



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Rönnlund

ROBOTISOIDUN JÄYSTEENPOISTON KEHITTÄMINEN

Case: Engcon Svivel Piston

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Toni Rönnlund
Opinnäytetyön nimi	Robotisoidun jäysteenpoiston kehittäminen
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	47 + 3 liitettä
Ohjaaja	Marko Rantasalo

Opinnäytetyössä haettiin ratkaisua tuotteen jäysteenpoistoprosessin tehostamiseen. Jäysteenpoisto pitäisi pystyä suorittamaan automaattisesti, paremmalla ja tasaisemmalla laadulla.

Tuotteen valmistus on siirretty joustavaan automaattiseen tuotantoyksikköön, jossa tuote saadaan kerralla valmiiksi koneistetuksi, myös miehittämättömällä käytöllä. On kuitenkin todettu, että valmiiksi koneistettujen tuotteiden jälkikäsitteystä kuten jäysteenpoistosta, on tulossa pullonkaula tuotannossa. Yritykselle sopivin vaihtoehto oli kehittää automaattista jäysteenpoistoa. Ensimmäinen vaihe suunnittelussa oli löytää ja kehittää sopivat jäysteenpoistotyökalut. Jotta saataisiin tarkat pyörimisliikkeet, valittiin sähköservomoottori voimalähteeksi, tätä ohjattaisiin robotin ohjelman kautta.

Testauksien tuloksena uutta laitteistoa on helppo käyttää ilman erityistä ammattitaitoa. Koneistajien toimenkuva painottuisi nyt enemmän koneiden ja työkalujen huoltoon sekä laadun varmistamiseen.

ABSTRACT

Author	Toni Rönnlund
Title	Development of Robotized Deburring
Year	2018
Language	Finnish
Pages	47 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Marko Rantasalo

The aim of the thesis was to solve the deburring of the product to improve the efficiency of the process. Deburring should be able to perform automatically, better and more evenly.

The manufacturing of the product has been transferred to a flexible automatic production unit where the machining of the product can be finished at once, including through unmanned operation. However, it has been discovered that post-processing, such as deburring, of machined products is becoming a bottleneck in the production. The most suitable option for the company was to develop automatic deburring. The first stage in planning was to find and develop appropriate deburring tools. An electrical servo motor controlled by the robot program was chosen to get a controlled rotation for the deburring tools.

As a result of the tests, new equipment has been introduced which is easy to use without any special expertise. The work of operators can now focus on quality assurance and maintenance of machines and tools.

Keywords Deburring, flexible manufacturing, robotics and development

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Työn tarkoitus	10
1.2	Oy Nimetech Ab	11
1.3	Joustavaa konepaja-automaatiota.....	13
1.3.1	FMU	14
1.3.2	FMC	14
1.3.3	FMS.....	14
2	ROBOTIT.....	16
2.1	Teollisuusrobotti	18
2.2	Motoman teollisuusrobotti	19
2.2.1	Motoman ES165N.....	20
3	JÄYSTE.....	21
3.1	Jäysteen muodotuminen.....	22
3.2	Jäysteen haitat	25
3.3	Jäysteenpoisto	25
4	SERVOJÄRJESTELMÄT	28
4.1	Servotekniikan edut	28
4.2	AC-servomoottori	28
4.3	Säätötekniikka.....	29
4.3.1	Avoin ohjausjärjestelmä.....	29
4.3.2	Suljettu järjestelmä.....	30
5	PROJEKTIN TOTEUTUS	31
5.1	Suunnittelu	31
5.1.1	Engcon rototiltti	32
5.1.2	Svivel Piston	33
5.1.3	Jäystettävä kohta	34
5.1.4	Jäysteenpoistotyökalut	35

5.1.5	Jäysteenpoistoaseman konseptimalli.....	36
5.1.6	Valmis jäysteenpoistoasema	37
5.1.7	Jäystepoistoaseman testaus	38
5.2	Robotin valmiudet.....	39
5.2.1	Anturointi	40
5.3	Servomoottori	41
5.4	Ohjelmoitava logiikka.....	43
5.5	Servomoottorin monitorointi	44
5.6	Ohjelmointia	45
5.7	Jäysteenpoiston työkierto.....	46
6	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET.....	48

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Nimetech Oy vuonna 1997.	s.12
Kuva 2. Konepaja-automaation jaottelu.	s.13
Kuva 3. Yleisimpiä robottityyppejä ja rakenteet.	s.17
Kuva 4. Teollisuusrobotin työskentelyalue.	s.18
Kuva 5. 6-akselinen Motoman teollisuusrobotti.	s.19
Kuva 6. Esimerkkejä jäysteen ominaisuuksista.	s.21
Kuva 7. Jäysteen muodostuminen kierukkaporalla.	s.22
Kuva 8. Jäysteen muodostuminen kiekkojyrsimellä.	s.23
Kuva 9. Koneistuksessa erilaisia jäysteen muodostumia.	s.24
Kuva 10. Työstörajoja, perinteiset ja Edgecam waveform.	s.24
Kuva 11. Pyörivät täyskovametalliset viilat.	s.26
Kuva 12. Työkalukarat.	s.27
Kuva 13. Tyypillinen kestopommoitettu servomoottori.	s.29
Kuva 14. Engcon rototiltillä varustettu kaivinkone.	s.32
Kuva 15. Svivel Piston.	s.33
Kuva 16. Jäystettävä kohta.	s.34
Kuva 17. Kierukkaporista tehdyt jäysteenpoistotyökalut.	s.35
Kuva 18. Jäysteenpoistoaseman konseptimalli.	s.36
Kuva 19. Valmis jäysteenpoistoasema.	s.37
Kuva 20. Automaattista jäysteenoistoa.	s.38

Kuva 21. Robotin lähdöt.	s.39
Kuva 22. Robotin tulot.	s.39
Kuva 23. Induktiivinen anturi.	s.40
Kuva 24. Mitsubishi HG-KR43 (Step-file).	s.41
Kuva 25. Mitsubishi MR-J4-TM.	s.42
Kuva 26. Siemens S7-1200.	s.43
Kuva 27. S7 PLC HMI.	s.44
Kuva 28. Logiikan toimintakaavio.	s.45
Taulukko 1. Robotin akselitiedot.	s.20
Taulukko 2. Työnjako.	s.46

LYHENTEET

JOT	Juuri oikeaan aikaan (Just On Time)
KET	Keskeneräiseen tuotantoon sitoutunut pääoma
FMU	Joustava automaattinen tuotantoyksikkö (Flexible Manufacturing Unit)
FMC	Joustava automaattinen tuotantosolu (Flexible Manufacturing Cell)
FMS	Joustava automaattinen tuotantojärjestelmä (Flexible Manufacturing System)
FAS	Automaattinen kokoonpanojärjestelmä (Flexible Assembly System)
FMF	Joustava automaattinen tehdas (Flexible Manufacturing Factory)
NC	Numeerinen ohjaus (Numerical control)
CNC	Tietokoneistettu numeerinen ohjaus (Computer numerical control)
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus (Computer Aided Manufacturing)
PLC	Vapaasti ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller)

LIITELUETTELO

LIITE 1. Robotin pääohjelma

LIITE 2. Robotin aliohjelmat

LIITE 3. Servomootorin tyyppikilpi

1 JOHDANTO

Nykypäivän konepajoissa automaation rooli on suuri. Automaatiota tulee kehittää jatkuvasti, jotta tuotteiden valmistus kustannuksia saadaan pidettynä alhaisena ja tuotannon toimituskykyä hyvänä. Myös tuotteen läpimenoaika on pidettävä lyhyenä, jotta sidottua pääomaa ei jää yritykseen turhaan, suuriin varastoihin ei ole varaa. Toisinsanoin kyky tuottaa vain oikeita tuotteita vain oikeaan aikaan (JOT). Suomalaiset konepaja yritykset täytyy myös olla joustavia koska volyymit ja valmistuserät ovat pieniä. FM-järjestelmät antavat mahdollisuuden joustavuuteen pienille valmistuserille ja lyhyille toimitus ajoille. Joustavilla tuotanto menetelmillä parannetaan yrityksen reagoitukykyä. Kun kysyntä on suuri, voidaan lisätä kapasiteettia miehittämättömällä ajolla ja vastaavasti säättää tuotantoa alas, kun kysyntä laskee. Tuotantoa voidaan ohjata ilman, että se vaikuttaa negatiivisesti työaikoihin. FM-järjestelmät antavat myös konepajoille mahdollisuuden kapasiteetin korkealle kuormitus asteelle. Hyvin automatisoitu tuotanto antaa mahdollisuuden joustavaan uudelleensuunnitteluun muuttuneissa kuormitus- ja toimituskatilanteissa. Käytännössä kuormitusta on mahdotonta saada täysin tasaiseksi koska kysyntä ei ole tasainen.

1.1 Työn tarkoitus

Tämän lopputyön tarkoitus on kehittää robotti-monitoimisorvi tuotantoyksikön jäysteen poistoa. Tuotantoyksiköstä valmistuu kappaleita huomattava määrä miehittämättömällä ajolla. Koneistetut kappaleet eivät ole kuitenkaan aivan valmiita vaan joitain hankalasti jäyستettäviä kohtia jää tekemättä automaattisesti ja se on tehtävä käsityönä jälkeinpäin. Tällainen työ voi olla yksitoikkoista ja pahimmissa tapauksissa aiheuttaa rasitusvammoja ja olla henkisesti rasittavaa. Henkilökunnalla on kuitenkin usein muitakin tehtäviä. Kun valmistusprosessissa usein tehostetaan jalostavaa työvaihetta, nämä jalostamattomat mutta välttämättömät työvaiheet kuten jäysteenpoistoa ei kehitetä samalla tavalla, jolloin ne alkavat aiheuttaa pullonkauloja tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että puolivalmista tuotetta jää odottamaan varastoon. Tästä syystä KET: in määrä kasvaa nopeasti yrityksessä ja tuotantotilat täyttyvät puolivalmiilla tuotteilla. Tuotannon käytössä oleva pinta-ala on

arvokasta ja pitäisi käyttää jalostavaan tarkoitukseen niin tehokkaasti, kun vaan mahdollista. Tuotantoyksiköstä löytyy jo paineilmamoottoreilla varustettuja hiomalaitteita, joilla saadaan pääasiassa vain ulkopintojen jäysteet poistettua hyvin koneistetuita tuotteista. On kuitenkin todettu, että sisäpuoliset jäysteet ovat hankalimmat poistaa paineilmakoneilla, esimerkiksi reikien risteyskohdissa. Ongelmana on, että jäyste vain taipuu eteenpäin toiseen reikään poistumatta, koska olemassa olevissa paineilmakoneissa on vain päälle- ja pois -tilat.

Syntyi ajatus, kuinka voisi hallita jäysteenpoistotyökaluja niin, että ne vastaisi kädenliikkeitä manuaalisesta jäysteenpoistosta. Robotti toimii valmistusyksikössä kappaleen vaihtajana, eli työkappale on kiinni robotin ranteessa olevan tarttujan leuoissa. Tämä tarkoittaa, että jäysteenpoistotyökalut ovat kiinteitä telineessä ja työkappale liikkuu. Päätettiin kokeilla sähkö-servotekniikkaa liikkeen ohjaamiseen. Servoja voitaisiin ohjata halutuilla parametreilla ohjelmoitavalla PLC-tekniikalla. Impulssit ohjattaisiin robotin tavallisilla I/O-lähtösignaaleilla, eli robotin ohjelmassa määrätään koska jäysteenpoistotyökalu käynnistetään lähtösignaalilla. Kun vastaavasti jäysteenpoisto vaihe on valmis, takaisinkytkentä tapahtuisi servon logiikalta robotin tulosaatteen kautta. Sähkö-servoilla toimiva jäysteenpoisto toisi lisää mahdollisuuksia innovatiivisille ratkaisuille.

1.2 Oy Nimetech Ab

Nimetech Oy perustettiin 1993 Maalahteen, alihankkijana metalliteollisuuteen.

Yrityksessä työstetään alumiinia, valurautaa (GRS 200, GRP 400), terästä ja ruostumatonta terästä nykyaikaisilla CNC-ohjatuilla työstökoneilla. Yritys on erikoistunut sorvaukseen, jyrskintään, kokoonpanotöihin ja testaukseen.

Nimetech Oy on myös systeemittoimittaja: eräille asiakkaille tehdään valmis tuote alusta loppuun. Joillekin asiakkaille tehdään osakokoonpanoja. Valmistus tapahtuu asiakkaiden piirustusten mukaan. Nimetech Oy on erikoistunut pienten ja keskisuurten sarjojen valmistamiseen. Kilpailukyky perustuu nykyaikaisiin CNC-ohjattuihin työstökoneisiin ja osaavaan henkilöstöön. Kilpailukykytekijöitä ovat laatu, joustavuus ja nopeus.

Nimetech Oy:n asiakkaita ovat alihankintapalveluksia ostavat konepajat sekä kone- ja laitevalmistajat. Alihankkijana systeemittoimittajana yrityksellä on vakiintunut asema. /1/



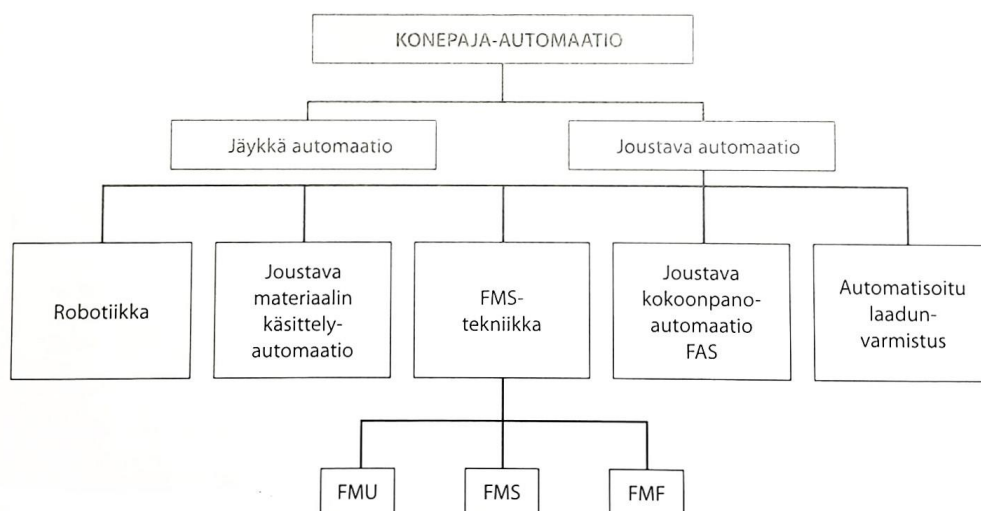
Kuva 1. Nimetech Oy vuonna 1997. /1/

1.3 Joustavaa konepaja-automaatiota

Teollinen tuotantoautomaatio on syntynyt USA:n autoteollisuudessa. Siellä otettiin ensimmäisenä käyttöön linjat tuotanto sekä pitkälle automatisoidut osien valmistuskoneet. Laitteet pohjautuivat jäykkään tuotantoautomaatioon, eli ne perustuivat mekaanisiin ohjaukseyriin ja kytkentänokeihin. Kun tuotteeseen tuli muutoksia, laitteiston asetuetyöt ja tuotannon virheetön käynnistys ja toiminta vievät tavallisesti viikkoja tai jopa kuukausia. Usein tuote- tai mallimuutos merkitsisi samalla uuden tuotantolinjan suunnittelua ja rakentamista. Vanha järjestelmä oli yleensä käyttökelvoton ja romutettiin. /2, s. 13/

Vuonna 1952 Yhdysvaltojen lentoteollisuus otti käyttöön ensimmäisen numeerisesti ohjatun pystyjyrsinkoneen yhdessä Massachusetts Institute of Technologyn (MIT) kanssa. Vuosikymmen lopulla julkistettiin myös ensimmäinen teollisuusrobotti. /2, s. 14/

1960-luvulla kehitettiin työstökoneiden ohjelmointi- ja ohjauj järjestelmiä. Syntyi joustavan tuotantoautomaation perusajatus. FM-järjestelmien käyttö vakiintui 1980-luvulla. Suomessa FM-järjestelmät ja robotisoinnit vakiintuivat asemansa 1990-luvun alussa. /2, s. 14/



Kuva 2. Konepaja-automaation jaottelu. /3, s. 450/

1.3.1 FMU

Joustavan konepaja-automaation perusyksikkö on FMU, eli Joustava automaattinen tuotantoyksikkö. Se on NC-työstökone, joka on varustettu sellaisilla käyttölaiteilla, että se mahdollistaa miehittämättömät käyttöjaksot. Esimerkiksi työkappaleiden käsittely ja jäysteenpoisto tehdään robotin avulla. /3, s. 452/.

1.3.2 FMC

Joustava automaattinen tuotantosolu FMC on lähes vastaava kuin joustava tuotantoyksikkökin, mutta siihen on sijoitettu tavallisesti useampia erilaisia työstökoneita samaksi ryhmäksi /3, 453/. FMC on käsitteenä hieman epäselvä, koska se sijoittuu FMU:n ja FMS:n välille. Jos järjestelmässä tapahtuu siirtoja solujen tai valmistusyksiköiden välillä, tulisi jo puhua joustavasta valmistusjärjestelmästä. On havaittavissa merkkejä siitä, että FMC-nimitys olisi asteittain jäämässä pois käytöstä. /2, s. 243/

1.3.3 FMS

Joustavia automaattisia tuotantoyksiköitä voidaan edelleen yhdistää joustaviksi tuotantojärjestelmiksi (FMS). Se on kahden tai useamman NC-työstökoneen ympärille suunniteltu ja rakennettu tuotantojärjestelmä, johon liittyy materiaalinkäsittelyjärjestelmä. /3, s. 453/.

- FMS-järjestelmä kykenee ylläpitämään keskeytymätöntä tuotantoa joko pienellä miehityksellä tai jopa täysin miehittämättömänä huomattavan osan toiminta-ajastaan.
- Työkappaleiden ja materiaalin käsittely ja kuljetukset on automatisoitu siirtojärjestelmällä, johon usein kuuluu automaattivarasto.
- FMS-järjestelmissä on niiden laajuuden mukaan jopa kymmeniä NC-työstökoneita. Työstökoneissa on yleensä terävalvonta ja kameravalvonta, jotta pitkät miehittämättömät jaksot ovat mahdollisia.
- Järjestelmien työkappalevalikoimassa saattaa olla muutama työkappale tai useita satoja erilaisia työkappaleita. Niiden valmistusmäärät voivat poiketa

hyvin paljon toisistaan. Useimmista järjestelmissä työkappaleet voivat liikkua järjestelmässä valinnaisesti järjestelmäohjauksen avulla. Näin työvaiheiden järjestys on vällinainen tai järjestelmässä on useita toisensa korvaavia NC-koneita.

- Järjestelmä pystyy henkilöstön osalta joustavasti sopeutumaan markkinoilla tapahtuviin muutoksiin: järjestelmä voidaan mitoittaa niin, että kolmas työvuoro ja viikonloput ajetaan miehittämättömänä. Jos tilauskanta vähenee, miehittämättömät jaksot jätetään pois.
- Järjestelmää voidaan laajentaa vaiheittain eli siihen voidaan lisätä NC-työstökoneita ja latausasemia. Järjestelmän NC-työstökoneita pitää pystyä tarvittaessa käyttämään myös yksittäin. /3, s. 450–451/

2 ROBOTIT

Teollisuuskäytössä robotit yleistyivät 1970-luvun alussa. Aikaisemmin kappaleenkäsittelyyn käytettiin mekaanisia, hydraulisia ja pneumaattisia toimilaitteita. Tuotanto oli tavallisimmin varastotuotantoa ja tuotteet oli vakioituja. Vaatimukset tuotannon joustavuudesta, asiakasmyötäisyydestä ja pienien sarjojen yleistymisen edellyttivät, että tuotantoautomaatiossa otettiin käyttöön ohjelmallisesti muunneltavat toimi- ja kappaleenkäsittelylaitteet. /2, s. 139/

Standardin SFS-EN 775 mukaan teollisuusrobotti on:

Automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitava ja monikäyttöinen käsittelylaite, jolla on useita vapausasteita, ja joka voi olla joko kiinteästi paikalleen tai liikkuvaksi asennettuna, käytettäväksi teollisuuden automaatiojärjestelmissä. /3, s. 141/

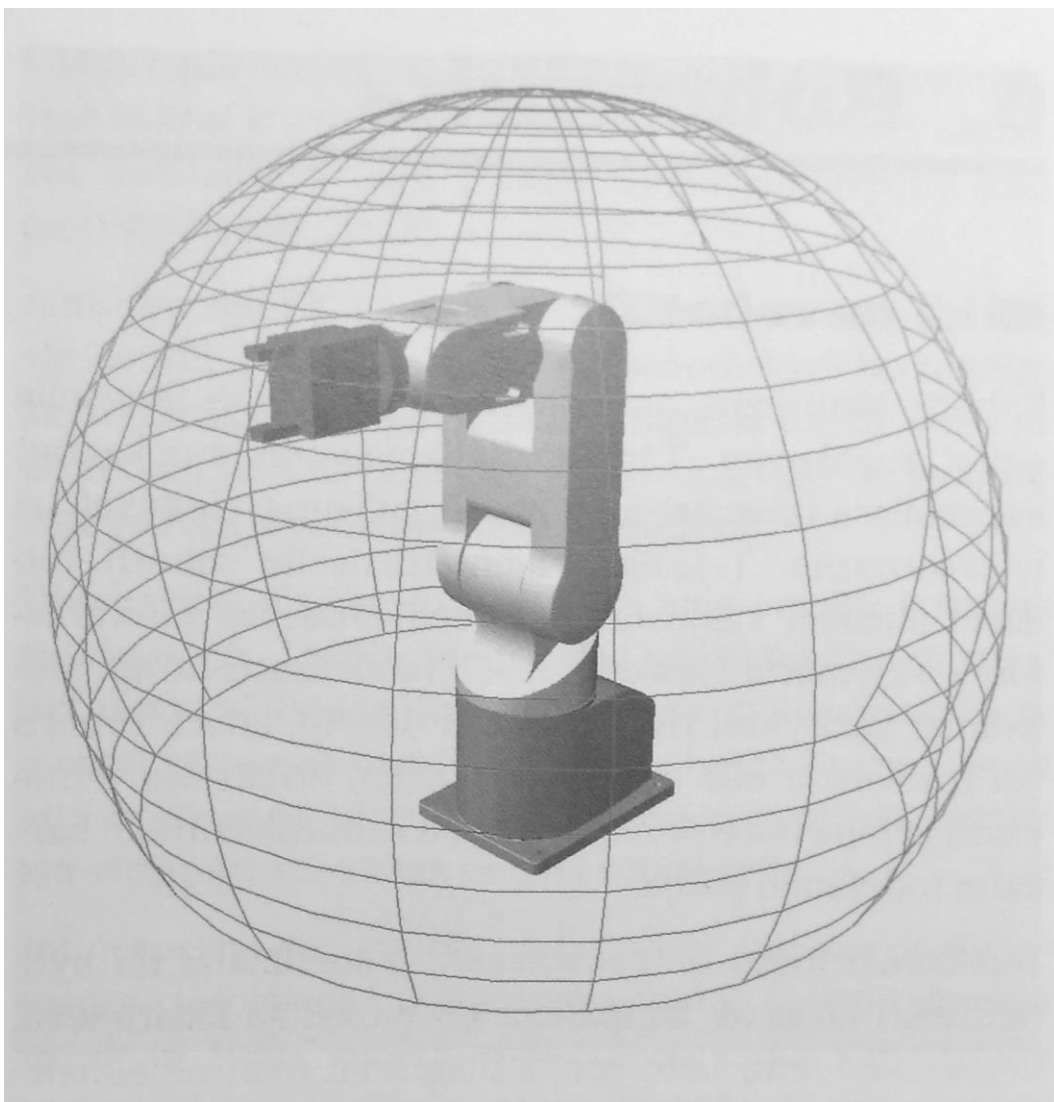
Kuvassa 3, standardi ISO 8373 määrittelee teollisuusrobottien sanastoa ja myös yleisimmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. /4, s. 12/.

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkais-rakenteinen robotti			

Kuva 3. Yleisimpiä robottityyppejä ja rakenteet. /4, s. 12/

2.1 Teollisuusrobotti

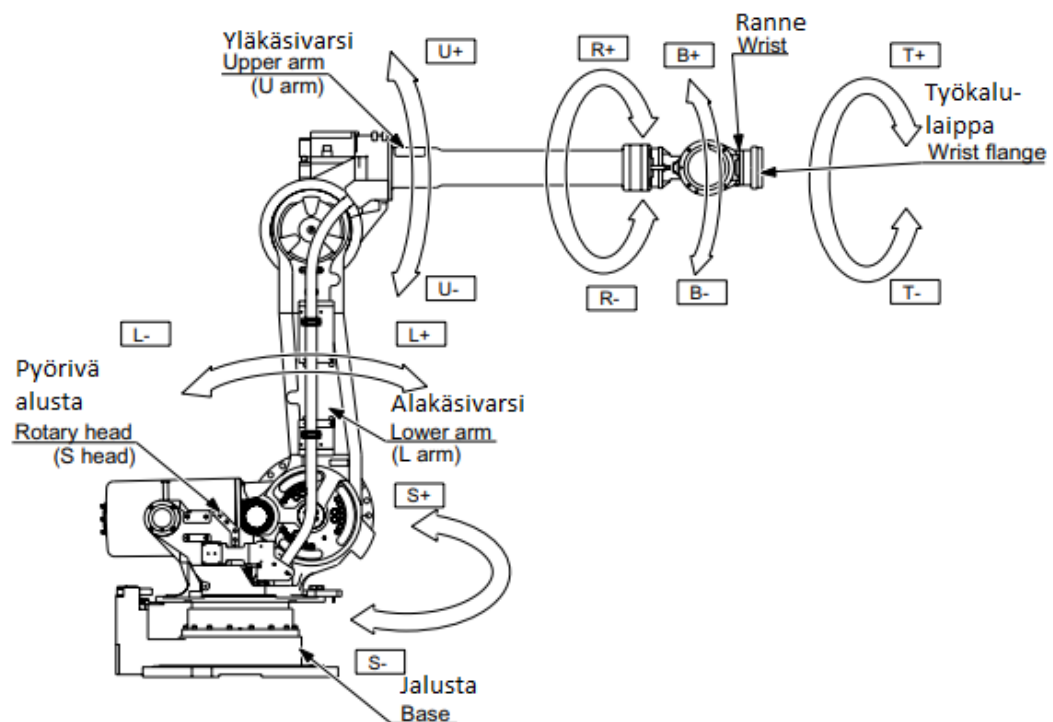
5- ja 6-akseliset nivelvarsirobottien joustavuus ja monikäyttöisyys on tehnyt niistä teollisuudessa yleisimmin käytetyn robottimallin. Niiden sovellusalueita ovat mm. erilaiset kokoonpanotehtävät, työstökoneiden palvelu, pakkaus, hitsaus ja maalaustehtävät. Nivelvarsirobotin työskentelyalue on pallomainen ja 6-akselisen robotin tarttuja voidaan asemoida mihin tahansa asentoon työskentelyalueella. /5, s. 260/



Kuva 4. Teollisuusrobotin työskentelyalue. /5/

2.2 Motoman teollisuusrobotti

Tässä opinnäytetyössä kehitetään ratkaisua koneistetun tuotteen jäysteenpoisto prosessin tehostamisessa teollisuusrobotin avulla. Jäysteenpoisto pitäisi pystyä suorittamaan automaattisesti liikuttamalla työkappaletta robotin mekaanisen tarttujan leuoissa. Kun osien koneistus on osin miehittämätöntä, automaattinen jäysteenpoistokin tulisi toimia miehittämättömänä. Kuvassa 5, käytettävissä olevan Motoman teollisuusrobotin 6-vapausastetta.



Kuva 5. 6-akselinen Motoman teollisuusrobotti. /6/

2.2.1 Motoman ES165N

Robotin teknisiä suoritusarvoja ovat:

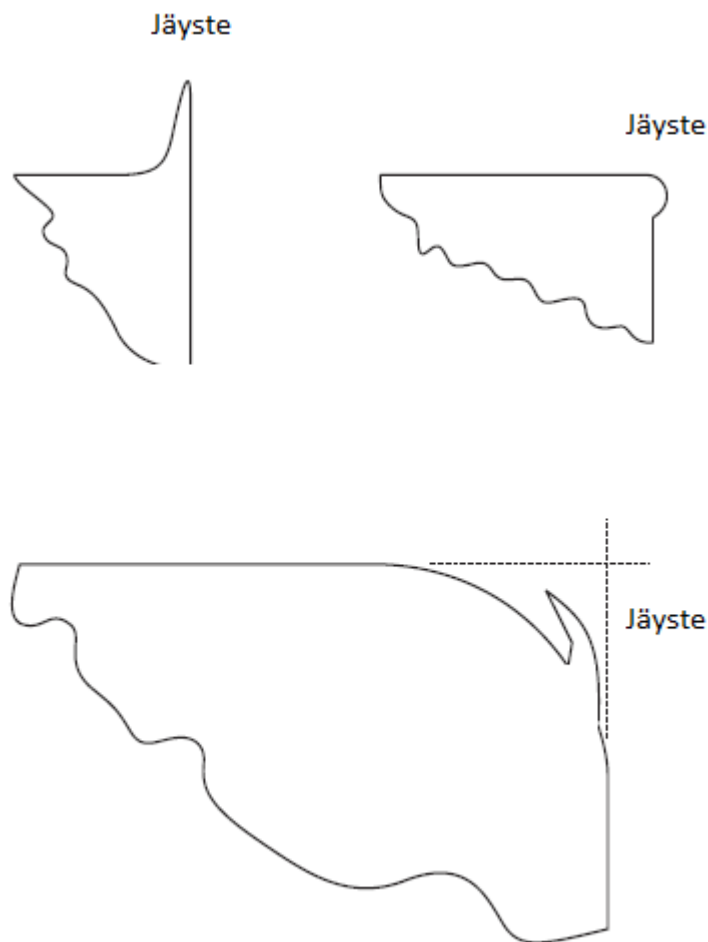
- ulottuvuus 2651 mm
- kuormankantokyky 165 kg
- toistotarkkuus $\pm 0,2$ mm
- paino 1200 kg
- sähkövirtavaatimukset 7,5 kW.

Taulukko 1. Robotin akselitiedot.

Akselit	Maksimiliikealue [°]	Maksiminopeus [°/sec]	Sallitut momentit [Nm]	Sallitut inertiamomentit [kg/m ²]
S	$\pm 180^\circ$	110	-	-
L	+76/-60	110	-	-
U	+230/-142,5	110	-	-
R	± 360	175	921	85
B	± 130	145	921	85
T	± 360	240	490	45

3 JÄYSTE

Plastisen muodonmuutoksen seurauksena lastuavassa työstössä työkappaleen kahden pinnan teoreettisen reunan yli menevä materiaaliulkonema kutsutaan jäysteeksi. Jäyste voi myös olla teoreettisen reunan sisäpuolella.

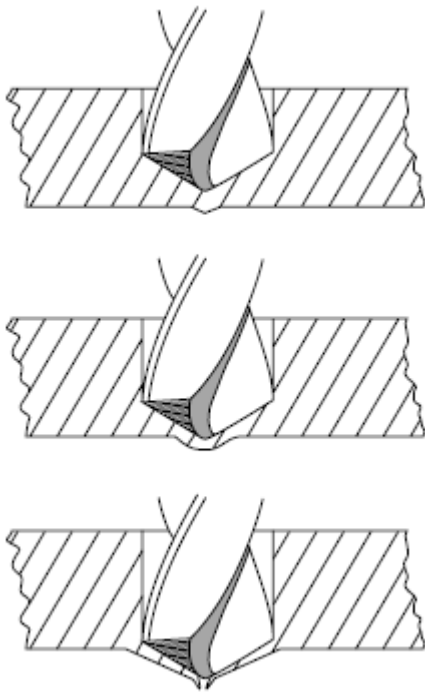


Kuva 6. Esimerkkejä jäysteen ominaisuuksista. /7, s. 36/

3.1 Jäysteen muodotuminen

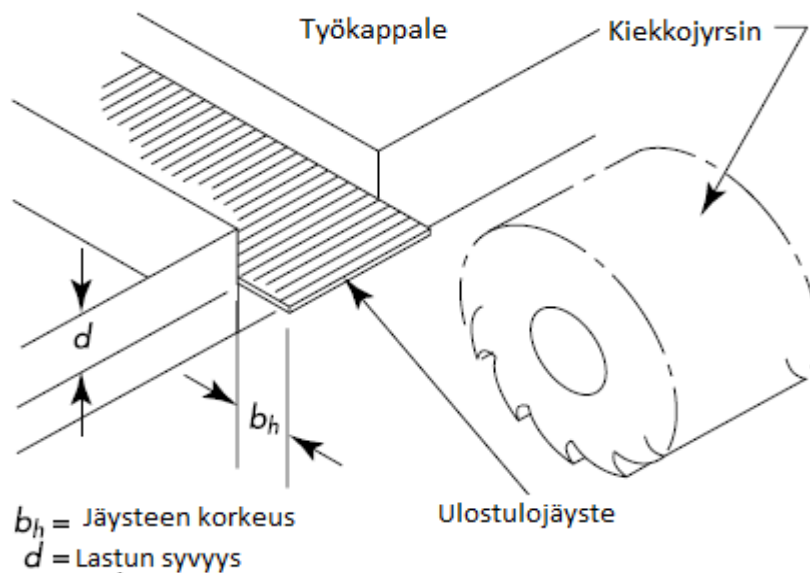
Jäysteen muodostuminen hankaloittaa tuotantoa erityisesti silloin, kun on porattava syviä läpireikiä. Tällaisissa tapauksissa jäystettä muodostuu työkappaleeseen niin sisäänmenoaukkoon kuin ulostuloonkin. Ulostulojäyste tuottaa eniten hankaluuksia.

Jäysteen muodostumista ei voi täysin välttää lastuavassa koneistuksessa, mutta sen minimointia voi hallita työstöparametreilla. Jos porauksessa nostetaan syöttöä myös jäysteen korkeus ja paksuus kasvaa. Eteenkin jäysteen paksuus tekee sen poistamisen haastavaksi. /7, s. 14/



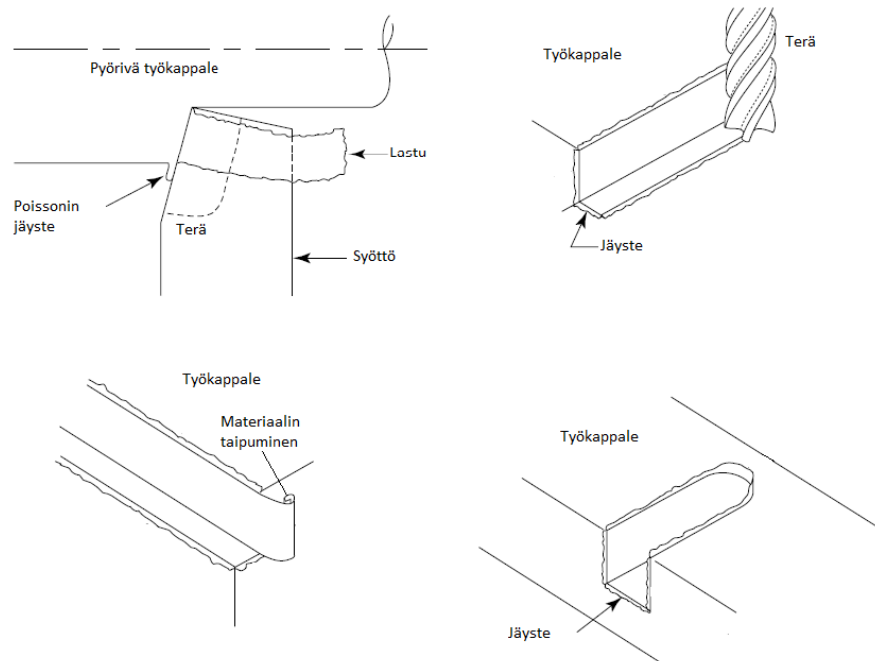
Kuva 7. Jäysteen muodostuminen kierukkaporalla. /7, s. 64/

Ulostulojäyste on vaikeasti poistettava myös muissa lastuavissa menetelmissä kuten kiekkojyrsinmenetelmällä. Tämä materiaalin taipuminen on suoraan yhteydessä lastuamissyvyyteen kuten nähdään kuvassa 8. Paksun tai korkean jäysteen poistaminen on hankalaa ja nostaa valmistuskustannuksia ja aikaa kuluu nopeasti. Näissä tapauksissa lastuamissyvyyttä ja syöttöä tulisi pienentää helpottaakseen jäysteenpoistoa, eli jo koneistuksen ohjelmointi vaiheessa tulisi miettiä, millä työstöarvoilla ja menetelmillä koneistus toteutetaan, jotta tuotteen kokonaisvalmistus aika jäysteenpoistineen olisi mahdollisimman lyhyt.



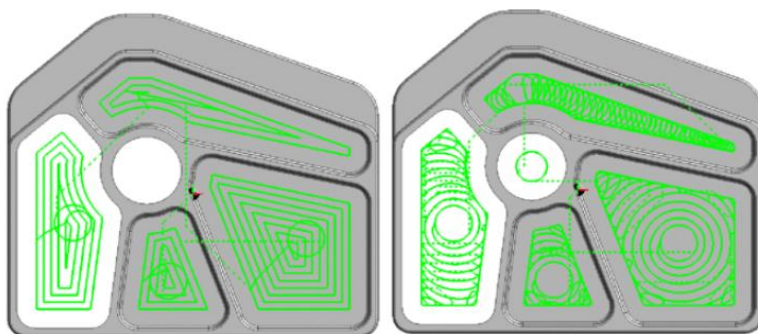
Kuva 8. Jäysteen muodostuminen kiekkojyrsimellä. /7, s. 64/

Kuvassa 9, nähdään sorvausterän ja tappijyrsimen tyypilliset jäysteen muodostumat. Terägeometria, teränkunto, työstöradat ja työstöarvot ovat suoraan yhteydessä jäysteen muodostumiseen. /7, s. 3/.



Kuva 9. Koneistuksessa erilaisia jäysteen muodostumia. /7, s. 53–64/

Nykypäivän CAM-ohjelmissa tietokone laskee työstöradat dynaamisesti ja käyttää esimerkiksi tappijyrsimen koko leikkuualueetta, kun perinteisesti usein on käytetty vain tappijyrsimen päätä, mikä kuluttaa työkalua epätasaisesti. Kun työkalun vaihtoväli pitenee ja jäysteitä syntyy vähemmän, työ nopeutuu. Dynaaminen liike on tehokkaampaa ja tuottaa tasaisen lastukuorman, joka vähentää värinää ja siirtää lämpöä pois työkappaleesta lastun mukana. Jouhevalla liikkeellä eliminoidaan äkinäiset suunnan muutokset ja ylläpidetään työstökoneen tarkkuutta. /12/



Kuva 10. Työstöratoja, perinteiset ja Edgecam waveform. /13/

3.2 Jäysteen haitat

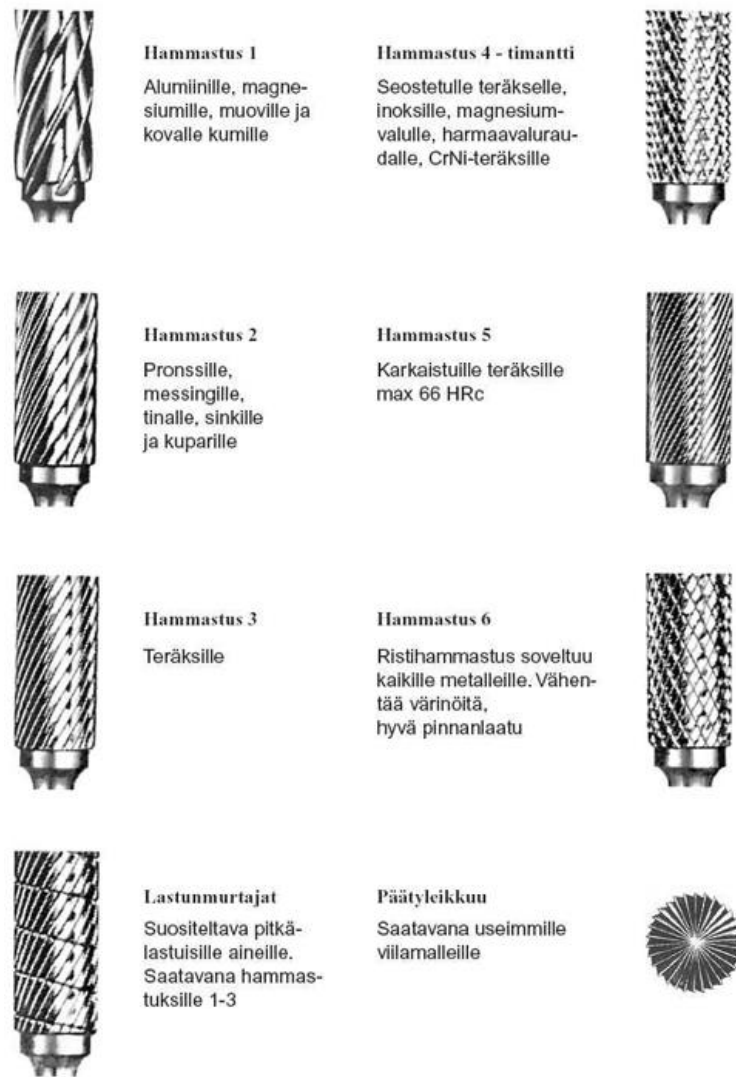
Huonosti jäystetyt reunat vaikuttaa negatiivisesti tuotteen toimivuuteen, turvallisuuden ja laatuvaikutelmaan. Tyypilliset haitat tuotannossa:

- terävät reunat ja jäysteet leikkaavat haavoja käsiin
- kappaleiden kokoonpantavuus vaikeutuu
- jumittaa mekanismeja
- nopeampi kuluminen liikkuvissa osissa
- aiheuttaa oikosukuja
- vahingoittaa tiivisteitä ja o-renkaita
- irtoavat jäysteet tukkivat suodattimet ja aiheuttaa kulumista
- ohut maalikerros terävissä reunoissa, ennenaikainen korrosio /7, s. 1/

3.3 Jäysteenpoisto

Jäysteenpoistoon keksitään jatkuvasti uusia työkaluja ja menetelmiä. Tässä oppinäytetyössä keskitytään mekaanisiin menetelmiin, yleisimpiä ovat erilaiset pyörivät koneviilat.

Koneviilat ovat yleensä täyskovametallisia ja kestää kulutusta paljon pidempään kuin esimerkiksi hiomapaperilla toimivat ratkaisut. Viilaa valittaessa tulee ensin miettiä mikä olisi oikea terägeometria työkaluun, tähän vaikuttaa pääasiassa työstettävän materiaalin ominaisuudet kuten kovuus ja sitkeys. Kuvasta 10, nähdään hammastuksien erot ja mihin materiaaliin ne sopivat, jos valittaisiin teräkselle tarkoitettu hammastus alumiinille, johtaisi se materiaalin hitsautumiseen terään kiinni ja aiheuttaisi huonoa pinnanlaatua ja uusia jäysteitä työkappaleeseen. Sopivat liikeparametrit, karan pyörimisnopeus ja robotin liikenopeus saadaan parhaiten selville testaamalla. Myötäjärsinnällä minimoidaan värähtelyä ja parannetaan pinnanlaatua.



Kuva 11. Pyörivät täyskovametalliset viilat. /9/

Karamoottori pyörittää työkalua. Hinnan ja kestävyuden vuoksi paineilmamoottorit ovat yleisimpiä, mutta jos halutaan nopeuden säädettävyyttä valitaan sähkötoiminen kara. Parempi energianhyötysuhde on myös sähkömoottoreiden etu.



Kuva 12. Työkalukarat. /10/

Kuvassa 11, vasemmalla oleva kara on pneumaattinen ja oikealla sähköllä toimiva. Molemmat karat käyttävät tässä tapauksessa paineilmaa työkalun joustoon, painetta nostamalla paineilmapalkeeseen jousto jäykistyy ja päinvastoin, kyseisissä ratkaisuissa on radiaalinen jousto. Joustolla saadaan työkalun ja työkappaleen väliin tasainen paine vaikka työkappaleen ja jäysteen muoto vaihtelee. Robotin rataa on helpompi ohjelmoida, jos käytetään työkalun joustoa. Toki sähköllä toimiva kara voi kuluttaa jonkin verran paineilmaa myös, jos sitä tarvitaan moottorin jäähtytykseen. Työkalut kiinnitetään kartioholkkiin. Karan laipoissa on valmiiksi porattuja reikiä jotta, yhdistelmät voidaan ruuvata kiinni robotin työkaluvaihtajaan tai kiinteänä asennuksena robotin viereen.

4 SERVOJÄRJESTELMÄT

Servotekniikka on alun perin keksitty sotateollisuuden tarpeisiin. Kuten teknologia yleensäkin, sotateollisuuden innovaatiot ovat saaneet myös rauhanomaisia käyttökohteita. Tavallisia käyttökohteita servoille teollisuudessa ovat työstökoneet ja robotit. /5, s. 157/

4.1 Servotekniikan edut

Servojärjestelmän suuri tarkkuus perustuu jatkuvaan takaisinkytkentään, jolla varmistetaan toimilaitteelle annetun asetusarvon toteutuminen. Järjestelmän ohjauksena toimii mikrotietokone tai ohjelmoitava logiikka (PLC), joka eri väylien kautta komentavat servomoottoreita, esimerkiksi Profibus ja Profinet. Hyvässä järjestelmässä paikannukseen käytetään absoluuttista koodianturia tai resolveria. /5, s. 157/

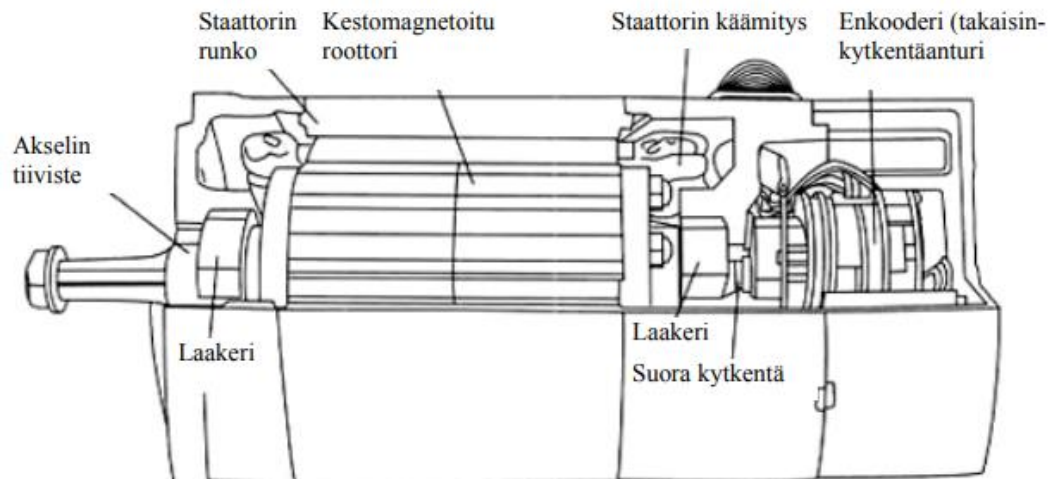
Profibus on avoin kenttäväyläjärjestelmä jolla on lyhyet vasteajat /11/ , nopeus 12Mbit/s RS-485 -kaapelilla.

Profinet on teollisuus-Ethernet-standardi, jossa aikakriittiset toiminnot on tehty mahdolliseksi reaaliaikaisilla protokollaisyksillä. Profinet mahdollistaa myös langattoman tiedonsiirron. Toisin kuin toimistokäytössä, automaatiossa käytetty Ethernet, pitää tiedon kulkea deterministisesti, eli ennustavasti ja mahdollisimman reaaliaikaisesti. Jos toimistossa riittää, että tietopaketti on perillä sekunneissa, on automaation aikavaade millisekunteja. Profinet-standardilla voidaan taata, että siirtymät lähettäjältä vastaanottajalle tapahtuu määrättyssä ajassa /11/. Nopeus 100Mbit/s Ethernet Cat5 -kaapelilla.

4.2 AC-servomoottori

Vanhemmat servomoottorit olivat yleisesti DC-moottoreita. Tekniikan kehittyessä AC-servotekniikka on yleistynyt. AC-servomoottori koostuu tyypillisesti kolmi-vaihemoottorista, tarkasta takaisinkytkentäanturista sekä ohjaus ja säätöyksiköstä. Servomoottorit on suunniteltu toimimaan laajalle nopeusalueelle ja operoimaan pitempiä aikoja kuormitettuna alhaisella nopeudella ylikuumentumatta. Ominai-

suuksiin kuuluu myös kuorman paikalla pitämiseen riittävän suurella momentilla. Kuvassa 13, nähdään tyypillinen hiiliharjaton kestmagnetoitu servomoottori. /14/



Kuva 13. Tyypillinen kestmagnetoitu servomoottori. /14/

4.3 Säättötekniikka

Säättötekniikasta on tullut merkittävä työkalu kone- ja prosessi-insinööreille. Elektroniikan ja tietotekniikan kehittyessä säättötekniikkaa on alettu soveltaa monessa laitteessa ja prosessissa, joissa se on ennen ollut taloudellisesti mahdotonta. Puhtaampien ja säästäväisempien tuotantomenetelmien kehityksessä säättötekniikan merkitys kasvaa. /15/

4.3.1 Avoin ohjausjärjestelmä

Pelkästä ohjauksesta on kyse silloin kun, ohjaamiseen ei millään tavalla vaikuteta laitteen tai prosessin olotilaa mittaavilla arvoilla, oletetaan että laite käyttäytyy annettujen arvojen mukaan, vaikka esimerkiksi kuormituksen vaihteluiden vaikutuksesta ei ole tietoa, eli järjestelmää ohjataan ilman takaisinkytkentää. /15/

4.3.2 Suljettu järjestelmä

Järjestelmää sanotaan takaisinkytketyksi, kun mitataan laitteen tai prosessin käyttäytymistä ja lähetetään tieto takaisin säädettäväksi ohjaimen. Usein käytetään lyhyemmällä nimityksellä: suljettu järjestelmä. /15/

5 PROJEKTIN TOTEUTUS

5.1 Suunnittelu

Kun projektin tavoitteet oli yrityksen kanssa sovittu, tilattiin sähköservomoottorin Temite Oy:ltä, jolla on kokemusta automaatio- ja sähkö suunnittelusta ja ennestään tuttu palveluista ja ammattitaidosta. Koska halusimme aloittaa mekaniikan suunnittelu heti, saimme Temite Oy:ltä moottorin mitat sähköpostina (Step-file) muodossa, josta näkee moottorin mitat 3D-mallista. Laitteiston mekaanisille osille tarvittavat aihiot, oli yrityksestä löytyvä materiaali vapaasti käytettävissä. Tässä opinnäytetyössä toistuva teema joustavuus oli myös osien suunnittelussa otettava huomioon heti, miten saadaan helposti muokattava jäysteenpoistosema, jota on helppo muuttaa nopeasti myös muille tuotteille tulevaisuudessa. On tärkeää, että ei suunnitella liian monimutkaisia ja ”hienoja” ratkaisuja vaan täytyy huomioida, että helppokäyttöisyys on tuottavuuden kannalta tärkeämpää, halutaan lyhyitä asetusajoja. Tässä opinnäytetyössä ei käydä osienvalmistusta tarkemmin läpi.

5.1.1 Engcon rototiltti

Rototiltti on kaivukoneen ”rannenivel”. Sen avulla kauhaa voi kallistaa ja pyörittää, mikä tarjoaa rajattomia mahdollisuuksia. Kauha voi pyöriä rajoituksetta akselinsa ympäri ja kallistua 45 astetta. /16/



Kuva 14. Engcon rototiltillä varustettu kaivinkone. /16/

Rototiltillä saadaan kaivukoneesta joustavampi ja voidaan säästää aikaa ja polttoaine kulutusta koska:

- Konetta ei tarvitse siirtää vaativampien työvaiheiden suorittamiseksi
- Helpot työlaitteiden vaihdot
- Koneella voi suorittaa erityyppisiä töitä nopeammin
- Kuluminen vähenee.

5.1.2 Svivel Piston

Tämän projektin jäystettävä kappale kuuluu rototiltin hydraulikkaöljyn suurvirtausläpivientiin. Kappale on venttiilin mäntä, joka pyörii rototiltin alaosan kanssa rajattomalla pyörimisliikkeellä.



Kuva 15. Svivel Piston.

5.1.3 Jäystettävä kohta

Kappaleen jäystettävä kohta nähdään kuvassa 17. Nämä jäysteet on poistettu manuaalisesti.



Kuva 16. Jäystettävä kohta.

5.1.4 Jäysteenpoistotyökalut

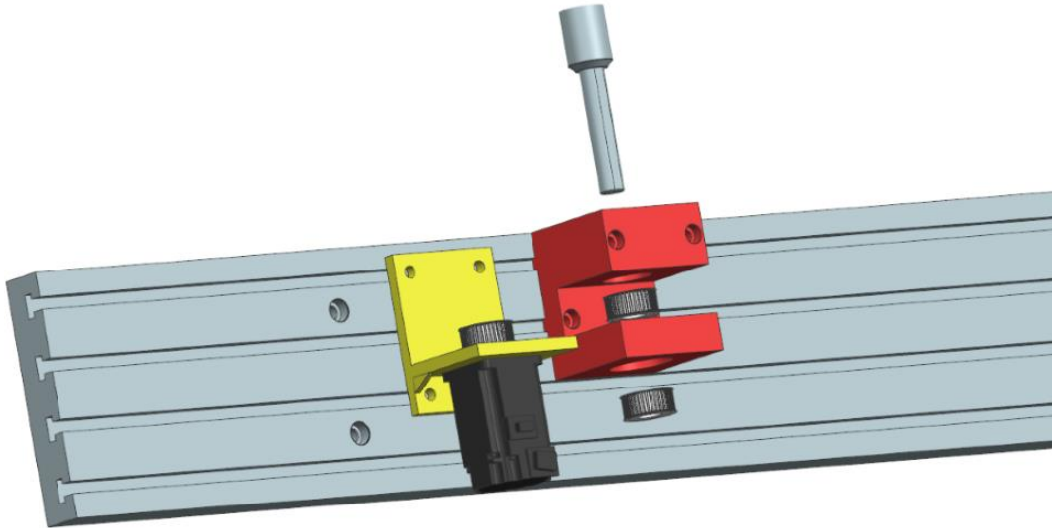
Jäysteenpoistotyökalut on tehty kierukkaporista, joiden päät on teroitettu erikokoisesti tähän tarkoitukseen. Varsiin on hitsattu kahvat, jotta porat voi käsin pyörittää mäännässä poratuissa reiässä, kuvassa 15. Kun työkalu paikoitetaan oikeaan asentoon ja pyöritetään reiässä, kuvassa 16 oleva irtoava jäyste saadaan poistettua. Tämä on kuten aiemmin todettu epäergonomista ja rasittavaa työtä.



Kuva 17. Kierukkaporista tehdyt jäysteenpoistotyökalut.

5.1.5 Jäysteenpoistoaseman konseptimalli

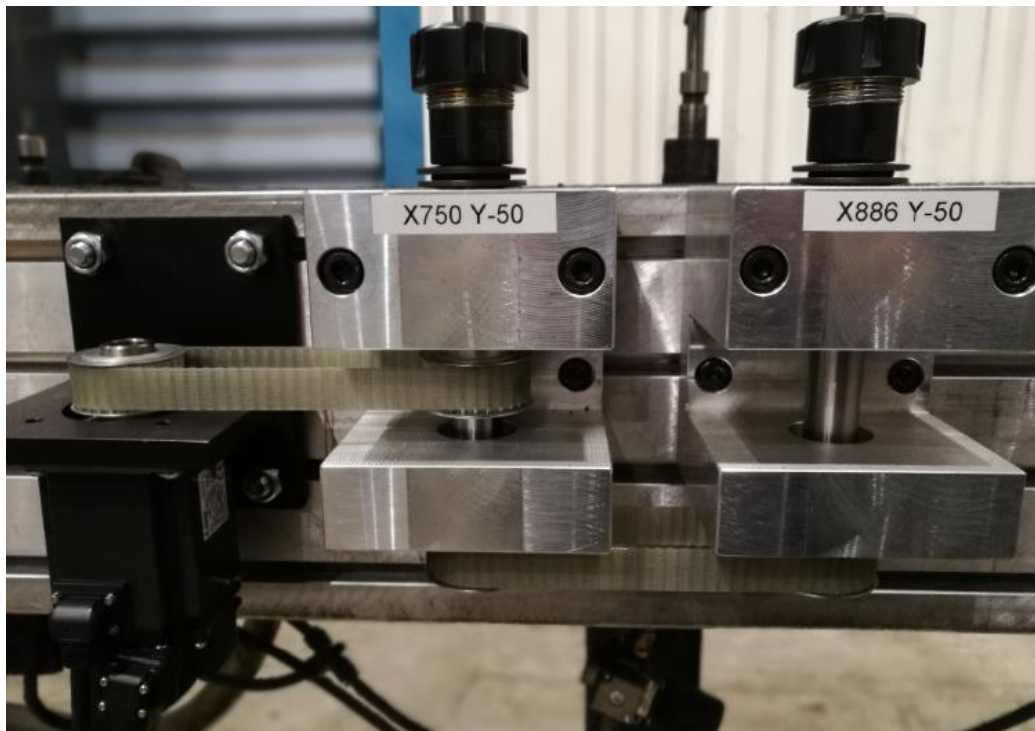
Koulussa käytettävissä oleva NX-ohjelma on hyvä työkalu laitteiden suunnitteluun, koska osia voi hahmottaa kolmiulotteisesti ennen valmistusta.



Kuva 18. Jäysteenpoistoaseman konseptimalli.

5.1.6 Valmis jäysteenpoistoasema

Jäysteenpoistoasema valmiina käyttöön. Työkalut ja niiden kannattimet on helpposti siirrettävissä, poistettavissa tai lisättävissä. Kuin kuvasta 19 nähdään, moottorin voima siirtyy hihnavälityksellä. Tämä todettiin riittävän kestäväksi tälle moottorille.



Kuva 19. Valmis jäysteenpoistoasema.

5.1.7 Jäystepoistoaseman testaus

Kuvassa 19 nähdään robotilla tapahtuvaa automaattista jäysteenoistoa, joka vastaa manuaalisen jäysteenpoiston liikkeitä. Työkalun paikotus ja pyörimisliike on nyt ohjelmoitavissa servomoottorin ansiosta. Jäysteenpoistotyökalut on kiinnitetty lieeriövarsi holkki-istukoihin. Kiinnitysholkit on vaihdettavissa, 1–16 millimetrin välillä, näin ollen on myös työkalut nopeasti vaihdettavissa.



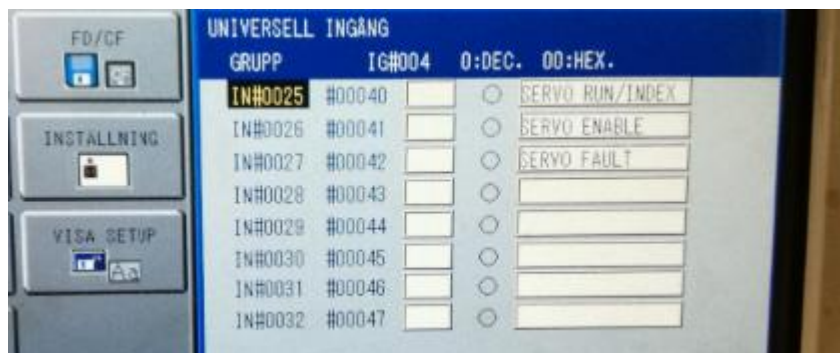
Kuva 20. Automaattista jäysteenoistoa.

5.2 Robotin valmiudet

Ensin oli tutkittava, jos robotin ohjausyksiköstä löytyisi vapaita I/O-liittimiä. Lähetsignaaleja tarvittaisiin enemmän kuin tulosignaaleja. Molempia löytyi riittävä määrä käytettäväksi projektille.



Kuva 21. Robotin lähdöt.



Kuva 22. Robotin tulot.

5.2.1 Anturointi

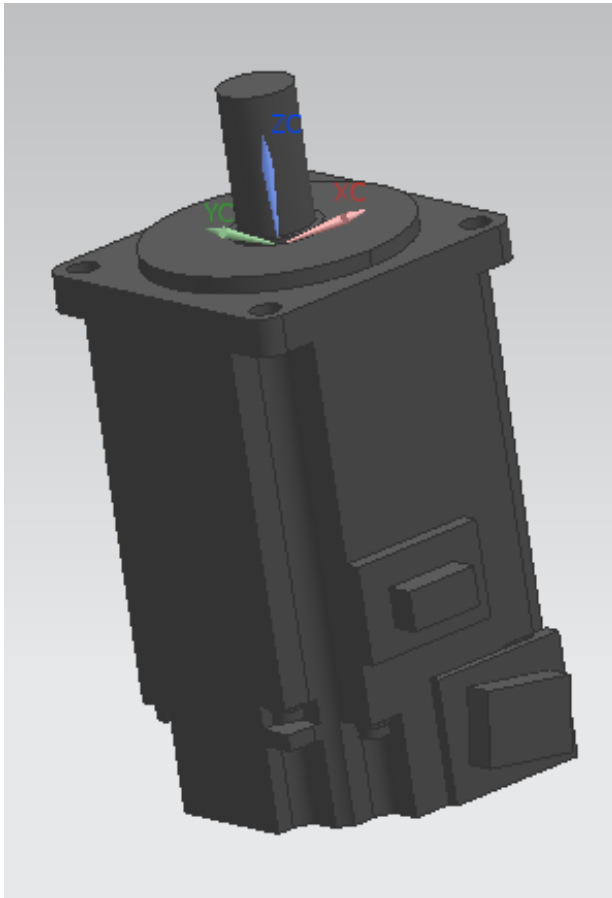
Valmiille koneistetuille kappaleille tehtiin anturoituparkkipaikka, josta robotti hakee jäysteutykseen menossa olevan kappaleen työstökoneen ajon aikana. Robotin jäysteenpoistotyövaihe lisätään olemassa olevaan työstökoneen panostusohjelmaan aliohjelmana. Tarttujan leuat ovat samat kuin mitä käytetään kappaleiden käsittelyssä, eli ne löytyivät valmiina.



Kuva 23. Induktiivinen anturi.

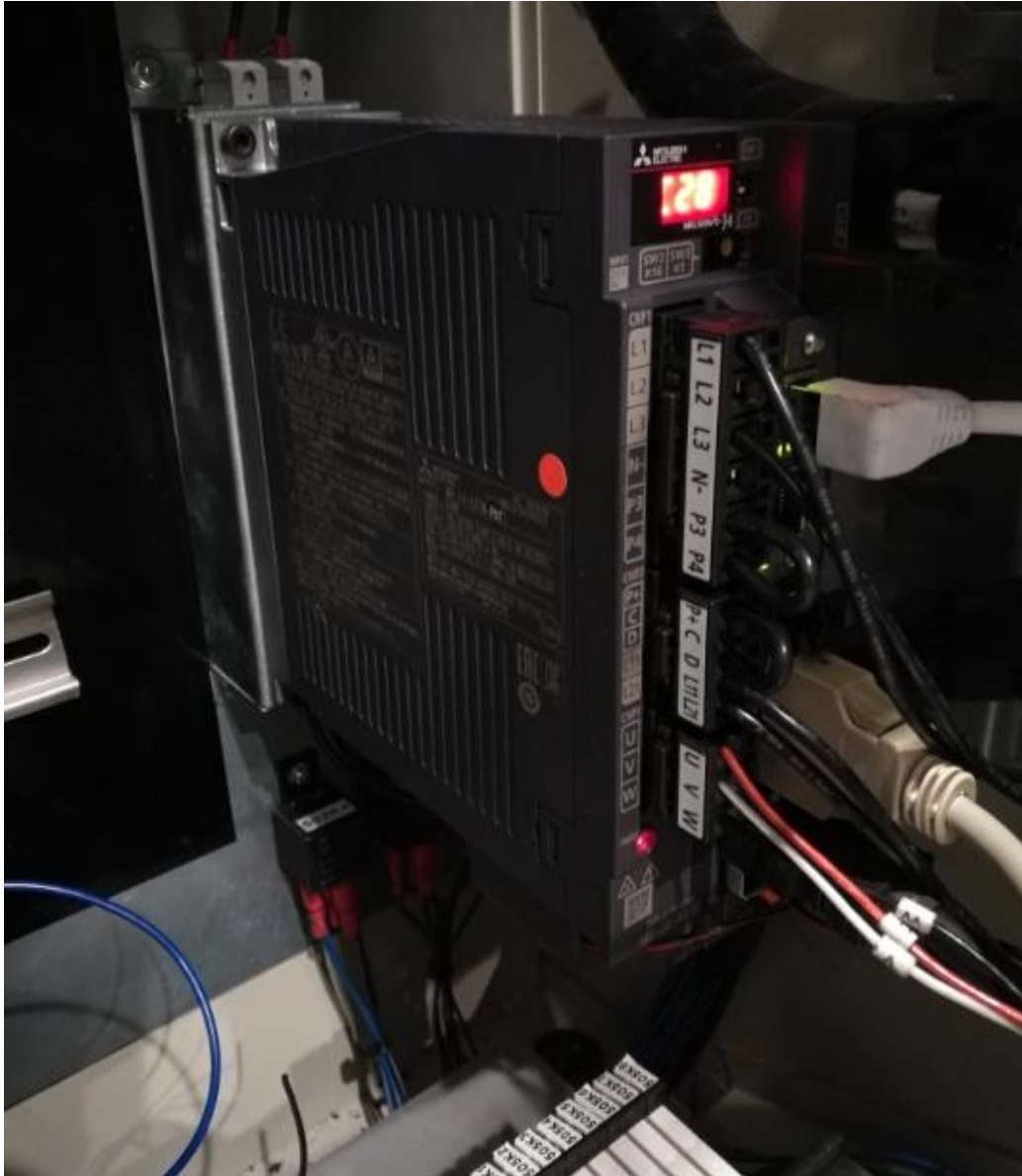
5.3 Servomoottori

Projektiin valittiin Mitsubishiin valmistama kolmivaiheservomoottori. Päätettiin kokeilla 400 W:in moottoria, koska sen speksien mukaan teho pitäisi riittää tähän jäysteenpoistoon. Oli vaikea määrittellä tehon tarve mutta moottorin luvattu vääntömomentti arveltiin ylittävän manuaalisesta jäysteenpoistossa käytettävää kädenvoimaa.



Kuva 24. Mitsubishi HG-KR43 (Step-file).

Servomootorille tarvitaan myös vahvistin (amplifier) ja säädin (controller). Nykyisin servomootoreiden ohjaus ja vahvistin on integroitu yhteen yksikköön.



Kuva 25. Mitsubishi MR-J4-TM.

5.4 Ohjelmoitava logiikka

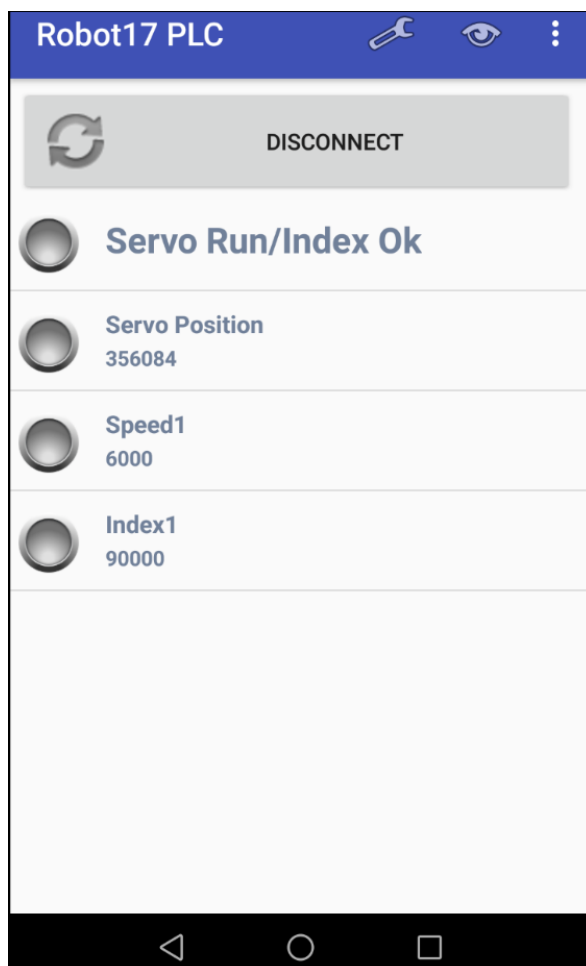
Siemens S7-1200 -sarjan ohjelmoitava logiikka käsittelee robotilta tulevia lähetsignaaleja. Servomootorin tilatiedot tulevat myös logiikan kautta takaisin robotin tuloihin.



Kuva 26. Siemens S7-1200.

5.5 Servomoottorin monitorointi

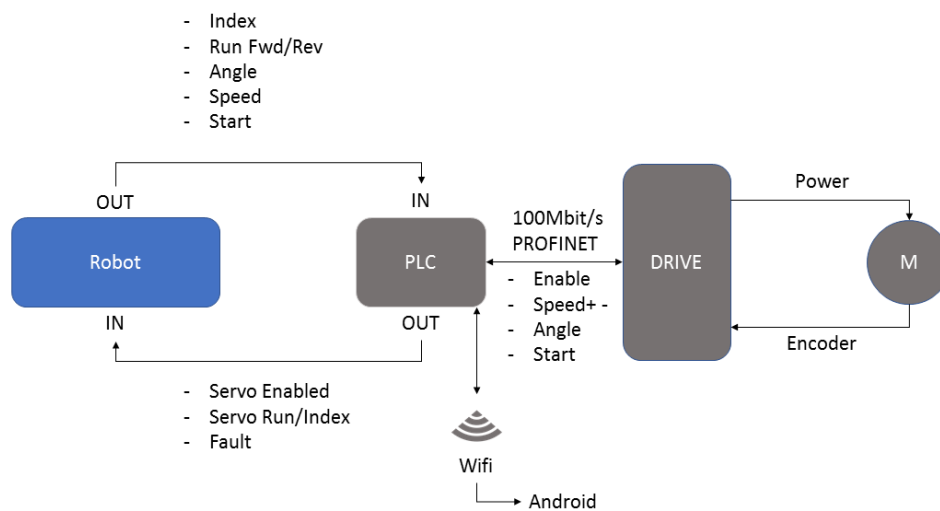
Servomoottoria ohjaa robotti, logiikan kautta, mutta robotin näytöltä ei saada mitään servomoottorin todellisesta tilasta tietoa. Tyypillisesti logiikoita ohjataan ja seurataan niihin kuuluvalla kosketusnäyttöillä tai pc:n kautta. Ei oltu kuitenkaan varmoja, jos tällainen näyttö olisi välttämätön just tähän projektiin. Asennus vaiheessa kävi ilmi, että logiikassa oli valmiudet kytkeä suoraan yrityksen wifi-verkkoon. Koulussa oli ollut puhetta näistä etäyhteyksistä, joten päätettiin tutkia asiaa lähemmin.. Android laitteille löytyi monta sovellusvaihtoehtoa, josta testaukseen valittiin S7 PLC HMI, kuvassa 25. Tällä sovelluksella voi lukea moottorin tietoa ja myös säätää pyörimisnopeutta ja antaa indeksointi kulmia, jota käytetään tässä projektissa. Sovellus osoittautui toimivaksi testeissä.



Kuva 27. S7 PLC HMI.

5.6 Ohjelmointia

Projektissa tarvittiin servomoottorille ohjelmoida mm. paikoitus, pyörimisensuunta ja nopeus. Erilaisilla robotin lähtösignaalikombinaatioilla saatiin toteutettua servomoottorille vaaditut liikkeet. Kombinaatiot tehdään valmiiksi aliohjelmiksi robotilla, joten käyttäjät valitsee halutun servomoottorin liikkeen aliohjelmalla. Kuvasta 14, nähdään myös, että logiikan ja moottorin ohjaimen välillä tieto siirtyy Profinet-väylän kautta. Robotin ohjelmia liitteissä 1 ja 2.



Kuva 28. Logiikan toimintakaavio.

5.7 Jäysteenpoiston työkierto

Jäysteenpoiston työkierto toimii seuraavasti:

- Robotti hakee kappaleen työstökoneesta, valmiiksi paikoitettu tiettyyn asentoon.
- Robotti jättää kappaleen jäysteenpoistoaseman parkkipaikalle, käy hoitamassa loput työstökoneen panostamisessa.
- Robotti käynnistää työstökoneen ja hakee jäyستettävän kappaleen parkkipaikalta, joka on anturoitu induktiivisella anturilla.
- Robotti keskustelee logiikan kanssa, joka ohjaa servomoottorin liikettä, paikoitusta, pyörimisnopeutta ja pyörimissuuntaa. Kierukkaporasta tehty jäysteenpoistotyökalu poistaa jäysteet.
- Robotti vie kappaleen valmislavalle.
- Robotti on nyt valmis ja jää odottamaan seuraavan kappaleen valmistumista työstökoneelta.

Projektin työjako nähdään taulukosta 2.

Taulukko 2. Työnjako.

	Tekijä	Yritys	Temite Oy
Suunnittelu	x		
Osien valmistus	x	X	
Ohjelmointi, robotti ja monitoimisorvi	x		
Logiikan ja servomoottorin ohjelmointi ja asennus			x

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää automaattista jäysteenpoistoa robottimonitoimisorvin tuotantoyksikössä. Projekti onnistuttiin toteuttamaan kevään 2018 aikana ja suorittaa lyhyt testiajo. Suunnittelu, osien valmistus ja standardiosien tilaaminen sujui vaivattomasti.

Haastavampaa oli toteuttaa sähkökytkennät ja testiajot, koska työkuormitus yksikössä oli suuri. Jotta käyttöönotto sujuisi nopeasti ja ilman pidempiä tuotanto katkoksia, valmisteltiin robotin ja logiikan ohjelmat niin pitkälle valmiiksi kuin vaan mahdollista ennen kuin tehtiin kytkennät robotin ohjausyksikköön. Laitteiden asennusten aikana kävi ilmi, että logiikkaan saisi kytkettyä yrityksen wifi verkkoon suoraan ilman mitään lisämoduulia. Vastaavista langattomista yhteyksistä logiikoissa olin kuullut koulussa. Lataamalla älypuhelimeen sopiva sovellus saimme yhteyden logiikkaan, jota olimme asentamassa. Puhelimella voi nyt vastaanottaa ja lähettää dataa logiikalle langattomasti. Tätä toimintoa voisi suhteellisen helposti käyttää myös internetin kautta mistäpäin maailmaa tahansa, kiinnostavaa. Projekti soveltui hyvin minulle opinnäytetyöaiheeksi. Insinööriksi valmistuttua minun työtehtäviin tulee kuulumaan vastaavia kehitysprojekteja yrityksen tuotannossa. Seuraava projekti voisi olla, että siirrettäisiin työstökoneesta joku työvaihe robotille hoidettavaksi. Tällaisia työvaiheita voisi olla esimerkiksi kapaleiden kierteytys. Jos halutaan tulevaisuudessa siirtää koneistusvaiheita työstökoneelta robotille vastaavalla menetelmällä kuin tässä opinnäytetyössä, tarvitaan todennäköisesti voimakkaampi servomoottori alennusvaihteella.

Työ oli mielenkiintoista ja nyt pääsemme kehittämään joustavaa ja tehokasta jäysteenpoistoa servotekniikan avulla.

LÄHTEET

- /1/ Ab Nimetech Oy. Viitattu 6.2.2018. <http://www.nimetech.fi>.
- /2/ Aaltonen, K. Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo. WSOY. Viitattu 2.3.2018
- /3/ Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki. Sanoma Pro Oy. Viitattu 24.2.2018
- /4/ Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oyj. Viitattu 24.2.2018
- /5/ Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Lähetkangas, M. Sumujärvi, M. 2009. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki. WSOYpro Oy. Viitattu 4.3.2018
- /6/ Motoman. Viitattu 4.3.2018.
<https://www.motoman.com/hubfs/downloads/documentation/151780-1.pdf>
- /7/ Gillespie, L. 1999. Deburring and edge finishing handbook. USA. Society of Manufacturing Engineers. Viitattu 3.2.2018
- /8/ Motoman. Viitattu 25.3.2018.
http://www.motoman.com.tr/ueruenler/robot-arthivi/product-view/?tx_catalogrobot_pi1%5Buid%5D=2210&cHash=6c7ce50eab6045b5c67debe89ff504be
- /9/ Knorring. Viitattu 3.4.2018.
<https://www.knorring.fi/tuote/teollisuustyokalut/lastuavat-tyokalut-muutkuin-taegutec-kovametalli/pyorivat-tayskovametalliset-viilat-cerin.html>.
- /10/ Rad-ra. Viitattu 4.4.2018.
<http://www.rad-ra.com/Deburring-Tools.htm>.
- /11/ Siemens. Viitattu 4.4.2018.
http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka.htm
- /12/ Edgecam. Viitattu 5.4.2018 .
<http://docplayer.fi/4845613-Tulevaisuus-on-dynaaminen.html>
<http://www.edgecam.com/waveform>.
- /13/ Edgecam waveform. Viitattu 5.4.2018
<https://docslide.com.br/documents/vero-software-limited-hadley-house-bayshill-road-cheltenham-gloucestershire.html>.

- /14/ Vtt. Viitattu 7.4.2018.
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf
- /15/ Savolainen, J. Vaitinen, R. 2003. Sääntötekniikan perusteita. Gummerus Kirjapaino Oy. Viitattu 18.4.2018.
- /16/ Engcon. Viitattu 29.4.2018. <http://engcon.com/fi.html>.

LIITE 1.

```

NOP
MOVJ VJ=20.00 //START_POS_DEBURRING
CALL JOB:3LEUKA-A
JUMP *END_DEB IF IN#(9)=OFF //WORK_PCS_PARK_?
MOVJ VJ=20.00 //TO_PARK_POS_+140
MOVL V=50.0 //PARK_POS_+60
MOVL V=15.0 //PARK_POS
CALL JOB:3LEUKA-K
MOVL V=20.0 //PARK_POS_+50
MOVJ VJ=20.00 //START_POS_DEBURRING
MOVJ VJ=20.00 //D_14_POS_+50
'-----ANGLE_1-----
CALL JOB:SRV_500
MOVL V=20.0 //D_14_POS
'-----SPEED_1-----
CALL JOB:SRV_501
TIMER T=2.00
'-----SERVO_OFF-----
CALL JOB:SRV_502
MOVL V=20.0 //D_14_POS_+50
MOVJ VJ=20.00 //START_POS_DEBURRING
*END_DEB
END

```

LIITE 2.

```

NOP
'-----ALL OFF-----
DOUT OT#(30) OFF //SERVO START
DOUT OT#(25) OFF //SERVO INDEX
DOUT OT#(26) OFF //SERVO FWD
DOUT OT#(27) OFF //SERVO REW
DOUT OT#(28) OFF //SPEED1/ANGLE
DOUT OT#(29) OFF //SPEED2/ANGLE
DOUT OT#(31) OFF //SERVO SET REF
TIMER T=0.50
'-----ANGLE_1-----
DOUT OT#(25) ON //SERVO INDEX
TIMER T=0.50
DOUT OT#(26) ON //SERVO FWD
TIMER T=0.50
DOUT OT#(30) ON //SERVO START
TIMER T=0.50
WAIT IN#(25)=ON //SERVO RUN/INDEX
END

```

```

NOP
'-----ALL OFF-----
DOUT OT#(30) OFF //SERVO START
DOUT OT#(25) OFF //SERVO INDEX
DOUT OT#(26) OFF //SERVO FWD
DOUT OT#(27) OFF //SERVO REW
DOUT OT#(28) OFF //SPEED1/ANGLE
DOUT OT#(29) OFF //SPEED2/ANGLE
DOUT OT#(31) OFF //SERVO SET REF
TIMER T=0.50
'-----SPEED_1-----
DOUT OT#(26) ON //SERVO FWD
TIMER T=0.50
DOUT OT#(30) ON //SERVO START
TIMER T=0.50
WAIT IN#(25)=ON //SERVO RUN/INDEX
TIMER T=0.50
END

```

LIITE 3.

