



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Robert Valkama

KOULUTUSROBOTIN MONITOIMI- TYÖKALUN KEHITYS

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Robert Valkama
Opinnäytetyön nimi	Koulutusrobotin monitoimityökalun kehitys
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	84 + 17 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

Opinnäytetyön tarkoituksena oli jatkokehittää monitoimityökalu neljään erimalliseen ABB:n robottiin. Työ tehtiin Vaasan ammattikorkeakoululle opetuslaboratorio Technobothniaan. Monitoimityökaluja oli käytetty opetustarkoituksessa ja niissä oli havaittu joitakin puutteita, joihin haluttiin ratkaisua. Monitoimityökaluun kuuluu mekaaninen tarrain, imukuppi, kynä sekä anturi.

Työ sisälsi 3D-mallintamalla suunniteltavia osia. Valmistusmenetelmänä käytettiin 3D-tulostusta. Osista tehtiin myös kokoonpanomallit ja nämä siirrettiin ABB RobotStudio -ohjelmaan, jossa oli robottisolut kyseisistä oikeassa ympäristössä olevista roboteista.

Työn tuloksina valmistettiin neljä erilaista monitoimityökalua. Robottien ohjelmointi opetustarkoituksessa onnistuu sekä itse robotilla että etäohjelmoimalla ABB RobotStudiolla, jossa on vastaavat robottisolut kuin todellisessa ympäristössä. Uudet monitoimityökalut otettiin opetuskäyttöön alkuvuodesta.

ABSTRACT

Author	Robert Valkama
Title	Development of a Multifunction Tool for a Training Robot
Year	2022
Language	Finnish
Pages	84 + 17 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

The purpose of the thesis was to further develop a multifunction tool for four different models of ABB robots. The thesis was done for Vaasa University of Applied Sciences' teaching laboratory Technobothnia. The multifunction tools had been used for teaching purposes and some shortcomings had been identified that needed to be addressed. The multifunction tool includes a mechanical gripper, a suction cup, a pen and a sensor.

The thesis included parts designed by 3D modeling. 3D printing was used as the manufacturing method. The parts were also assembled and transferred to ABB RobotStudio, which had the robot cells from those robots in the right environment.

As a result of the work, four different multifunction tools were manufactured. The programming of the robots for educational purposes is possible both with the robot itself and by remote programming with ABB RobotStudio, which has the same robot cells as in the real environment. The new multifunction tools were introduced in the beginning of the year.

Keywords	Product development, robotics, 3D modeling, and 3D printing
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
2	TEOLLISUUSROBOTTI.....	11
2.1	Yleiset robottityypit	11
2.1.1	Nivelvarsirobotti.....	11
2.1.2	Portaalirobotti.....	12
2.1.3	SCARA-robotti	13
2.1.4	Rinnakkaisrakenteinen robotti.....	14
2.2	Robotin koordinaatistot.....	15
2.3	Robotin ohjelmointi	16
2.4	Robotin työkalut	17
2.4.1	Tarraimet.....	18
2.4.2	Mekaaniset tarraimet	18
2.4.3	Imu- ja tyhjiötarraimet.....	19
2.4.4	Magneettitarraimet	21
2.4.5	Vakiotarraimet	22
2.4.6	Erikoistarraimet.....	22
2.5	Tarraimen valinta ja suunnittelu.....	23
2.6	Muut työkalut	23
2.7	Työkalunvaihtojärjestelmät	24
3	VALMISTUSTEKNOLOGIAT	26
3.1	Muovaavat valmistusmenetelmät.....	26
3.2	Liittävät valmistusmenetelmät	26
3.3	Materiaalia poistavat valmistusmenetelmät.....	26
3.4	Materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät.....	27
3.4.1	Valmistusprosessi.....	27

3.4.2	Materiaalit.....	32
3.4.3	Viipalointiohjelmat.....	32
3.4.4	Ultimaker Cura	33
4	TUOTESUUNNITTELU	34
4.1	3D-CAD	34
4.2	Tuotekehitys.....	35
5	TOTEUTUS.....	36
5.1	Tutustuminen aikaisempiin monitoimityökaluihin	36
5.1.1	Ryhmä 1 (ABB IRB 1600)	36
5.1.2	Ryhmä 2 (ABB IRB 120)	38
5.1.3	Ryhmä 3 (ABB IRB 1200)	39
5.1.4	Ryhmä 4 (ABB IRB 1100)	41
5.2	Alkuperäinen vaatimuslista.....	43
5.3	Esisuunnittelu.....	43
5.4	Prototyypin suunnittelu	46
5.5	Jatkokehitys ABB IRB 1600.....	60
5.6	ABB IRB 120.....	66
5.7	ABB IRB 1200.....	71
5.8	ABB IRB 1100.....	73
5.9	Kustannukset.....	76
5.10	Käytetyt tulostusasetukset ja materiaalit	78
5.11	Käyttökokemukset	79
5.12	Varaosat ja dokumentointi	79
6	YHTEENVETO	81
	LÄHTEET	84
	LIITTEET	85

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Nivelvarsirobotti ja työalue.....	12
Kuva 2. Portaalirobotti ja työalue.....	13
Kuva 3. SCARA-robotti ja työalue.	14
Kuva 4. Rinnakkaisrakenteinen robotti ja työalue.....	14
Kuva 5. Robotin koordinaatistot.	15
Kuva 6. Schunk-sormitarttuja.	19
Kuva 7. Imukuppitartunta.....	20
Kuva 8. Imukuppitarrain ennen ja jälkeen tartunnan.....	21
Kuva 9. Granulaattiin perustuva tarttuja.....	23
Kuva 10. Automaattinen työkalunvaihtojärjestelmä.....	24
Kuva 11. Sideaineen ruiskutus.....	28
Kuva 12. Suorakerrostusmenetelmä.	29
Kuva 13. Materiaalin pursotus.....	29
Kuva 14. Materiaalin ruiskutus.	30
Kuva 15. Jauhepetimenetelmä.	30
Kuva 16. Kerroslaminointimenetelmä.....	31
Kuva 17. Nesteiden fotopolymeraatio -menetelmä.....	31
Kuva 18. Ultimaker Cura -ohjelmisto.....	33
Kuva 19. Siemens NX 12 -ohjelmisto.	35
Kuva 20. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 1).	37
Kuva 21. Kokoonpano robotissa (ryhmä 1).	37
Kuva 22. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 2).	38
Kuva 23. Kokoonpano robotissa (ryhmä 2).	39
Kuva 24. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 3).	40
Kuva 25. Kokoonpano robotissa (ryhmä 3).	41
Kuva 26. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 4).	42
Kuva 27. Kokoonpano robotissa (ryhmä 4).	42
Kuva 28. ABB IRB 1600 -robottisolu.....	46
Kuva 29. Kynän mittavaihtelu.....	47

Kuva 30. Creality Ender-3 V2 -tulostin.....	48
Kuva 31. Molemmat kynäkotelot kokoonpantuna.....	49
Kuva 32. Prototyyppejä kiinnitysratkaisusta.	51
Kuva 33. 2 erilaista prototyyppiä runko-osasta.....	52
Kuva 34. Anturiteline.	53
Kuva 35. Tarttujan kynnet.....	54
Kuva 36. Magneettien liimausta prototyyppeihin.....	54
Kuva 37. Alkuperäinen ja muokattu holkkitiiviste.....	55
Kuva 38. Prototyypiversio kokoonpantuna.	56
Kuva 39. Magneettikiinnitysratkaisu.	57
Kuva 40. Prototyypiversio asennettuna ABB IRB 1600 -robottiin.....	58
Kuva 41. Monitoimityökalun käytölle valmistetut kappaleet.	59
Kuva 42. Prototyypiversio RobotStudiassa.....	59
Kuva 43. Ohjelmaesimerkki RobotStudiassa RAPID-ohjelmointikielellä.....	60
Kuva 44. Jatkokehitetty runko-osa ja kynäkotelo Ultimaker Curassa.	61
Kuva 45. Jatkokehitetty runko-osa ja kynäkotelo tulostettuna.....	61
Kuva 46. Sinterit Lisa Pro -tulostin.....	62
Kuva 47. 3D-malleja Sinterit Studiassa.	63
Kuva 48. Jauhepetimenetelmällä valmistettuja tuotteita.	64
Kuva 49. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1600).....	65
Kuva 50. Monitoimityökalu uusilla tarttujan kynsillä.	66
Kuva 51. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 120 -robottiin.....	68
Kuva 52. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 120).....	69
Kuva 53. Malli RobotStudiassa ja oikeassa ympäristössä.....	70
Kuva 54. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1200).....	72
Kuva 55. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 1200 -robottiin.....	73
Kuva 56. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 1100 -robottiin.....	75
Kuva 57. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1100).....	76

Taulukko 1. Alkuperäinen vaatimuslista.....	43
Taulukko 2. Monitoimityökalun valmistuskustannukset.	77

LIITELUETTELO

LIITE 1. Valmistuspiirustus: Kynäkotelo

LIITE 2. Valmistuspiirustus: Kynäkotelo_1

LIITE 3. Valmistuspiirustus: Kynänsokka

LIITE 4. Valmistuspiirustus: Kiinnitys_osa_1

LIITE 5. Valmistuspiirustus: Kiinnitys_osa_2

LIITE 6. Valmistuspiirustus: Kiinnitys1_osa1

LIITE 7. Valmistuspiirustus: Kiinnitys1_osa2

LIITE 8. Valmistuspiirustus: Runko-osa

LIITE 9. Valmistuspiirustus: Runko-osa_1

LIITE 10. Valmistuspiirustus: Anturiteline

LIITE 11. Valmistuspiirustus: Tarttujan_kynnet_1

LIITE 12. Valmistuspiirustus: Tarttujan_kynnet_2

LIITE 13. Kokoonpanopiirustus: Kynäkokoonpano

LIITE 14. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_1

LIITE 15. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_2

LIITE 16. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_3

LIITE 17. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_4

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Vaasan ammattikorkeakoululle opetuslaboratorio Technobothniaan. Loppuvuoden 2020 opiskelijaprojektissa konetekniikan opiskelijat jaettiin neljään ryhmään, joista kukin ryhmä suunnitteli ja toteutti valmiin monitoimityökalun robotille. Monitoimityökaluun kuului mekaaninen tarrain, imukuppi, kynä sekä anturi. Toteutetuissa monitoimityökaluissa oli joitakin puutteita.

Opinnäytetyön tarkoituksena on jatkokehittää monitoimityökalua niin, että monitoimityökalu voidaan ottaa opetuskäyttöön neljään eri robottiin robotiikan laboratoriossa. Tämä kehittää jatkossa robotiikan opetusta laboratoriossa, kun opiskelijat pääsevät ohjelmoimaan monitoimityökalua, jolla voidaan tehdä monenlaisia tehtäviä. Mekaanisella tarttujalla voidaan tarttua kappaleeseen ja siirtää sitä, imukupilla saadaan tartuttua kappaleesta kiinni ylhäältä päin, kynällä voidaan harjoitella piirtämistä sekä anturilla saadaan määritettyä etäisyyksiä tai kappaleen materiaaliominaisuuksia. Tämä tarjoaa monipuolista opetusta vain yhdellä robottiin kytkettävällä työkalulla.

Tässä työssä käsitellään mekaniikkasuunnittelua, tuotekehitystä, valmistustekniikkaa 3D-tulostuksen osalta sekä robotiikkaa. Alussa käsitellään teoriaosuutta lyhyesti teollisuusroboteista, roboteissa käytettävistä työkaluista ja 3D-tulostuksesta valmistustekniikkana sekä tuotekehitystä 3D-mallintamista hyödyntäen. Seuraavassa luvussa tarkastellaan viime vuoden opiskelijoiden suunnitteleamia monitoimityökaluja ja luodaan tuotekehityssuunnitelma monitoimityökalulle. Tämän jälkeen suunnitteluvaiheessa toteutetaan prototyyppjä monitoimityökalusta ja valmistetaan lopullisia tuotteita. Viimeisenä työn tulokset ja yhteenveto.

2 TEOLLISUUSROBOTTI

Teollisuusrobotti on tietokoneohjattu laite, jolla on vähintään kolme niveltä ja se on suunniteltu liikuttamaan työkalulaippaansa liitettyä työkalua eri tehtävissä. Robotin liikeradat ovat uudelleenohjelmoitavissa monenlaisten eri tehtävien aikaansaamiseksi erilaisissa teollisuuden tehtävissä. Teollisuusrobotteja käytetään paljon etenkin elintarvike-, metalli- ja muoviteollisuudessa. Pääkäyttötarkoituksina voidaan pitää pakkausta, paketointia, kokoonpanoa, hitsausta, koneistuksen kappaleenkäsittelyä ja ruiskupuristuksen kappaleenkäsittelyä. Tuotannon muuttuessa robotti voidaan nopeasti uudelleenohjelmoida käsittelemään toista tehtävää.^{1,2}

2.1 Yleiset robottityypit

Teollisuusrobotit voidaan jakaa eri tyyppeihin erilaisen mekaniikkansa suhteen. Robotin suunnittelusta työtehtävästä riippuen esimerkiksi tuotannon tiettyyn tehtävään voidaan valita tiettyntyyppinen robottimalli.³

2.1.1 Nivelvarsirobotti

Yleisin teollisuudessa käytetty robotti on nivelvarsirobotti (Kuva 1), jossa on yleensä 5 tai 6 akselia ja näin se mahdollistaa monipuolisen pallomaisen liikeradan. 6 akselilla varustettu nivelvarsirobotti kykenee saavuttamaan minkä tahansa asennon tarttujallaan. Valikoimassa on hyvin laajasti eri kokoisia nivelvarsirobotteja, aina kevyiden kappaleiden käsittelyyn tarkoitetuista jopa 2 000 kilon työskentelykuormaan kykeneviä robottivaihtoehtoja. Käyttökohteita on runsaasti, esimerkiksi maalaus-, hitsaus- ja pakkaustehtävät.^{4,5}

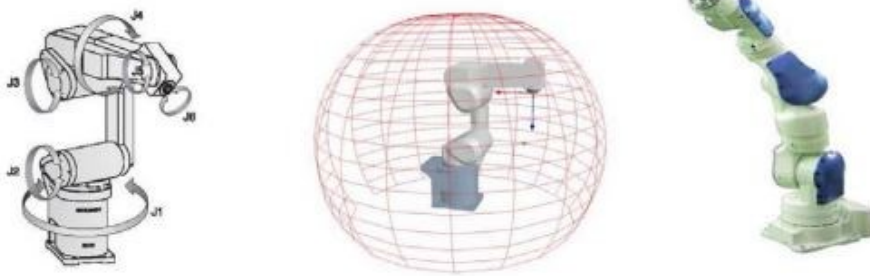
¹ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

² Robotiikka

³ Robotiikka

⁴ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

⁵ Robotiikka



Kuva 1. Nivelvarsirobotti ja työalue.⁶

2.1.2 Portaalirobotti

Portaalirobotissa (Kuva 2) on pääasiassa kolme vapausastetta ja ne ovat lineaarisia käyttäen suorakulmaista koordinaatistoa (X, Y, Z). Tarttuja voi olla erikseen niveloity mahdollistaen kiertävän liikkeen tarttujalla. Portaalirobotti sopii käyttökohdeksi tilanteessa, jossa tarvitaan laajaa työskentelyaluetta, suurta painonkäsittelykykyä tai jos on tarve säästää tilaa tehtaalla, niin ylhäältäpäin tapahtuva työskentely mahdollistaa tyhjää lattiapinta-alaa tehtaalla. Portaalirobotteja käytetään yleisesti lavaus- ja pakkaustehtävissä.⁷

⁶ IFR: https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf

⁷ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat



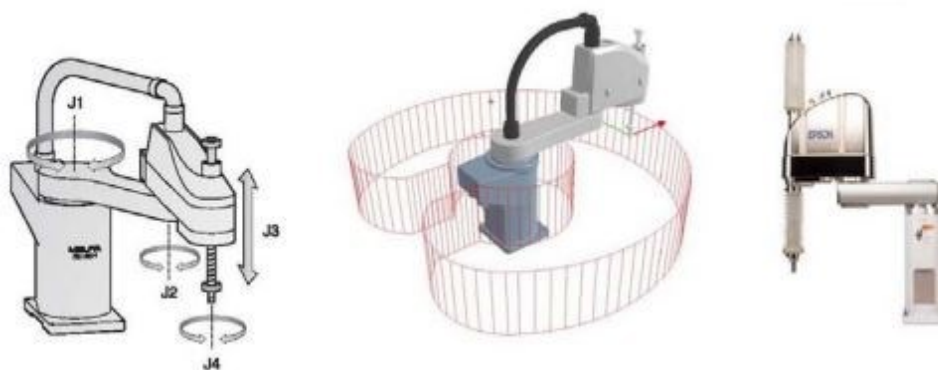
Kuva 2. Portaalirobotti ja työalue.⁸

2.1.3 SCARA-robotti

SCARA-robotti (Kuva 3) koostuu kahdesta tai kolmesta nivelestä, jotka liikkuvat samassa tasossa, sekä yhdestä lineaariliikkeen mahdollistavasta nivelestä. Käyttökohteita ovat kevyet ja nopeutta vaativat tehtävät, kuten elektronisten laitteiden kokoonpanotehtävät.⁹

⁸ IFR: https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf

⁹ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat



Kuva 3. SCARA-robotti ja työalue.¹⁰

2.1.4 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Tässä robottityypissä tukivarret on kytketty rinnakkain toisiinsa nähden (Kuva 4). Nivelet ovat lineaarisia, muodostaen tukivarsista ”kolmion”, jonka leveys muuttuu ja nivelet yhtyvät kärjessä. Tukivoimat jakaantuvat toisiaan tukevien rakenteiden avulla ja tämä mahdollistaa hyvän kestävyuden robotille. Hyvinä puolina tämän tyyppisissä roboteissa on keveys ja suurien voimien hallinta. Käytetään usein työtehtävissä esimerkiksi liikuttamaan karaa.¹¹



Kuva 4. Rinnakkaisrakenteinen robotti ja työalue.¹²

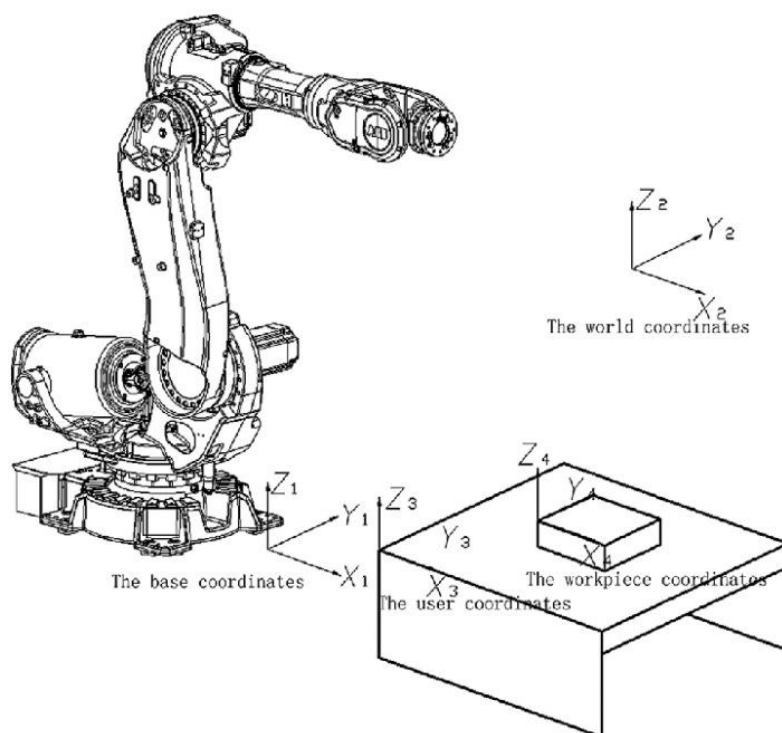
¹⁰ IFR: <https://ifr.org/img/office/Industrial Robots 2016 Chapter 1 2.pdf>

¹¹ Robotiikka

¹² IFR: <https://ifr.org/img/office/Industrial Robots 2016 Chapter 1 2.pdf>

2.2 Robotin koordinaatistot

Teollisuusrobotin koordinaatistot voidaan jakaa maailmankoordinaatistoon, peruskoordinaatistoon ja työkalukoordinaatistoon.¹³ Lisäksi voidaan luoda omia käyttäjän koordinaatistoja (Kuva 5).¹⁴



Kuva 5. Robotin koordinaatistot.¹⁵

¹³ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

¹⁴ ABB – ROBOTS IRC-5 Yleisohje

¹⁵ ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/The-base-coordinate-world-coordinate-work-piece-coordinate-and-user-coordinate-systems_fig2_275085460

Maailmankoordinaatisto on robotin työskentely-ympäristöön sidottu koordinaatisto, joka on riippuvainen robotin ympärillä olevista laitteista. Ohjelmointi sidottuna maailmankoordinaatistoon on hyödyllistä silloin, kun ulkoiset laitteistot ovat riippuvaisia suhteessa robotin asemaan.¹⁶

Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalkaan. XY-taso on lattiassa, X-akseli osoittaa ensimmäisen nivelen työalueen keskikohtaan ja Z-akseli suuntaa ylöspäin kohti ensimmäistä akselia.¹⁷

Työkalukoordinaatisto on sidottu käsittelyssä olevaan työkaluun tai työkappaleeseen. X-, Y- ja Z-akselit on sidottu työkaluun tai kappaleeseen ja niiden asento muuttuu työkalun tai kappaleen asennon mukaisesti. Tämä on hyödyllistä ja ohjelmointia helpottavaa esimerkiksi hitsaus- ja kokoonpanotehtävissä.¹⁸

Käyttäjäkoordinaatistoja voidaan määritellä robotin työalueelle helpottamaan ohjelmointia. Koordinaatisto luodaan tiettyyn kohteeseen, esimerkiksi pöytään. Etuja käyttäjäkoordinaatiston käytölle on esimerkiksi silloin, kun kohdetta siirretään. Pöydälle luotu koordinaatisto ja tähän suhteutetut paikoitukset ovat ohjelmassa, ja pöytää siirrettäessä ei tarvitse ohjelmoida uudelleen paikoituksia, vaan pelkkä uudelleenmäärittely käyttäjäkoordinaatistolle riittää.¹⁹

2.3 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmointi voidaan suorittaa yleisesti kolmella eri tavalla. Näitä ovat johdattamalla ohjelmointi, opettamalla ohjelmointi ja offline-ohjelmointi.²⁰

¹⁶ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

¹⁷ Robotiikka

¹⁸ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

¹⁹ ABB – ROBOTS IRC-5 Yleisohje

²⁰ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

Johdattamalla ohjelmoinnin toimintaperiaate on johtaa robotin liikeakselit haluttuihin paikkoihin liikuttamalla robotin työkalua lihasvoimin. Robotti lukee paikoitukset ja liikeradat ja nämä voi tallentaa robotin muistiin.²¹

Opettamalla ohjelmoinnin toimintaperiaate on käyttää käsiohjainta robotin ohjelmointiin. Käsiohjaimella liikutetaan robotin työkalua haluttuun paikkaan ja paikoitustiedot tallennetaan. Paikoituspisteille annetaan myös liikekomento, jolla määritetään esimerkiksi millä nopeudella ja minkälaisella liikkeellä robotin täytyy siirtyä seuraavaan paikoituspisteeseen.²²

Offline-ohjelmoinnilla eli etäohjelmoinnilla voidaan ohjelmoida robottia tietokoneella käytettävällä ohjelmalla olematta paikan päällä robotin lähetyvillä. Ohjelmassa on 3D-malli robotista. Robottivalmistajilla on omat ohjelmat tähän käyttötarkoitukseen ja myös omat ohjelmointikieliset ohjelmalleen, mutta useat ohjelmat tukevat myös standardoitua robottikieltä (IRL-International Robot Language). Etäohjelmointi on nykyisin yleisin ohjelmointitapa robotin ohjelmoinnissa.²³

2.4 Robotin työkalut

Robotin työkalulla tarkoitetaan robotin päässä olevaa osaa, jota siirretään asemasta toiseen. Työkaluista yleisin käytetty työkalu on tarrain. Muita yleisesti käytettäviä työkaluja ovat eri prosessiin osallistuvat työkalut, esimerkiksi hitsaukseen, maalaamiseen tai liimaamiseen soveltuvat työkalut.²⁴

Työkalua valittaessa tulee kiinnittää huomiota työkalun luotettavuuteen, kestävyyteen ja varaosien saatavuuteen. Työkalun kiinnityksen täytyy olla riittävän tukeva, jotta paikoitusvirheiltä vältyttäisiin. Erillisiä törmäystunnistimia voi harkita

²¹ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

²² Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

²³ Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat

²⁴ Robotiikka

tapauskohtaisesti. Törmäystunnistin suojelee robottia mahdollisessa törmäyksessä pysäyttäen koko robotin toiminnan, jotta suuremmilta vahingoilta välttyttäisiin.²⁵

2.4.1 Tarraimet

Tarraimet voidaan jakaa eri ryhmiin tarraimen toimintatavasta riippuen. Näitä ovat mekaaniset tarraimet, alipainetarraimet, magneettiset tarraimet, älykkäät anturoidut tarraimet, sisäisesti laajenevat tarraimet, vakiotarraimet ja erikoistarraimet. Muitakin ryhmittelytapoja on; tarraimet voidaan jakaa esimerkiksi toimilaitteen mukaan pneumaattisiin, hydraulisiin tai sähköisiin tarraimiin.²⁶

2.4.2 Mekaaniset tarraimet

Mekaanisessa tarraimessa on sormet (Kuva 6), joilla kappaleeseen tartutaan. Sormien liikkeet on mahdollista tuottaa erilaisilla mekanismeilla. Tarrain rakentuu yleisesti toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä. Erityyppiset mekaaniset tarraimet voidaan toimintatavan mukaan jakaa kinemaattisiin rakenteisiin, joilla tarraimen toiminta on toteutettu:

- Nivelmekanismit
- Hammaspyörä ja hammastanko
- Epäkesko
- Ruuvi
- Vaijeriväkipyörä
- Sekalaiset.²⁷

²⁵ Robotiikka

²⁶ Robotiikka

²⁷ Robotiikka



Kuva 6. Schunk-sormitarttuja.²⁸

2.4.3 Imu- ja tyhjiötarraimet

Imu- ja tyhjiötarraimet perustuvat alipaineeseen. Näitä tarraimia käytetään soveluksissa, joissa mekaanisen tarttujan käyttäminen olisi hankalaa. Kappaleeseen tartutaan yleensä yhdestä suunnasta imukupilla, ja alipaineella ote kappaleesta toteutuu. Imukupit eivät naarmuta kappaletta, koska ne on valmistettu muovista tai kumista. Tarvittaessa suurempia tartuntavoimia imukuppien lukumäärää voi lisätä (Kuva 7). Tartunta imukupeilla vaatii riittävän tasaisen ja puhtaan pinnan. Hyvinä puolina imukuppitartunnassa on yksinkertainen rakenne ja joustovara. Huonoja puolia ovat paineen kadotessa kappaleen tippuminen sekä se, että kappale ei keskity suhteessa tartuntakohtaan (Kuva 8).²⁹

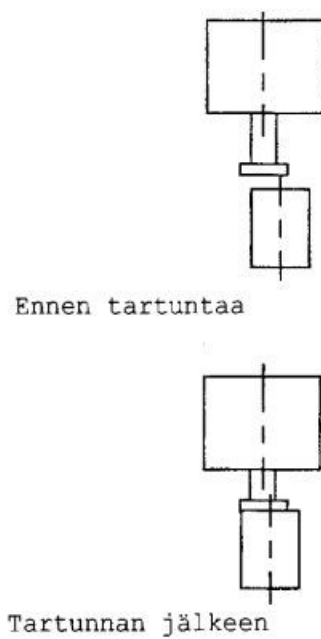
²⁸ Schunk: https://schunk.com/fi_en/gripping-systems/series/jgp-p/

²⁹ Robotiikka



Kuva 7. Imukuppitartunta.³⁰

³⁰ Schmalz: <https://www.schmalz.net.cn/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-area-gripping-systems/vacuum-area-gripping-system-fxp-and-fmp/>



Kuva 8. Imukupitarrain ennen ja jälkeen tartunnan.³¹

2.4.4 Magneettitarraimet

Magneettitarraimia voidaan käyttää vain kappaleille, jotka ovat magneettisia. Tarraimen nostovoima on riippuvainen kappaleen muodosta ja pinnanlaadusta, magneettikenttä heikkenee nopeasti ilmaraon kasvaessa. Kestomagneetilla tarvitaan erillinen irrotuslaite kappaleen irrottamiseksi magneetista, kun taas sähkömagneetilla irrotus onnistuu vaihtamalla magneettikentän suuntaa.³²

³¹ Robotiikka

³² Robotiikka

2.4.5 Vakiotarraimet

Markkinoilla on runsaasti erilaisia standarditarraimia eri valmistajilta. Vaikka tuotevalikoima on laaja ja räätälöity soveltumaan moniin erilaisiin sovelluksiin, joudutaan tarrainta kuitenkin monesti muokkaamaan käyttöönotettaessa, yksinkertaisimmillaan muotoilemalla uudet tartuntapinnat tarttujalle.³³

2.4.6 Erikoistarraimet

Erikoistarraimen toimintaperiaate voi olla tarraimen muodonmuutos ja laajentuminen tartuttavan kappaleen ympärille. Esimerkiksi paineen avulla voidaan tarttujan muotoa muuttaa ja tämä perustuu granulaattiin (Kuva 9).³⁴

³³ Robotiikka

³⁴ Robotiikka



Kuva 9. Granulaattiin perustuva tarttuja.³⁵

2.5 Tarraimen valinta ja suunnittelu

Tarrainta valittaessa tai tarrainta suunniteltaessa katsotaan koko automatisointitehtävää kokonaisuutena. Tarraimen yksinkertainen rakenne ja pieni koko sekä paino on aina etu automatisointitehtävissä. Tarttumistavan tulee olla pitävä ja olisi hyvä, jos kappale voidaan keskittää tarttujalla.³⁶

2.6 Muut työkalut

Robotteihin on saatavilla monipuolisesti erilaisiin prosesseihin osallistuvia työkaluja. Näitä ovat esimerkiksi työstävät työkalut; hiontatyökalut ja jäysteenpoistoa varten suunnitellut työkalut. Muita yleisiä työkaluja ovat kaari- ja pistehitsauspäät,

³⁵ Wevolver: <https://www.wevolver.com/wevolver.staff/universal.robotic.gripper>

³⁶ Robotiikka

ruiskumaalaus-, liimaus- ja saumasuutin, jyrsin, polttoleikkain, valukauha, ruuvaustyökalu ja niittauslaite.³⁷

2.7 Työkalunvaihtojärjestelmät

Työkalujen vaihtoa varten robotissa voi olla automaattinen työkalunvaihtojärjestelmä (Kuva 10) tai työkalun vaihto voi tapahtua manuaalisesti.³⁸



Kuva 10. Automaattinen työkalunvaihtojärjestelmä.³⁹

Automaattisessa työkalunvaihtojärjestelmässä robotin työkalulaippaan asennetaan perusosa ja tähän perusosaan sopii työkalut, joihin on asennettu vastakappale. Työkalu vaihdetaan makasiinista, jossa voi olla useita eri työkaluja käytettävissä.⁴⁰ Automaattisen työkalunvaihtojärjestelmän hyötyjä ja yleisiä käyttökoh-

³⁷ Robotiikka

³⁸ Robotin tarttujajärjestelmät ja varustelu Timo Pitkääkoski, SCHUNK Intec Oy

³⁹ Robotin tarttujajärjestelmät ja varustelu Timo Pitkääkoski, SCHUNK Intec Oy

⁴⁰ Robotiikka

teita ovat usein tapahtuva työkalun vaihdon tarve, tahtiajan kriittisyys tuotannossa ja tarve viedä työkalulle esimerkiksi hydraulikkaa, jäähdytysnestettä tai hitsausvirtaa.⁴¹

Manuaalisia työkalunvaihtojärjestelmiä käytetään yleensä silloin, kun työkalua ei tarvitse vaihtaa useasti, eikä sen aikaa vievä vaihtaminen haittaa liikaa tuotannossa. Paineilman ja ohjaussignaalien läpivienti onnistuu manuaalisissa järjestelmissä.⁴²

⁴¹ Robotin tarttujajärjestelmät ja varustelu Timo Pitkäkoski, SCHUNK Intec Oy

⁴² Robotin tarttujajärjestelmät ja varustelu Timo Pitkäkoski, SCHUNK Intec Oy

3 VALMISTUSTEKNOLOGIAT

Valmistusteknologia tarkoittaa kaikkia niitä tekniikoita ja menetelmiä, joilla eri materiaaleista, kuten metalleista, muoveista, puusta, keraameista ja muista raaka-aineista valmistetaan esineitä. Nämä tekniikat voidaan jakaa eri ryhmiin eri valmistusmenetelmän mukaan: muovaaviin, liittäviin, materiaalia poistaviin ja materiaalia lisääviin menetelmiin.⁴³

3.1 Muovaavat valmistusmenetelmät

Muovaavia valmistustekniikoita ovat kiinteään tai juoksevan materiaalin pakottaminen muotoonsa. Näitä tekniikoita ovat takominen, vetäminen, taivutus, puristus ja valaminen.⁴⁴

3.2 Liittävät valmistusmenetelmät

Liittävissä tekniikoissa kappaleita liitetään yhteen, näitä ovat hitsaus, niittaus, liimaus, sintraus ja ruuviliitos.⁴⁵

3.3 Materiaalia poistavat valmistusmenetelmät

Materiaalia poistavissa tekniikoissa poistetaan materiaalia aihioista, joka on suurempi kuin lopullinen valmistettava kappale. Näitä ovat lastuaminen, johon kuuluvat sahaus, sorvaus, jyrsintä, poraus ja hionta. Myös erilaisia leikkausmenetelmiä on käytössä.⁴⁶

⁴³ Valmistusteknologiat

⁴⁴ Valmistusteknologiat

⁴⁵ Valmistusteknologiat

⁴⁶ Valmistusteknologiat

3.4 Materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät

Tästä valmistusmenetelmästä käytetään myös yleisesti nimitystä 3D-tulostus tai pikavalmistus. Materiaalia lisäävässä menetelmässä tuote valmistetaan 3D-mallin pohjalta lisäämällä materiaalikerroksia.⁴⁷

Teknologian tuomat edut ovat monimutkaistenkin kappaleiden valmistukset, joita on aiemmin ollut vaikeata tai jopa mahdotonta valmistaa perinteisillä valmistusmenetelmillä. Muita etuja ovat kevyet kappaleet; materiaalia voidaan käyttää vain kriittisissä paikoissa, joissa tarvitaan rasituskestävyyttä, ja materiaalia voidaan säästää kappaleen kohdista, joihin ei kohdistu merkittävää rasitusta (topologian optimointi). Prosessi 3D-mallista valmiiseen kappaleeseen on nopea ja tämä mahdollistaa esimerkiksi prototyypin testaamisen nopeasti.⁴⁸

Teknologian haittoina ovat vielä melko kalliit materiaalikustannukset verrattuna perinteisissä valmistusmenetelmissä käytettyihin materiaaleihin, kalliit tulostimet, kappaleiden pinnanlaadun puutteet, jotka voivat vaatia erillisen koneistuksen tarkimmissa tuotevaatimuksissa sekä hidas sarjatuotanto. Teknologia kehittyy kuitenkin jatkuvasti ja tämä mahdollistaa entistä halvemmat materiaalihinnat sekä tulostimien halvemmat hankintahinnat.⁴⁹

3.4.1 Valmistusprosessi

Standardin ISO/ASTM 52900 mukaan valmistusprosessit jaotellaan seuraavasti:

- Binder Jetting – sideaineen ruiskutus
- Direct Energy Deposition – suorakerrostus
- Material Extrusion – materiaalin pursotus

⁴⁷ Valmistusteknologiat

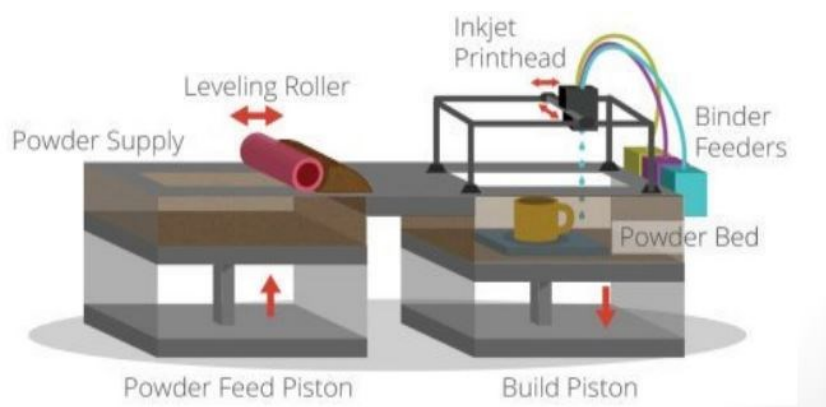
⁴⁸ Valmistusteknologiat

⁴⁹ Valmistusteknologiat

- Material Jetting – materiaalin ruiskutus
- Powder Bed Fusion – jauhepetimenetelmä
- Sheet Lamination – kerroslaminointi
- Vat Photopolymerization – nesteen fotopolymerointi.⁵⁰

Edellä mainitut valmistusprosessit pitävät sisällään vielä useampia menetelmiä eri materiaalien ja saavutettavan tarkkuuden sekä kustannusten osalta.⁵¹

Sideaineen ruiskutuksessa (Kuva 11) materiaalin sekaan ruiskutetaan kerroksittain sideaine, joka liimaa tai liuottaa materiaalin partikkelit yhteen. Tukirakenteita ei välttämättä tarvita.⁵²



Kuva 11. Sideaineen ruiskutus.⁵³

Suorakerrostusmenetelmässä (Kuva 12) syötetään metallilankaa tai jauhetta, joka sulatetaan elektronitykillä kerroksittain. Menetelmä muistuttaa perinteistä hitsausta.⁵⁴

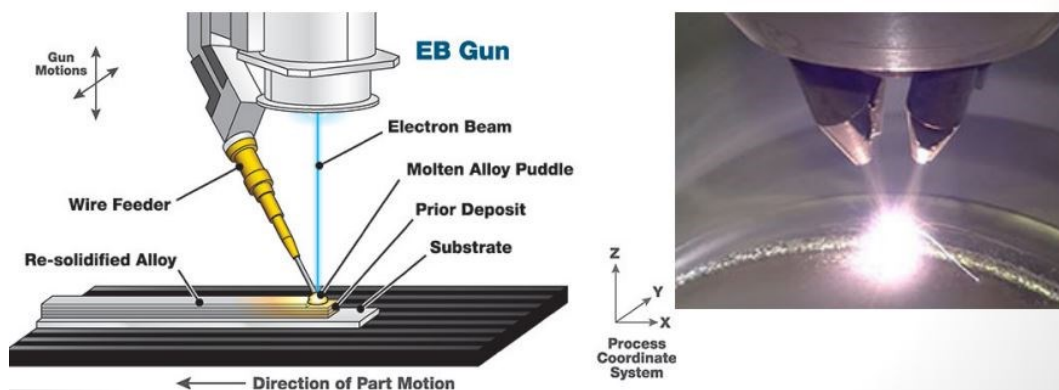
⁵⁰ Valmistusteknologiat

⁵¹ Valmistusteknologiat

⁵² Valmistusteknologiat

⁵³ Valmistusteknologiat

⁵⁴ Valmistusteknologiat



Kuva 12. Suorakerrostusmenetelmä.⁵⁵

Materiaalin pursotus (Kuva 13) on yleisin ja edullisin menetelmä. Materiaali sulatetaan ja se pursotetaan suuttimen läpi tulostusalustalle.⁵⁶



Kuva 13. Materiaalin pursotus.⁵⁷

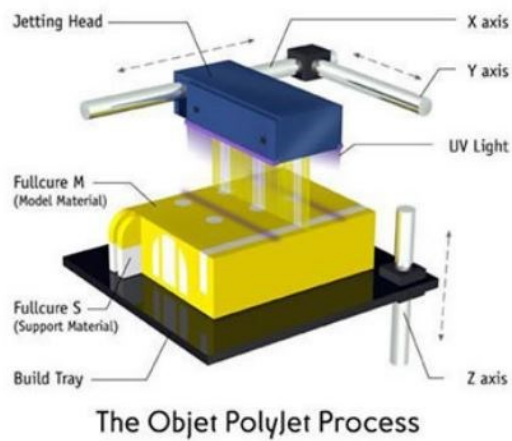
Materiaalin ruiskutus -menetelmässä (Kuva 14) materiaali ruiskutetaan tulostusalustalle. Sen jälkeen materiaali kovetetaan esimerkiksi UV-valolla.⁵⁸

⁵⁵ Valmistusteknologiat

⁵⁶ Valmistusteknologiat

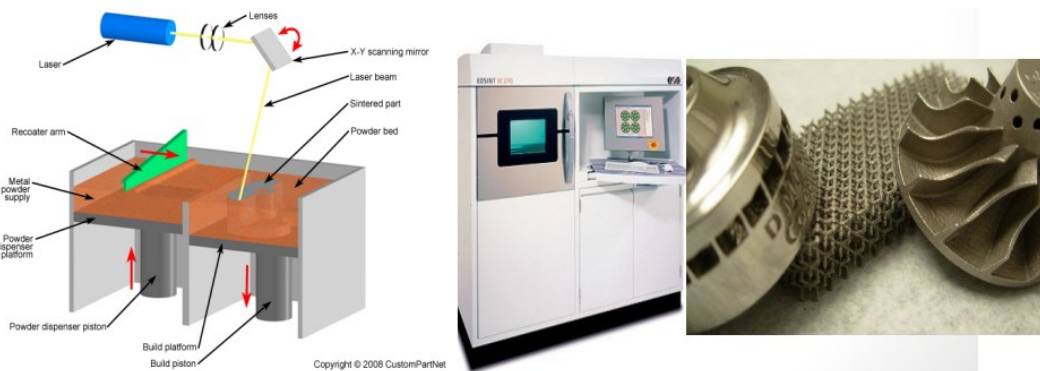
⁵⁷ Valmistusteknologiat

⁵⁸ Valmistusteknologiat



Kuva 14. Materiaalin ruiskutus.⁵⁹

Jauhepetimenetelmässä (Kuva 15) materiaalijauhe sintrataan tai sulatetaan esimerkiksi laserilla. Jauhe on erillisessä laatikossa, jossa sulatus tapahtuu.⁶⁰



Kuva 15. Jauhepetimenetelmä.⁶¹

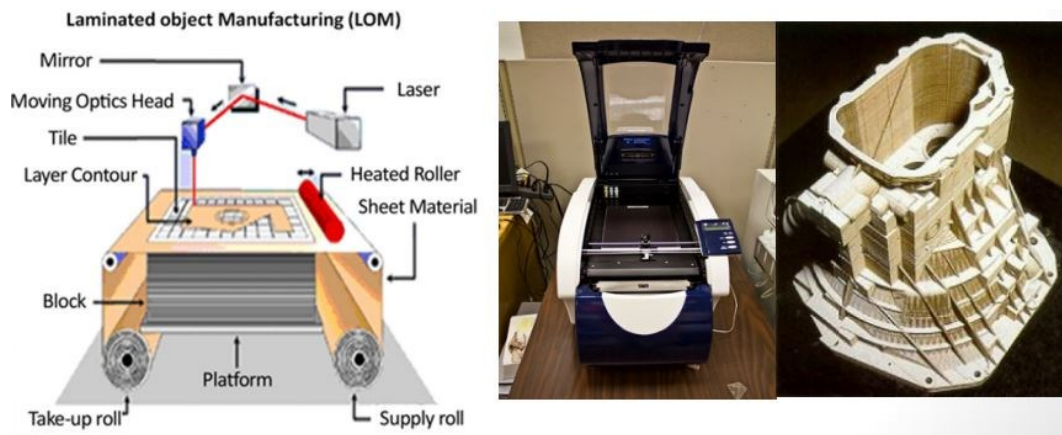
Kerros laminointimenetelmässä (Kuva 16) laminoidaan levyistä leikattuja kerroksia päällekkäin.⁶²

⁵⁹ Valmistusteknologiat

⁶⁰ Valmistusteknologiat

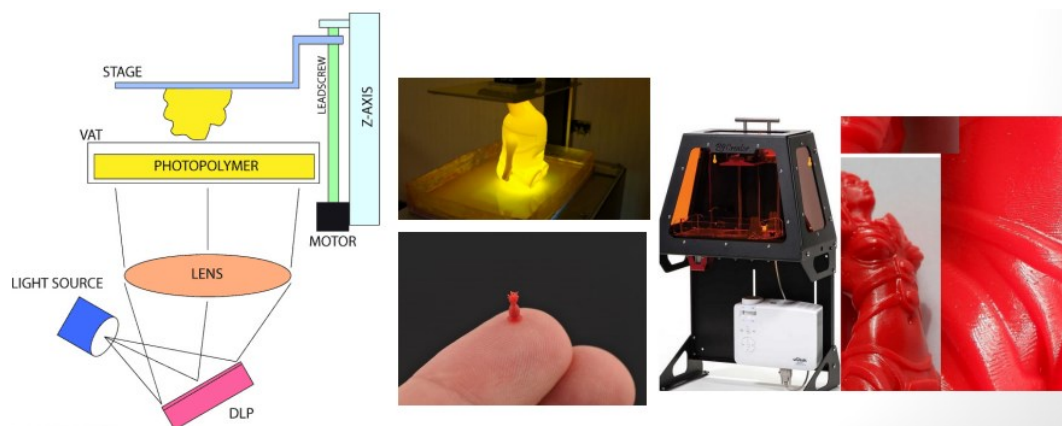
⁶¹ Valmistusteknologiat

⁶² Valmistusteknologiat



Kuva 16. Kerroslaminointimenetelmä.⁶³

Nesteiden fotopolymeraatio -menetelmässä (Kuva 17) valoherkkää nestettä kovetetaan UV-valolla tai laserilla kerroksittain.⁶⁴



Kuva 17. Nesteiden fotopolymeraatio -menetelmä.⁶⁵

⁶³ Valmistusteknologiat

⁶⁴ Valmistusteknologiat

⁶⁵ Valmistusteknologiat

3.4.2 Materiaalit

Tulostettavat materiaalit ovat yleensä muoveja tai metalleja, myös keraameja ja hiekkaa tulostetaan. Yleisimmät muovit ovat termoplastisia, joita myydään yleensä filamentteina, joka on muovinauhaa paksuudeltaan 1,75 mm tai 3 mm. Nestemäisiä fotopolymeerejä, pulvereita ja massaa on myös valikoimissa. Yleisiä 3D-tulostuksessa käytettyjä muoveja ovat: PLA (polylaktidi), ABS (akrylinitriilibutadieenistyreeni), ASA (akrylistyreeniakrylonitriili), PA (polyamidi), HIPS (polystyreeni), PC (polykarbonaatti), PVA (polyvinyylialkoholi), PETG (polyetyleeniteref-talaatti, glykolimodifioitu), PP (polypropeeni), TPE (termoplastinen elastomeeri), PCTPE (Pehmennetty kopolyamidi TPE), TPU (termoplastinen polyuretaani), Soft PLA ja Nailon.⁶⁶

Yleisiä käytettyjä metalleja ovat: ruostumaton teräs 17-4 ph, ruostumaton teräs 316L, Alumiini AlSi10Mg, Titaani Ti64, Koboltti-kromi CoCrMo ja Inconel 625.⁶⁷

3.4.3 Viipalointiohjelmat

3D-CAD ohjelmalla luotu objekti tulee siirtää viipalointiohjelmaan ennen 3D-tulostusta. Viipalointiohjelmien tuettu tiedostomuoto on yleensä STL-, M3F-, tai OBJ-tiedostomuoto. Viipalointiohjelma tuottaa objektista työstöradan ja näyttää tulosajan, sekä sillä määrittellään erilaisia asetuksia tulostukselle, kuten materiaali-vahvuus, tulostusnopeus, suuttimen ja alustan lämpötila sekä käytettävät tukimateriaalit. Lopuksi ohjelma tuottaa G-koodin objektista, jonka tulostin pystyy lukemaan.⁶⁸

⁶⁶ Valmistusteknologiat

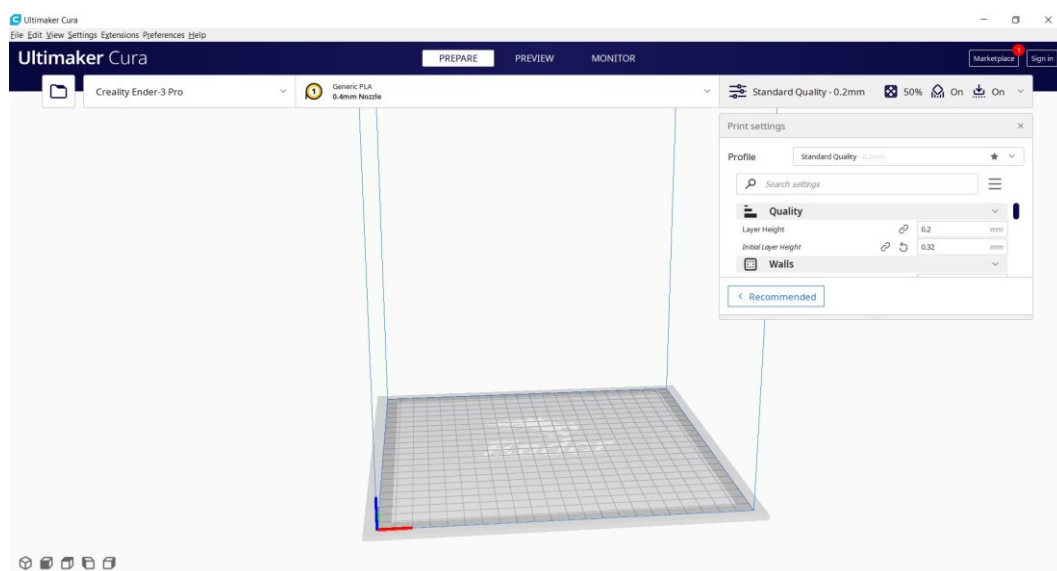
⁶⁷ Valmistusteknologiat

⁶⁸ All3DP: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

Viipalointiohjelmia on suuri määrä tarjolla ja monet niistä ovat ilmaisia. Muutamia suosittuja viipalointiohjelmia ovat: Ultimaker Cura, Netfabb Standard, PrusaSlicer, Simplify3D, OctoPrint, Slic3r ja MatterControl.⁶⁹

3.4.4 Ultimaker Cura

Ultimaker Cura (Kuva 18) on 3D-tulostinyritys Ultimakerin ylläpitämä ohjelma. Tämä on suosituin 3D-tulostukseen käytettävä viipalointiohjelma.⁷⁰



Kuva 18. Ultimaker Cura -ohjelmisto.

⁶⁹ All3DP: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

⁷⁰ All3DP: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

4 TUOTESUUNNITTELU

Tuotesuunnittelussa pyritään tuottamaan asetetut vaatimukset täyttävä tekninen ratkaisu. Prosessi perinteisesti koostuu seuraavista vaiheista: vaatimusmäärittely, toimintorakenne, ratkaisuvaihtoehdot, toteutettava ratkaisu ja viimeistely.⁷¹

Tuotetta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon suoraan tuotteeseen liittyvät tekniset vaatimukset (toimivuus, tehokkuus ja turvallisuus) ja tämän lisäksi valmistettavuus, kokoonpantavuus, muotoilu, palvelumuotoilu, asiakaskokemus, brändinhallinta, laatu, yhteensopivuus, standardinmukaisuus, ympäristö- ja eettiset ominaisuudet, immateriaalioikeudet, patentit, direktiivit, kustannustehokkuus sekä tuotetiedon hallinta.⁷²

4.1 3D-CAD

CAD on lyhenne sanoista Computer-Aided Design (tietokoneavusteinen suunnittelu). Nykyaikainen suunnittelutyö perustuu 3D-CAD-ohjelman käyttöön tuotteen ja dokumentoinnin luomisessa, ja valtaosa mekaniikkasuunnittelusta toteutetaan 3D-CAD-ohjelmistolla.⁷³

Ohjelmistoja on markkinoilla suuri määrä eri valmistajilta. Ne voidaan jakaa kahden sarjaan, kevyemmän ja raskaamman sarjan mallintajiin. Suomessa suosituimmat kevyen sarjan mallintajat ovat Inventor, Solid Works ja Vertex. Raskaamman sarjan mallintajia ovat CATIA, Siemens NX ja PTC Creo.⁷⁴

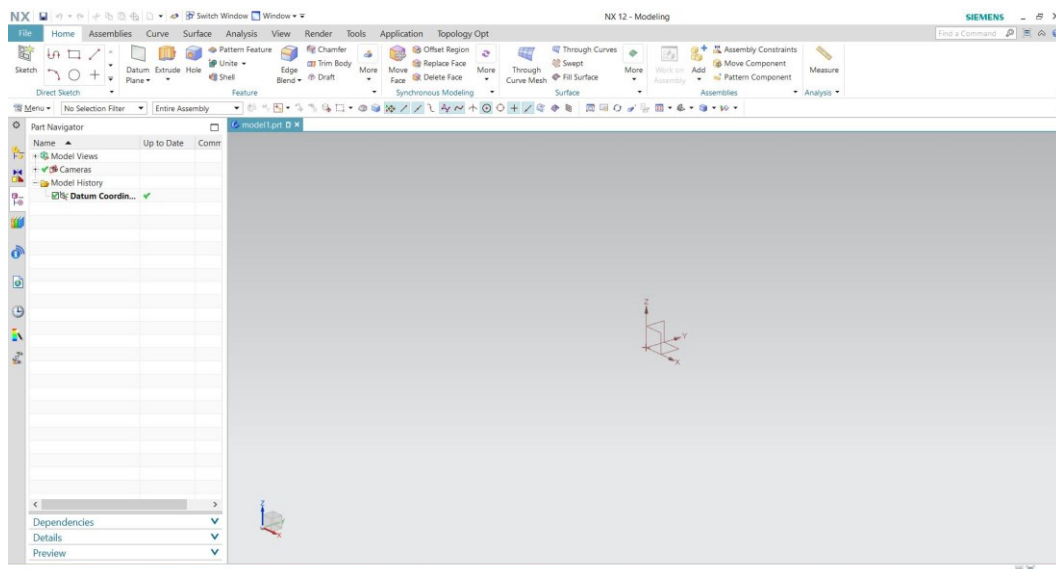
⁷¹ Koneenpiirustus 1&2

⁷² Koneenpiirustus 1&2

⁷³ Koneenpiirustus 1&2

⁷⁴ 3D-Mallinnus

Tuotetiedon hallintaohjelmistoja löytyy myös eri valmistajilta. Varsinkin isoilla 3D-CAD-ohjelmistojen valmistajilla on usein ratkaisu myös tuotedokumentaation hallintaan. Esimerkiksi Siemens NX -ohjelman (Kuva 19) tuotetiedon hallintaa varten on sama valmistaja tehnyt myös tuotetiedon hallintaohjelman, Teamcenterin.⁷⁵



Kuva 19. Siemens NX 12 -ohjelmisto.

4.2 Tuotekehitys

Tuotekehitysprosessi voidaan jakaa eri vaiheisiin. Ensimmäisessä vaiheessa, esitutkimuksessa, kartoitetaan tarvetilanne ja luodaan vaatimuslista. Toisessa vaiheessa, luonnostelussa, luonnostellaan vaatimuslistan mukainen tuoteidea ja käytettävä valmistusmenetelmä. Kolmannessa vaiheessa, kehittämisessä, tuote kehitetään valmiiksi kokonaisuudeksi. Neljännessä vaiheessa, viimeistelyssä, tuote viimeistellään valmiiksi ja luodaan prototyypit sekä dokumentaatio.⁷⁶

⁷⁵ 3D-Mallinnus

⁷⁶ Koneosien suunnittelu

5 TOTEUTUS

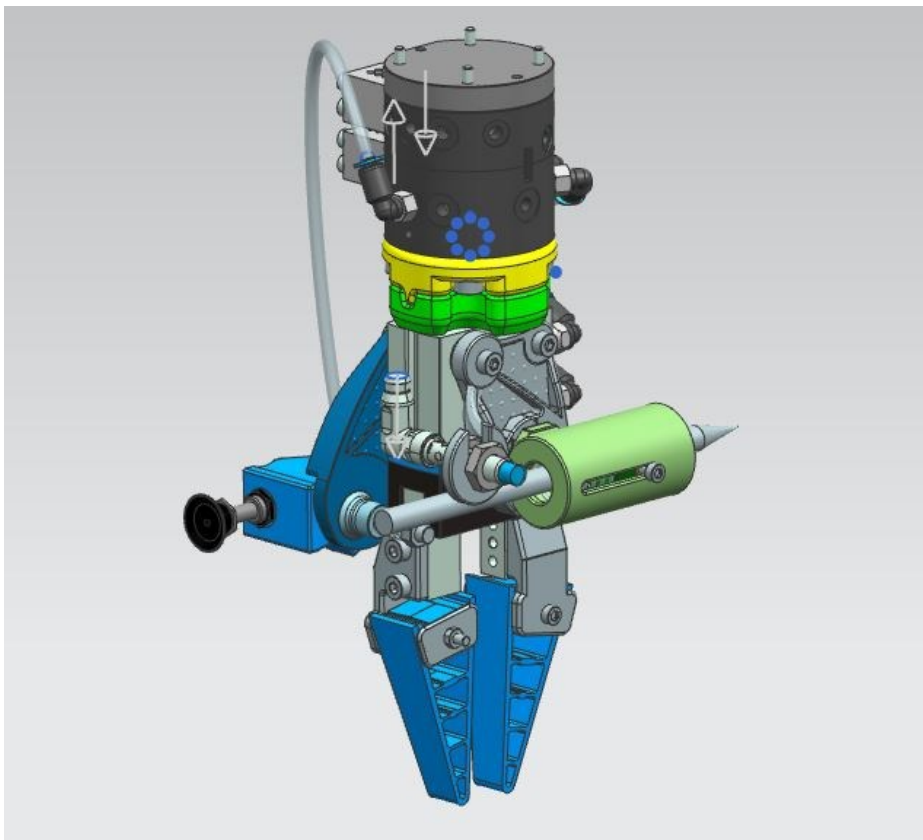
Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla viime vuoden opiskelijaprojektissa valmistettuihin monitoimityökaluihin opetuslaboratorio Technobothniassa. Tämän jälkeen perehdyttiin projekteista tehtyihin loppuraportteihin sekä alkuperäiseen vaatimuslistaan monitoimityökalusta. Erilaisia monitoimityökaluja oli valmistettu neljä kappaletta erimallisiin ABB:n robotteihin (ABB IRB 1600, ABB IRB 120, ABB IRB 1200 ja ABB IRB 1100). Monitoimityökaluissa oli joitakin puutteita ja näihin haluttiin ratkaisua. Lisäksi asiakkaalla oli joitakin toivomuksia uuteen tuotteeseen.

5.1 Tutustuminen aikaisempiin monitoimityökaluihin

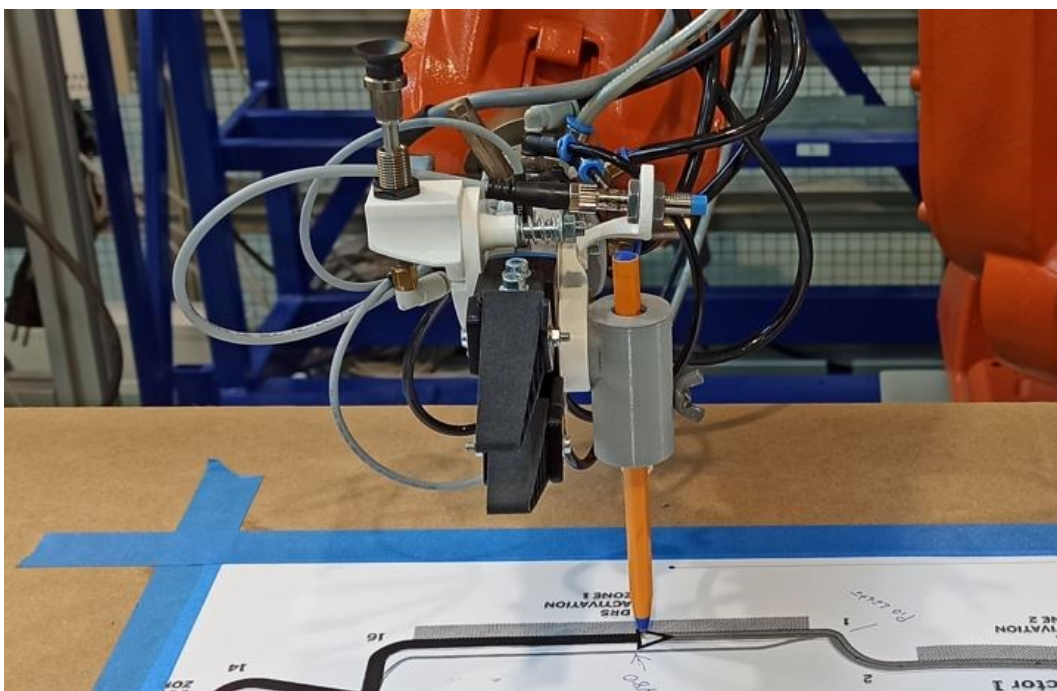
5.1.1 Ryhmä 1 (ABB IRB 1600)

Hyviä ratkaisuja: Magneettikiinnitys monitoimityökalun ja robotin työkalulaipan välillä, magneettiratkaisu ja kääntömahdollisuus kynäkotelossa.

Kehitettävää: Kynässä liikaa väljyyttä, tarttujan kynnet liian pehmeät (materiaali liian joustavaa), anturitelineessä heikko kohta (murtuminen todennäköinen), työkalun kiinnitys työkalulaippaan hieman liian heikko.



Kuva 20. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 1).

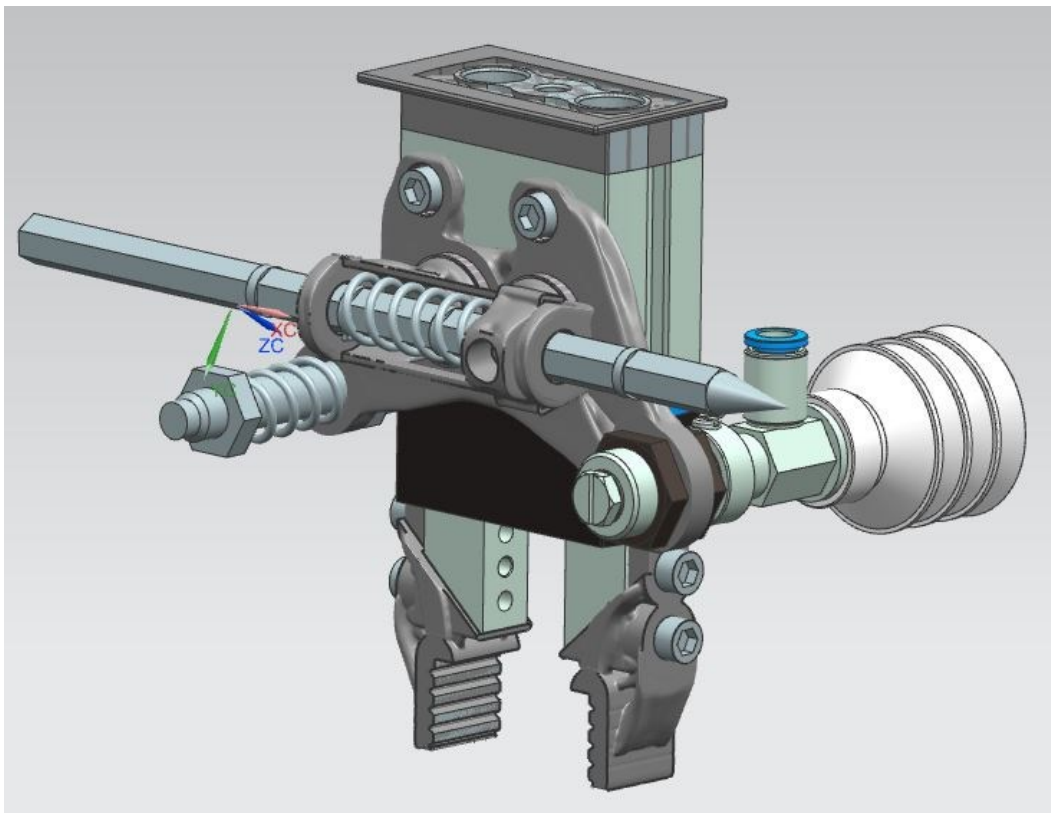


Kuva 21. Kokoonpano robotissa (ryhmä 1).

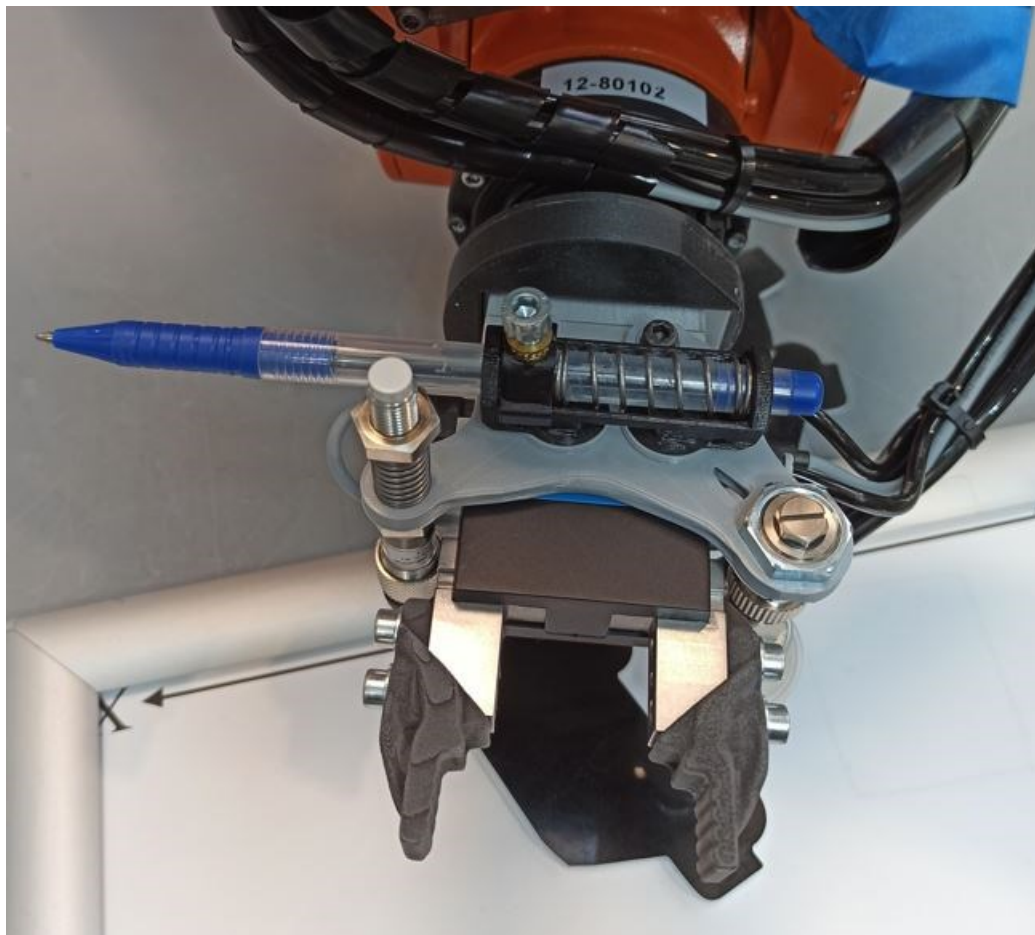
5.1.2 Ryhmä 2 (ABB IRB 120)

Hyviä ratkaisuja: Magneettikiinnitys monitoimityökalun ja robotin työkalulaipan välillä, muotoilu, osien vähäinen määrä, jousto-ominaisuus kynässä ja anturissa.

Kehitettävää: Kynässä liikaa väljyyttä, kynäkotelon kiinnitys heikko.



Kuva 22. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 2).

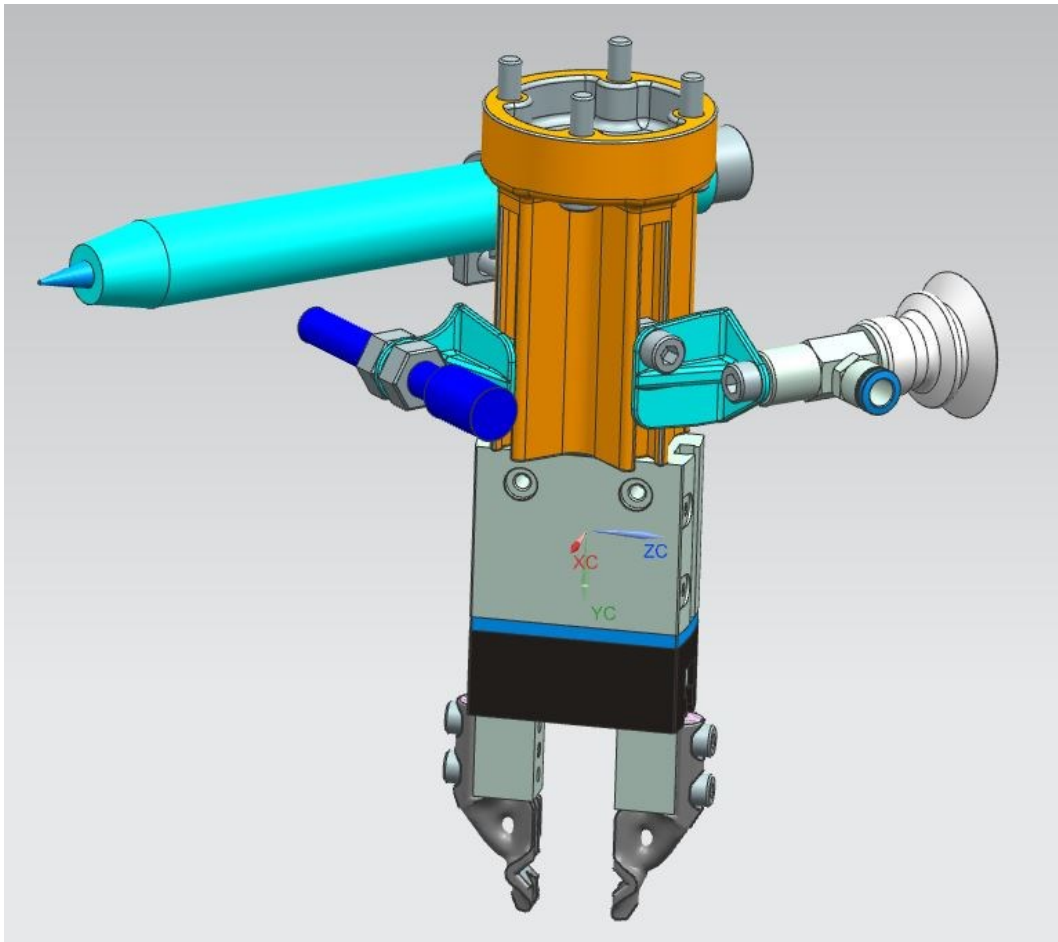


Kuva 23. Kokoonpano robotissa (ryhmä 2).

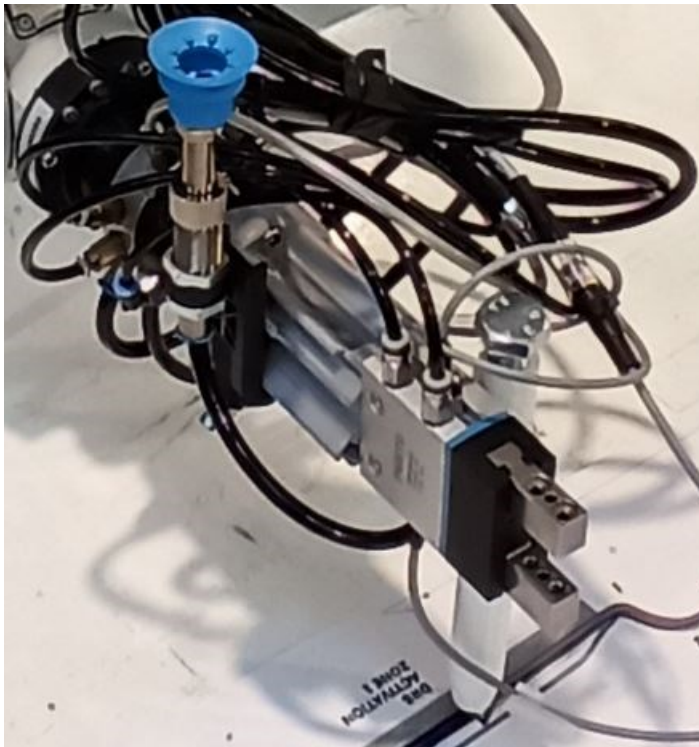
5.1.3 Ryhmä 3 (ABB IRB 1200)

Hyviä ratkaisuja: Kynässä ei väljyyttä, yksi runko-osa, johon kaikki muut osat kiinnittyvät.

Kehitettävää: Kynäkotelo liian iso, runko-osa heikko urien kohdalta, johon muut työkalut kiinnitetään, runko tuo liikaa pituutta tuotteeseen.



Kuva 24. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 3).

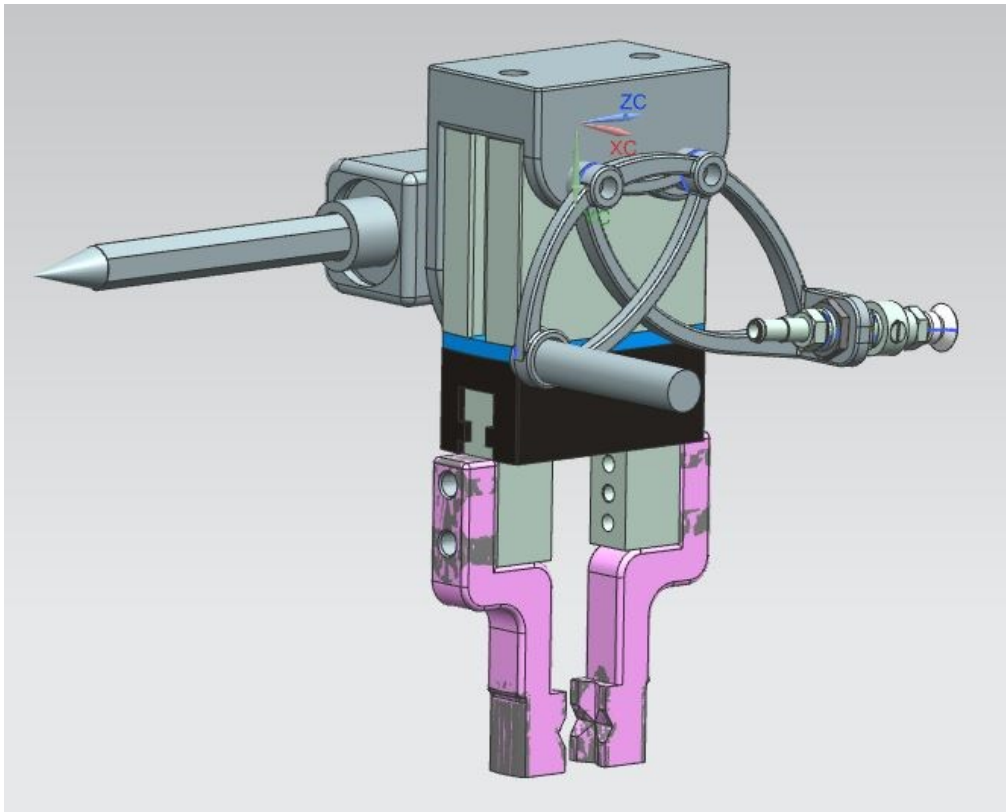


Kuva 25. Kokoonpano robotissa (ryhmä 3).

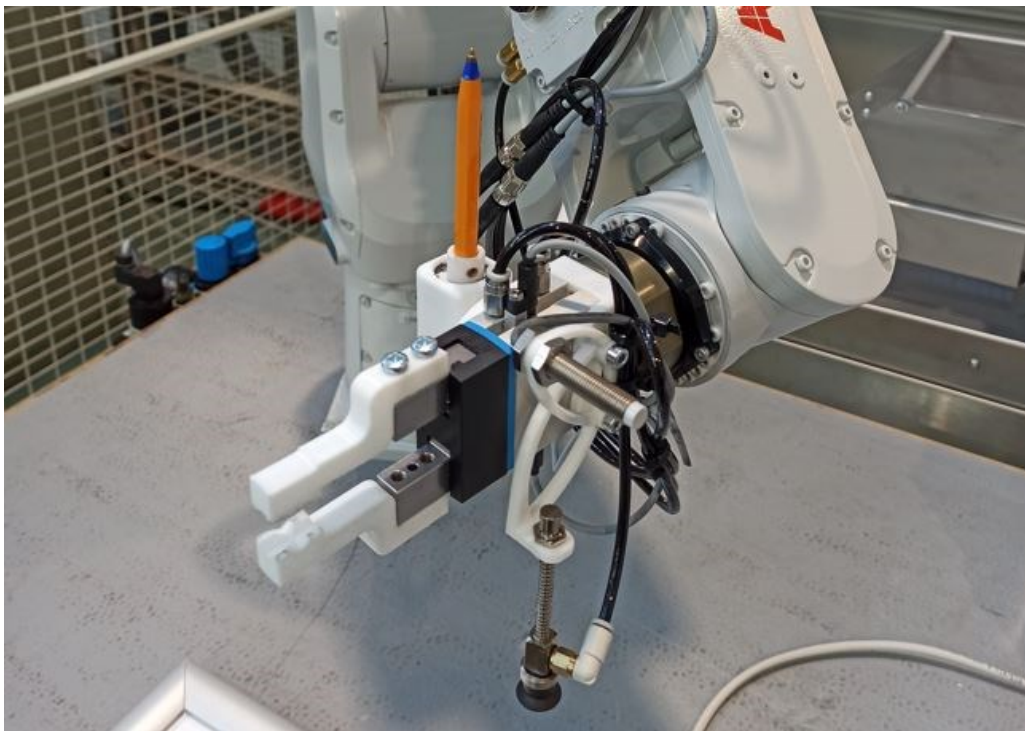
5.1.4 Ryhmä 4 (ABB IRB 1100)

Hyviä ratkaisuja: Tukeva runko tarttujan ympärillä, ulottuvuus, tarttujan kynnet.

Kehitettävää: Kynässä liikaa väljyyttä, imukuppiteline liian joustava ja löysä.



Kuva 26. Kokoonpanopiirustus (ryhmä 4).



Kuva 27. Kokoonpano robotissa (ryhmä 4).

5.2 Alkuperäinen vaatimuslista

Alkuperäinen vaatimuslista (Taulukko 1) oli saatavilla vanhoista dokumenteista. Alkuperäistä vaatimuslistaa noudatettiin uutta tuotetta suunniteltaessa.

Taulukko 1. Alkuperäinen vaatimuslista.

<i>Tunnus</i>	<i>KV, VV, T</i>	<i>Vaatus</i>
	<i>KV = kiinteä vaatus</i>	
	<i>VV = vähimmäisvaatus</i>	
	<i>T = toive</i>	
<i>Geometria 1</i>	KV	Kynä
<i>Geometria 2</i>	KV	Imukuppi
<i>Geometria 3</i>	KV	Tarttuja
<i>Geometria 4</i>	T	Anturi
<i>Geometria 5</i>	T	Komponenttien paikka vaihdettavissa
<i>Kinematikka</i>	KV	Jousto
<i>Turvallisuus</i>	KV	Törmäystä varten
<i>Käyttö</i>	VV	Modulaarinen
<i>Käyttö</i>	VV	Helppo kiinnitys
<i>Kustannus</i>	KV	500–1 000 €

5.3 Esisuunnittelu

Tarkemman perehtymisen ja tuotteiden testaamisen jälkeen kerättiin parhaimmat ideat nykyisistä jo valmistetuista monitoimityökaluista. Myös työkalulaipat olivat

erilaisia osassa roboteista, ja tämä vaatisi erilaisen kiinnitysratkaisun joihinkin robotteihin muun muassa ruuvien reikiä varten. Asiakkaalla oli myös toivomuksia uuteen kehitettävään tuotteeseen. Valitut jatkoon menevät ideat ja asiakkaan toivomukset alla listattuna:

Ideat:

- Magneettikiinnitys monitoimityökalun ja työkalulaippaan ruuvattavan osan välillä. Kun kyseessä on opetusrobotti, robottia käytettäessä mahdollisia törmäyksiä voi tapahtua esineisiin ympäristössä. Magneeteilla toteutetulla kiinnityksellä robotin työkalu irtoaa robotista ja suuremmilta törmäysvahingoilta voidaan välttyä. Magneettikiinnitys mahdollistaa myös työkalun helpon irrottamisen esimerkiksi osan vaihtoa varten.
- Kynäkotelon kiinnitysratkaisu ryhmän 4 tuotteessa oli loistava. Kiinnitys oli toteutettu vahvalla magneetilla ja kynäkotelon kulmaa pystyi säätämään tarvittaessa.
- Tarttujaan kiinnitetty runko ryhmän 1 ratkaisussa oli hyvä. Yhteen runkoon mahtui kynäkotelon kiinnityspaikka sekä rungossa oli reiät imukupin kiinnitykselle ja anturin kiinnitykselle.

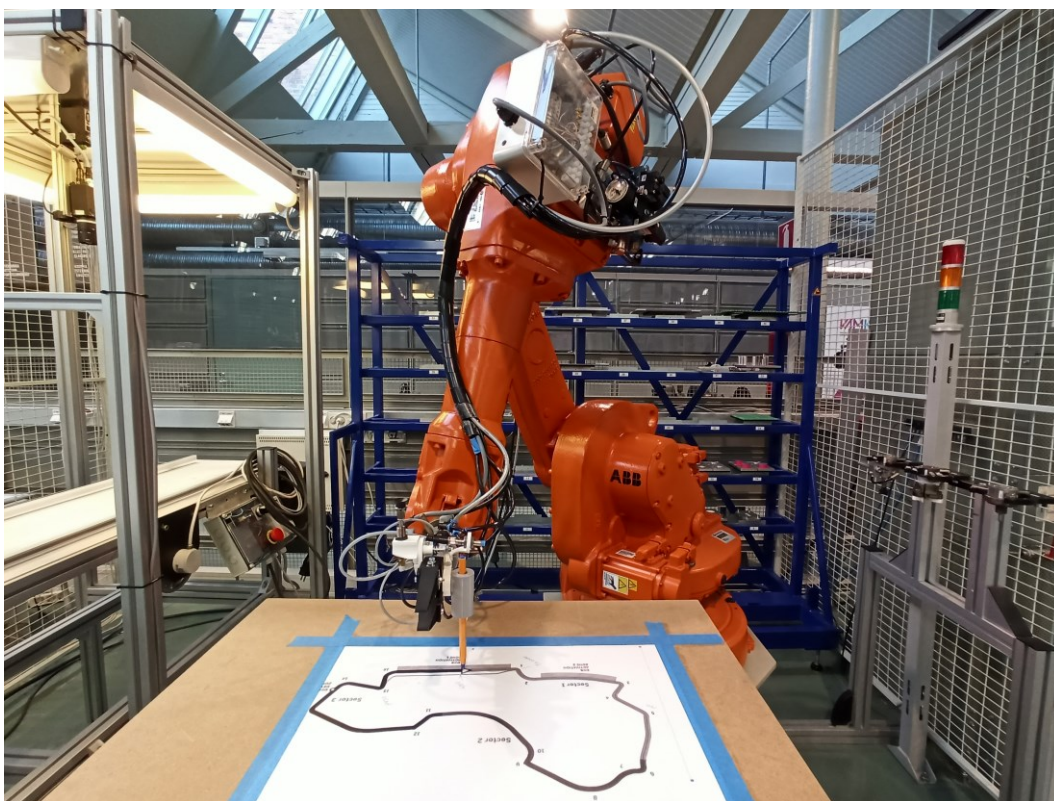
Asiakkaan toivomukset:

- Uusi sopiva jousi kynälle. Kaikissa toteutetuissa ratkaisuihin oli liian jäykkä jousi.
- Kynän sokkiin helppo ja kestävä kiinnitys. Nykyisissä ratkaisuihin oli käytetty ruuveja ja siten ruuvimeisseliä joutui käyttämään kynän irrottamista/vaihtoa varten.
- Uusi isompi imukuppi tuotteeseen. Nykyisissä ratkaisuihin oli käytetty melko pieniä imukuppeja. Isommalla imukupilla saadaan enemmän ulottuvuutta tuotteeseen. Isommassa imukupissa on myös pidempi jousi sekä itse imupään materiaali myös joustaa, ja tämä tuo turvallisuutta sekä liikumavaraa monitoimityökalua käytettäessä.

- Uudet tarttujan kynnet, joilla voitaisiin tarttua kappaleisiin sekä sisä- että ulkopuoleisella otteella.

Viime vuonna valmistetuista monitoimityökaluista oli kaikki 3D-mallit ja piirustukset tallennettuna Teamcenteriin. 3D-mallit oli tehty Siemens NX -ohjelmistolla. 3D-mallit ladattiin Teamcenteristä ja siirrettiin kotikoneelle. Koulun tarjoamalla lisenssillä Siemens NX 12 -ohjelmisto saatiin ladattua kotikoneelle ja näin suunnittelua pystyi kätevästi tekemään kotoa käsin. Vanhoista 3D-malleista pystyi hyödyntämään mittoja ja näin ollen kaikkia mittoja ei tarvinnut erikseen mitoittaa paikan päällä laboratoriossa (kriittiset mitat: työkalulaipan kiinnitysreiät, tarttujan kiinnitysreiät ym.).

Suunnittelutyötä jatkettiin irrottamalla ABB IRB 1600 -robotista (Kuva 28) monitoimityökalu ja se purettiin osiin. Monitoimityökalun perusosana oli kaikissa roboteissa sama tarttuja, DHPS-16-A-NC, joka tulee myös uuteen monitoimityökaluun. Tässä vaiheessa huomioitiin myös ympäristö, jossa työkalua käytetään. Robottisolun on aidattu turva-aidoilla ja itse robottisolussa on työkalun käyttöä varten pöytä. Robotti on varustettu automaattisella työkalunvaihtojärjestelmällä ja työkaluteline löytyy robottisolusta (Kuva 28, oikealla turva-aidan vieressä). Suunnittelutyössä on myös huomioitava robotin työkalulle tulevat johdotukset (painelma, sähkövirta, anturit ym.), jotta ne mahtuvat eri väleistä eikä esteitä synny työkalun käytölle. Työkalun on myös mahdollista työkalutelineeseen.



Kuva 28. ABB IRB 1600 -robottisolu.

Osien valmistusmenetelmänä oli käytetty aiemmissa työkaluissa suurelta osin 3D-tulostusta ja vain tietyt komponentit oli tilattu valmistajilta, mm. tarttuja, imukuppi ja anturi. Myös uuden kehitettävän monitoimityökalun valmistusmenetelmänä käytetään 3D-tulostusta sen mahdollistamien hyötyjen vuoksi (nopea prototyyppien valmistus ja vertailu, osan hajotessa nopeasti uusi osa tilalle ym.). Materiaalina eri muovit ovat tarpeeksi kestävässä käyttötarkoituksessa.

Tässä vaiheessa tehtiin tilauslista asiakkaalle tuotteista, jotka tilataan. Puretusta monitoimityökalusta saatiin prototyyppiversiota varten tarttuja ja induktiivinen anturi. Imukuppi ja magneetit tilattiin.

5.4 Prototyypin suunnittelu

Ensimmäinen varsinainen osa, jota alettiin jatkokehittää, oli kynäkotelo. Kynässä täytyy olla joustoa, asentamisen tulee olla helppoa ja kynässä ei saisi esiintyä väljyyttä, jotta sen paikoitus ja sillä piirtäminen onnistuisi tarkasti. Olemassa olevista

monitoimityökaluista valittiin ryhmän 4 kynäkotelon kiinnitystapa runkoon, koska siinä kynäkotelo pysyi tukevasti kiinni rungossa magneetilla ja se oli kuitenkin helppo irrottaa tarvittaessa, sekä kynän asentoa pystyi muuttamaan 45 asteen kulmissa.

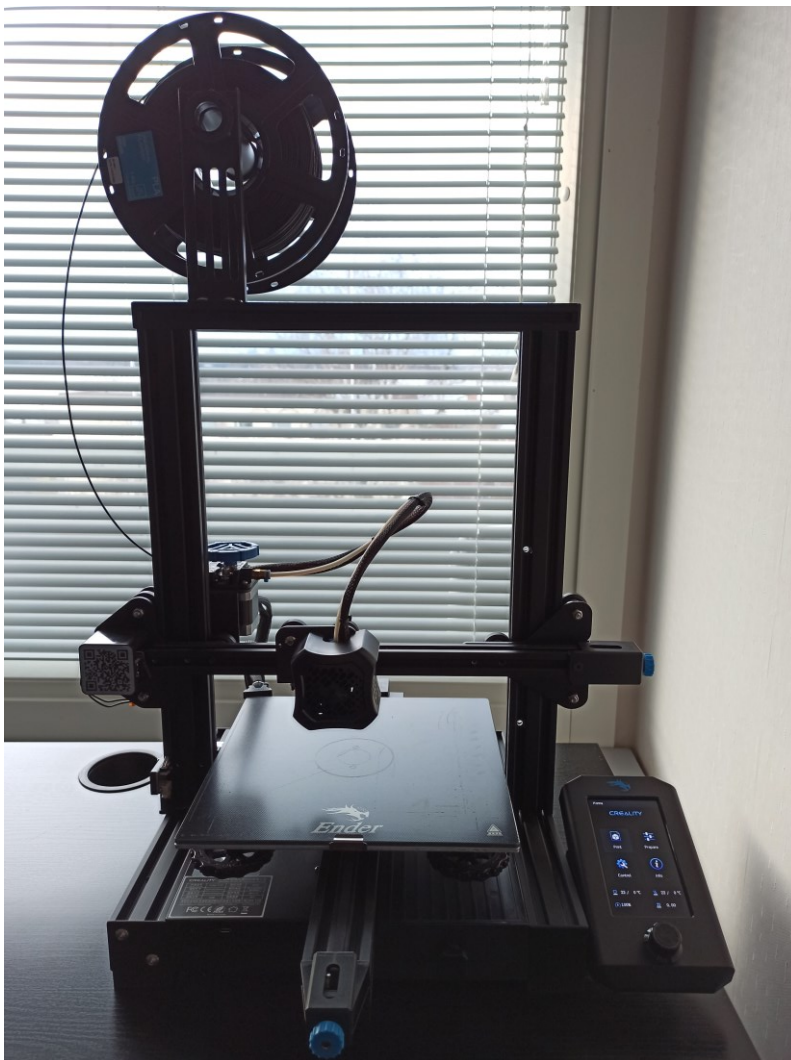
Kynäkotelo täytyi suunnitella kokonaan uusiksi ja oli mietittävä erilaisia ratkaisutapoja. Laboratoriossa oli 3 erilaista kynämallia, joista kahdelle erimalliselle kynälle tehdään kynätyökalu. Kaikissa kynissä esiintyi mittavaihtelua kynän varressa, niin että varsi paksunee tai kapenee suhteellisesti kynässä (Kuva 29).



Kuva 29. Kynän mittavaihtelu.

Kotelo alettiin suunnitella keltaiselle kynälle, jonka varren muoto oli kuusikulmio. Kynä mitattiin pituussuunnassa ja kotelo suunniteltiin niin, että kynään mahtuisi kiinnittämään myös sokat ja tilaa olisi jouselle. Kotelon pituudeksi päätettiin 45 mm. Mikrometrillä mitattiin mittavaihtelu kynässä 45 millimetrin matkalta, ja ero kynän paksuudessa oli 0,1 millimetriä kohdasta 0 mm kohtaan 45 mm. Tämän jälkeen mallinnettiin aluksi pelkkä putki Siemens NX 12 -ohjelmistolla, putken sylinterireikä mallinnettiin 0,1 millimetrin erolla ala- ja yläosasta, niin että ero kasvaa tasaisessa suhteessa. 3D-mallista luotiin STL-tiedosto ja tämän jälkeen malli siirrettiin Ultimaker Curaan, jossa luotiin tulostusasetukset kappaleelle. Tiedosto siirrettiin tulostimelle ja putki tulostettiin PLA:sta kotoa löytyvällä Creality Ender-3 V2

-tulostimella (Kuva 30). Kynä oli liian tiukka putkeen ja putki mitoitettiin. Sylinterireiän leveys oli 0,3 millimetriä pienempi kuin mallin mitat. Tulostettiin uusi putki, ja muutamien mittamuutosten ja tulostuksien jälkeen saatiin aikaiseksi onnistunut putki, jossa kynä pystyy liikkumaan jousen pituuden verran putkessa, eikä kuitenkaan liiallista väljyyttä tai tiukkuutta esiinny.



Kuva 30. Creality Ender-3 V2 -tulostin.

Tehtiin myös toinen prototyyppiversio toiselle kynälle, jonka toimintaperiaate oli erilainen. Kynälle mallinnettiin sylinteri, johon kynä kiinnitettiin, ja tämän päälle

toinen sylinteri, johon ensimmäinen sylinteri mahtui sisälle. Jousi tulisi asennusvaiheessa toisen sylinterin sisälle. Tällä saatiin aikaiseksi sylinteri, jossa kynä liikkui sujuvasti ilman väljyyttä.

Tämän jälkeen mallinnettiin molemmista versioista varsinainen kynäkotelo, johon mallinnettiin myös kiinnitysratkaisu runkoon. Kynäkoteloon liimataan myöhemmin magneetti, jolla myyjän mukaan on pitokykyä n. 5,6 kg (55 N). Samaa magneettia oli käytetty ryhmän 4 ratkaisussa ja sen pitokyky todettiin hyväksi. Kynäkotelot tulostettiin ja muutaman mittamuutoksen ja tulostuksen jälkeen saatiin tulostettua sopivat versiot. Tulostuskerroissa esiintyi pientä vaihtelua, 0,05–0,14 millimetriä ja näinkin pieni ero vaikutti siihen, tuliko kynään liikaa väljyyttä tai tiukkuutta kynäkotelossa, varsinkin kun kynän täytyy liikkua noin 2 senttimetriä sylinterin sisällä. Mallinnettiin ja tulostettiin myös sokat ja hankittiin muutama jousi sekä ruuvi ja molemmat tuotteet kokoonpantiin (Kuva 31).



Kuva 31. Molemmat kynäkotelot kokoonpantuna.

Toinen osakokonaisuus, jota alettiin jatkokehittää, oli monitoimityökalun kiinnitysosat robotin työkalulaippaan ja monitoimityökaluun. Aiemmin tehdyistä monitoimityökaluista ryhmän 1 ja ryhmän 4 ideat olivat hyvät. Ryhmän 1 kiinnitysyhdistelmässä oli yhteensä 24 pientä paikoilleen liimattavaa magneettia. Työkalulaippa on erilainen kuin muissa roboteissa, eikä automaattista työkalunvaihtojärjestelmää ole. Ryhmän 4 kiinnitysyhdistelmässä oli yhteensä 4 kiinni ruuvattavaa magneettia. Kiinnipitovoima oli hieman liian pieni. Ilmoitettu magneetin pitokyky magneetin myyjän sivustolla on n. 5,2 kg (51 N) ja näitä oli yhteensä 4 kappaletta kiinnitysyhdistelmässä. Ryhmän 4 monitoimityökalu oli jo purettu osiin ja päätettiin jatkokehittää tässä vaiheessa kiinnitysyhdistelmä robottiin, jossa tätä oli aiemmin käytetty.

Kiinnitysyhdistelmässä toinen osa ruuvataan kiinni monitoimityökalun tarttujaan ja toinen osa robotin työkalulaippaan. Magneetit osien välillä pitävät osia yhdessä tietyllä voimalla ja mahdollisessa robotin törmäystilanteessa monitoimityökalu irtaantaa työkalulaipasta ja suuremmilta vahingoilta vältytään. Monitoimityökalun saa myös helposti irti lähempää tarkastelua tai osien vaihtamista varten.

Aluksi selvitettiin erilaisia myynnissä olevia magneetteja sekä laskettiin millaisilla yhdistelmillä kiinnipitovoimaa saataisiin hieman kasvatettua. Suunnittelussa täytyi myös huomioida, että kappaleiden koko ei tulisi liian suureksi, muun muassa johdotusten ja työkalutelineen rajallisen tilan takia. Lisäksi magneetit olisi hyvä sijoittaa symmetrisesti, jotta kiinnipitovoima on tasainen koko osakokonaisuudessa.

Mitoituksien jälkeen mallinnettiin erilaisia prototyyppiversioita, jotka myös tulostettiin. Mitoituksissa oli myös hieman säätämistä, kun täytyi huomioida tulostimen tekemät mittapoikkeamat muun muassa magneetinreikiä ja vastakappaleen uria varten. Muutoin tulostin tulosti melko tarkasti ja vain pieniä poikkeamia esiintyi yleensä vain aukkojen tai urien kohdilla, ja nämä saatiin säädettyä kuntoon pienillä mittamuutoksilla mallinnusohjelmassa ja uudella tulostuksella.

Kuvassa (Kuva 32) suurin osa tulostetuista prototyypeistä, vasemmalla versio, jossa kiinnityssuuntaa pystyy säätämään 90 asteen kulmissa. Yhden magneetin ilmoitettu pitokyky on noin 3,9 kg (38,2 N) ja niitä tulisi yhteensä 8 kappaletta osakokonaisuuteen. Seuraavana vasemmalta versioyhdistelmä, johon on pienennetty ja pyöristetty kiinnitysuraa/kiinnitysuloketta, jotta osa irtoaa helpommin mahdollisessa robotin törmäystilanteessa. Yhdistelmä saadaan lukittua sillä yhteen asentoon. Magneetit ovat samat kuin edellisessä yhdistelmässä. Seuraavana yhdistelmänä pienempi versio, samantyyllisillä kiinnitysurilla kuin aiemmin. Magneetin ilmoitettu pitokyky on noin 6,7 kg (65,2 N) ja niitä tulisi yhteensä 4 kappaletta osakokonaisuuteen. Viimeisimpänä oikealla versio, johon oli jo liimattu magneetit kuvan ottohetkellä. Magneetin ilmoitettu pitokyky on noin 3,9 kg (38,2 N). Jatkoon valittiin versiot (Kuva 32) toinen vasemmalta sekä ensimmäinen oikealta, jossa on jo magneetit liimattuina.



Kuva 32. Prototyyppejä kiinnitysratkaisusta.

Seuraavana lähdettiin suunnittelemaan runko-osaa, joka ruuvataan kiinni tarttujaan. Runko-osaan on tarkoitus kiinnittää kynäkotelo, imukuppi ja induktiivinen anturi. Aiemmin valmistetuista monitoimityökaluista ryhmän 1 runko-osa oli idealtaan hyvä. Siinä oli samaan runko-osaan tehty reiät imukupin ja anturin kiinnitystä varten sekä liimattu kaksi magneettia aukkoon, johon kynäkotelo kiinnittyy.

3D-mallista otettiin kriittiset mitat, eli ruuvien reikien paikat ja anturin sekä imukupin kiinnityksen reiät etäisyyksineen. Kynäkotelon kiinnitystä varten mallinnettiin sopiva aukko aiemmin tehdyn kynäkotelon perusteella. Aukkoon tehtiin myös paikka liimattavalle magneetille, jolla kynäkotelon kiinnitys runko-osaan toteutetaan. Prototyypin valmistuttua tämä kiinnitettiin tarttujaan ja todettiin, että anturille voisi tehdä oman telineen, koska anturi, jota käytettiin, oli vain 4 cm pitkä, eikä sitä saatu näin ollen tarpeeksi etäälle rungosta. Ryhmän 1 käyttämä anturi oli erimallinen ja 7 cm pitkä. Tarttujassa oli vain 2 ruuvipaikkaa yhdellä puolella reunassa ja tämä aiheutti sen, että toisesta reunasta runko-osan kiinnitys on hieman puutteellinen ja tarttujan ja rungon väliin jää rakoa.

Alettiin suunnittelemaan toista versiota runko-osasta (Kuva 33), jolla saataisiin tukevampi kiinnitys tarttujaan. Tarttujassa oli kiinnitysreikiä 2 kappaletta molemmilla puolilla tarttujaa. Mallinnettiin malli, jolla kiinnitys saadaan molemmille puolille tarttujaa ja mallin yläosa kiertää kokonaan tarttujan ympäri, jolla saadaan tuettua runkoa yläosasta, jossa ei ollut kiinnitysreikiä. Tällä saatiin aikaiseksi tukevampi kiinnitys, eikä rakoa syntynyt yläosassa tarttujan ja rungon väliin, kuten ensimmäisessä versiossa. Runkoon mallinnettiin myös paikka imukupille, mutta anturille päätettiin tehdä oma teline, jotta sille saadaan enemmän ulottuvuutta.



Kuva 33. 2 erilaista prototyyppiä runko-osasta.

Seuraavaksi alettiin suunnittelemaan anturitelinettä. Ryhmän 4 monitoimityökalussa oli anturiteline, joka oli muuten hyvä, mutta varsi oli liian ohut ja tulisi menemään herkästi poikki. Tehtiin samantyylinen anturiteline (Kuva 34), johon varsi-osa tehtiin paksummaksi. Anturitelineen saa kiinnitettyä runkoon yhdellä ruuvilla, joka kiinnittää runko-osan myös tarttujaan samasta kohdasta. Näin anturin paikka voidaan tarvittaessa muuttaa kiinnittämällä anturiteline toiseen ruuvinreikään ja anturin asentoa pystyy myös säätämään löysäämällä ruuvia hieman ja kiristämällä se uudelleen.



Kuva 34. Anturiteline.

Seuraavaksi suunniteltiin uudet tarttujan kynnet. Asiakkaan toiveena oli, että kynsillä saisi tartuttua sekä sisä- että ulkopuoleisella otteella erilaisista pienistä esineistä. Tarttujan 3D-mallista saatiin mitat kynnen kiinnitystä varten. Kynsiä valmistettiin ensin 2 eri versiota (Kuva 35) ja näistä mallinnettiin jälkeenpäin vielä uudet versiot paksuntamalla vartta, jotta kestävyttä saataisiin lisää.



Kuva 35. Tarttujan kynnet.

Prototyyppien tulostamisen jälkeen magneetit liimattiin paikoilleen (Kuva 36). Liimaukseen käytettiin epoksiliimaa (LOCTITE Power Epoxy Universal -epoksiliima).



Kuva 36. Magneettien liimausta prototyyppeihin.

Asiakkaan toivomuksena oli löysä jousi kynäkoteloon ja vertailukohteeksi saatiin pieni jousi, josta toivottiin yhtä löysää jouta kynäkoteloon. Jousen langan paksuus oli 0,5 mm. Vastaavalla langanpaksuudella ei löytynyt tarpeeksi leveätä jousien jälleenmyyjiltä. Kynän ei tarvitse koskettaa voimakkaasti paperia, jotta sillä voidaan piirtää, ja koulutusrobotilla kynää käytettäessä löysä jousi on eduksi mahdollisessa Z-akselin suuntaisessa paikoitusvirheessä, eikä alustalle synny vaurioita niin helposti. Technobothniasta kuitenkin löydettiin sopiva jousi kynälle, joka oli tarpeeksi löysä.

Tulostettujen kynän sokkien tilalle vaihdettiin holkkitiivisteet. Holkkitiiviste oli käytännöllinen vaihtoehto sokille, koska holkkitiiviste pystyy kiristämään ilman ruuvia. Kynän jousi kuitenkin tunkeutui holkkitiivisteeseen sisälle ja lisäksi käytettäessä niitä kaksi kappaletta yhdessä kynässä, oli kokonaisuudella liikaa pituutta. Ongelma korjattiin leikkaamalla näistä pala pois sekä mallintamalla ja tulostamalla kapeampi ja ohuempi pala tilalle. Tämä liimattiin epoksiliimalla leikattuun holkkitiivisteeseen ja näin saatiin toimiva ratkaisu aikaiseksi (Kuva 37).



Kuva 37. Alkuperäinen ja muokattu holkkitiiviste.

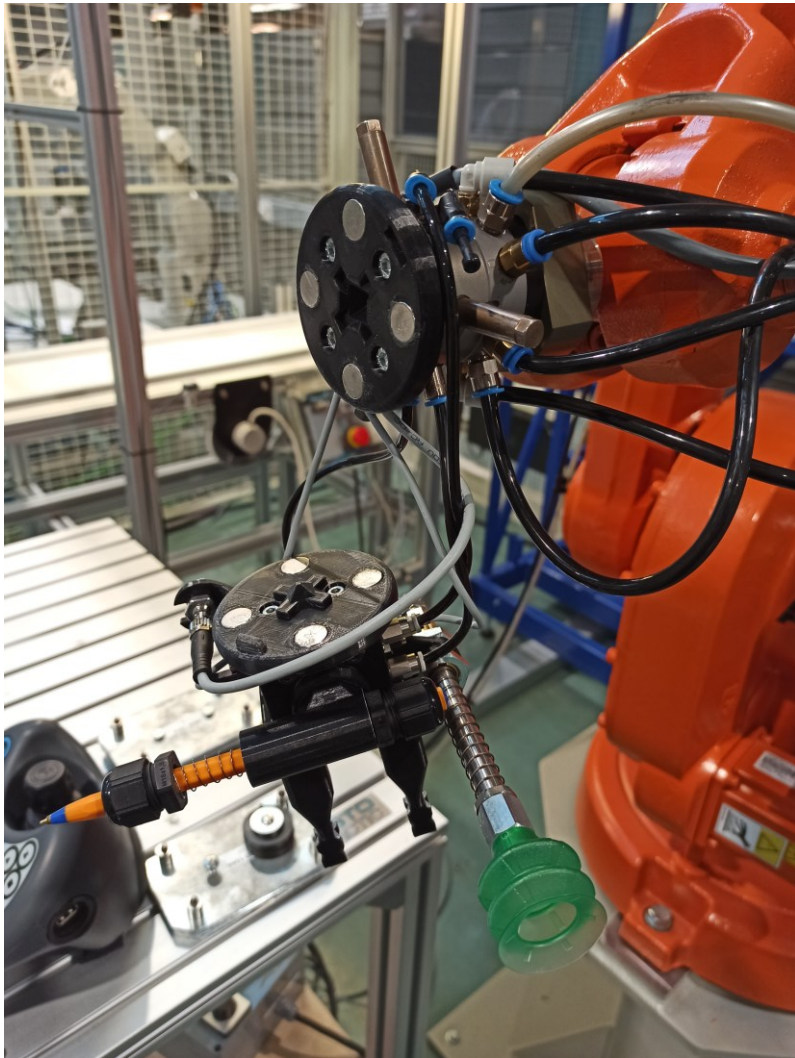
Kun aiemmin tilatut tuotteet olivat saapuneet, pystyttiin monitoimityökalun prototyypiversio kokoonpanna (Kuva 38). Kokonaisuus tuntui toimivan hyvin ja kaikki johdotukset saatiin hyvin mahtumaan monitoimityökaluun niin, ettei esteitä toimivuudelle ilmennyt. Tämän jälkeen testattiin toimivuus robotilla, eikä siinäkään ongelmia ilmennyt tässä vaiheessa.



Kuva 38. Prototyypiversio kokoonpantuna.

Pieniä kehitettäviä kohteita kuitenkin löytyi edelleen. Imukuppi oli hieman pitkä kokonaisuuteen nähden, varsinkin jos samaa imukuppia käytetään pienemmillä laboratorion roboteilla, mutta siitä ei saada toimitusaikojen takia lyhyempää versiota tässä vaiheessa. Imukuppi heiluu hieman sivuttaissuunnassa pientä voimaa käytettäessä. Tarttujan kynsien tartuntakohta on melko pieni ja kynsien varsi on ohut, joka lisää murtumisriskiä.

Magneettikiinnitysratkaisu todettiin tarpeeksi vahvaksi (Kuva 39), kun monitoimityökalu oli asennettuna (Kuva 40) ABB IRB 1600 -robottiin.



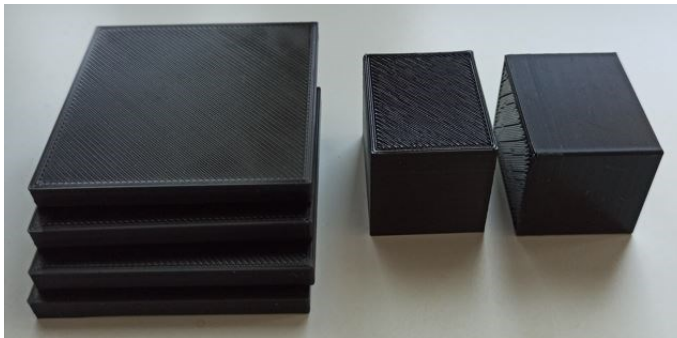
Kuva 39. Magneettikiinnitysratkaisu.



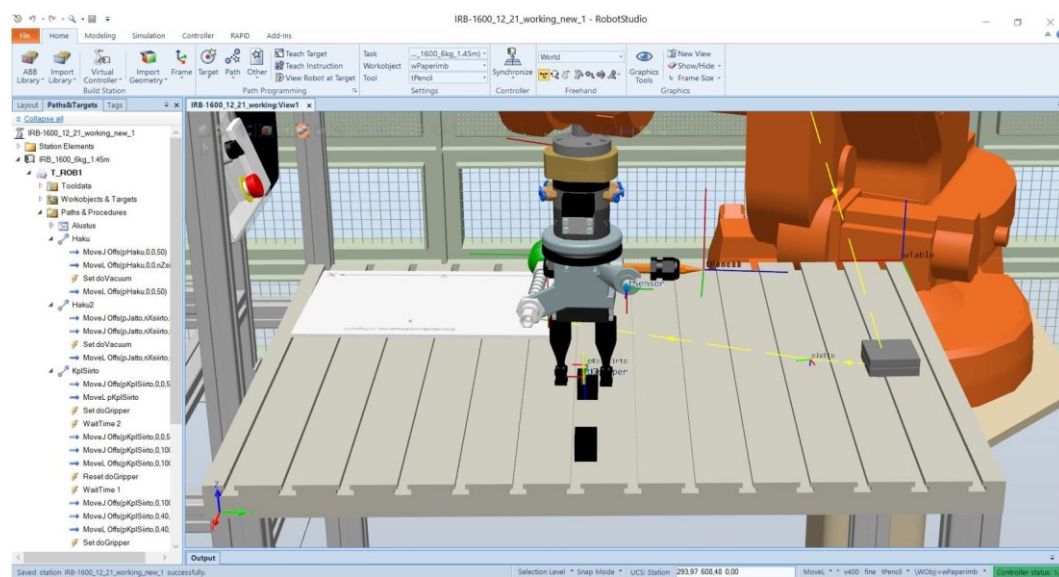
Kuva 40. Prototyypiversio asennettuna ABB IRB 1600 -robottiin.

Prototyypiversion 3D-malleista tehtiin kokoonpanomalli Siemens NX:llä. Kokoonpanomallin tiedostomuoto tuli muuttaa RobotStudiota tukevaan SAT-tiedostomuotoon ja näin kokoonpanomalli saatiin siirrettyä RobotStudioon. RobotStudioon saatiin valmis pohja, jossa oli Technobothnian robottisolun sekä valmis ohjelma toiminnan testaamiselle. Tässä vaiheessa mallinnettiin monitoimityökalun tarttujalle ja imukupille sopivat kappaleet ja nämä tulostettiin (Kuva 41) ja lisättiin oikeaan robottisolun sekä RobotStudioon robottisolun (Kuva 42). RobotStudiolla ohjelmoitiin uutta ohjelmakoodia muun muassa tarttujan uusien kappaleiden käsittelyyn sekä pidempää ohjelmaa kynän testaamiselle (Kuva 43). Tämän jälkeen

ohjelma siirrettiin oikealle robotille ja todettiin ohjelman sekä monitoimityökalun toimivan hyvin.



Kuva 41. Monitoimityökalun käytölle valmistetut kappaleet.



Kuva 42. Prototyypiversio RobotStudiassa.

```

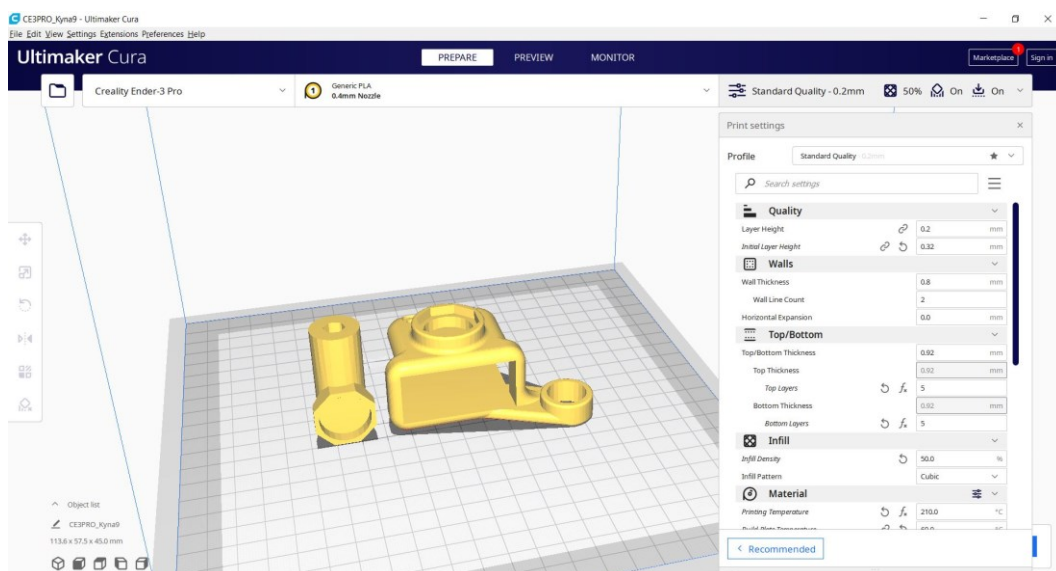
92  PROC Points()
93      MoveJ pKoti,v200,fine,tSuction\WObj:=wTable;
94      MoveJ pHaku,v200,fine,tSuction\WObj:=wTable;
95      MoveJ pJatto,v200,fine,tSuction\WObj:=wTable;
96      MoveJ pPaperilla,v200,fine,tSuction\WObj:=wPaperimb;
97
98  ENDPROC
99
100 PROC Piirto()
101     MoveJ Offs(pPaperilla,0,0,80),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
102     MoveL Offs(pPaperilla,0,0,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
103     MoveL Offs(pPaperilla,80,0,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
104     MoveL Offs(p1Paperilla,80,-50,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
105     MoveL Offs(pPaperilla,0,-50,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
106     MoveL Offs(pPaperilla,0,0,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
107     MoveJ Offs(pPaperilla,0,0,100),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
108     MoveJ Offs(p1Paperilla,0,0,100),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
109     MoveL Offs(p1Paperilla,0,0,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
110     MoveC Offs(p1Paperilla,40,-40,0),Offs(p1Paperilla,0,-80,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
111     MoveC Offs(p1Paperilla,-40,-40,0),Offs(p1Paperilla,0,0,0),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
112     MoveJ Offs(p1Paperilla,0,0,100),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
113     MoveJ Offs(pPaperilla,0,0,100),v200,fine,tPencil\WObj:=wPaperimb;
114  ENDPROC
115
116 PROC KplSiirto()
117     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,0,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
118     MoveL pKplSiirto,v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
119     Set doGripper;
120     Waittime 2;
121     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,0,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
122     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,100,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
123     MoveL Offs(pKplSiirto,0,100,0),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
124     Reset doGripper;
125     Waittime 1;
126     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,100,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
127     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,40,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
128     MoveL Offs(pKplSiirto,0,40,0),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
129     Set doGripper;
130     Waittime 2;
131     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,40,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
132     MoveJ Offs(pKplSiirto,0,140,50),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;
133     MoveL Offs(pKplSiirto,0,140,0),v400,fine,tGripper\WObj:=wTable;

```

Kuva 43. Ohjelmaesimerkki RobotStudioissa RAPID-ohjelmointikielellä.

5.5 Jatkokehitys ABB IRB 1600

Prototyypiversion kokoonpanon ja toiminnan testaamisen jälkeen tuotekehitystä jatkettiin. Imukuppi heilui sivuttaissuunnassa herkästi pientä voimaa käyttämällä. Runko-osaa vahvistettiin imukupin kiinnitysalueella mallintamalla uusi versio runko-osasta. Myös muotoilua muutettiin ja tällä säästettiin materiaalia turhista kohdista sekä lopputuloksesta saatiin näyttävämpi (Kuva 44). Runko-osa tulostettiin PLA:sta (Kuva 45).



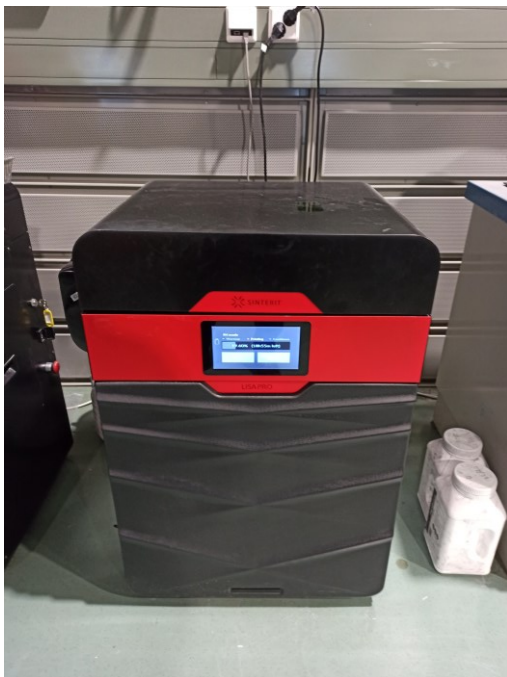
Kuva 44. Jatkokehitetty runko-osa ja kynäkotelo Ultimaker Curassa.



Kuva 45. Jatkokehitetty runko-osa ja kynäkotelo tulostettuna.

Kaikki aiemmat osat oli tulostettu kotoa löytyvällä Creality Ender-3 V2 -tulostimella ja materiaalina oli käytetty PLA:ta. PLA:n heikkoudet ovat rajallisessa lujuudessa ja lämmönkestävyydessä, mutta koulutusrobotilla vain pieniä kappaleita käsiteltäessä materiaalin pitäisi kestää melko hyvin käyttöä. Creality Ender-3 V2:n käyttämä tulostustekniikka perustuu materiaalin pursotukseen. Koulun laboratoriossa on kuitenkin monia eri 3D-tulostimia ja muita materiaaleja käytettävissä, joten tässä vaiheessa lähdettiin tulostamaan osia laboratorion löytyvällä Sinterit Lisa Pro -tulostimella (Kuva 46). Tulostustekniikka poikkeaa aiemmasta ja tulostin

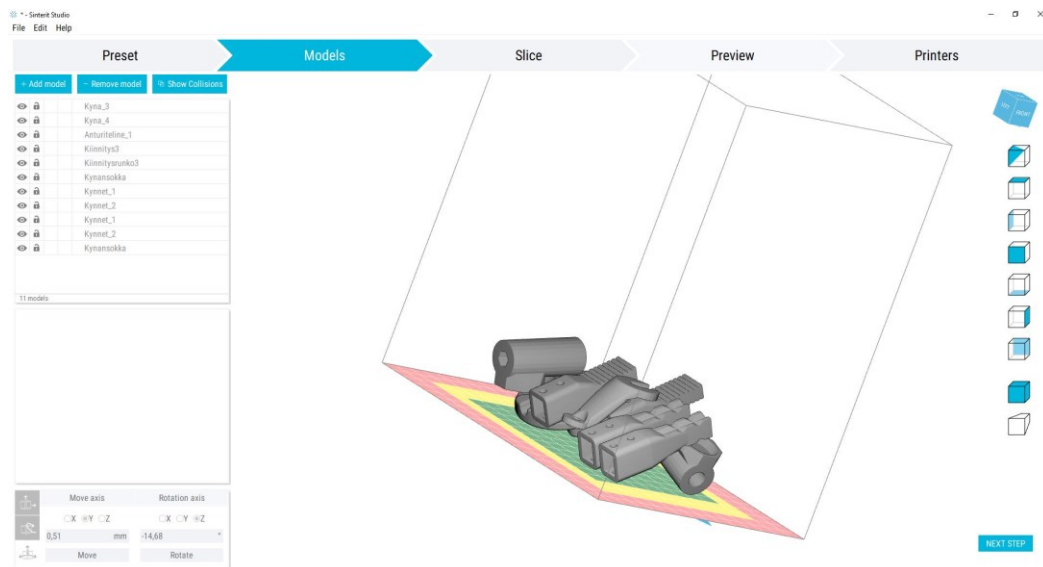
käyttää jauhepetimenetelmää tulostustekniikkana. Tulostusmateriaalina käytettiin PA12:ta (nailonpolymeeri), joka on PLA:ta vahvempaa muovia.



Kuva 46. Sinterit Lisa Pro -tulostin.

Tarttujan kynsistä mallinnettiin hieman paksumpi versio varresta, jotta niiden kestävyys parantuisi. Lisäksi tartuntakohta kappaleiden käsittelyyn tehtiin isommaksi.

Sinterit Lisa Pro -tulostimen käytöstä vastasi koulun työntekijä ja tulostimella tulostettaessa 3D-mallit lähetettiin koulun työntekijälle, joka valmisteli tulostusasetukset Sinterit Studiossa (Kuva 47) sekä tulostimen tulostusvalmiuteen.



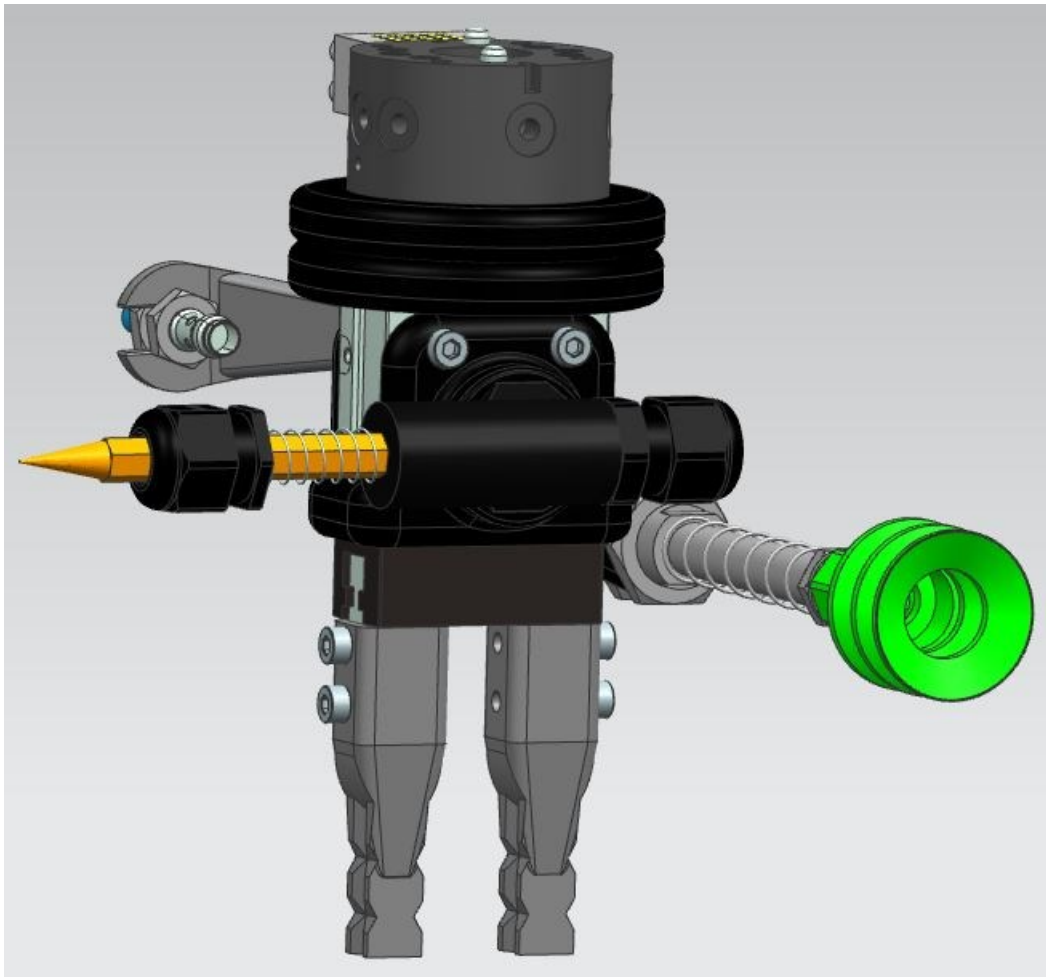
Kuva 47. 3D-malleja Sinterit Studiassa.

Myös Sinterit Lisa Pro -tulostin aiheutti mittapoikkeamia varsinaiseen 3D-malliin verrattuna. Ongelmat olivat samankaltaiset kuin aiemmin käytetyllä Creality Ender-3 V2 -tulostimella, eli reiät ja aukot olivat pienempiä kuin 3D-malleissa. Lisäksi kynäkotelon aukko muodostui soikeaksi, eikä kynä mahtunut sen sisälle. Mittamuutosten jälkeen saatiin tulostettua toimivat ratkaisut tarttujan kynsistä, anturilinjasta ja kiinnitysratkaisusta monitoimityökalun ja työkalulaipan välille (Kuva 48). Kynäkotelosta tuli seuraavalla yrityksellä myös epäsopiva ja runko-osa onnistui muutoin, mutta aiemmin PLA:sta valmistetut kynäkotelot eivät sopineet yhteen runko-osan kanssa täydellisesti, vaan näiden osien kiinnityskohta toisiinsa jäi liian väljäksi. Uusia yrityksiä ei tällä tulostimella tehty, vaan runko-osa ja kynäkotelot tulostettiin PLA:sta Creality Ender-3 V2 -tulostimella.

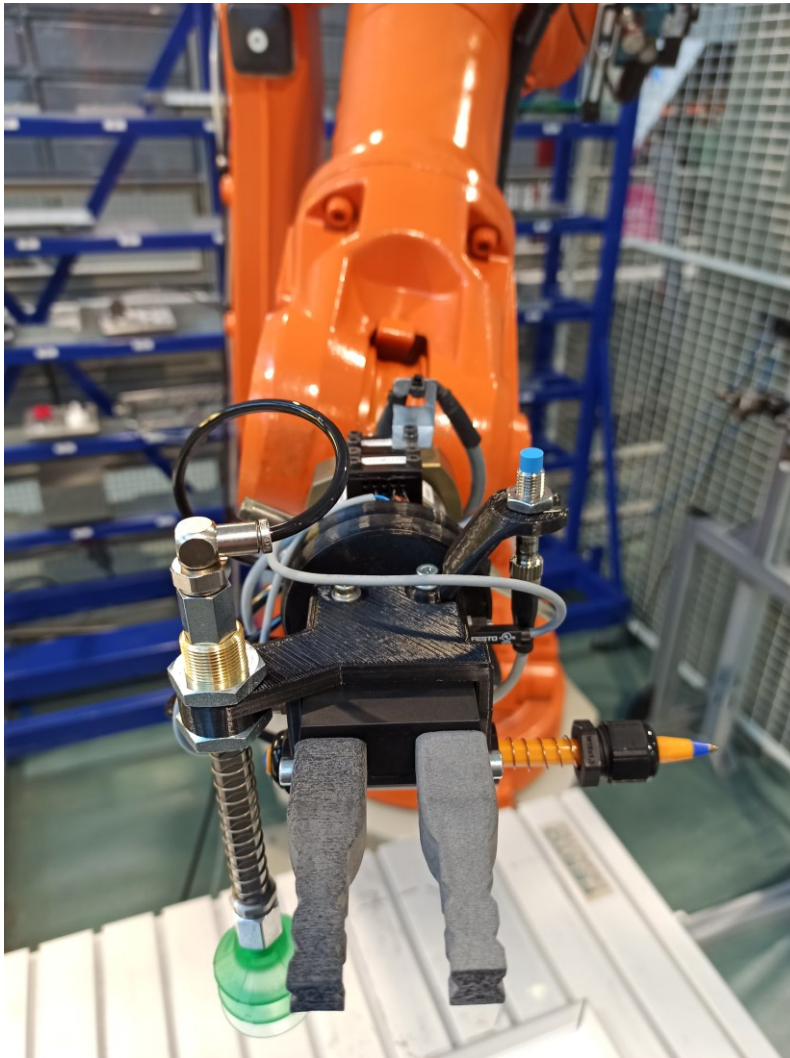


Kuva 48. Jauhepetimenetelmällä valmistettuja tuotteita.

Kokoonpanomalli päivitettiin Siemens NX:ssä vastaamaan uutta versiota monitoimityökalusta (Kuva 49) ja uudet vahvemmat tarttujan kynnet vaihdettiin ABB IRB 1600 -robotin monitoimityökaluun (Kuva 50). Tässä vaiheessa ei tehty muita muutoksia.



Kuva 49. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1600).



Kuva 50. Monitoimityökalu uusilla tarttujan kynsillä.

5.6 ABB IRB 120

Seuraava robotti, johon monitoimityökalua suunniteltiin, oli ABB IRB 120 -robotti. Asiakkaan toivomuksena oli tällä hetkellä, että kiinnitysratkaisua ei tarvitse vaihtaa tähän robottiin, koska nykyinen ratkaisu oli toimiva. Nykyinen ratkaisu tässä robotissa ei sopisi muihin robotteihin suoraan, koska työkalulaippa oli erilainen tässä robotissa. Lisäksi ratkaisussa oli suuri määrä magneetteja, joka tekisi kokoonpanosta monimutkaisemman. Näiden syiden vuoksi tätä kiinnitysratkaisua ei voitu hyödyntää muihin robotteihin uutta kiinnitysratkaisua suunniteltaessa. Kiinnitysratkaisu säilytettiin sellaisenaan.

ABB IRB 120 on pienin laboratorion roboteista, johon uusi monitoimityökalu (Kuva 51) suunniteltiin. Runko-osaksi vaihdettiin aiemmin suunniteltu ensimmäinen versio kahdella kiinnitysruuvilla ja se sopi käyttötarkoitukseen hyvin, kun tällä robotilla käsitellään vain pieniä kappaleita. Sopiva imukuppi löytyi myös koulun laboratorion laboratoriosta, eikä isompaa, kuten aiemmin ABB IRB 1600 -robotille asennettua imukuppiä asennettu tälle robotille. Laboratoriosta löydetyistä imukupista saatiin lähes vastaava valmistajan tekemä 3D-malli.

Anturitelinettä ei tarvinnut erikseen asentaa, koska tällä robotilla oli aiemmin käytetty pidempää anturia, joka sopii ulottuvuuden ansiosta nyt asennettuun runkoosaan. Anturi oli kuitenkin poistettu käytöstä aiemmin, eikä sitä kiinnitetty tässä vaiheessa runkoosaan.

Kynäkoteloksi valittiin aiemmin suunniteltu ratkaisu, joka sopi uuteen runkoosaan.

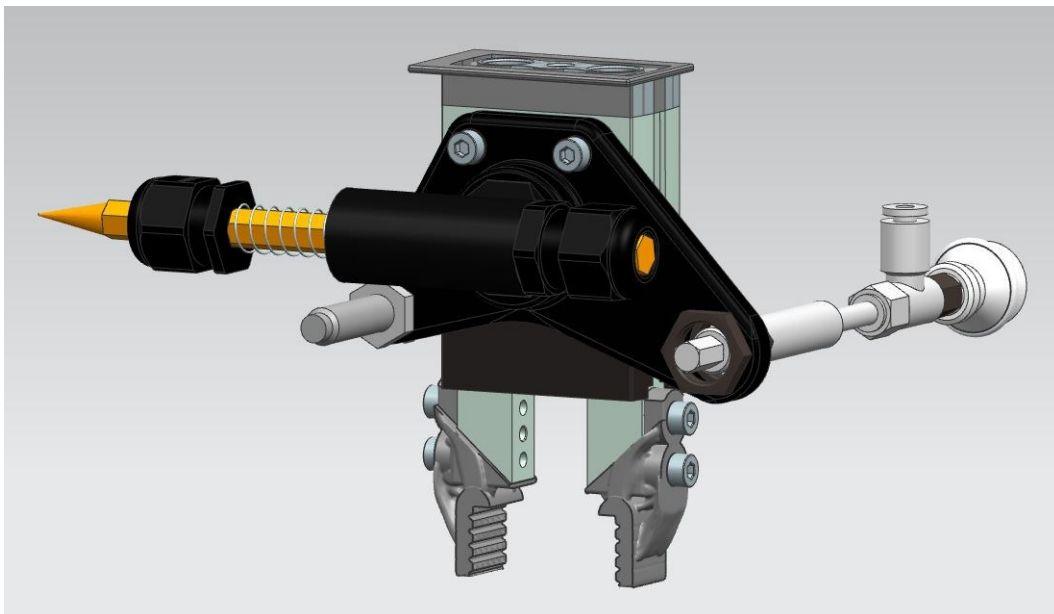
Tarttujan kynsinä säilytettiin vanha ratkaisu, joka oli ollut toimiva pieniä kappaleita käsiteltäessä.



Kuva 51. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 120 -robottiin.

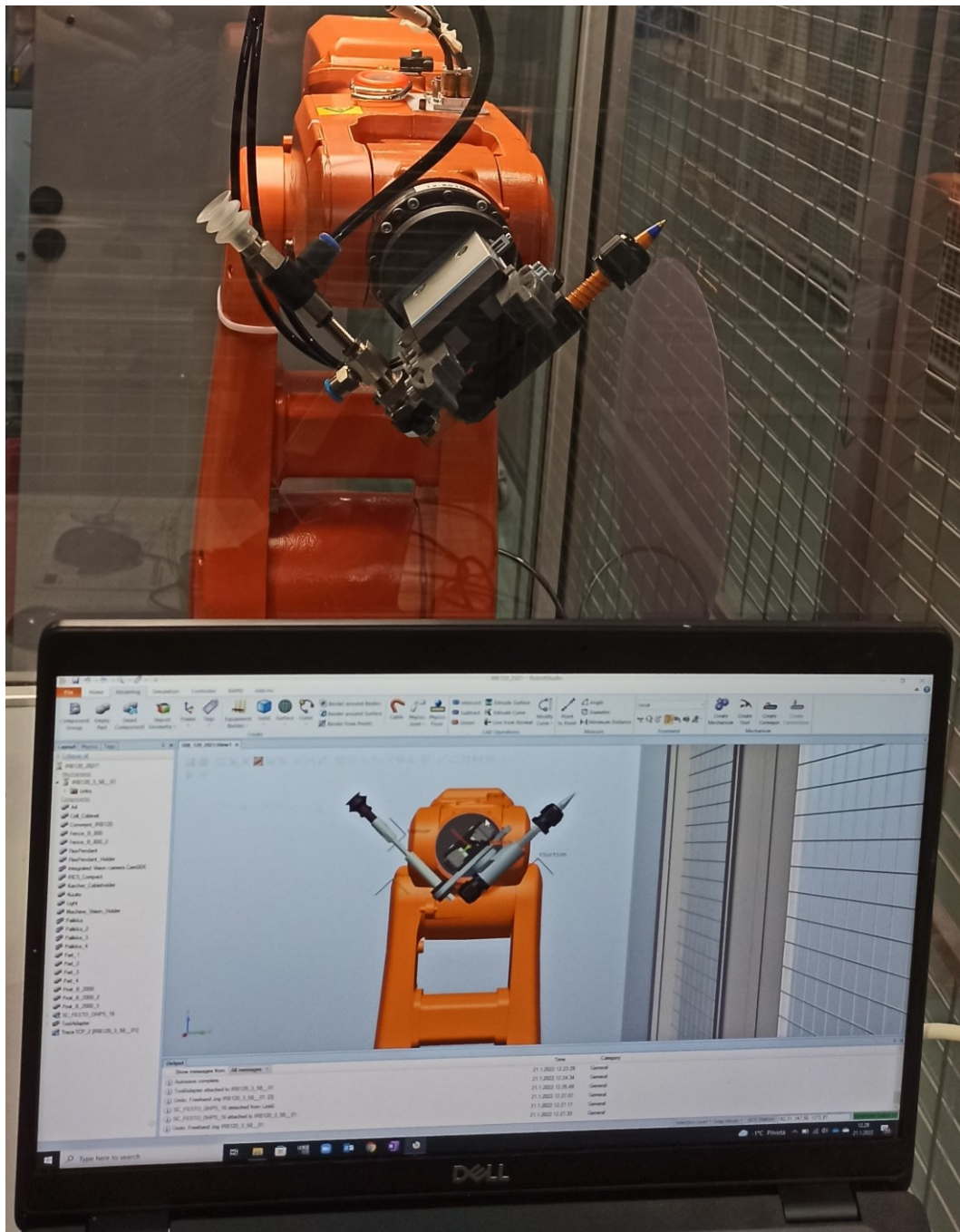
Myös tästä monitoimityökalusta tehtiin kokoonpanomalli Siemens NX:llä (Kuva 52). Imukupista ei ollut löydettävissä täysin vastaavaa valmistajan 3D-mallia, ja tässä vaiheessa laboratorion imukuppi mitoitettiin ja 3D-mallista tarkistettiin mittojen vastaavuus Siemens NX:llä. Mitoissa oli muutaman millimetrin eroja ja tämä vaikuttaisi robottia ohjelmoitaessa niin, että paikoituspisteet RobotStudiassa eivät täysin vastaisi todellisuutta oikealla robotilla imukuppia käytettäessä. Kokoonpan- taessa monitoimityökalua imukupin kiinnityskohtaa pystyi säätämään laajan imu- kupissa olevan mutterien kierrealueen ansiosta. Näin imukupin etäisyyttä pystyi säätämään tarttumarungosta ja etäisyys saatiin kuitenkin oikeaksi (työkalupiste

imukupin päähän ja sen etäisyys tarttujan rungosta samaksi sekä 3D-mallissa että oikeassa robotissa).



Kuva 52. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 120).

RobotStudiassa (Kuva 53) oli jo valmis robottisolu, jota oli aiemmin käytetty ope-
tuksessa ja siihen täytyi vain päivittää uusi monitoimityökalu sekä työkalupisteet
täytyi paikoittaa uudelleen. Testausten jälkeen monitoimityökalun todettiin toimi-
van hyvin.



Kuva 53. Malli RobotStudiassa ja oikeassa ympäristössä.

5.7 ABB IRB 1200

Kolmas robotti, johon uutta monitoimityökalua lähdettiin suunnittelemaan, oli ABB IRB 1200 -robotti. Työkalulaipan kiinnitysreiät olivat vastaavat kuin ABB IRB 1600 -robotin työkalulaipassa. Kiinnitysratkaisuna voitiin näin ollen käyttää aiemmin suunniteltuja malleja ilman muutoksia, ja kiinnitysratkaisuksi päätettiin 3 magneetin ratkaisu per osa, eli osakokonaisuus, jossa oli yhteensä 6 magneettia. Kokoonpantaessa havaittiin, että kiinnitysyhdistelmä ei ollut tukeva, koska magneetit eivät olleet liimattuina tarpeeksi syväälle niille tarkoitettuihin reikiin, ja tämä aiheutti väljyyttä osien välille pientä voimaa käytettäessä. Osakokonaisuus tulostettiin uudelleen PLA:sta ja magneetit liimattiin paremmin paikoilleen ja näin ongelma saatiin ratkaistua.

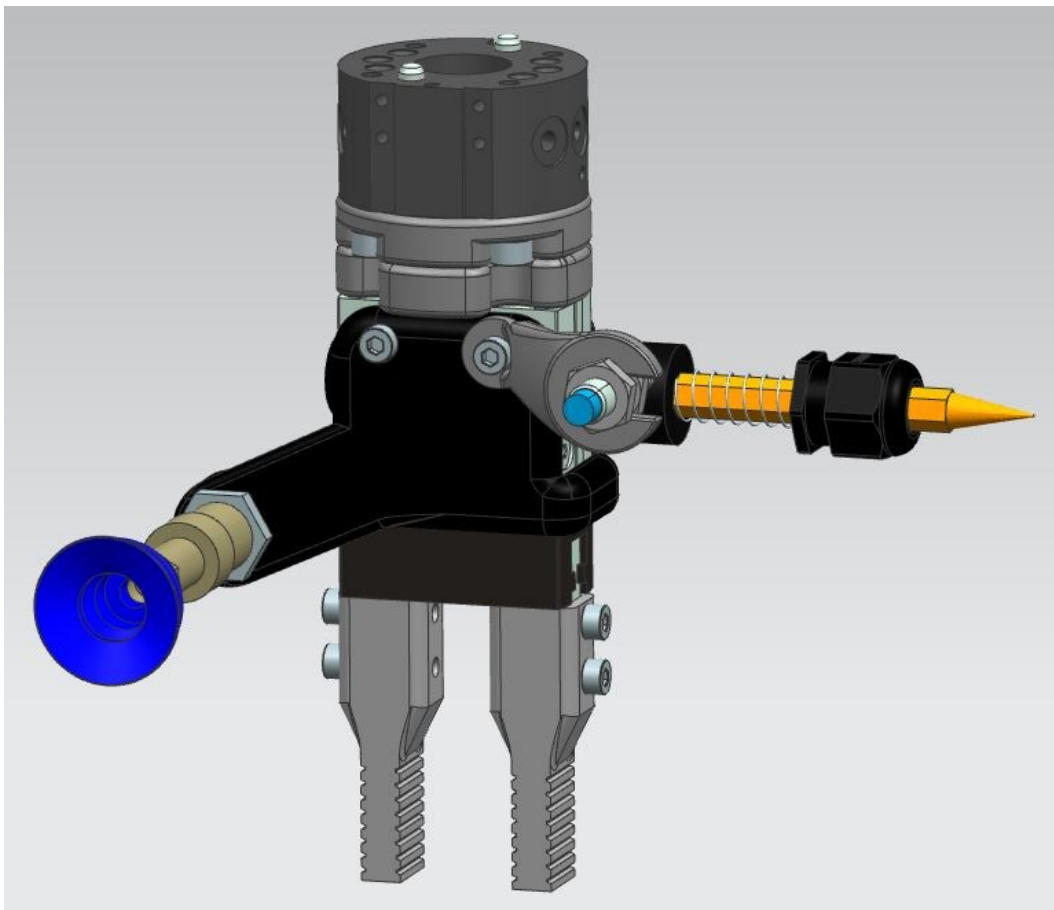
Runko-osaksi valittiin aiemmin suunniteltu ja tulostettu versio PLA:sta, jossa kiinnitys tarttujaan toteutuu neljällä ruuvilla.

Anturitelineeksi valittiin aiemmin suunniteltu anturiteline, joka oli jo tulostettu PA12:sta (nailonpolymeeri).

Kynäkoteloksi valittiin aiemmin suunniteltu ratkaisu, joka oli tulostettu PLA:sta.

Tarttujan kynsiksi valittiin myös aiemmin suunniteltu versio, joka oli tulostettu PA12:sta (nailonpolymeeri).

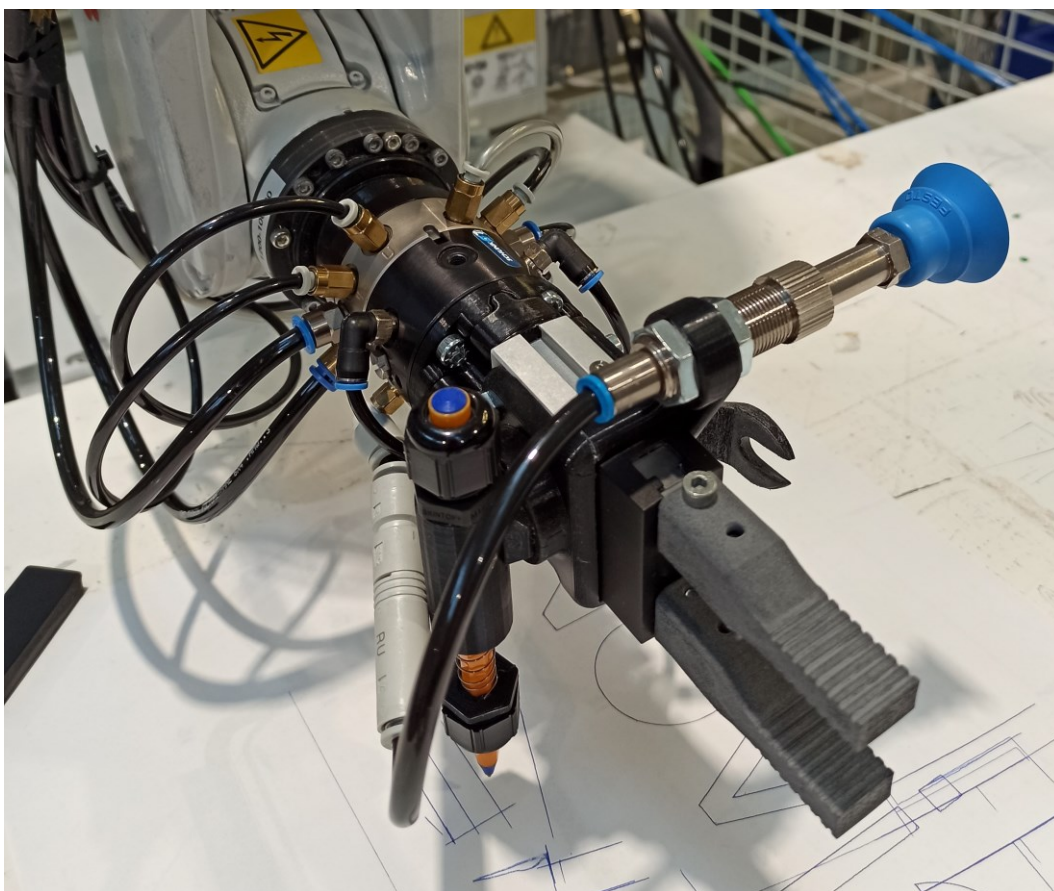
Sopivan kokoinen imukuppi löytyi laboratorion. Imukupin tarkkaa mallia ei lue-
nut imukupissa, eikä näin ollen valmista 3D-mallia löydetty. Imukuppi mitoitettiin ja mallinnettiin Siemens NX:llä. Monitoimityökalusta tehtiin myös kokoonpano-
malli (Kuva 54).



Kuva 54. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1200).

RobotStudiassa pystyttiin hyödyntämään robottisolua, jota oli aiemmin käytetty opetustarkoituksessa. RobotStudioon täytyi päivittää uusi monitoimityökalu ja työkalupisteet ja tämän jälkeen toiminta testattiin RobotStudiolla ja oikealla robotilla (Kuva 55). Toiminta oli onnistunut, eikä ongelmia esiintynyt.

Myöhemmin huomattiin, että runko-osassa on pieni halkeama kohdassa, jossa runko-osa kiertää koko tarttujan ympäri. Se ei aiheuttanut ongelmia, mutta tarvittaessa uusi runko voidaan vaihtaa tilalle. Halkeama johtuu liiasta tiukkuudesta runko-osan ja tarttujan välillä. Asennusvaiheessa jo huomattiin, että runko-osa on tiukka ja joustaa hieman tiukkuuden takia, kun se kiinnitettiin tarttujaan. Rungon 3D-mallista mallinnettiin kuitenkin hieman väljempi versio ja myös seinämävahvuutta paksunnettiin. Päivitetty versio voidaan tulostaa tarvittaessa.



Kuva 55. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 1200 -robottiin.

5.8 ABB IRB 1100

Viimeinen robotti, jolle monitoimityökalua suunniteltiin, oli ABB IRB 1100 -robotti. Työkalulaipan ruuvien reiät olivat eri etäisyydellä toisistaan, kuin aiemmissa roboteissa. Kiinnitysratkaisuksi päätettiin 3 magneetin ratkaisu per osa, eli osakokonaisuus, jossa oli yhteensä 6 magneettia. Aiemmin mallinnettua kokonaisuutta täytyi muokata ja päivittää ruuvien reikien sijainnit 3D-malleihin. Tämän jälkeen osat tulostettiin ja magneetit liimattiin paikoilleen.

Runko-osana käytettiin aiemmin suunniteltua ratkaisua neljällä kiinnitysreiällä tarttujaan. Osa tulostettiin PLA:sta.

Anturitelineeksi sopi myös aiemmin suunniteltu osa, joka oli tulostettu jauhepetimenetelmällä Sinterit Lisa Pro -tulostimella PA12:sta (nailonpolymeeri).

Kynäkoteloksi päätettiin myös aiemmin suunniteltu malli, joka tulostettiin PLA:sta.

Tarttujan kynsistä myös aiemmin suunniteltu malli oli sopiva ja kynnet tulostettiin PETG:istä Creality Ender-3 V2 -tulostimella. PETG on PLA:ta vahvempaa materiaalia.

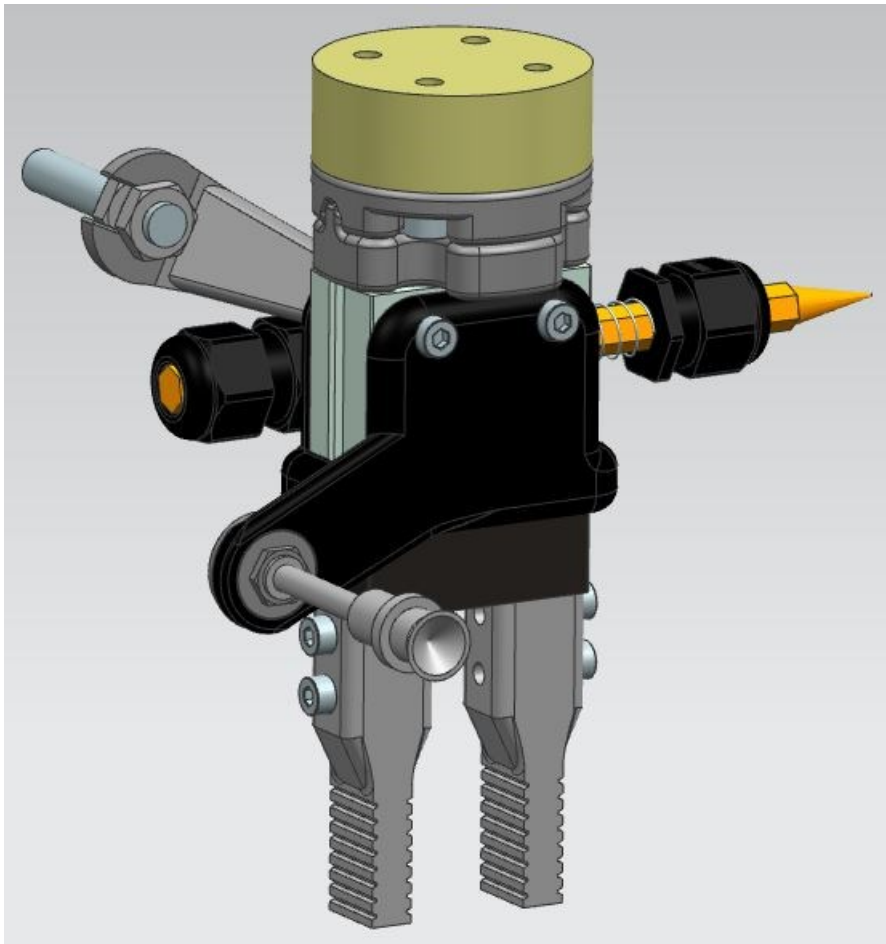
Imukupiksi valittiin pienikokoinen imukuppi, jota oli käytetty vanhassa monitoimityökalussa samalla robotilla. Imukupin tarkkaa mallinimeä ei ollut tiedossa eikä oikeanlaista 3D-mallia ollut saatavilla myöskään vanhoista monitoimityökalun 3D-malleista tästä imukupista, joten imukuppi mitoitettiin ja vastaavilla mitoilla mallinnettiin 3D-malli Siemens NX:llä.

Kokoonpanovaiheessa havaittiin, että imukuppi oli niin kapea, että sitä ei voitu asentaa, koska runko-osan imukupille tehty aukko oli liian leveä tälle imukupille. Imukupin mutterin kierteiden alue oli myöskin niin lyhyt, että imukuppia ei olisi saatu asennettua edes, vaikka aukko olisi ollut kapeampi. Uutta runkoa ei tälle imukupille tulostettu, vaan nopeampi ratkaisu oli sahata pala pois rungon aukon ulokkeesta, jolloin runko-osa saatiin ohuemmaksi reiän kohdalta. Seuraavaksi mallinnettiin reikään sopiva putki ja tämä tulostettiin ja liimattiin paikoilleen runko-osaan. Tämän jälkeen imukupin sai kiinnitettyä runkoon ja kokoonpano oli valmis (Kuva 56). Runko-osasta tehtiin kuitenkin vielä sopiva 3D-malli tässä robotissa käytetylle imukupille, joka voidaan tulostaa tarvittaessa ja se sopii suoraan imukupille ilman sahausta.

Luotiin kokoonpanomalli Siemens NX:llä (Kuva 57). Vanhasta monitoimityökalusta oli versio RobotStudiassa, ja uusi kokoonpanomalli korvattiin vanhalla sekä työkalupisteet päivitettiin. Toiminta testattiin ja monitoimityökalu toimi hyvin.



Kuva 56. Monitoimityökalu asennettuna ABB IRB 1100 -robottiin.



Kuva 57. Kokoonpanomalli Siemens NX:ssä (ABB IRB 1100).

5.9 Kustannukset

Yhden monitoimityökalun valmistamisen kustannukset arvioitiin (Taulukko 2). Esimerkkinä taulukossa on ABB IRB 1600 -robotille suunnitellun monitoimityökalun kustannukset. Kustannukset vaihtelevat jonkin verran muissa valmistetuissa monitoimityökaluissa riippuen mitä imukupia ratkaisussa käytettiin. Myös anturi oli erimallinen joissakin valmistetuista monitoimityökaluista. Tulostettujen osien materiaalikustannuksissa esiintyi pientä vaihtelua, PLA:n ja PETG:in ollessa edullisempaa kuin PA12:n.

Taulukko 2. Monitoimityökalun valmistuskustannukset.

<i>Osa</i>	<i>Määrä</i>	<i>Hinta à</i>	<i>Yhteensä</i>
<i>Gripperi DHPS-16-A-NC</i>	1	520,00 €	520,00 €
<i>Imukuppi FSTE-HD G1/8-AG 50 VG</i>	1	75,92 €	75,92 €
<i>Imukupin pää SPB2 30 ED-65 G1/8-IG</i>	1	17,03 €	17,03 €
<i>Imukupin kulmaliitin STV-W G1/8-AG 4</i>	1	7,77 €	7,77 €
<i>Induktiivinen anturi IME08-04NPSZTOK</i>	1	41,10 €	41,10 €
<i>Anturin kulmaliitin YG8U13-020VA1XLEAX</i>	1	12,67 €	12,67 €
<i>Magneetti Neodymium N45 12X6</i>	6	1,66 €	9,96 €
<i>Magneetti Neodymium N42 20X5</i>	2	1,90 €	3,80 €
<i>Holkkitiiviste M16</i>	2	0,81 €	1,62 €
<i>Jousi</i>	1	0,5 €	0,5 €
<i>Kuusiokolopultti M4</i>	10	0,10 €	1,00 €
<i>Kuusiokolopultti M5</i>	4	0,10 €	0,40 €
<i>Pneumatiikkaputket 4mm</i>	1	3,6 €	3,6 €
<i>Omat tulosteet</i>	1	10,00 €	10,00 €
<i>Yhteensä</i>	33		705,37 €

5.10 Käytetyt tulostusasetukset ja materiaalit

Tulostuksia tehtiin kahdella eri tulostimella. Suurin osa tulosteista tehtiin kuitenkin Creality Ender-3 V2 -tulostimella. Ultimaker Curassa on kattavasti valmiita profiileita erimallisille tulostimille, joissa asetuksia on räätälöity näille tulostimille alustavasti sopiviksi. Myös tulostuspedin koko ohjelmassa vastaa todellista tulostimen tulostuspetiä.

Creality Ender-3 V2 -tulostimelle lähin vastaava profiili ohjelmassa oli Creality Ender-3 Pro, jota käytettiin ohjelmassa pohjana. Oletusasetuksiin tehtiin joitakin muutoksia internetistä löytyvien suositusten mukaisesti (All3DP-sivusto) ja tämän työn tekijän aikaisempien käyttökokemusten perusteella tästä tulostimesta.

PLA:ta käytettäessä suuttimen lämpötilaksi asetettiin 205 °C ja tulostuspedin lämpötilaksi 60 °C. Tulostusnopeutena käytettiin kaikkea väliltä 20–100 mm/s, ensimmäiset tulostuskerrokset hitaammalla nopeudella ja sitten nopeutta kasvatettiin. Infill Density eli materiaalin täytön tiheys -arvona käytettiin prototyypeissä arvoa 10 %–30 % ja lopputuotteissa 50 %–100 %. Tukimateriaalia käytettiin aina tarpeen mukaan ja kappaleen tarttuvuutta tulostuspetiin parannettiin tarvittaessa käyttämällä Raft tai Brim -asetusta, joilla tulostettavan kappaleen ympärille tai alapuolelle saadaan ylimääräistä tukimateriaalia. Kerrospaksuutena käytettiin ensimmäiselle tulostuskerrokselle arvoa 0,32 mm, jolla tarttuvuutta tulostuspetiin saadaan paremmaksi. Muulloin kerrospaksuutena käytettiin arvoa 0,2 mm, joka oli riittävä laadultaan ja tulostusaikakin oli kohtuullinen verrattuna pienempään kerrospaksuuteen. Muutoin asetukset säilytettiin suurimmilta osiltaan oletusasetuksina PLA-materiaaliprofiili valittuna Curassa.

PETG:iä tulostettaessa tarttuvuus tulostuspetiin oli PLA:ta huonompi ja tulostuspetiin käytettiin hiuslakkaa ja vesiliukoista liimaa tarttuvuuden parantamiseksi. Tulostusasetuksina käytettiin suuttimen lämpötilana 235 °C ja tulostuspedin lämpötilana 75 °C. Tulostusnopeutena käytettiin kaikkea väliltä 20–60 mm/s ja materiaalin täytön tiheytenä 50 %–100 %. Tukimateriaaleja ja Raft tai Brim -asetusta

käytettiin myös. Kerrospaksuudeksi asetettiin ensimmäiselle kerrokselle 0,32 mm ja muulloin 0,2 mm. Muutoin asetukset säilytettiin suurimmilta osiltaan oletusasetuksina PETG-materiaaliprofiili valittuna Curassa.

Sinterit Lisa Pro -tulostimella tulostettiin joitakin osia ja materiaalina käytettiin PA12:ta. Tulostimen viipalointiohjelma oli Sinterit Studio. Tämän tulostimen käytöstä vastasi koulun työntekijä, ja tällä tulostimella tulostettaessa 3D-mallit lähetettiin koulun työntekijälle, joka valmisteli tulostimen tulostusvalmiuteen.

5.11 Käyttökokemukset

Valmistetut monitoimityökalut otettiin opetuskäyttöön alkuvuodesta 2022. Käyttökokemusten perusteella monitoimityökalut ovat toimineet muutoin hyvin, paitsi ABB IRB 1600 -robotin tarttujassa tarttujan sormien rajakytkin, joka ilmaisee ovatko tarttujan sormet kiinni vai auki, oli esiintynyt ongelmia. Robotille tuli väärä signaali tarttujan sormien asennosta eli robotti ei tunnistanut milloin sormet olivat kiinni tai auki. Kyseinen ongelma oli kuitenkin tiedostettu ja tämä huomioitiin robottia ohjelmoitaessa, ja tarttujaa pystyi tästä huolimatta käyttämään.

Muissa roboteissa ei ollut esiintynyt vastaavaa ongelmaa, ja tämän ongelman todennäköinen aiheuttaja on voimakas magneettikenttä, joka häiritsee signaalia. Tässä robotissa oli käytetty kiinnitysratkaisuna työkalulaippaan 8 magneetin yhdistelmää. Toinen versio kiinnitysratkaisusta on jo valmistettuna, sama ratkaisu, jota käytettiin myös ABB IRB 1200 -robotissa. Tämä vaihdetaan nykyisen kiinnitysratkaisun tilalle myöhemmin.

5.12 Varaosat ja dokumentointi

3D-malleista tehtiin valmistus- ja kokoonpanopiirustukset Siemens NX:llä. Piirustukset sekä myös 3D-mallit ja kokoonpanomallit tallennettiin Teamcenteriin sekä Microsoft Teamsiin. Piirustukset ovat myös tämän työn liitteinä. RobotStudion robotisolut kaikista neljästä monitoimityökalusta robotteineen tallennettiin USB-tikulle sekä Microsoft Teamsissa tehtyyn kansioon.

Muutamia varaosia valmistettiin myös. Tarvittaessa esimerkiksi jonkun osan hajo-
tessa voi vaihtaa varaosan tilalle tai tulostaa uuden osan 3D-mallista.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli jatkokehittää aiemmin valmistettuja monitoimityökaluja. Monitoimityökaluja oli valmistettu neljälle erimalliselle ABB:n robotille. Työn toimeksiantajana toimi Vaasan ammattikorkeakoulu ja työ tehtiin opetuslaboratorio Technobothniaan robotiikan opetusalueelle. Monitoimityökaluun kuuluu mekaaninen tarrain, imukuppi, kynä sekä anturi.

Työ aloitettiin teoriaosuudella yleisesti robotiikasta, 3D-mallintamisesta, valmistusmenetelmistä erityisesti 3D-tulostuksen näkökulmasta sekä tuotekehityksestä. Samanaikaisesti perehdyttiin aiemmin valmistettuihin monitoimityökaluihin ja niiden puutteisiin sekä mietittiin alustavasti uuteen tuotteeseen tulevat parannukset. Prototyyppejä mallinnettiin Siemens NX:llä ja ne tulostettiin ja testattiin. Lopputuotteiden valmistuttua päivitettiin myös RobotStudio robotisolut vastamaan uusia monitoimityökaluja. Lopuksi dokumentointi 3D-malleista, piirustuksista ja RobotStudio robotisoluista.

Työ toi sopivasti haasteita ja oli mielenkiintoinen ollessaan tuotekehitystyö, joka vaati 3D-mallien suunnittelua mallinnusohjelmalla sekä syvempää perehtymistä 3D-tulostukseen valmistusmenetelmänä. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa oli aiemmin käsitelty 3D-mallintamista opetuksessa, joten siihen oli hyvät pohjatiedot olemassa. 3D-tulostusta oli myös käsitelty oppitunneilla jonkin verran ja työn tekijällä on oma 3D-tulostin, mutta siitä ei ollut vielä paljoakaan käyttökokemusta opinnäytetyön aloitushetkellä. Tämä työ toi uutta oppia laajemmin käytäntöön.

3D-tulostus eli lisäävä valmistus on viime vuosina kasvattanut suuresti suosiotaan, muun muassa tekniikan nopean kehittymisen johdosta. Tulostimien hankintahinnat ovat samalla myös laskeneet. Etuina perinteisiin valmistusmenetelmiin nähden ovat esimerkiksi monimuotoistenkin kappaleiden helppo valmistus. Prosessi 3D-mallista valmiiseen tuotteeseen on myös nopea, ja tämä valmistustapa sopii

hyvin esimerkiksi prototyyppien testaamiseen käytännössä. Tuotteen laatu 3D-tulostamalla on jatkuvasti parantunut tekniikan kehittyessä ja tällä menetelmällä valmistetaankin nykyään jo monia lopputuotteita esimerkiksi eri muoveista ja metalleista. Sarjatuotannossa 3D-tulostus on kuitenkin melko hidasta.

Työssä eniten aikaa vieviä kokonaisuuksia olivat suunnittelu ja 3D-mallintaminen sekä osien tulostaminen. Erilaisia prototyyppinä mallinnettiin ja tulostettiin sekä tuotteita kokoonpantiin ja testattiin. Pieniä muutoksia 3D-malleihin ja uusia tulostuksia joutui tekemään useaan kertaan, jotta osien yhteensopivuus oli onnistunut.

Havaittiin, että tarkkoja mittoja vaativissa kappaleissa niiden valmistaminen 3D-tulostamalla voi aiheuttaa mittapoikkeamia varsinaiseen 3D-malliin verrattuna, jotka ovat ratkaisevia tuotteen toiminnan kannalta. Tässä työssä tarkkoja mittoja vaadittiin esimerkiksi kynäkotelolta, jotta kynä voi liikkua kynäkotelon sisällä eikä liiallista tiukkuutta tai löysyyttä esiinny. Myös runko-osan ja kynäkotelon yhteensopivuus vaati mittojen täsmällisyyttä. Muita kappaleita, joissa erityisesti vaadittiin tarkkoja mittoja tuotteisiin, olivat etenkin kiinnitysyhdistelmä monitoimityökalun ja työkalulaipan välillä. Sopivilla mittamuutoksilla 3D-malleihin saatiin tulostettua onnistuneet kappaleet. Tulostuskerroissa esiintyi myös pientä vaihtelua, eikä sama 3D-malli tulostunut aina täysin vastaavilla mitoilla tulostettaessa niitä monta samanlaista kappaletta. Käytettäessä toista tulostinta, esiintyi myös mittavaihteluita 3D-malliin verrattuna. Kokemuksella tietyn tulostimen käytöstä tietyillä tulostusasetuksilla ja materiaalilla pystyy kuitenkin oppimaan kyseisen tulostimen aiheuttamat mittavaihtelut melko hyvin.

Työn budjetti toteutui vaadituissa rajoissa. Alkuperäinen toivottu maksimikustannus yhdelle monitoimityökalulle oli 1 000 euroa. Työssä hyödynnettiin vanhoja monitoimityökaluja, jotka purettiin osiin ja samoja tarttuvia (DHPS-16-A-NC) käytettiin uusien monitoimityökalujen kanssa. Uusia tilattavia osia olivat imukupit, joista kuitenkin vain yksi tilattu imukuppi otettiin käyttöön ja muita laboratorioissa olevia imukuppeja käytettiin kolmeen muuhun monitoimityökaluun. Vanhoista

monitoimityökaluista otettiin anturit uusiin tuotteisiin. Pieniä kustannuksia muodostui lähinnä magneeteista, holkkitiivisteistä ja tulostusmateriaalista.

Työn tuloksina tuotettiin neljä monitoimityökalua neljälle eri robotille. Kaikista työssä valmistetuista monitoimityökalujen osista tehtiin 3D-mallien lisäksi myös kokoonpanomallit sekä valmistus- ja kokoonpanopiirustukset Siemens NX:llä. ABB RobotStudion etäohjelmointiympäristön käyttöä varten laboratorion roboteista oli valmiit robottisolut, joissa oli vanhat monitoimityökalut ja niiden tilalle päivitettiin uudet monitoimityökalut sekä työkalupisteet. Monitoimityökalujen toiminta testattiin etäohjelmointiympäristössä sekä oikeilla roboteilla. Kaikki 3D-mallit ja piirustukset tallennettiin Teamcenteriin sekä Microsoft Teamsiin. Microsoft Teamsiin sekä USB-tikulle tallennettiin RobotStudion robottisolut sekä kokoonpanomallit SAT-tiedostomuodossa. Muutamia varaosia tulostettiin myös ja tarvittaessa esimerkiksi jonkun osan hajotessa voi uuden osan tulostaa tilalle 3D-malleista.

LÄHTEET

Billing, M. 2012. ABB – ROBOTS IRC-5 Yleisohje. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

Björk, T., Hautala P., Huhtala K., Kivioja, S., Kleimola M., Lavi M., Martikka, H., Miettinen J., Ranta A., Rinkinen J. & Salonen P. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki. Sanoma Pro Oy.

Elomaa, S. Valmistusteknologiat. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

Hantula, J. 2015. 3D-Mallinnus. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

IFR. WR Industrial Robots 2016. Viitattu 11.10.2021.

https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1. painos. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy.

Kuivanen, R. 1999. Robottiikka. Vantaa. Tummavuoden Kirjapaino Oy.

Locker, A. 2021. The Best 3D Printer Slicer Software of 2021. All3DP. Viitattu 28.11.2021. <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1&2. Espoo. Kirpe Oy.

Pitkäkoski, T. 2012. Robotin tarttujärjestelmät ja varustelu Timo Pitkäkoski, SCHUNK Intec Oy. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

ResearchGate. Viitattu 15.10.2021. https://www.researchgate.net/figure/The-base-coordinate-world-coordinate-work-piece-coordinate-and-user-coordinate-systems_fig2_275085460

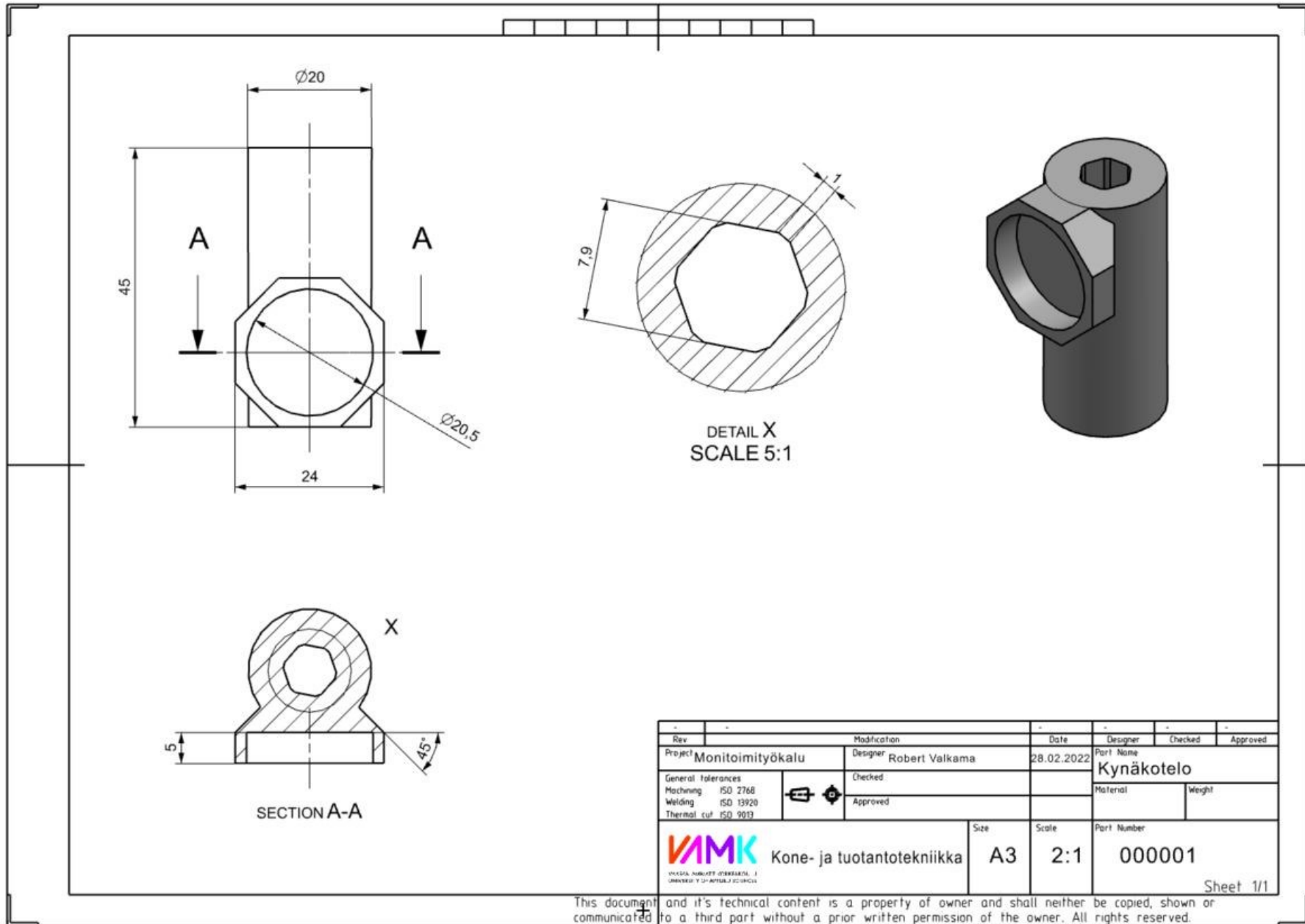
Schmalz. Viitattu 18.10.2021. <https://www.schmalz.net.cn/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-area-gripping-systems/vacuum-area-gripping-system-fxp-and-fmp/>

Schunk. Viitattu 18.10.2021. https://schunk.com/fi_en/gripping-systems/series/jgp-p/

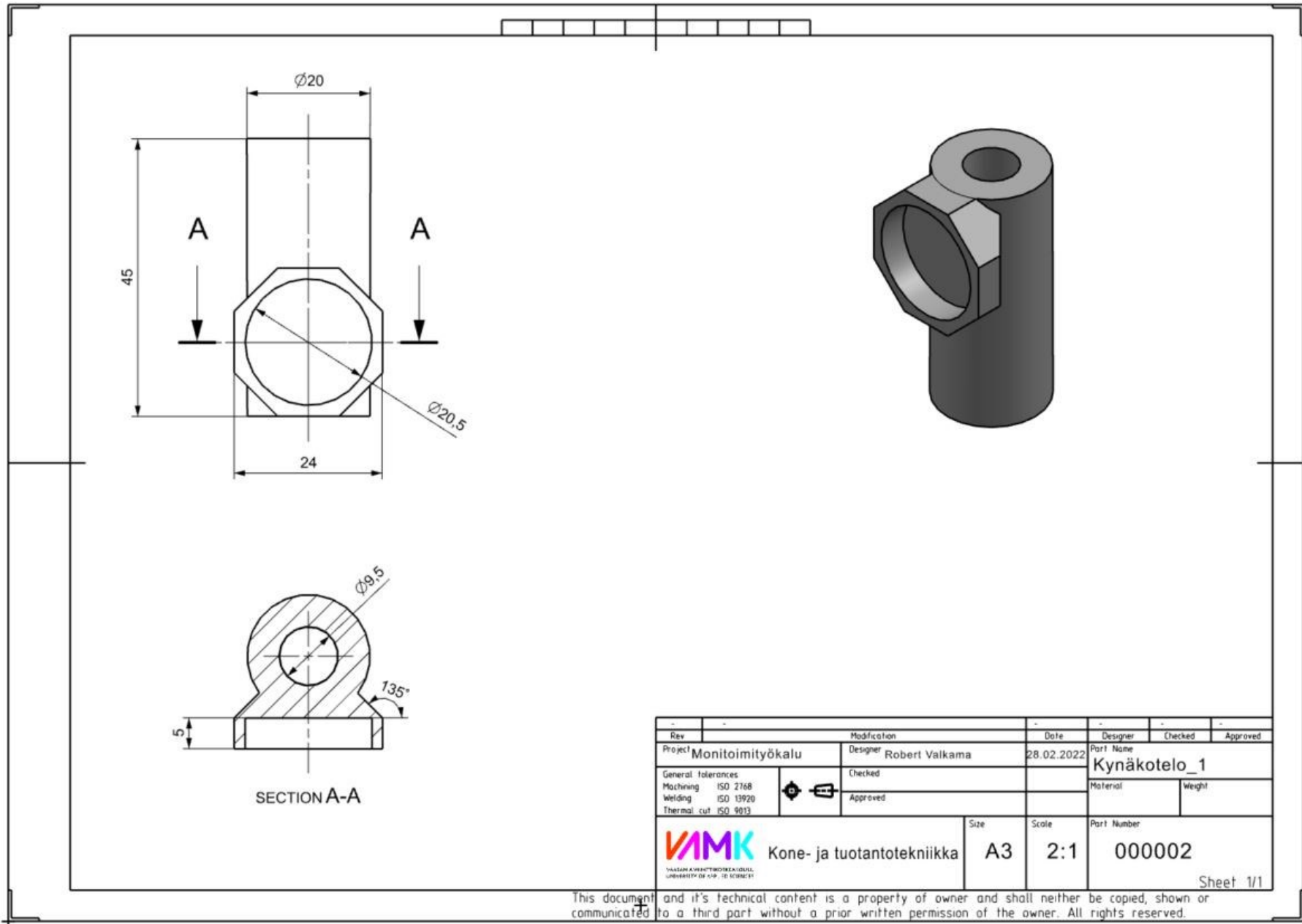
Wewolwer. Universal Robotic Gripper. Viitattu 18.10.2021.

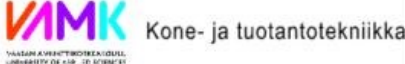
<https://www.wewolver.com/wewolver.staff/universal.robotic.gripper>

LIITE 1. Valmistuspiirustus: Kynäkotelo

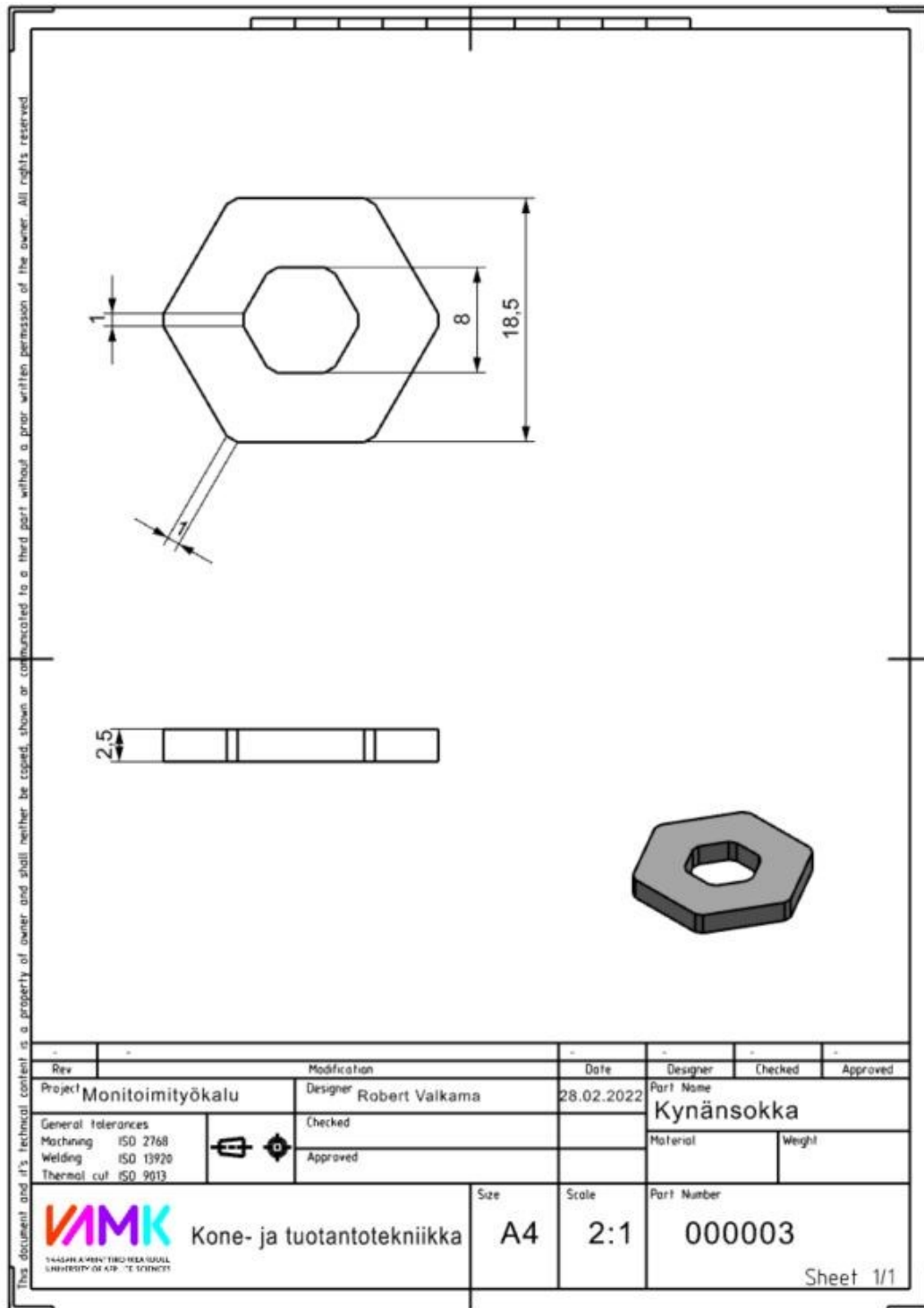


LIITE 2. Valmistuspiirustus: Kynäkotelo_1

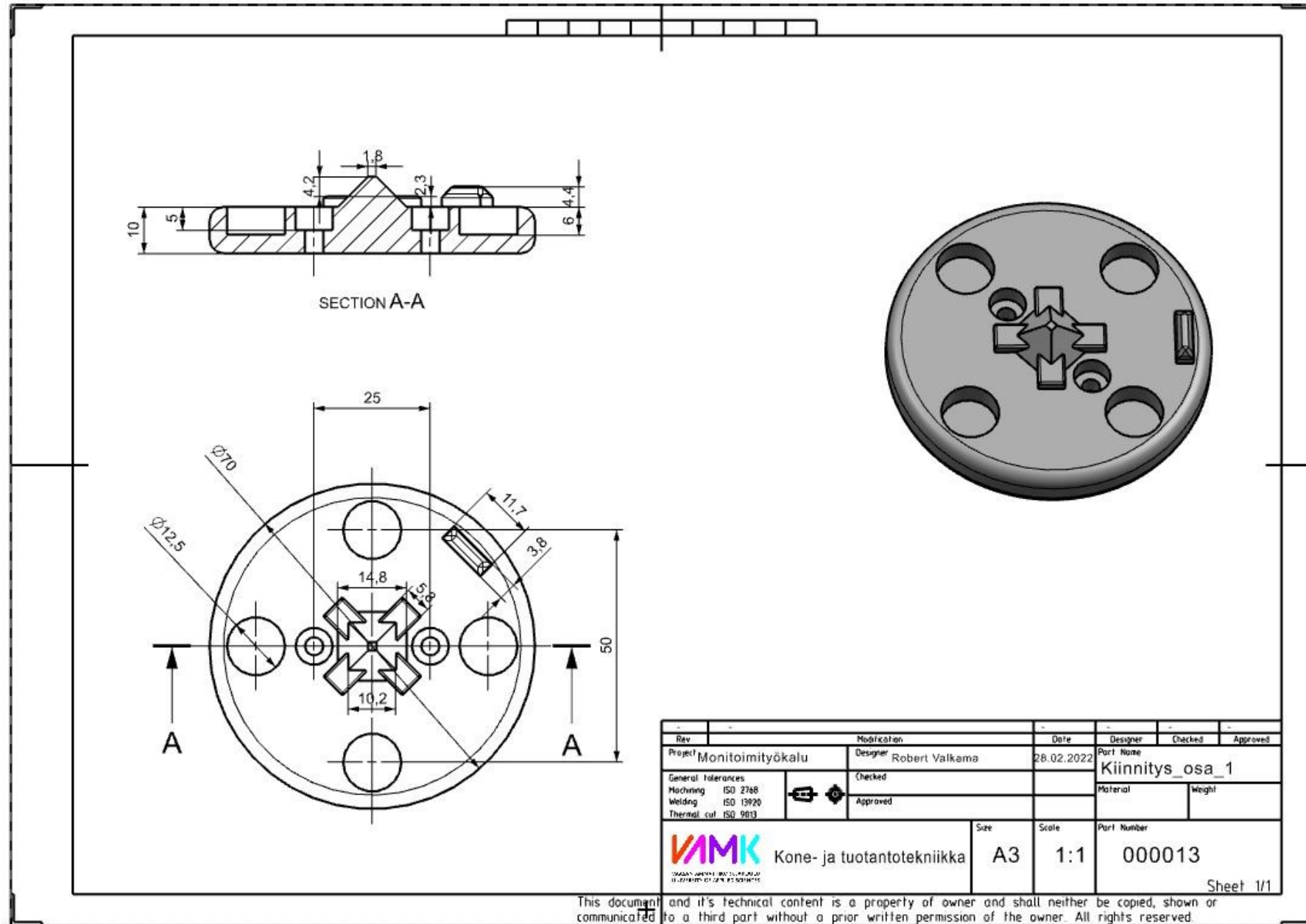


Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
-	-	-	-	-	-
Project: Monitoimiyökalu		Designer: Robert Valkama	Date: 28.02.2022	Part Name: Kynäkotelo_1	
General tolerances:		Checked	Material		Weight
Machining	ISO 2768		Material		Weight
Welding	ISO 13920		Material		Weight
Thermal cut	ISO 9013		Material		Weight
		Size: A3	Scale: 2:1	Part Number: 000002	
Sheet 1/1					

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.



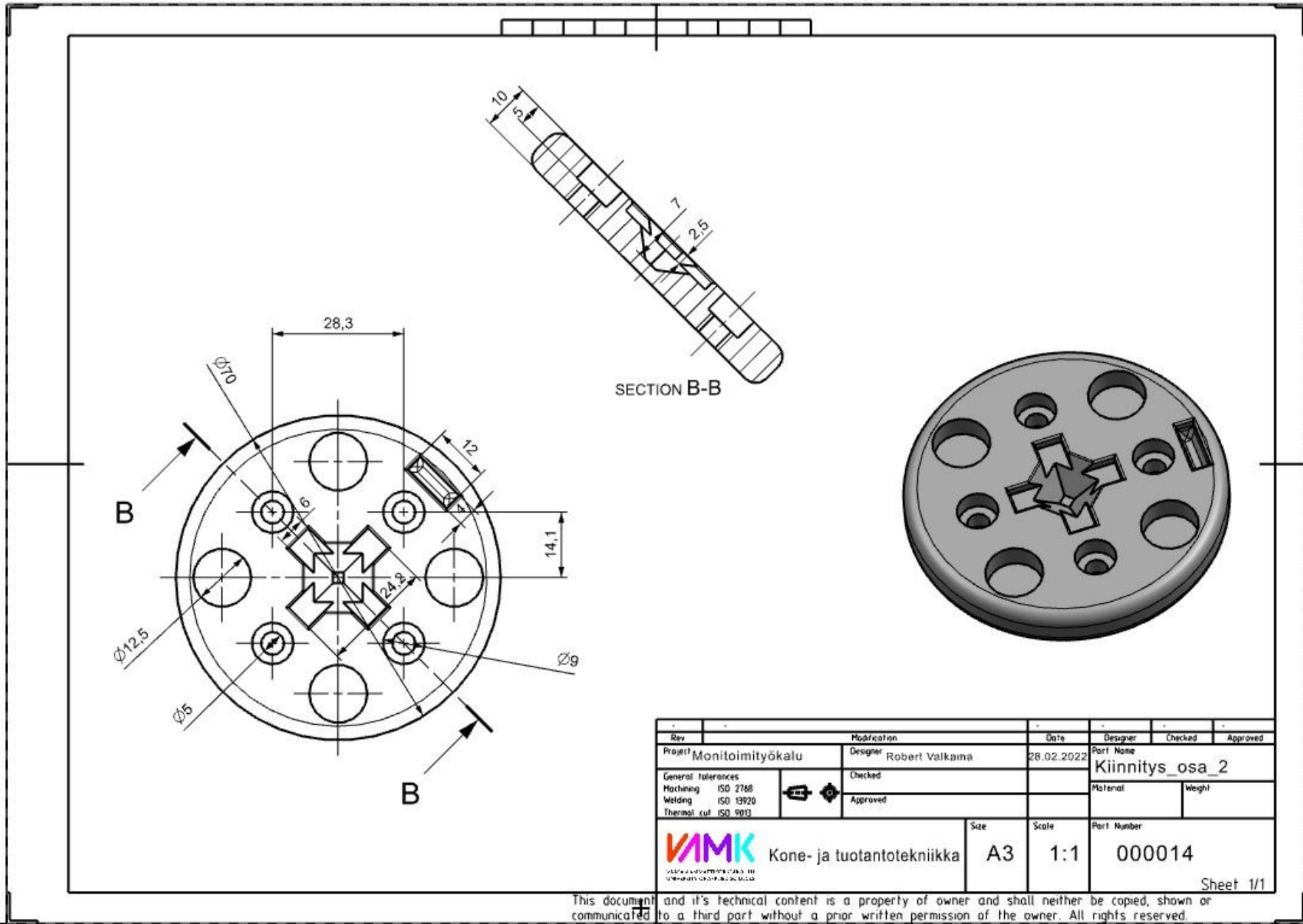
LIITE 4. Valmistuspiirustus: Kiinnitys_osa_1



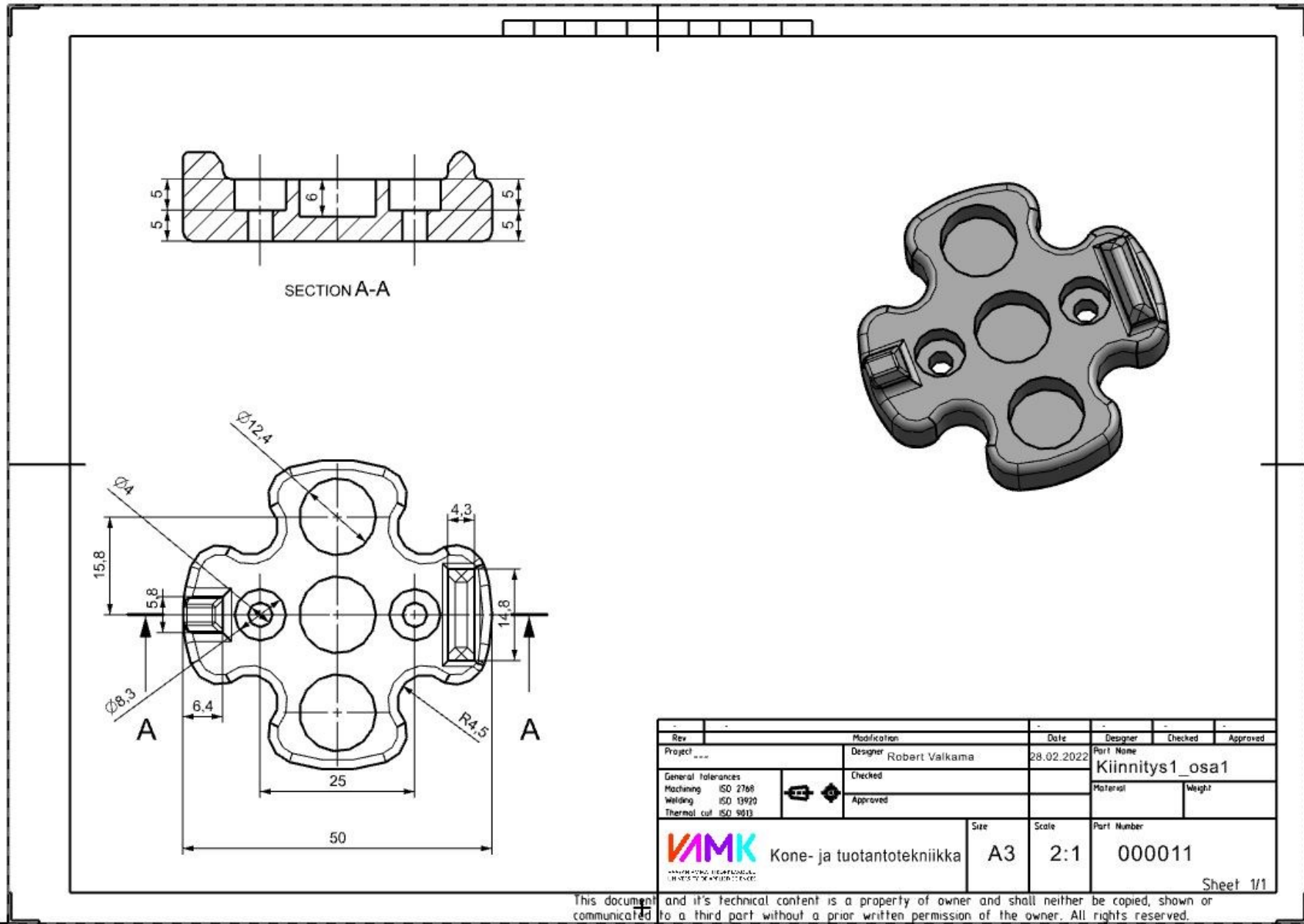
Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project	Monitoimiyökalu	28.02.2022	Robert Valkama		
General tolerances	Checked				Part Name
Machining ISO 2768	 				Kiinnitys_osa_1
Welding ISO 13920		Material	Weight		
Thermal cut ISO 9013		Approved			
 VAMK Kone- ja tuotantotekniikka		Size	Scale	Part Number	
		A3	1:1	000013	

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

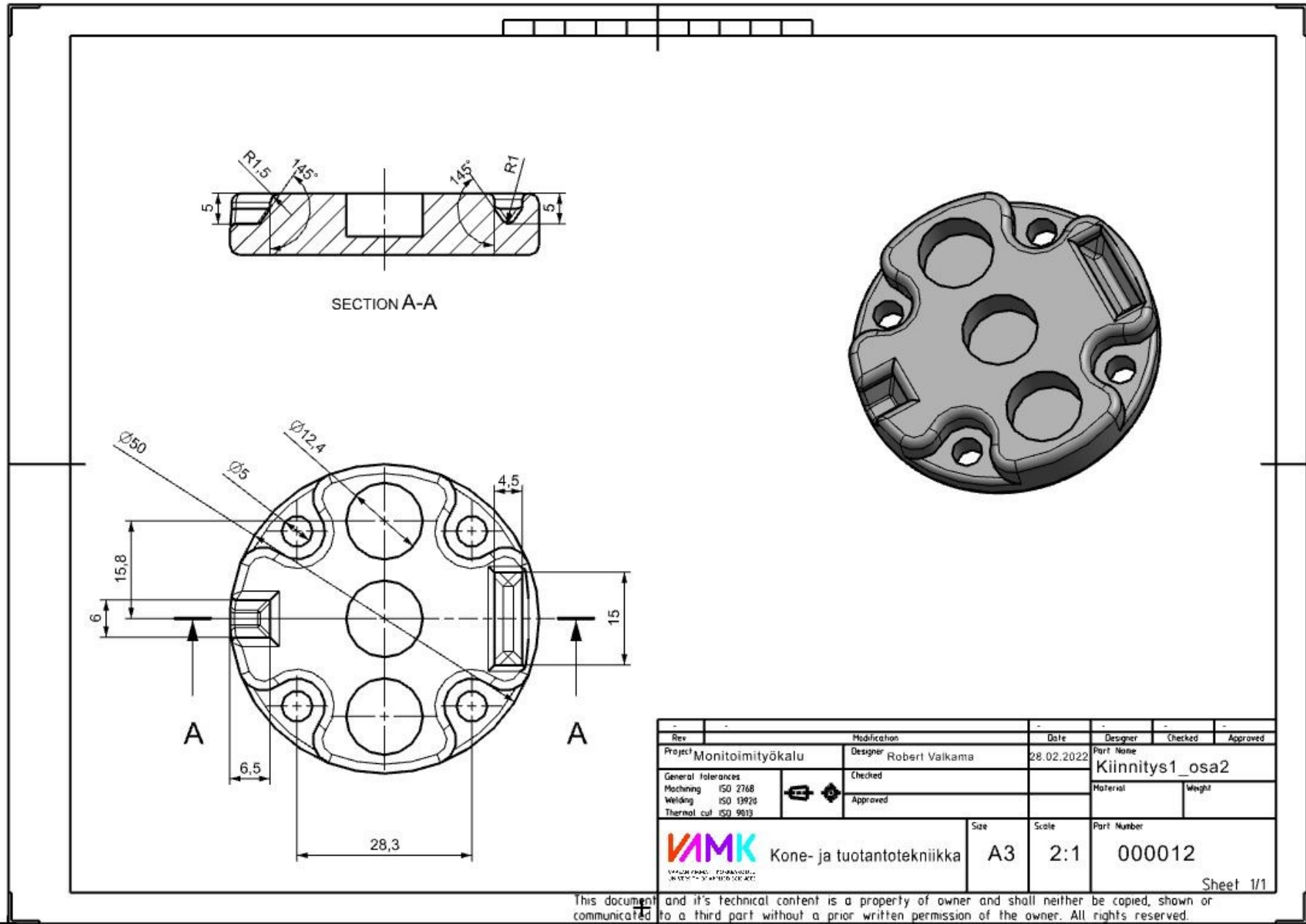
LIITE 5. Valmistuspiirustus: Kiinnitys_osa_2



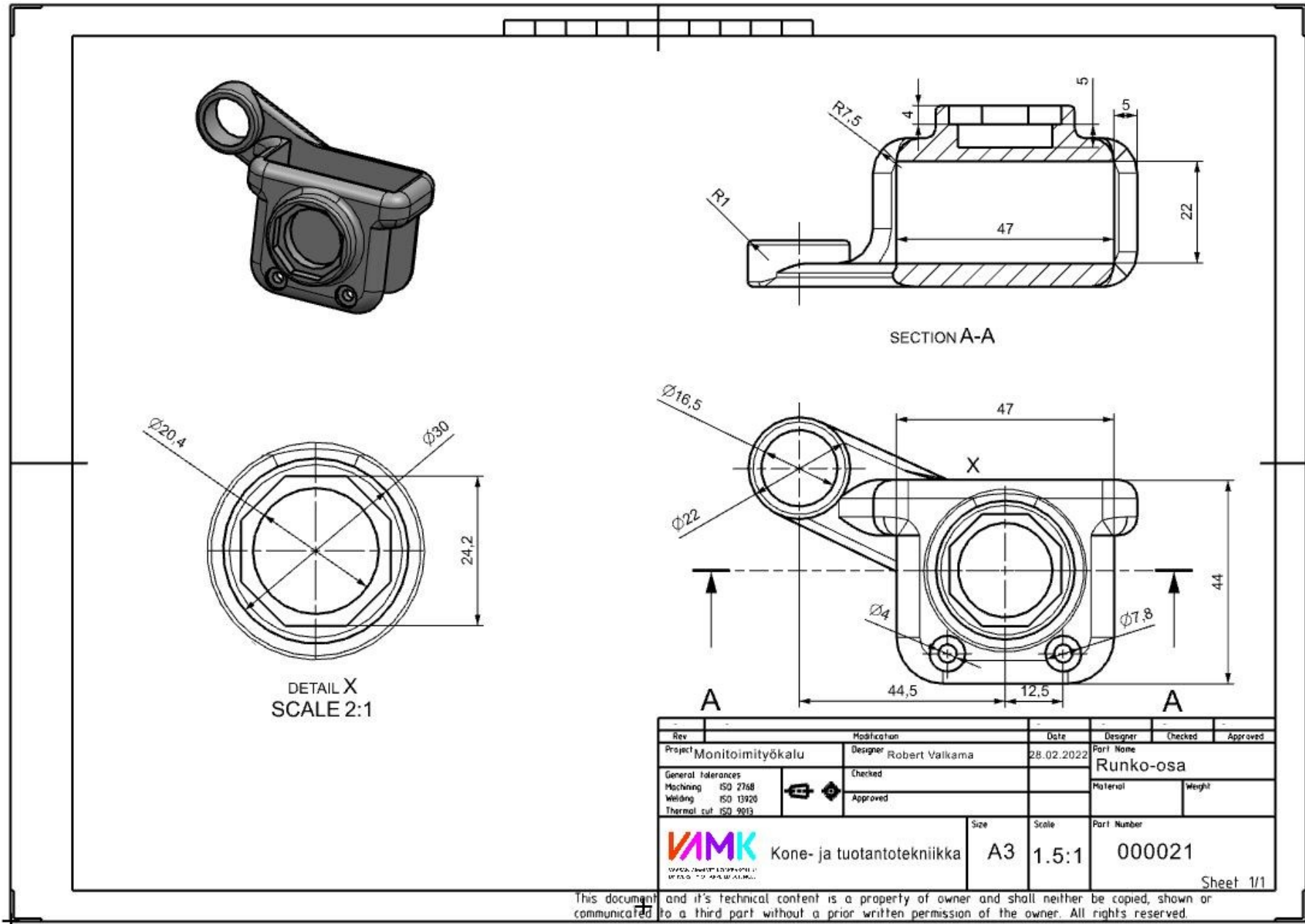
LIITE 6. Valmistuspiirustus: Kiinnitys1_osa1



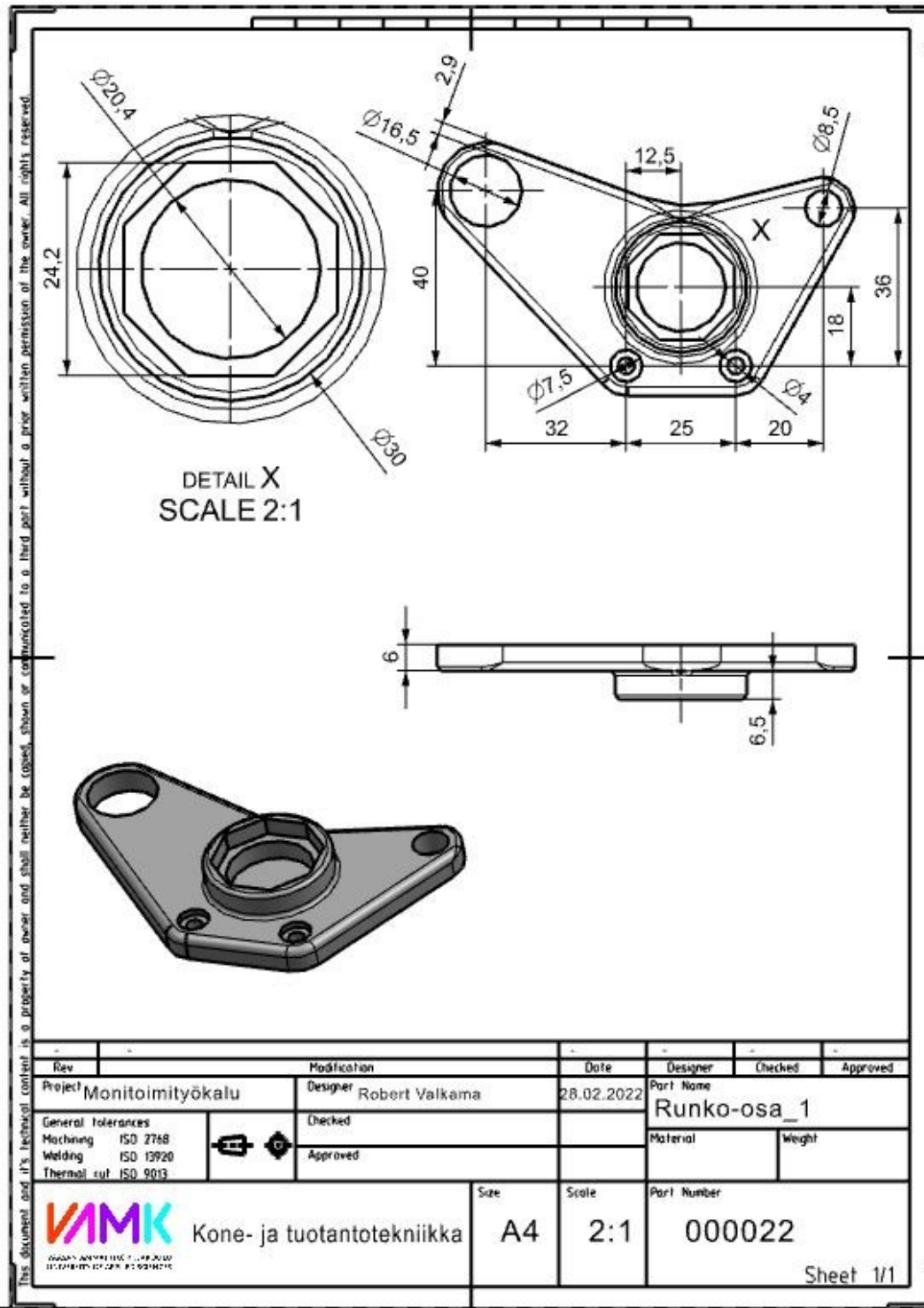
LIITE 7. Valmistuspiirustus: Kiinnitys1_osa2



LIITE 8. Valmistuspiirustus: Runko-osa

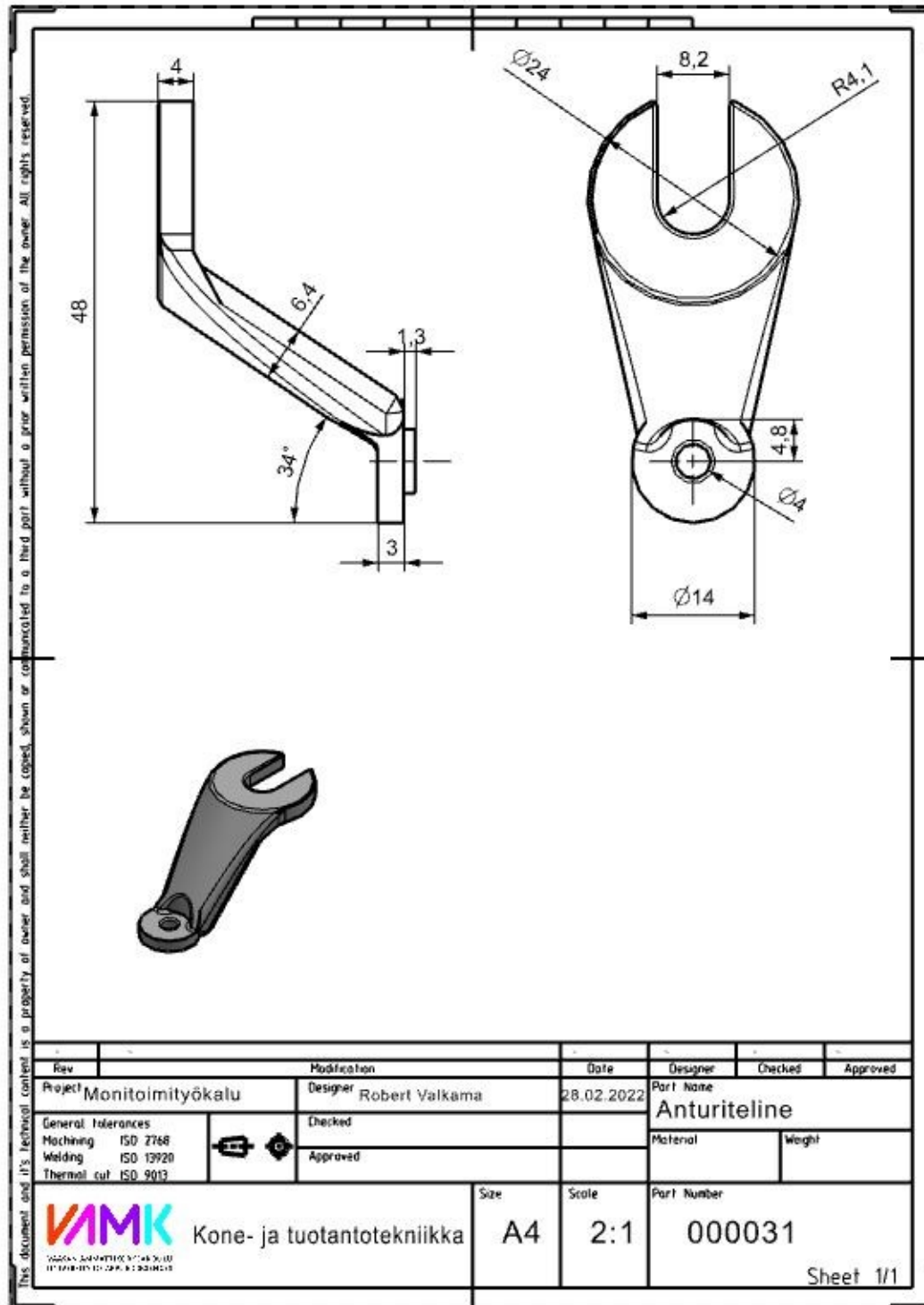


LIITE 9. Valmistuspiirustus: Runko-osa_1



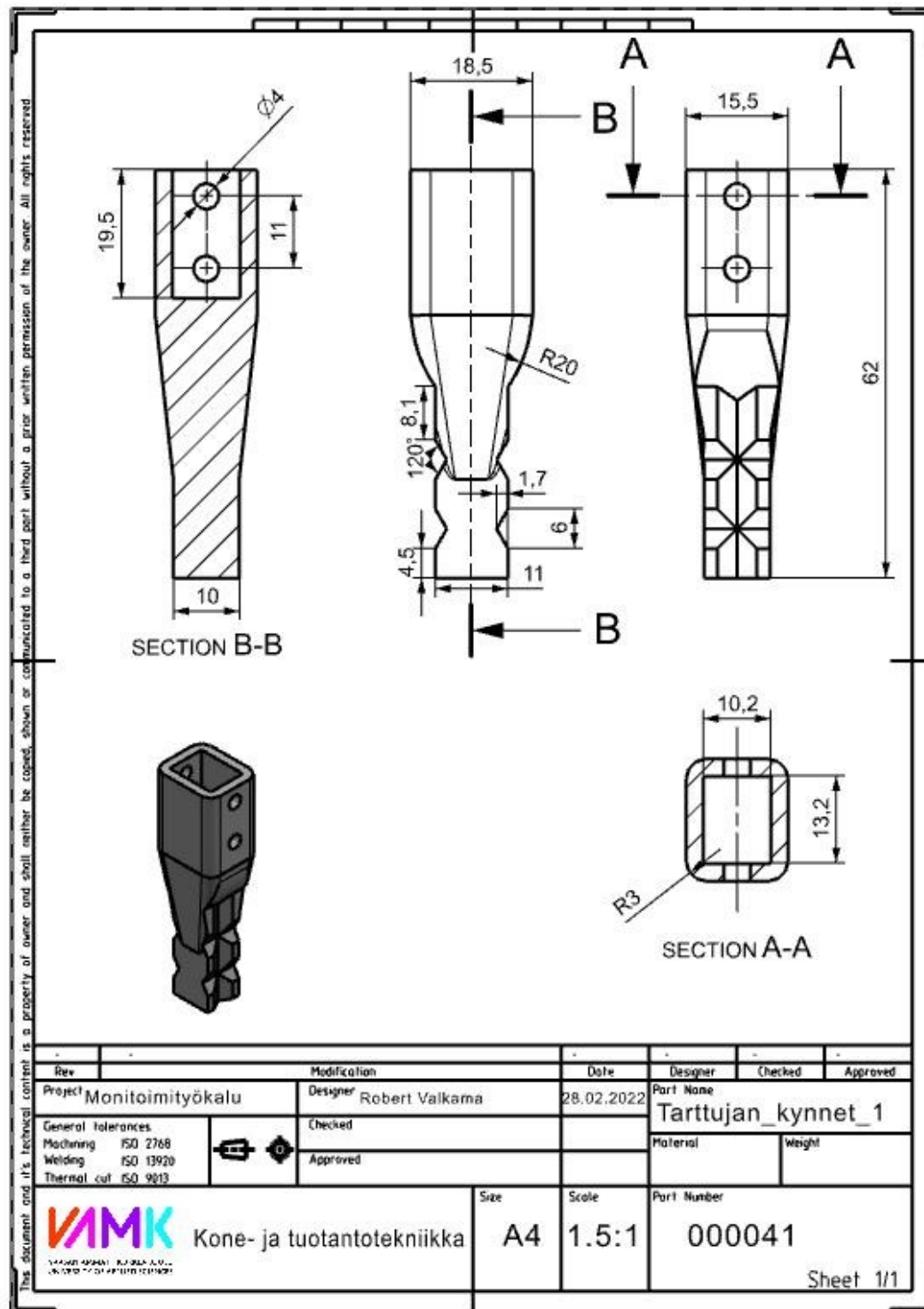
This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third party without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 10. Valmistuspiirustus: Anturiteline



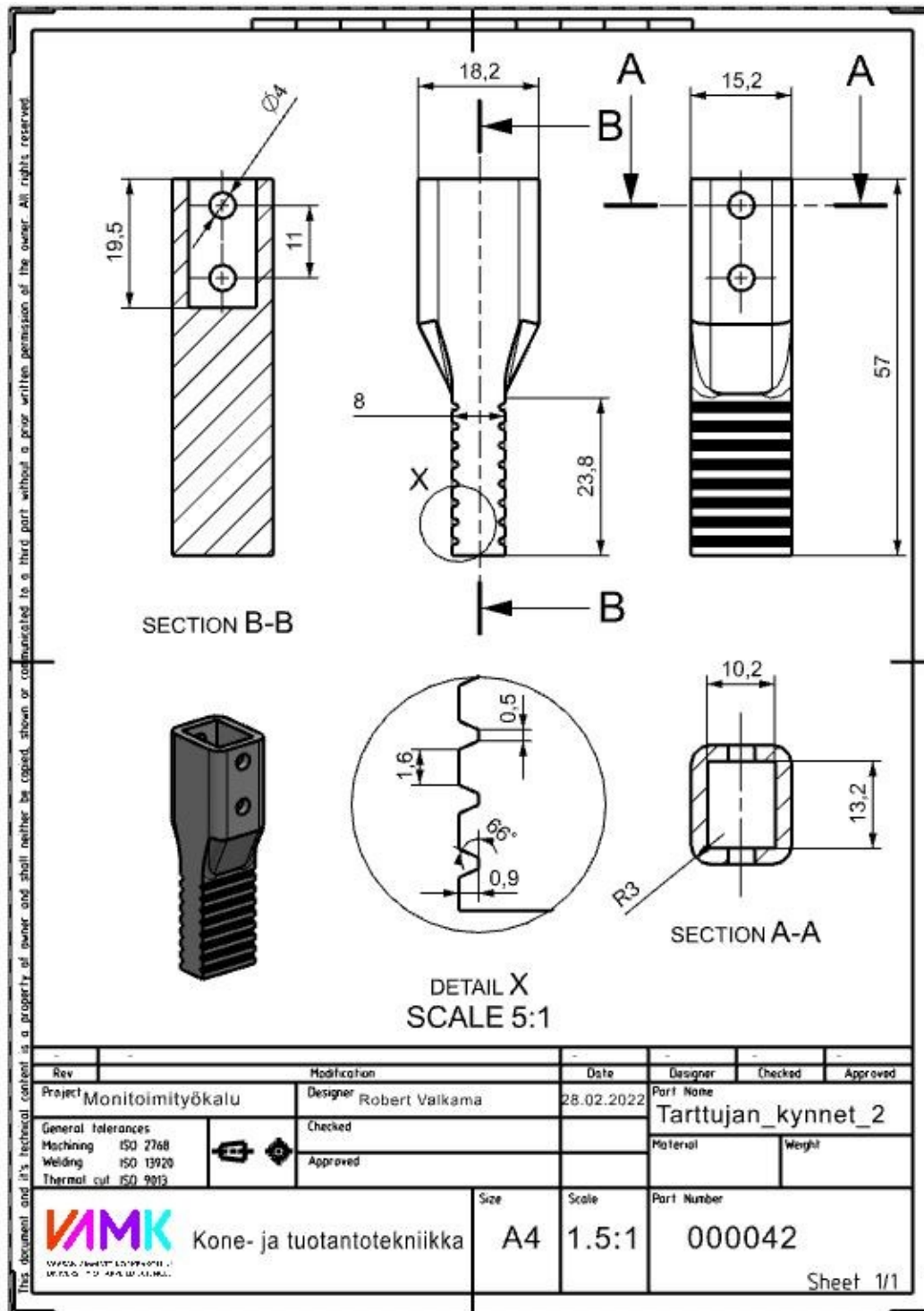
This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third party without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 11. Valmistuspiirustus: Tarttujan_kynnet_1



Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project: Monitoimityökalu		Designer: Robert Valkama	Date: 28.02.2022	Part Name: Tarttujan_kynnet_1	
General tolerances		Checked	Material		
Machining ISO 2768		Approved	Weight		
Welding ISO 13920					
Thermal cut ISO 9813					
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES UNIVERSITY OF EMPLOYMENT TRAINING</small>		Size: A4	Scale: 1.5:1	Part Number: 000041	
Sheet 1/1					

LIITE 12. Valmistuspiirustus: Tarttujan_kynnet_2



LIITE 13. Koonpanopiirustus: Kynäkoonpano

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third party without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

1	KYNAKOTELO	1
2	KYNA	1
3	HOLKKITIIVISTE	1
4	JOUSI	1
5	KYNANSOKKA	1
6	HOLKKITIIVISTE_MUOKATTU	1
FN	Part Name	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
-	-	-	-	-	-
Project: Monitoimityökalu		Designer: Robert Valkama	Date: 28.02.2022	Part Name: Kynäkoonpano	
General tolerances		Checked	Material		
Machining	ISO 2768		Weight		
Welding	ISO 13920		Approved		
Thermal cut	ISO 9013		Part Number		
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>		Size: A4	Scale: 1:1	Part Number: 001	
Sheet 1/1					

LIITE 14. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_1

1	DHPS - 16 - A - NC	1
2	KYNAKOKOONPANO	1
3	IMUKUPPI_FSTE	1
4	ANTURITELINE	1
5	ANTURI_SICK	1
6	MUTTERI_MB	2
7	SCHUNK - SWA - 005	1
8	SCHUNK - SWK - 005	1
9	RUNKO - OSA	1
10	TARTTUJAN_KYNNET_1	2
11	KIIINNITYS_OSA_1	1
12	KIIINNITYS_OSA_2	1
13	KUUSIOKOLOPULTTI_M4	10
14	KUUSIOKOLOPULTTI_M5	4
FN	Part Name	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project ABB IRB 1600	Designer Robert Valkama	28.02.2022	Part Name		
General tolerances	Checked		Material		Weight
Machining ISO 2768	Approved				
Welding ISO 13920					
Thermal cut ISO 9013					
Size		Scale	Part Number		
A3		1:2	1		

Sheet 1/1

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 15. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_2

1	DHPS-16-A-NC	1
2	KYNAKOKOONPANO	1
3	RUNKO-OSA I	1
4	TARTTUJAN_KYNNET	2
5	KIIINNITYS_IRB120	1
6	ANTURI_IND-8PNP2L	1
7	MUTTERI_M8	2
8	IMUKUPPI_ZPR	2
9	MUTTERI_M13	2
10	KUUSIOKOLOPULTTI_M4	9
FN	Part Name	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project	ABB IRB 120	28.02.2022	Robert Valkama		
General tolerances	Checked		Part Name	Monitoimityökalu_2	
Machining ISO 2768		Approved	Material	Weight	
Welding ISO 13920					
Thermal cut ISO 9013					
Size		A3	Scale	1:1	Part Number
					2
					Sheet 1/2

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 16. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_3

1	DHPS-16-A-NC	1
2	KYNAKOKOONPANO	1
3	ANTURITELINE	1
4	ANTURI_SICK	1
5	MUTTERI_M8	2
6	KIINNIKE_I	1
7	RUNKO-OSA	1
8	KIINNITYSI_OSA1	1
9	KIINNITYSI_OSA2	1
10	IMUKUPPI_FESTO	1
11	MUTTERI_M14	2
12	TARTTUJAN_KYNNET_2	2
13	KUUSIOKOLOPULTTI_M4	10
14	KUUSIOKOLOPULTTI_M5	4

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project	ABB IRB 1200	28.02.2022	Robert Valkama		
General tolerances	Checked	Part Name		Material	Weight
Machining ISO 2768	Approved	Monitoimityökalu_3			
Welding ISO 13920		Size	Scale	Part Number	
Thermal cut ISO 9013		A3	1:2	3	

Sheet 1/1

LIITE 17. Kokoonpanopiirustus: Monitoimityökalu_4

1	DHPS-16-A-NC	1
2	KYNAKOKOONPANO	1
3	ANTURITELINE	1
4	MUTTERI_M8	2
5	KIIINNITYSI_OSA1	1
6	TARTTUJAN_KYNNET_2	2
7	KIIINNITYSI_OSA2_IRB1100	1
8	RUNKO_OSA_IRB1100	1
9	IMUKUPIN_SOKKA_IRB1100	1
10	IMUKUPPI_IRB1100	1
11	IMUKUPIN_MUTTERI_IRB1100_M8	2
12	ANTURI_IRB1100	1
13	KIIINNIKELAIPPA_IRB1100	1
14	KUUSIOKOLOPULTTI_M4	10
15	KUUSIOKOLOPULTTI_M5	4
FN	Part Name	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
1					
Project ABB IRB 1100		Designer Robert Valkama		Date 28.02.2022	
General tolerances		Checked		Part Name	
Machining ISO 2768				Material	
Welding ISO 13920				Weight	
Thermal cut ISO 9013				Approved	
Kone- ja tuotantotekniikka			Size	Scale	Part Number
			A3	1:2	4
					Sheet 1/2

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.