



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Kasra Faizi

Koneistussolun automatisointi teollisuusrobotin avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

01.6.2023

Tekijä Otsikko	Kasra Faizi Koneistussolun automatisointi teollisuusrobotin avulla
Sivumäärä Aika	26 sivua 01.6.2023
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tero Karttiala
<p>Metropolia Ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa havaittiin tarve yhdistää ABB:n IRB 4600 -teollisuusrobotti Quaser MV154P -koneistuskeskukseen, jotta kokonaisuutta voidaan hyödyntää osana robottikurssin sisältöä. Opinnäytetyössä kehitettiin menetelmä, jolla teollisuusrobotti voidaan liittää koneistuskeskukseen.</p> <p>Suunnitteluvaiheessa havaittiin paineilmajärjestelmän olevan tärkeä yhdistävä tekijä, jonka avulla teollisuusrobotia voidaan ohjata. Robotille määriteltiin tehtäväksi asentaa pneumaattinen ruuvipenkki työstökoneen nollapistekiinnittimiin sekä avata ja sulkea ruuvipenkin leuat ja työstökoneen ovi. Tätä varten suunniteltiin ja valmistettiin uudet leuat sekä pohjalevy käyttäen Dassault Systemsin Catia 3D -suunnitteluohjelmistoa ja CNC-jyrsintää. Työn edetessä ei ilmennyt tarvetta muille komponenteille ja työ jatkui suoraviivaisesti alkuperäisen tarpeen mukaisesti.</p> <p>Teollisuusrobotin ja koneistuskeskuksen yhdistäminen saatiin toteutettua valmistamalla tarpeelliset komponentit ja kytkemällä ne toisiinsa.</p>	
Avainsanat	teollisuusrobotti, koneistuskeskus

Author Title	Kasra Faizi Automation of Machining Cell Using an Industrial Robot
Number of Pages Date	26 pages 01 June 2023
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Production Engineering
Instructors	Tero Karttiala, Senior Lecturer
<p>The Metropolia Machine Laboratory identified the need to connect the ABB IRB 4600-in industrial robot to a Quaser MV154P machine working station, which uses the results of a subject as part of the robotics learning content method was developed to an industrial robot connects to a machine plant as a solution. This was done by developing and integrating the needed components.</p> <p>During the design process, the pneumatic system was an important integrator for controlling industrial robots. The robot was tasked with applying an air viz to the center zero point clamping system of the machine, and opening and closing the center door of the machine</p> <p>The main objective of the engineering project was to connect the devices. New jaws and base plates were then designed and manufactured using Dassault System Catia 3D design software and CNC milling. As the project was going on, no additions were needed, and the project proceeded straight to the original requirements.</p>	
Keywords	industrial robot, machining center

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teollisuusrobotti	2
2.1	Teollisuusrobottien historia	2
2.2	Käyttökohteet	3
2.3	Standardit	4
2.4	Rakenteet	5
2.5	Turvallisuus	7
3	Suunnitteluun ja toteutukseen käytetyt ohjelmat	7
4	Konelaboratorion koneistussolu	10
5	Komponentit ja osat	12
5.1	Työssä käytettävät komponentit	12
5.2	Valmistettavat osat	15
6	Paineilmajärjestelmän rakentaminen ja testaaminen	19
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

Lyhenteet

BSP G	British Standard Pipe. Standardi sylinterimäiselle letkukierteelle.
CAD	Computer aided design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	Computer aided manufacturing. Tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	Computer numerical control. Tietokoneohjattu numeerinen ohjaus.
I/O	Input/Output. Tulo/lähtö.
ISO	International Organization for Standardization.
setDO	ABB Rapid -ohjelmoinnin Digital Output -signaali.

1 Johdanto

Teollisuusrobottien käyttö opetuksessa on yleistynyt voimakkaasti viime vuosien aikana. Tämä on tuonut uusia haasteita robottikurssien suunnitteluun. (Arkko 2018: 1.) Metropolia Ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa todettiin, että on välttämätöntä yhdistää Quaser MV154P -teollisuusrobotti koneistuskeskukseen, jotta robottikurssin sisältöä voidaan hyödyntää tehokkaasti. Insinööriyön pääasialliseksi tavoitteeksi muodostui koneiden yhdistäminen toisiinsa. Työssä kehitettiin menetelmä, joka mahdollistaa ABB:n RB 4600 -teollisuusrobotin liittämisen koneistuskeskukseen.

Tavoitetta lähdettiin toteuttamaan suunnittelemalla ja valmistamalla tarvittavat osat ja yhdistämällä ne toisiinsa toimivaksi kokonaisuudeksi. Suunnitteluprosessin aikana huomattiin, että paineilmajärjestelmästä tulee tärkeä tekijä, joka mahdollistaa teollisuusrobotin hallinnoinnin ja ohjaamisen. Robotin tehtäväksi määriteltiin sijoittaa pneumaattinen ruuvipenkki työstökoneen nollapistekiinnittimiin. Lisäksi robotti ohjelmoitiin hallitsemaan ruuvipenkin leukojen avaamista ja sulkemista sekä myös työstökoneen oven avaamista.

Ongelman ratkaisuvaiheessa havaittiin, että keskeinen yhdistävä komponentti on paineilmajärjestelmä, jota on mahdollista ohjata teollisuusrobotilla. Teollisuusrobottiin ohjelmoitiin rutiini, jonka avulla robotti pystyy automaattisesti ja itsenäisesti asentamaan pneumaattisen ruuvipenkki työstökoneen nollapistekiinnittimiin. Samalla robotin tuli aukaista ja sulkea ruuvipenkin leuat sekä avata työstökoneen ovet. Tämä lähestymistapa koneiden kytkemisestä toisiinsa muodostui tämän opinnäytetyön päätavoitteeksi.

Tämän vuoksi suunniteltiin ja valmistettiin uudet leuat sekä pohjalevy käyttäen Metropolian konetekniikan laboratoriosta löytyviä materiaaleja hyödyntäen Fusion-, Automation studio-, Dassault Systemsin Catia 3D -suunnitteluohjelmistoa ja CNC-jyrsintää. Työn edetessä ei ilmennyt tarvetta muille komponenteille, ja työ jatkui suoraviivaisesti alkupeiräisen tarpeen mukaisesti.

2 Teollisuusrobotti

2.1 Teollisuusrobottien historia

Ensimmäinen teollisuusrobotti kehitettiin vuonna 1953. Tuolloin Joseph Engelberger kehitti Unimate-robotin, joka toimi Unimation-yhtiön perustana. Robotti kaupallistettiin seuraavan vuosikymmenen aikana, jolloin kyseinen teollisuusrobotti tuli autoteollisuuden käyttöön. Teollisuusrobotti toimi tuolloin kuumissa olosuhteissa valukoneiden parissa. (Lehtinen. Suomen automaatioseura ry: 1.)

Samainen yhtiö kehitti vuonna 1978 PUMA-nimisen teollisuusrobottimallin. Kyseinen robotti oli käsivarsirobotti, joka toimi tuon ajan yleisimpänä robottimallina. Tavoitteena oli kehittää yleiskäyttöinen robotti, joka voisi toimia kaikenlaisissa olosuhteissa. Pian kuitenkin huomattiin, että eri käyttösovellukset vaativat roboteilta erinäisiä ominaisuuksia, joiden takia robottimallien kehitys alkoi jakaantumaan näiden käyttötarkoitusten mukaisesti. Samoihin aikoihin markkinoille ilmestyi useita kilpailijoita valmistamaan teollisuusrobotteja. Näiden joukossa oli niin japanilaisia robotinvalmistajia kuin ASEA-niminen yritys, joka nykyisin tunnetaan ABB:na. Perinteiset teollisuusrobotit saavuttivat kehityksensä huipun 1990-luvulla, kun markkinoille tulivat vaihtovirtaservomoottorit, jotka mahdollistivat robottiteollisuuden. (Lehtinen. Suomen automaatioseura ry: 2.)

Nykypäivänä teollisuusrobotteja on käytössä maailmalla miljoonia, ja uusia robotteja otetaan käyttöön satoja tuhansia vuositasolla. Vuositasolla käyttöön otettavien robottien määrän trendi on IFR:n (International Federation of Robotics) mukaan edelleen kasvava. Merkittävimpiä ja suurimpia robottien valmistajia nykypäivänä ovat mm. ABB, Kuka, Toshiba, Kawasaki ja Motoman. Vaikka robottien vaatimukset ja tarkkuudet ovat ajan saatossa kehittyneet, ovat hinnat olleet laskusuuntaisia. Robottien hintaindeksin trendi on ollut laskeva, joskin lasku on viime vuosikymmenen aikana tasaantunut. (Ceccarelli & Rossia 2012: 2.)

2.2 Käyttökohteet

Robottiikan ja automaation merkitys on ollut kasvamaan päin, ja useat tahot ovat viime aikoina todenneet ne yhdeksi kansakunnan kestäväen kilpailukyvyen tekijöistä. Robottiikka ja automaatiota on Suomessa pitkään sovellettu teollisuuden tuotannossa, kuluttajatuotteissa, terveydenhoidossa, työkoneissa ja liikenteessä. (Ventä ym. 2018: 8.)

Teollisuusrobotit ovat ohjelmoitavissa eri käyttötarkoituksiin niiden suorituskyvyen mukaisesti, ja ne on suunniteltu suorittamaan erilaisia tehtäviä teollisuudessa. Niitä käytetään laajalti valmistuksessa, tuotannossa ja kokoonpanolinjoilla automatisoimaan prosesseja, jotka edellyttävät tarkkuutta, nopeutta ja toistettavuutta. Teollisuusrobottien yleisiä sovelluksia ovat mm. seuraavat:

- Hitsaus: Teollisuusrobotit voivat suorittaa erilaisia hitsaustehtäviä, kuten kaarihitsausta, pistehitsausta ja laserhitsausta, suurella tarkkuudella ja nopeudella.
- Maalaus: Ruiskutuspistooleilla varustettuja robotteja käytetään maalin tai pinnoitteiden levittämiseen eri tuotteisiin, jolloin varmistetaan tasalaatuisuus ja laatu.
- Materiaalinkäsittely: Robotteja käytetään raskaiden materiaalien tai tuotteiden siirtämiseen, pinoamiseen ja kuljettamiseen, mikä vähentää ihmistyön tarvetta ja lisää tehokkuutta.
- Kokoonpano: Robotit voivat koota monimutkaisia tuotteita, kuten elektronikkaa, autonosia ja lääkinällisiä laitteita, erittäin tarkasti ja nopeasti.
- Tarkastus ja testaus: Antureilla ja kameroilla varustetut robotit voivat tarkastaa tuotteita vikojen varalta, mitata mittoja ja suorittaa laadunvalvontatarkastuksia.
- Pakkaaminen: Robotteja käytetään pakkaamaan tuotteita eri muodoissa, kuten kartonkeihin, pusseihin tai säiliöihin, mikä vähentää työvoimakustannuksia ja lisää nopeutta.
- CNC-työstö: Robotit voivat käyttää CNC-koneita leikkaus-, poraus- ja jyrsintätoiminnoissa suurella tarkkuudella ja nopeudella.

Yleisesti ottaen teollisuusroboteilla on lukuisia sovelluksia eri teollisuudenaloilla, ja niiden käyttö lisääntyy, koska ne pystyvät parantamaan tuottavuutta, vähentämään kustannuksia ja parantamaan tuotteiden laatua. (Industrial Robotics Market by Type, Application, and Region - Global Forecast to 2025. 2021.)

Nykyajan teknologialla robotit ovat kehittyneet huomattavasti, ja ne pystyvät entistä tehokkaammin työskentelemään ihmisten kanssa. Monet robotit ovat kyenneet tekemään monimutkaisia tehtäviä, kuten esimerkiksi auttamaan lääkäreitä leikkaussaleissa tai suorittamaan tarkkoja ja herkkiä tehtäviä tehtailla. Lisäksi monet robotit ovat kehittyneet niin, että ne pystyvät oppimaan ja sopeutumaan uusiin tehtäviin ja ympäristöihin. Tämän ansiosta robotit voivat olla hyödyllisiä työkumppaneita ihmisille erilaisissa tehtävissä. Nykyajan teknologialla teollisuusrobotit pystyvät työskentelemään ihmisten kanssa erittäin tehokkaasti ja turvallisesti.

Monet teollisuusrobotit on suunniteltu toimimaan ihmisten kanssa samassa työympäristössä, ja ne voivat tehdä tarkkaa ja tarkkaa työtä aiheuttamatta vaaraa ihmisille. Monet nykyaikaiset teollisuusrobotit käyttävät myös erilaisia turvamekanismeja, kuten kosketus- ja etäisyysensoreita, jotka auttavat välttämään törmäyksiä ihmisten kanssa. Tämä mahdollistaa ihmisten ja teollisuusrobottien tehokkaan yhteistyön teollisuuden eri aloilla.

Robotin vahvuuksiin kuuluvat rutiinityöt. Esimerkiksi koneistussolun kappaleiden vaihto ja siirtely sekä työvälineiden haku ja palautus ovat toistuvia rutiineja, joissa robotti erottuu selvästi työntekijästä. Työntekijän suoritusten heikko toistettavuus työtehtävissä johtaa usein laatuvirheisiin, tuotannon viivästymisiin ja muita ongelmiin. Robotin heikkous taas on robotti itse: se ei pysty reagoimaan normaalista poikkeaviin tilanteisiin. (Cubero, 2006: 43–45.)

2.3 Standardit

ISO 8373 -standardin mukaan teollisuusrobotti on mekaaninen laite, joka on uudelleen ohjelmoitava, automaattisesti ohjattava ja monikäyttöinen. Jotta laite voidaan määritellä standardin mukaisesti teollisuusrobotiksi, sen on oltava varustettu vähintään kolmella ohjelmoitavalla kiinteästi asennetulla tai liikkuvalla nivelellä. (ISO 8373. 2012: 2.9.)

Kansainväliset standardit ovat ratkaisevan tärkeitä robotiikan ja automaation turvallisen tulevaisuuden puolesta. Nämä standardit koskevat robotin omaa rakennetta, sen testausta ja valmistusta, turvallista käyttöä sekä robottien välisiin yhteisvaikutuksiin. (Nilsen 2020.)

2.4 Rakenteet

Teollisuusrobotit ovat erittäin monipuolisia koneita, joita käytetään monenlaisissa soveluksissa hitsauksesta ja maalauksesta materiaalinkäsittelyyn ja kokoonpanoon. Teollisuusrobotin rakennesuunnittelulla on ratkaiseva merkitys sen suorituskyvyn ja valmiuksien määrittämisessä. Teollisuusrobottien pääkomponentteihin kuuluvat manipulaattori, ohjain ja päätehyödykkeet, ja nämä komponentit työskentelevät yhdessä, jotta robotti voi suorittaa tiettyjä tehtäviä.

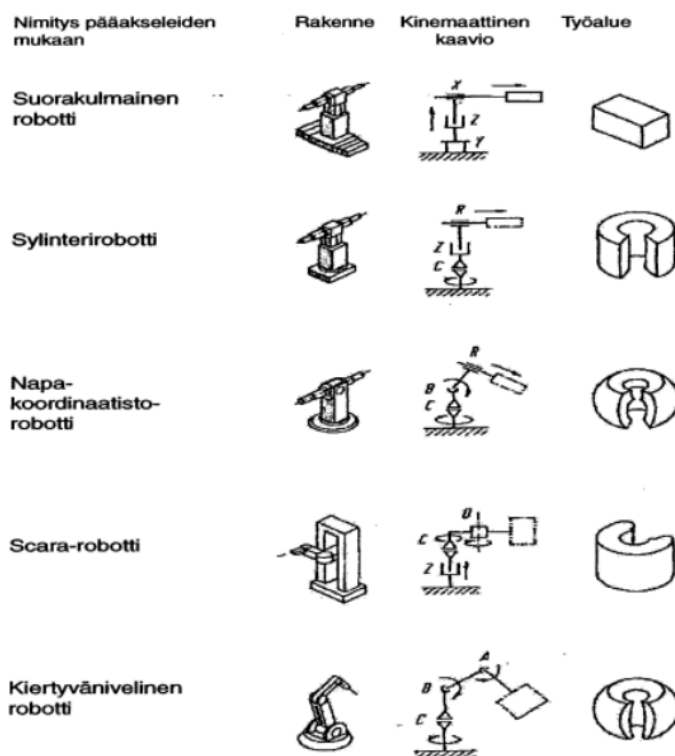
Yksi tärkeä osa teollisuusrobotin rakennetta on sen pääakselit eli nivelet, joiden avulla robotti voi liikkua eri suuntiin. Akselien määrä ja tyyppi voivat vaihdella robotin suunnittelun ja sovellusvaatimusten mukaan. Esimerkiksi kuusiakselisessa robotissa on kuusi niveltä, joiden avulla se voi liikkua kuudella vapausasteella, kun taas kolmiakselisessa robotissa on kolme niveltä, joiden avulla se voi liikkua kolmella vapausasteella. (Cubero 2006: 49.)

Toinen keskeinen näkökohta teollisuusrobotin rakenteessa on sen kinemaattinen kaavio ja työskentelyalue. Kinemaattinen kaavio on kaavamainen esitys robotin nivelistä ja sidoksista, mikä auttaa määrittämään robotin liikealueen ja työskentelyalueen. Työalue on fyysinen tila, jossa robotti voi toimia, ja se määräytyy robotin ulottuvuuden, korkeuden ja muiden fyysisten ominaisuuksien perusteella. Työalueen koolla ja muodolla voi olla merkittävä vaikutus robotin suorituskykyyn ja tehokkuuteen tietyssä sovelluksessa. (Cubero 2006: 50.)

Teollisuusrobotin rakenteellinen suunnittelu, mukaan lukien sen pääakselit, kinemaattinen kaavio ja työskentelyalue, on ratkaisevan tärkeää sen kyvyille suorittaa tiettyjä tehtäviä tehokkaasti ja tuloksellisesti. Teollisuusrobottien eri komponenttien ja kokoonpanojen ymmärtäminen voi auttaa valmistajia valitsemaan oikean robotin tiettyihin sovellustarpeisiinsa. (Ventä ym. 2018: 22.)

Teollisuusroboteilla voi olla erilaisia kokoonpanoja sen mukaan, mitä tehtäviä ne on suunniteltu suorittamaan. Yleisimmät teollisuusrobottirakenteet ovat suorakulmaiset, sylinteri-, SCARA-, napakoordinaatisto- ja kiertyväniveliset robotit. Jokaisella tyyppillä on

omat ainutlaatuiset ominaisuutensa ja etunsa, ja rakenteen valinta riippuu sovelluksen erityisvaatimuksista. Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on esitetty yleisimmät robottityypit ja niiden koordinaattijärjestelmät.



Kuva 1. Robottityyppejä ja niiden rakenteita (Kuivanen 1999: 12.)

Edellä mainituista roboteista suorakulmaiset robotit edustavat portaalirobotteja, joilla tyypillisesti kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia, ja niiden rakenne tuetaan palkeilla työalueen nurkista. Portaalirobottia pidetään yleensä suorakulmaisten robottien edustajana. Vastaavasti kiertyvänivelinen robotti on robotti, jonka liikkeet perustuvat kiertymiin niveliin. Nämä robotit voivat tehdä monimutkaisia liikkeitä ja suorittaa tehtäviä, jotka vaativat tarkkaa ja joustavaa liikettä, kuten esineiden käsittelyä, hitsausta tai kokoonpanoa. Kiertyväniveliset robotit voivat liikkua monin eri tavoin ja tehdä monimutkaisia liikkeitä, mikä tekee niistä tehokkaita suorittamaan monipuolisia tehtäviä. Nämä robotit voivat olla sekä kiinteitä että liikkuvia, ja ne voivat olla suorakulmaisia tai kaarevia. Kiertyväniveliset robotit ovat yleisiä teollisuuden aloilla, koska ne ovat tehokkaita ja joustavia suorittamaan monipuolisia tehtäviä. (Kuivanen 1999: 12–15.)

2.5 Turvallisuus

Teollisuusroboteista on tullut olennainen osa valmistus- ja tuotantoteollisuutta, koska ne pystyvät suorittamaan toistuvia ja vaarallisia tehtäviä erittäin tarkasti ja tehokkaasti. Teollisuusrobottien lisääntyvä käyttö herättää kuitenkin myös huolta niiden kanssa tekemisissä olevien työntekijöiden turvallisuudesta. Teollisuusrobottien turvallisuuden varmistaminen on ratkaisevan tärkeää työntekijöiden hyvinvoinnin suojelemiseksi ja työtapaturmien ehkäisemiseksi.

Teollisuusrobottien turvallisuustoimenpiteisiin kuuluvat erilaiset fyysiset ja ohjelmistopohjaiset suojatoimet. Fyysisiin suojatoimiin kuuluvat esteet, anturit ja lukitukset, jotka estävät työntekijöitä pääsemästä robotin työalueelle sen ollessa toiminnassa. Ohjelmistopohjaisiin suojatoimiin kuuluu turvallisuusluokiteltujen antureiden ja ohjausjärjestelmien käyttö, jotka valvovat robotin liikettä ja pysäyttävät sen, jos se käyttäytyy epänormaalisti.

Teollisuusrobottien turvallisen käytön varmistamiseksi organisaatiot, kuten International Organization for Standardization (ISO), ovat laatineet erilaisia standardeja ja määräyksiä. Nämä standardit kattavat useita turvallisuuteen liittyviä aiheita, kuten riskinarvioinnin, suojausvaatimukset sekä käyttäjien ja huoltohenkilöstön koulutuksen.

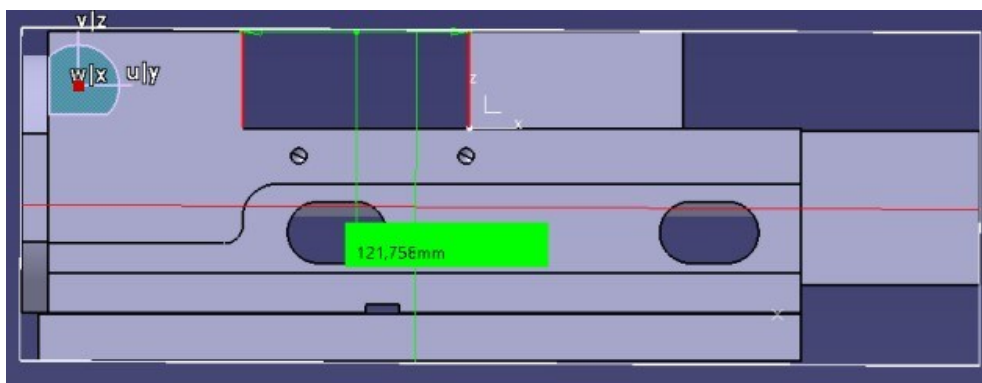
Koulutus ja opetus ovat myös tärkeitä osatekijöitä teollisuusrobottien turvallisuuden varmistamisessa. Työntekijät on koulutettava tunnistamaan mahdolliset vaarat ja ymmärtämään, miten robotteja käytetään turvallisesti. Teollisuusrobottien säännöllinen huolto ja tarkastus ovat myös olennaisen tärkeitä niiden jatkuvan turvallisen käytön varmistamiseksi.

Teollisuusrobottien turvallisuus on tärkeä huolenaihe työntekijöille ja työnantajille. Teollisuusrobotteja voidaan käyttää turvallisesti ja tehokkaasti työpaikoilla, kun käytetään asianmukaisia fyysisiä ja ohjelmistopohjaisia suojatoimia, noudatetaan vakiintuneita standardeja ja määräyksiä sekä asianmukaista koulutusta ja huoltoa. (Malm ym. Suomen automaatioseura ry: 1–3.)

3 Suunnitteluun ja toteutukseen käytetyt ohjelmat

Työn alkuvaiheessa pohdittiin, mitä työ edellyttää ja kuinka haasteet voidaan ratkaista. Luonnostelun jälkeen päätettiin valmistaa ruuvipenkille pohjalevy, jotta sen voisi kiinnittää työstökoneeseen. Haasteena oli kuitenkin saada ruuvipenkkiin paineilma automaattisesti asennettaessa työstökoneeseen. Ruuvipenkin siirtämistä varten valmistettiin uudet puruleuat robotin tarttujaa varten. Paineilmapiirien suunnittelussa hyödynnettiin Automation Studio -ohjelmistoa.

Fusion 360 -ohjelmistoa käytettiin suunniteltaessa kappaletta ja lopuksi Catia-ohjelmalla kappaleet mallinnettiin. Pohjalevyn materiaaliksi valittiin teräs. Se määritettiin Catia-mallinnusohjelmaan, jonka avulla voitiin laskea levyn massa. Lisäksi tehtiin karkea mallinnus ruuvipenkistä ja pohjalevystä, jotta ohjelmalla voitiin tarkistaa kokoonpanon massakeskipiste (kuva 2). Massakeskipisteen tietäminen on merkittävää, sillä sen avulla voidaan vaikuttaa robotin vakauden hallintaan siirroissa.



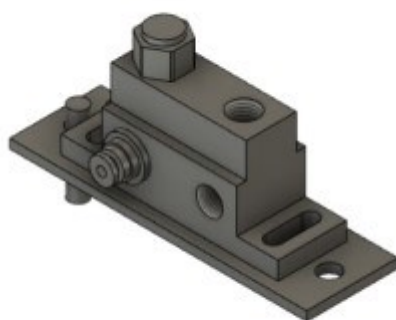
Kuva 2. Mallinnusohjelman laskelma, joka näyttää massakeskipisteen sekä etäisyyden leukojen välillä.

Suunniteltaessa ruuvipenkin leukoja haasteena on varmistaa, että tarttujan aukaisuliike on riittävä ja että penkki pysyy tasapainossa ilman notkahduksia. Kun leuat avataan, niiden välisen etäisyyden on oltava vähintään 151 mm.

Quaser-CNC-työstökeskuksessa käytetään nollapistekiinnittimiä, mutta suoraan pneumaattista koneruuvipenkkiä ei ole mahdollista kiinnittää laitteeseen. Sen vuoksi ruu-

vipenkkiin oli suunniteltava pohjalevy, joka sisältää kaksi vetotappia. Takaisinmallinnusmetodia hyödyntämällä voidaan mitata olemassa olevan fyysisen kappaleen mitat ja luoda piirustukset tai CAD-malli.

Fusion 360 -CAD/CAM-ohjelmistoa hyödynnettiin suunnitteleamalla automaatioliittimien osat (kuva 3). Ohjelma on hyvin helppokäyttöinen ja työstöradat on mahdollista tehdä suoraan mallista.

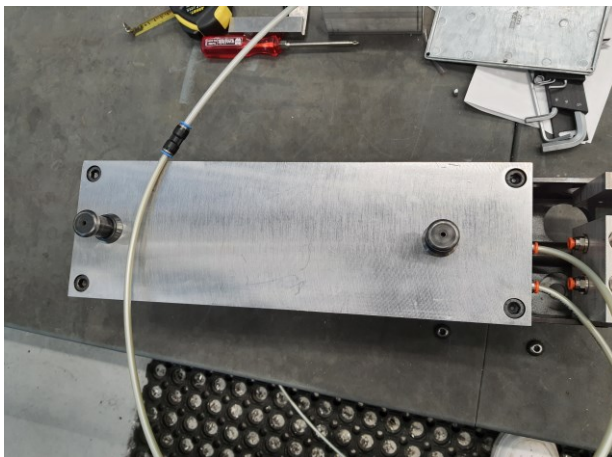


Kuva 3. Automaatioliittimien kokoonpanomalli.

Suunniteltaessa pneumaattista järjestelmää pöydän kiinnittimille ja koneruuvipenkille käytettiin Automation Studio -ohjelmaa, joka mahdollistaa hydraulii- ja pneumatiikkajärjestelmien suunnittelun ja simuloinnin. Työn alkuvaiheessa päätettiin, että työstökoneen kiinnittimiä ja koneruuvipenkkiä pitäisi pystyä käyttämään myös manuaalisesti, joten tämä ongelma ratkaistiin lisäämällä vaihtovastaventtiili kiinnittimien pneumatiikkapiiriin ja vivulla käytettävä suuntaventtiili koneruuvipenkin piiriin. Kuvissa 4 ja 5 nähdään vaihtovastaventtiili kiinnittimen ja vivulla käytettävän suuntaventtiilin osia ja asennusta.



Kuva 4. Vaihtovastaventtiili kiinnittimen ja vivulla käytettävän suuntaventtiilin osia ylhäältä.



Kuva 5. Vaihtovastaventtiili kiinnittimen ja vivulla käytettävän suuntaventtiilin asennus.

4 Konelaboratorion koneistussolu

Metropolian konelaboratorion koneistussolussa on Quaser MV154P -työstökeskus, Mazak Super Quick Turn 10M -NC-sorvi ja ABB IRB 4600 -teollisuusrobotti, joka liikkuu servorataa pitkin. Näitä koneita käytettiin tässä työssä. Robotin enimmäisnostokyyky on

60 kg, kantama 2,05 m ja korkeus 1727 mm, ja se on asennettu ABB IRBT 4004 -servorataan. Järjestelmää ohjataan ja ohjelmoidaan ABB IRB 5C Flex Pendant -ohjaimella, joka on varustettu värikosketusnäytöllä ja erillisellä kynällä. (ABB IRB 4600 Industrial Robot Datasheet 2022.)

Solussa on myös Quaser MV154P, pystykarainen 3-akselinen CNC-työstökone, ja Mazak Super Quick Turn 10M -NC-sorvi. Quaser-työstökoneen ohjaus on Fanuc 18i-MB, ja työkalumakasiiniin mahtuu 24 työkalua. Quaserin suurin moottoriteho on 15 kW, ja karan suurin kierrosluku on 12000 kierrosta minuutissa. Gerardi Span pneumaattiset nollapistekiinnittimet on asennettu työstökoneen T-urapöydälle, mikä mahdollistaa ruuvipenkin tai työkappaleen nopean kiinnittämisen, mutta rajoittaa mahdollisuutta kiinnittää monimutkaisia työkappaleita. Kuvassa 6 on Metropolian konelaboratorion koneistussolu, jossa on myös kaksi tietokonetta ja yksi suuri näyttö opetuksen tueksi.



Kuva 6. Metropolian konelaboratorion koneistussolu ja ABB IRB 4600 kiskoilla.

Toinen tietokone on yhdistetty koneistuskeskukseen ja ABB:n teollisuusrobottiin. Robottia voitaisiin teoriassa käyttää tuotannossa molempien koneiden ollessa käynnissä tai siirtää sorvattu työkappale sorvista Quaseriin jatkokäsittelyä varten. Kuvassa 6 on esitetty servorata, jonka avulla robotti voi liikkua NC-sorvin ja Quaser-työstökoneen välillä. Ohjauskaappi on varustettu Beckhoffin BK9105 -EtherNet/IP-väyläkytkentäpäätteellä, joka on liitetty useisiin signaalipäätteisiin, jotta robotti voi vastaanottaa ja lähettää signaaleja ulkoisiin järjestelmiin.

5 Komponentit ja osat

Tässä työssä tehtävää lähdettiin ratkaisemaan niin käyttämällä olemassa olevia komponentteja kuin kehittämällä uusia osia. Tavoitteena oli arvioida robotin suorituskykyä ja tunnistaa mahdolliset parannuskohteet. Käytettävissä olevia komponentteja tutkittiin, ja niistä valittiin tehtävään parhaiten soveltuvat. Tämän jälkeen päätettiin, mitkä osat tulee valmistaa ja kuinka valmistus olisi mahdollista suorittaa.

5.1 Työssä käytettävät komponentit

Työssä käytettiin useita olemassa olevia komponentteja. Näihin lukeutuivat koneruuvipenkissä käytetty PQV Pneumatic Quick Vise 2021 (kuvat 7–8), erinäiset venttiilit (kuva 9) sekä automaattiliittimet (kuva 12).



Kuva 7. Projektissa käytetty koneruuvipenkki (PQV Pneumatic Quick Vise 2021.)



Kuva 8. Koneruuvipenkissä käytetty PQV Pneumatic Quick Vise 2021 alhaalta katsottuna.

Pneumatiikassa venttiili on laite, joka ohjaa tai säätää järjestelmän ilmavirtoja. Venttiilin tehtävänä on ohjata ilmavirran suuntaa tai säätää painetta tai tilavuusvirtaa. Erialaisten tehtävien ansiosta, venttiilit voidaan jakaa kuuteen ryhmään:

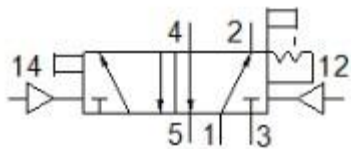
- vastaventtiilit
- suuntaventtiilit
- virtaventtiilit
- sulkuventtiilit
- erikoisventtiilit
- paineventtiilit (Hulkkonen 2008: 2).

Työssä käytettiin solenoidiventtiilejä Feston JMYH-5/2 ja MYH-5/2 (kuva 10), jotka ovat lähes identtiset. Kummassakin venttiilissä on viisi liitäntää ja kaksi toimintatilaa. Molemissa venttiileissä on viisi liitäntää sekä kaksi toiminta-asentoa. Pääasiallinen ero niiden välillä on toimintojen palautusmekanismi. MYH-venttiili ja JMYH-venttiilien minimityöpaine on 2 bar ja maksimityöpaine 8 bar.



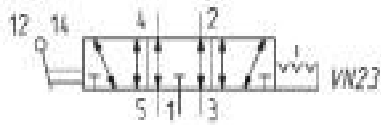
Kuva 9. Feston JMYH-5/2 ja MYH-5/2-solenoidiventtiilien piirrosmerkit.

Festo JH-5 on bistabiili 5/2-venttiili, jota ohjataan pneumaattisesti toiminta-asentoihin. Tätä venttiiliä voi käyttää sekä paineettomassa tilassa että enintään 10 bar:n paineessa. Toiminta-asentojen säätelyssä työpainealue on 1,2–10 bar. Venttiililiitännän koko on G1/8 tuumaa. Feston materiaalityypin on kestävä muottivalettu alumiini. Kuvassa 10 on esitettyinä venttiilin piirrosmerkki.



Kuva 10. JH-5-1/2-piirrosmerkki (Valves and solenoid valves 2019: 246).

Alla olevasta kuvasta 11 nähdään Camozzi 358–910, joka on bistabiili manuaalinen 5/2 venttiili. Sen oletettu työpainealue on -0,9–10 bar, joka kattaa niin alipaineen kuin korkeamman paineen käytön. Tämä venttiili on suunniteltu juuri sovelluksiin, joissa tarvitaan manuaalista ohjausta painealueella -0,9–10 bar.



Kuva 11. Camozzi 358–910:n piirrosmerkki (Valves and solenoid valves 2019: 258).

Työssä käytetty automaatioliittimenä toimi Cejn 961 -automaatioliitin (kuva 12). Liittimen virtaussuuttimen ilmanvirtaus on 143 l/min ja virtausaukko on 2,5 mm. Maksimityöpaine on 10 bar (145 psi), ja tämä on oleellista, jotta saadaan maksimaalinen puristusvoima. (Automaattiliittimet, paineilma.)



Kuva 12. Cejn 961 -automaatioliitin.

5.2 Valmistettavat osat

Robottiikassa käytettävien tarttujien tulee olla työkohtaiset, jotta varmistetaan työkappaleen luotettava pito robotin käsittelyssä. Koneruuvipenkki siirtyy samassa asennossa työstökoneen kanssa. Ruuvipenkki tukeutuu leukojen päälle, jolloin tarttujan itse ei tarvitse käyttää niin suurta puristusvoimaa ja näin leuoille ei synny momenttia.

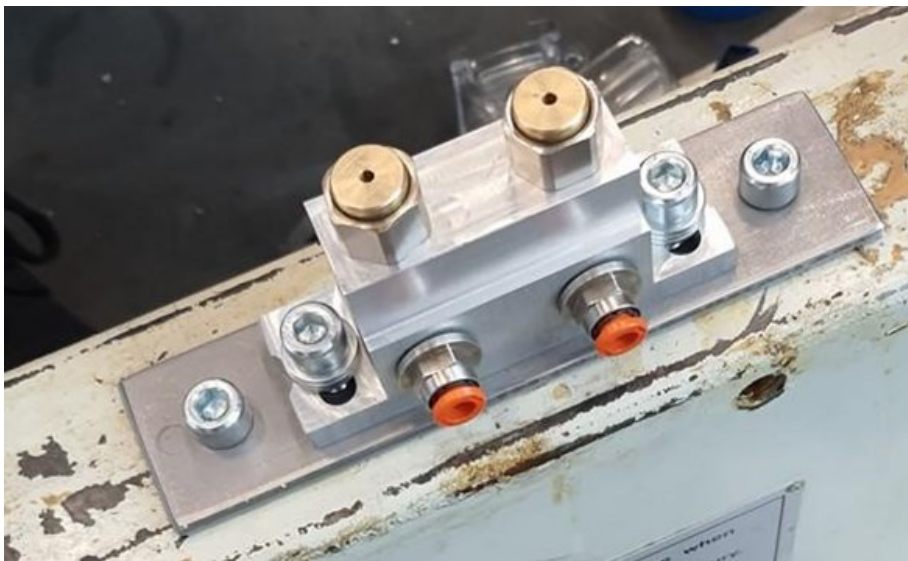
Pohjalevy asennetaan koneruuvipenkin alaosaan, joka on itsessään varustettu nollapistetapeilla, jotka ovat työstökoneen kiinnityselementtejä varten. Pohjalevy kiinnitetään käyttäen neljää ruuvia. Automaattisten paineilmaaliitäntöjen asentamiseksi tarvittavat erityiset asennusosat valmistetaan itse ja ne kiinnitetään sekä koneruuvipenkkiin että Quaser-työstökoneeseen.

Lyhyesti sanottuna robotit hyötyvät parhaiten työkohtaisista tarttujista erilaisien sovelluksien toteuttamisessa. Tämä varmistaa sen, että työkappaleen pito on luotettavan tarkka. Koneruuvipenkin siirtäminen ja kiinnittäminen on suunniteltu niin, että se varmistaa minimaalisen puristusvoiman tarpeen ja momentin vaikutuksen leukoihin. Tämä kokonaisuudessa tekee prosessista mahdollisimman tehokkaan ja vakaan. Kuvassa 13 näkyy tarttumat ja ruuvipenkki.



Kuva 13. Tarttumat ja ruuvipenkin liike.

Työstökoneen osa rakennettiin kahdesta eri komponentista. Ensin levystä, jonka tarkoitus on tulla kiinnitettäväksi työstökoneen pöydän sivupaneeliin ja toiseksi asennuskappaleesta, joka kiinnitetään lopuksi edellä mainittuun levyyn. Alemmassa kuvassa (kuva 14) on esitetty kokonaisrakente, joka muodostuu näistä kahdesta komponentista. Nämä osat ovat molemmat itsenäisesti liikkuvia, mikä tarkoittaa sitä, että ne voidaan mahdollisimman helposti asettaa oikeaan asentoon suhteessa koneruuvipenkin paineilmaliittimiin. Tämä parantaa työstökoneen toiminnallisuutta ja tehokkuutta.



Kuva 14. Levyn ja alakappaleen kokoonpano.

Tähän projektiin rakennettiin robotin leuat neljästä erillisestä komponentista, jotka on liitetty yhteen toisiinsa kuuden ruuvin avulla. Alumiini materiaalina on hyvin kevyt ja juuri sen takia hyvä tähän käyttöön. Tämä edesauttaa sitä, että robotin kokonaispaino pysyy robotin maksiminostokyvyn rajoissa, mikä parantaa turvallisuutta. Alla olevassa kuvassa (kuva 15) nähdään leukojen onnistunut nosto.

Monien nosto- ja siirtokokeilujen jälkeen työssä kokeiltiin testata myös pystysuoraan suuntautuvia törmäyksiä, jotta robotin törmäysanturit varmistettiin toimivaksi. Kokeilujen aikana ei sattunut vahinkoja anturien ansiosta.



Kuva 15. Leukojen nostokokeilu.

Lisäksi rakennettiin ruuvipenkin pohjalevy (kuva 16). Pohjalevyn materiaaliksi valittiin teräs sen ominaisuuksien, kuten kestävyuden ja lujuuden, takia. Levy valmistettiin 25 mm paksusta ja 131 x 405 mm:n kokoisesta muottiteräksestä.

Levyyn porattiin neljä 10 mm:n reikää ja sen lisäksi siihen tehtiin kaksi M16-läpikierrettä vetotappeja varten. Vetotappien etäisyys toisistaan on 300 mm, joka vastaa kiinnittimien välistä etäisyyttä. Ruuvipenkki saa tukensa poraamalla neljä M10-reikää, ja näin pohjalevy yhdistetään ruuvipenkkiin käyttämällä M0x20-ruuveja.

Tämän ansioista pohjalevyn rakenne, joka on valmistettu kestävästä muottiteräksestä, tarjoaa vankan ja vakaan perustan ruuvipenkillä. Levyyn porattujen reikien ja tehtyjen kierteiden avulla voitiin kiinnittää levy tukevasti sekä vetotappeihin, että ruuvipenkkiin.



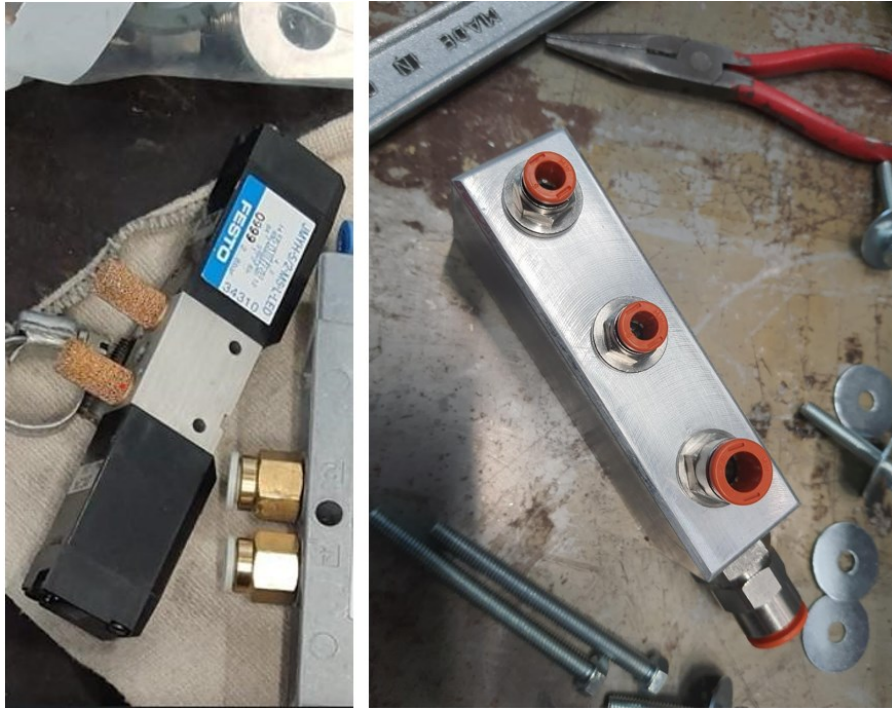
Kuva 16. Valmis muottiteräksestä tehty pohjalevy.

6 Paineilmajärjestelmän rakentaminen ja testaaminen

Paineilmajärjestelmän tarkoituksena on toimia sähköisellä venttiilillä, jotta kiinnittimiä voidaan ohjata robotilta tulevilla digitaalisilla signaaleilla. Työstökoneessa on kiinni manuaalinen vipu, jolla voidaan avata manuaalisesti työstökoneen kiinnittimet. Turvallisuussyistä manuaalinen vipu, joka ohjaa kiinnittimiä, pidetään edelleen paikallaan, jotta ne voidaan avata myös ilman sähkövirtaa.

Kiinnittimet avataan paineilman avulla, joka liitetään ruuvipenkkiin ja kiinnittimiin paineilmanverkosta. Järjestelmä on normaalisti suljettu, eli kiinnikkeet avataan paineilman avulla ja suljetaan poistamalla paine. Jotta järjestelmä saataisiin automaattiseksi, projektissa käytettiin solenoidiventtileitä, joilla voitiin ohjata nollapistekiinnittimiä ja samalla ruuvipenkkiä.

Alla olevassa kuvassa (kuva 17) nähdään kaksi tärkeää komponenttia paineilmajärjestelmää rakentaessa. Alla olevasta vasemmanpuoleisesta kuvasta nähdään kiinnittimien ohjauksessa käytettävää Festo JMYH-5/2-solenoidiventtiili ja oikealla jakotukki, joka jakaa paineilman kaikille komponenteille.



Kuva 17. Vasemmalla Festo JMYH-5/2-solenoidiventtiili ja oikealla jakotukki, joka jakaa paineilmaa eri komponenteille.

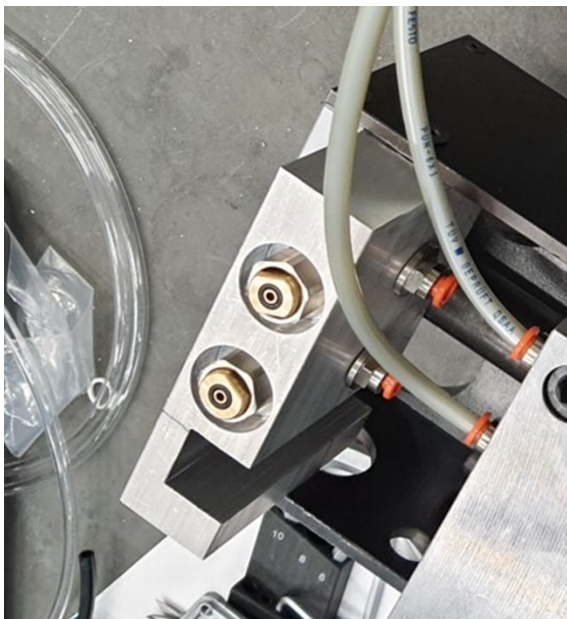
Ruuvipenkin ohjaaminen tapahtui työstökoneen kylkeen asennettavalla ruuvipenkin ohjausyksiköllä, jonka sisällä on paineensäätöventtiili, Festo MYH-5/2-solenoidiventtiili sekä manuaalinen Camozzi-venttiili. Kuva 18 esittää ruuvipenkin ohjausyksikköä. Kuvasta 19 nähdään työstökoneen kappale asennettuna Kalei-puristemuttereihin pöydän etusuojalevyssä. Kuvassa 20 on ruuvipenkin kappale, joka kohdistetaan alakappaleeseen.



Kuva 18. Ruuvipenkin ohjausyksikkö.



Kuva 19. Työstökoneen kappale.



Kuva 20. Ruuvipenkin kappale, joka kohdistetaan alakappaleeseen.

Työssä käytettiin kiinnittimen ohjaussysteemiä. Kuva 21 esittää kiinnittimen ohjaussysteemiä ennen asennusta. Lisäksi paineilmaletkut reititettiin ja asennettiin. Reitityksen toteutus on esitetty kuvassa 22. Lopuksi toteutettiin testaus, jossa käytettiin Beckhoff KL2134-output-moduulia (kuva 23).



Kuva 21. Kiinnittimien ohjaussysteemi ennen asennusta. Vaihtovastaventtiili ja Festo JH5-5/2 asennetaan ohjaussysteemin oikealle puolelle.



Kuva 22. Paineilmaletkujen reititys.



Kuva 23. Johtimet asennettuna Beckhoff KL2134 -outputmoduuliin.

7 Yhteenveto

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin toimivat tarttumat sekä pohjalevy pneumaattista ruuvipenkkiä varten. Lisäksi kehitettiin pneumaattinen järjestelmä, jolla ohjataan työstökoneen nollapistepuristimia ja ruuvipenkkiä. Järjestelmä integroitiin onnistuneesti ABB:n teollisuusrobottiin.

Tämän työn ansiosta teollisuusrobotti voi nyt ohjata pneumaattista ruuvipenkkiä, puristimia ja työstökoneen ovea. Lisäksi robotti voi liikuttaa ruuvipenkkiä uusilla tartuntaleuoilla ja kytkeä ruuvipenkin paineilman automaattisesti päälle, kun penkki lasketaan työstökoneen puristimiin. Automaation liittimet lukittuvat toisiinsa, kun penkki lasketaan alas, ja ruuvipenkin ilmalinjassa on paineensäätöventtiili paineen säätämiseksi. Samassa linjassa on myös käsikäyttöinen vipu, jolla ruuvipenkkiä voidaan ohjata ilman robottia, ja vastaava vipu työpöydällä avaa pöytäkiinnittimet.

Järjestelmän parantamiseksi ehdotetaan, että puristimien magneettiventtiili olisi jousikuormitteinen, jotta se ei avautuisi vahingossa. Jos kiinnittimet jäävät auki, kiinnittimien käsikäyttöinen vipu ei toimi ja venttiilin painikkeen painaminen pakottaa venttiilin toiseen asentoon. Lisäksi pohjalevyn painoa voidaan pienentää työstämällä levy ja tartuntalaitteet voidaan suunnitella lyhyemmiksi, jotta robotilla olisi enemmän työskentelytilaa työstökoneen sisällä. Jos työstökone varustetaan robotin I/O-järjestelmäkortilla, teollisuusrobotti ja työstökone voivat kommunikoida keskenään.

Lähteet

- ABB IRB 4600 Industrial Robot Datasheet. 2022. Verkkoaineisto. ABB Oy. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. 5.5.2022. Luettu 25.5.2023.
- Arkko, Jarno. 2018. Teollisuusrobotiikka AMK opetuksessa; työelämän vaatimukset Tampereen teknillinen yliopisto. Verkkoaineisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26889/Arkko.pdf?sequence=4&isAllowed=y> 12/2018. Luettu 26.5.2023.
- Automaatioliittimet, paineilma. Verkkoaineisto. Cejn Ab. <<https://www.cejn.com/fi-fi/products/multicouplings/auto-couplings-pneumatics/?code=auto-couplings-pneumatics-1208&filters=SeriesCodes%3DSeriesCodes%253Aseries-961-66371#parts>>. Luettu 25.5.2023.
- Ceccarellib, Marco & Rossia, Cesare. 2012. Author's Guidelines for Preparation of Papers for the International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD 2012). Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/266176078_Author's_Guidelines_for_Preparation_of_Papers_for_the_International_Workshop_on_Robotics_in_Alpe-Adria-Danube_Region_RAAD_2012>. 13.10.2012. Luettu 10.5.2023.
- Cubero, Sam. 2006. Industrial robotics, theory, modelling, and control. Germany: Pro Literatur Verlag.
- Festo MYH-5/2 solenoid valve. 2010. Verkkoaineisto. Festo Oy. <<https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/44248/MYH-%20MOYH-52-.pdf>>. 7.2.2011. Luettu 22.5.2023.
- Hulkkonen, Veli. 2008. Pneumatiikkaventtiilit. Verkkoaineisto. Fluid Finland. <<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/16.pneumatiikka-venttiilit.pdf>>. 1/2008. Luettu 26.5.2023.

Industrial robotics market by type, application, and region – global forecast to 2025. 2022. Verkkoaineisto. <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-robotics-market-643.html>>. 9/2022. Luettu 13.3.2023.

ISO 8373. Robots and robotic devices. 2012. International Organization for Standardization. Verkkoaineisto. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>>. 3/2012. Luettu 18.2.2023.

Kuivanen, Risto. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj.

Lehtinen, Hannu. Robotit. Verkkoaineisto. Suomen automaatioseura ry. www.automaa-tioseura.fi/index/tiedostot/Robotit.doc. Luettu 17.2.2023.

Malm, Timo; Heikkilä, Tapio & Ahola, M. Jari. Ihminen – robotti järjestelmän turvallisuuden arviointiprosessi. Verkkoaineisto. Suomen automaatioseura ry. <<https://www.automaa-tioseura.fi/site/assets/files/1550/f2048.pdf>>. Luettu 10.5.2023.

Nilsen, Frans. 2020. Robotiikan ja automaation tulevaisuus sekä standardisointi Suomessa. Verkkoaineisto. <<https://metsta.fi/robotiikan-ja-automaa-tion-tulevaisuus-seka-standardisointi-suomessa/>>. 25.8.2020. Luettu 29.2.2023.

PQV Pneumatic Quick Vise. 2021. Verkkoaineisto. Safeway. <https://safeway-vise.com/en/shop/machine-vise-en/mc-en/mc_pn-en/pqv/>. Luettu 6.2.2023.

Valves and solenoid valves. Verkkoaineisto. Camozzi. <https://www.avs-yhtiot.fi/wp-content/uploads/2020/07/CA-Valves-and-solenoid-valves_ENG_2019.pdf>. Luettu 29.2.2023.

Ventä, Olli; Honkatukia, Juha; Häkkinen, Kai; Kettunen, Outi; Niemelä, Marketta; Airaksinen, Miimu & Vainio, Terttu. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Verkkoaineisto. Valtioneuvoston yhteinen julkaisuarkisto Valto. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161102>>. 16.10.2018. Luettu 29.3.2023.