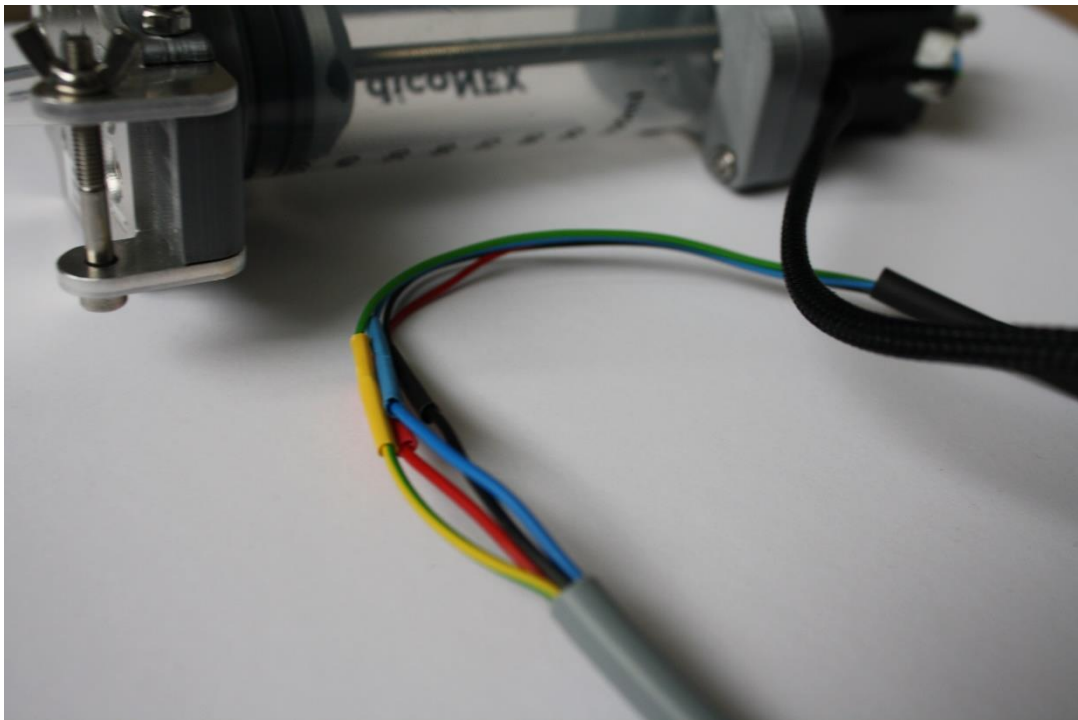


Kuva 42. 6-pinnisen liittimen naaras- ja urospuoli.

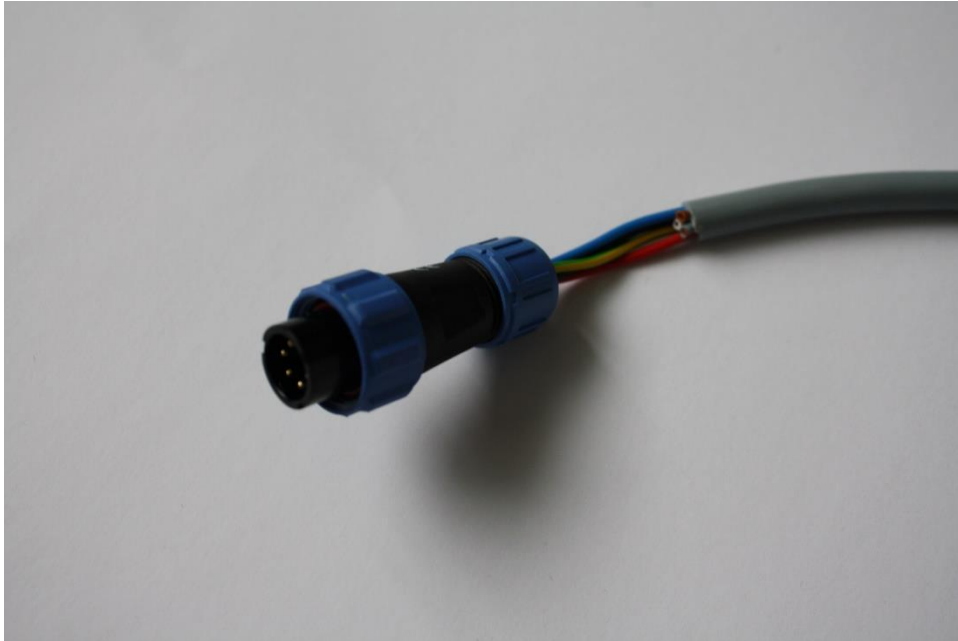


Kuva 43. DC-liitin askelmoottorin virtalähteelle.

Askelmoottorin johtimet liitetään kaapelin toiseen päähän juotoksella. Kaapelin toiseen päähän kiinnitetään liittimen urospanna. Sama tehdään myös toiselle kaapelille, mutta askelmoottorin tilalle tulee yhteistyörobotin digitaalisia signaaleja lähettävä I/O-laatikko. On myös syytä huomioida, että kaapeli koostuu seitsemästä kuparijohtimesta, mutta liittimissä on vain kuusi pinniä eli kaikkia kuparijohtimia ei käytetä. Ensimmäisen liittimen pinnit 1–5 kuljettavat digitaalisia signaaleja ja pinni 6 on maadoitus. Toisen liittimen pinnit 1–4 ovat askelmoottorille. Askelmoottori tarvitsee vain neljä johdinta toimiakseen, joten pinnejä 5–6 ei tarvita.



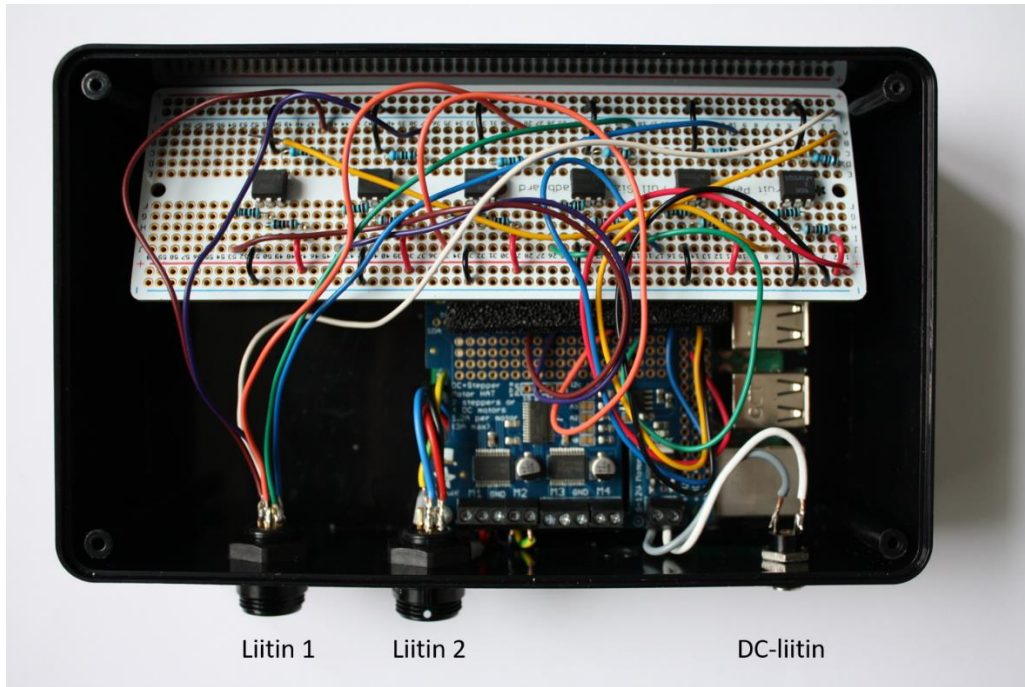
Kuva 44. Askelmoottorin johtimet liitettynä kaapeliin.



Kuva 45. Liittimen urospuoli liitettynä kaapeliin.

7.6.2 Kotelointi

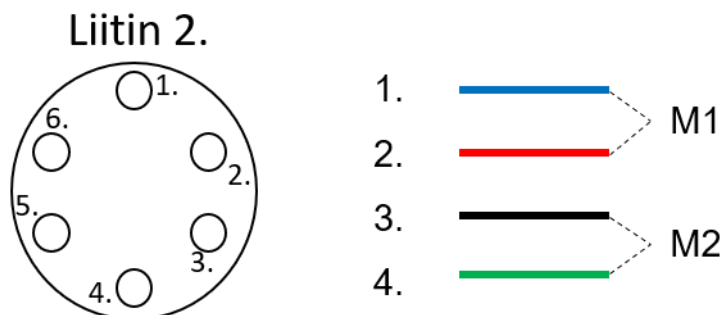
Kun Raspberry Pi ja koekytkentälevy saadaan sovitettua koteloon järkevästi, voidaan porata reiät liittimille ja Raspberry Pi -virtalähteelle. Tämän jälkeen kiinnitetään liittimet koteloon ja tehdään juotokset kotelon sisällä. Ensimmäisen liittimen pinneihin juotetaan koekytkentälevyltä tulevat johtimet. Toisen liittimen pinneihin juotetaan moottorihjaimelta tulevat askelmoottorin johtimet. Seuraavat kuvat tarkentavat kotelon sisältöä ja liittimien toimintaperiaatetta.



Kuva 46. Kotelon sisältö.



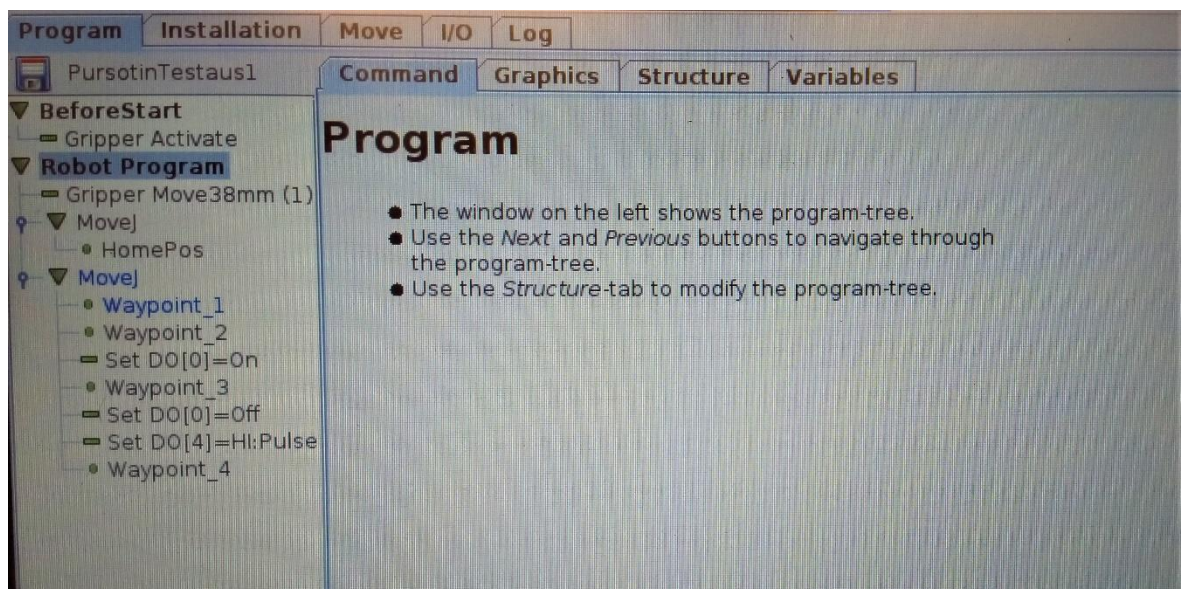
Kuva 47. Liittimen yksi läpi kulkevat signaalit ja niiden toiminta.



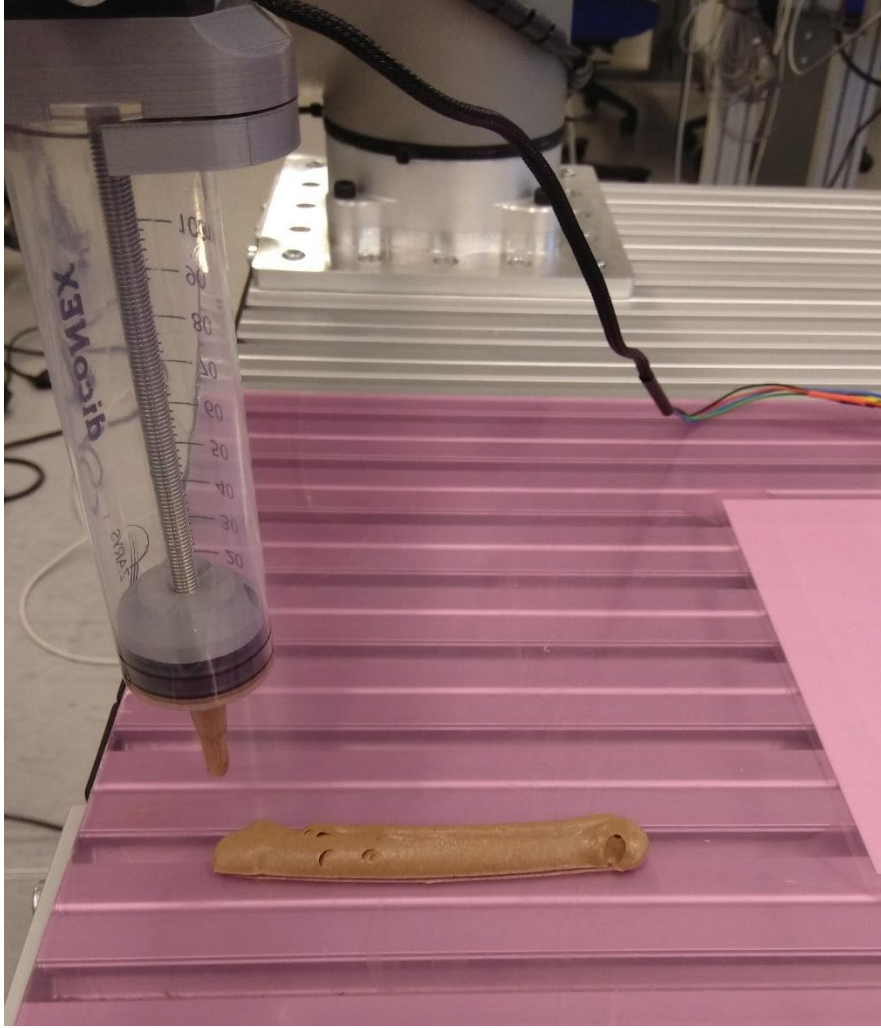
Kuva 48. Liittimen kaksi ja moottorihjaimen välinen kytkentä.

7.7 Materiaalipursottimen testaus

Lopuksi tehtiin materiaalipursottimen toiminnan testaus, jossa pursotinjärjestelmä liitetään UR10-yhteistyörobottiin. Ensin testattiin, että kaikki viisi ohjelmoitua tulostustapaa toimii niin kuin pitää. Tämän jälkeen tehtiin robotille yksinkertainen ohjelma, jossa robotin käsivarsi suorittaa suoraviivaista kuviota, samalla kun materiaalipursotin suorittaa pursotusohjelmaa. Lopulta tehtiin testipursotus suklaamassalla, näin selvitettiin pursotuksen laatu. Lisää tuloksista kerrotaan Tulokset -osiossa. Kuvassa 49 on yhteistyörobotin ohjauspaneelilla tehty ohjelma. Ohjelmalla liikutetaan robotin käsivartta ja ohjataan digitaalisen signaalin ulostuloja.



Kuva 49. UR10-yhteistyörobotin ohjauspaneelilla luotu pursotintestausohjelma.



Kuva 50. Pursottimen testaus suklaamassalla.

8 TULOKSET

Työssä saavutettiin seuraavanlaisia tuloksia ja havaintoja: Mikäli on tarvetta koota useampia moottoriohjaimia päällekkäin, on syytä käyttää erityispitkää liitinrunkoa pinnien suhteen. Pidemmät pinnit antavat enemmän tilaa ohjainkorttien välille ja helpottavat ohjainkorttien kasausta.

Työssä oli tarkoitus pystyä säätämään materiaalipursottimen tulostusnopeutta. Työn edetessä kuitenkin huomattiin, että tulostus tapahtuu aina maksiminopeudella eikä kierrosnopeutta voida muuttaa suoraan asennetulla Python-kirjastolla. Pursotimen tulostusnopeuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa lisäämällä askeleita täyskierroksen vaatimaan lukumäärään. Nopeuteen voidaan myös vaikuttaa *time*-funktiolla, jolla voidaan asettaa halutun pituisia taukoja joka askeleen jälkeen. Kyseisellä Python-kirjastolla voidaan vaihtaa askeltapaa, mikä vaikuttaa askelmäärään per kierros. Käytännössä full step -ajolla kierros tapahtuu 200 askeleella. Half step -ajolla kierros tapahtuu 400 askeleella, mikä siis hidastaa nopeutta pidentämällä pursotuksen aikaa. Pursotusnopeuteen voidaan vaikuttaa myös Raspberry Piin omia konfigurointiasetuksia muuttamalla. Kun funktio tulostukseen ajetaan terminaalista, se siirtyy Raspberry Piiltä moottoriohjaimelle I²C-tiedonsiirtoväylän kautta. Raspberry Piissä I²C-tiedonsiirtoväylä on rajoitettu 100 kHz:n baudinopeuteen eli se kuvastaa kuinka nopeasti tiedonsiirto tapahtuu laitteiden välillä. Kun baudinopeus nostettiin 400 kHz:iin tulostus oli huomattavasti nopeampi.

Rakentaessa optoerotinkytkentää hyppylangan sijasta olisi suotavampaa käyttää tavallista kuparijohdinta, varsinkin pidempien sisäjohtotuksien, kuten liittimen ja koekytkentälevyn välille. Hyppylanka on kuparijohdinta jäykempää, mikä vaikeutti kotelointia ja irrotti välillä heikoimpia juotoksia.

Lopullisessa materiaalipursottimen testauksessa käytiin jokainen ohjelmoitu pursotustapa kerrallaan läpi ja kaikki toimi ongelmitta. Seuraavaksi testattiin ohjelmaa, jossa robotti suorittaa yksinkertaisen liikkeen, ja käy liikkeen aikana kaikki pursotustavat läpi. Jostain syystä toinen full step -ajoista ei käynnistynyt, mutta kaikki muut pursotustavat toimivat halutusti. Syy, miksei toinen full step -ajoista käynnistynyt, ei kuitenkaan ehtinyt selvitä. Suklaamassalla tehdyssä pursotuksessa huomattiin, miten suuri merkitys pursotettavan massan tiiveydellä on. Kyseinen suklaamassa ei

ollut täysin optimaalisinta rakenteeltaan. Liian ilmava massa aiheutti ilma-aukkoja suuttimen ja männän välille, mistä aiheutui epätasainen tulostusjälki. Massasta saatiin kuitenkin kohtalainen tulostusjälki, kun sen rakenteesta tehtiin kiinteämpää (kuva 50).

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin materiaalipursottimen ohjaamista Raspberry Pi 3 -laitteella. Työssä syvennyttiin Raspberry Piin ominaisuuksiin ja tekniikkaan. Raspberry Piin käyttö oli tullut tutuksi jo aikaisemman projektin yhteydessä, joten perusasiat osattiin entuudestaan. Opinnäytetyössä pääsi tutustumaan tarkemmin robotiikkaan ja sen mahdollisuuksiin. Työssä oli selkeä päämäärä, jota lähetettiin toteuttamaan vaihe vaiheelta. Uutta asiaa olivat yhteistyörobotit ja niiden ohjauspaneelien toiminnot sekä askelmoottorit. Kaikki työhön liittyvät komponentit oli hankittu koulun puolesta, joten lopputulos oli tämän työn tekijän käsissä.

Moottorin ohjaaminen Pythonilla onnistui ilman suurempia ongelmia. Tärkeintä on tietää, mitkä komponentit ovat yhteensopivia toistensa kanssa. Lisäksi olisi hyvä olla tiedossa minkälaisesta moottorista on kyse, kun lähdetään työstämään moottoreihin liittyvää projektia ja kuinka suurilla virroilla ja jännitteillä toimitaan. Mahdolliset ongelmakohdat moottorin ohjaukseen liittyen voivat ilmetä muun muassa väärin kytetyssä moottorissa. Käytetään liian matalaa tai korkeaa virta- ja jännitearvoja tai asennetut Python-kirjastot eivät ole yhteensopivia keskenään.

Raspberry Piin korkea suosio oli selkeästi huomattavissa, siitä löytyvien ohjeiden ja keskustelujen määrästä. Tämä helpotti työn tekoa tiettyyn pisteeseen asti. Ensimmäinen haaste oli keksiä keino, jolla Raspberry Pi ja yhteistyörobotin ohjauspaneeli saadaan kommunikoidaan keskenään. Työn yksi tavoitteista oli pystyä ohjaamaan pursotintyökälua ohjauspaneelin kautta, joten yhteys näiden välille olisi välttämätön. Toinen haaste oli luoda käyttöliittymä yhteistyörobotin ohjauspaneeliin, jonka kautta pursotintyökälua voitaisiin ohjata. Lopulta päätettiin, että koko käyttöliittymän teko laajentaa tätä opinnäytetyötä liian suureksi ja käyttöliittymän luonti voisi olla jopa oma opinnäytetyönsä. Lisäksi pursotinta voisi kehittää eteenpäin lisäämällä anturijärjestelmän, joka pysäyttäisi askelmoottorin saavutettuaan ääripään.

Kaiken kaikkiaan työ oli mielenkiintoinen ja monipuolinen. Työ antoi pintaraapaisun robotiikasta, mikä on järkevä aihe opiskella näin tietotekniikan opiskelijana. Lisäksi työn aihepiiri liittyi vahvasti esineiden Internetiin, joka on ajankohtainen nyky-yhteiskunnassa ja varmasti lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyöstä sai hyvän pohjan, mikäli näiden asioiden parissa jatkaa työskentelyä.

LÄHTEET

- Adafruit. Ei päiväystä. Adafruit DC and Stepper Motor HAT for Raspberry Pi. [Verkkosivu]. Adafruit Organization. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <https://www.adafruit.com/product/2348>
- Adafruit. Ei päiväystä. Breadboards & protoboards. [Verkkosivu]. Adafruit Organization. [Viitattu 24.3.2020]. Saatavana: <https://www.adafruit.com/product/590>
- Agnihotri, N. 2011. Stepper Motor: Basics, Types and Working. [Verkkojulkaisu]. Engineers Garage. [Viitattu 29.3.2019]. Saatavana: https://www.engineersgarage.com/article_page/stepper-motor-basics-types-and-working/
- Bhatt, A. 2011. Insight – How stepper motor works. [Verkkojulkaisu]. Engineers Garage [Viitattu 6.4.2019]. Saatavana: <https://www.engineersgarage.com/insight/insight-how-stepper-motor-works/>
- Bouchard, S. 2016. Standardizing Collaborative Robots: What is ISO/TS 15066? [Verkkojulkaisu]. Engineering.com. [Viitattu 26.3.2019]. Saatavana: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12582/Standardizing-Collaborative-Robots-What-is-ISOTS-15066.aspx>
- Circuitspecialists. 2012. Unipolar stepper motor vs Bipolar stepper motor. [Verkkojulkaisu]. Circuitspecialists. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/>
- Dennis, A. 2016. Raspberry Pi Computer Architecture Essentials. [Verkkokirja]. Birmingham, UK: Packt Publishing. [Viitattu 19.3.2019]. Ebsco eBook Collection. Vaatii käyttöoikeuden.
- Designspark. 2015. Stepper motors and drives, what is full step, half step and microstepping? [Verkkojulkaisu]. RS-online. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping>
- Earl, B. 2019. What is a Stepper Motor? [Verkkojulkaisu]. Adafruit. [Viitattu 16.3.2019]. Saatavana: <https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/what-is-a-stepper-motor>
- Electrical Technology. Ei päiväystä. What is a stepper motor? types, construction, operation & applications. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.3.2019]. Saatavana: <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/stepper-motor-construction-types-and-modes-of-operation.html>

- Lansard, M. 2019. Food 3D printing: 12 food 3D printers available in 2019. [Verkkajulkaisu]. Aniwaa. [Viitattu 25.4.2019]. Saatavana: <https://www.aniwaa.com/food-3d-printers/>
- Lazarte, M. 2016. Robots and humans can work together with new ISO guidance. [Verkkajulkaisu]. International Organization for Standardization. [Viitattu 18.3.2019]. Saatavana: <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>
- Mobile automation. Ei päiväystä. What Are Collaborative Robots. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.3.2019]. Saatavana: <https://www.mobileautomation.com.au/what-are-collaborative-robots/>
- Orientalmotor. Ei päiväystä. Basics of Stepper Motors. [Verkkosivu]. [Viitattu 6.4.2019]. Saatavana: <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-basics.html>
- Raspberry Pi. Ei päiväystä. What is a Raspberry Pi? [Verkkosivu]. Raspberry Pi Foundation. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>
- Raspberry Pi. Ei päiväystä. The computer hardware [Verkkosivu]. Raspberry Pi Foundation. [Viitattu 13.3.2019]. Saatavana: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/>
- Raspberry Pi. Ei päiväystä. NOOBS. [Verkkosivu]. Raspberry Pi Foundation. [Viitattu 14.3.2019]. Saatavana: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/noobs.md>
- Raspbian. Ei päiväystä. Welcome to Raspbian. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <https://www.raspbian.org/>
- Rouse, M. 2015. Optoisloator (opticalcoupler or optocoupler). [Verkkajulkaisu]. SearchNetworking. [Viitattu 10.12.2019]. Saatavana: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/optoisolator>
- SeAMK. Ei päiväystä. Mixed Reality and Collaborative Robotics. [Verkkosivu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 20.4.2020]. Saatavana: <https://www.seamk.fi/yrityksille/tki-projektit/mixed-reality-and-collaborative-robotics/>
- SeAMK. Ei päiväystä. SeAMKin toiminta. [Verkkosivu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 19.4.2020]. Saatavana: <https://www.seamk.fi/seamk-info/organisaatio/seamkin-toiminta/>

- SFS-EN ISO 10218-1. 2013. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 10218-2. 2017. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Stepperonline. Ei päiväystä. Nema 17 Non-captive 48mm Stack 1.68A Lead 2mm/0.07874" Length 200mm. [Verkkosivu]. Stepperonline. [Viitattu 14.4.2019]. Saatavana: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-non-captive-48mm-stack-168a-lead-2mm007874-length-200mm-17ls19-1684n-200d.html>
- Traczyk, M. Ei päiväystä. Food 3D Printing - Facts and Myths. [Verkkojulkaisu]. ZMorph3D. [Viitattu 13.3.2019]. Saatavana: <http://blog.zmorph3d.com/food-3d-printing-facts-myths/>
- Universal Robots. Ei päiväystä. User manual UR10/CB3 version 3.9. [Pdf-tiedosto]. Universal Robots Support. [Viitattu 17.4.2019]. Saatavana: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/50380/UR10_User_Manual_en_Global.pdf
- Upton, E. & Halfacree, G. 2016. Raspberry Pi User Guide. [Verkkokirja]. John Wiley & Sons, Incorporated. [Viitattu 19.3.2019]. Saatavana: ProQuest Ebook Central. Vaatii käyttöoikeuden.
- Vishay. Ei päiväystä. Product datasheet. [Pdf-tiedosto]. Vishay Intertechnology. [Viitattu 10.1.2020]. Saatavana: <http://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf>
- ZMorph3d. Ei päiväystä. Thick Paste Extruder. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2019]. Saatavana: <https://store.zmorph3d.com/products/thick-paste-extruder>