

# Lankapohjaisen suorakerrostuksen käyttöönotto hitsausrobotissa

Tero Haapakoski

OPINNÄYTETYÖ  
Maaliskuu 2024

Konetekniikka  
Koneautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Koneautomaatio

Haapakoski Tero  
Lankapohjaisen suorakerrostuksen käyttöönotto hitsausrobotissa

Opinnäytetyö 33 sivua  
Maaliskuu 2024

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia lankapohjaisen suorakerrostuksen teknologiaa ja sen käyttöönottoa Tampereen Ammattikorkeakoulun ABB-hitsausrobotissa. Opinnäytetyössä kartoitetaan robottiaseman nykytila ja selvitetään, millaisia fyysisiä muutoksia, tarkistuksia ja ohjelmistomuutoksia tarvitaan, että robotilla pystytään jatkossa 3D-tulostamaan käyttäen robottiin kytkettyä hitsausvarustusta. Työssä käsitellään ABB-robotin ympärille rakennettua järjestelmää ja sen toimintaperiaatetta.

Tätä asiaa on hyödyllistä tutkia, sillä tietoa voidaan hyödyntää myös Suomen konepajoissa, joissa on robotteja, joille ei löydy täyttä työkuormaa konepajan hitsaustöistä. Näin ollen robotti olisi kohtuullisen helppo valjastaa 3D-tulostuskäyttöön, jos sellaiselle on tarvetta. Robottipohjainen tulostus mielletään myös edulliseksi ja robottihitsauksessa kerrytettyä tietoa ja osaamista osataan käyttää hyväksi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin robottiasema toimimaan lankapohjaisella suorakerrostuksella ja onnistuttiin tuottamaan erilaisia 3D-tulosteita. Tutkimuksessa havaittiin, että teknologia on lupaava ja sillä on potentiaalia monenlaisiin soveluksiin. Työssä pohditaan myös teknologian haasteita ja kehitysmahdollisuuksia sekä annetaan suosituksia jatkotutkimukselle.

---

Asiasanat: 3D-tulostus, robotti, nykytila, suorakerrostus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine Automation

Haapakoski Tero:  
Commissioning of Wire-based Direct Energy Deposition Method for Welding Robot

Bachelor's thesis 33 pages  
March 2024

---

The aim of this thesis is to explore the wire-based direct deposition technology and its implementation in the welding robot of Tampere University of Applied Sciences. The thesis maps the current state of the robot station and investigates what kind of physical changes, checks and software modifications are needed to enable 3D printing with the welding equipment in the future.

The topic is interesting because there are robots in Finnish machine shops that do not have a full workload of welding tasks. Therefore, it would be relatively easy to harness the robot for 3D printing purposes if there is a need for it. Robot-based printing is also considered to be inexpensive, and the knowledge and skills gained from robot welding can be used to advantage. The thesis deals with the system built around the ABB robot and its operating principle.

The result of the thesis was that the robot station was able to operate with wire-based direct deposition and produce various 3D prints. The work showed that the technology is promising and has potential for many applications. The work also discusses the challenges and opportunities of the technology and gives recommendations for further research.

The results of the thesis disclosed that a robot station was successfully operational using wire-based direct deposition, resulting in various 3D prints. The study identified the technology as promising, with potential applications across different domains. Additionally, the work discusses technological challenges, opportunities for development, and provides recommendations for further research.

Keywords: 3D printing, robot, wire-based layering.

---

Key words: 3D printing, robot, current state, deposition

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....   | 6  |
| 2     | ROBOTIIKKA.....  | 7  |
| 2.1   | ABB-robotit.....   | 7  |
| 2.1.1 | ABB-robottien lyhyt historia .....                         | 8  |
| 2.2   | ABB Ohjelmistot.....                                       | 12 |
| 2.2.1 | Robotstudio .....  | 12 |
| 2.2.2 | 3D-tulostus lisäosa 3D Printing Power Pack .....           | 14 |
| 2.2.3 | 3D-tulostus lisäosa Robottiin 3D Printing Robot Ware ..... | 15 |
| 3     | SUORAKERROSTUS JA KÄYTETTY LAITTEISTO.....                 | 16 |
| 3.1   | Slicer -ohjelmistot.....                                   | 17 |
| 3.2   | WA-DED Menetelmä.....                                      | 19 |
| 3.3   | Hitsauslaitteisto Fronius .....                            | 20 |
| 3.3.1 | CMT-teknologia .....                                       | 20 |
| 3.4   | ABB-Robotti ja käsittelylaite .....                        | 21 |
| 4     | HITSAUSROBOTIN PÄIVITYS.....                               | 22 |
| 4.1   | Nykytilakartoitus hitsausrobotista.....                    | 23 |
| 4.2   | Suorakerrostuksen laite ja ohjelmistovaatimukset.....      | 25 |
| 4.2.1 | Laitteistovaatimukset.....                                 | 26 |
| 4.2.2 | Ohjelmistovaatimukset .....                                | 26 |
| 5     | TESTAUS .....  | 28 |
| 6     | POHDINTA .....   | 31 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|        |   |
|--------|---|
| TAMK   | Tampereen ammattikorkeakoulu                          |
| 3D     | kolmiulotteinen                                       |
| AM     | Additive Manufacturing, materiaalia lisäävä valmistus |
| DED    | Direct Energy Deposition,                             |
| WAAM   | Wire Additive Manufacturing                           |
| WA-DED | Wire Arc Direct Energy Deposition                     |

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee lankapohjaisen suorakerrostuksen teknologiaa ja sen soveltamista Tampereen Ammattikorkeakoulun hitsausrobotissa. Lankapohjainen suorakerrostus on 3D-tulostusmenetelmä, jossa metallilankaa sulatetaan hitsauspistoolilla ja kerrostetaan 3D-digitaalisen mallin pohjalta haluttuun muotoon. Teknologia tarjoaa mahdollisuuden valmistaa monimutkaisia kappaleita nopeasti ja edullisesti hyödyntäen olemassa olevia robottihitsauslaitteita. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mitä muutoksia ja toimenpiteitä robottiasemalla tarvitaan, jotta se pystyy tulostamaan lankapohjaisella suorakerrostuksella, sekä arvioida teknologian toimivuutta, haasteita ja potentiaalia.

Työssä esitetään lankapohjaisen suorakerrostuksen periaatteet, käytetyt materiaalit ja sovellukset. Työn kokeellisessa osassa kuvataan robottiaseman muokkaaminen, tulostusprosessin säätäminen. Työn tulokset osoittavat, että robottiasema onnistuttiin saamaan toimimaan lankapohjaisella suorakerrostuksella ja sillä pystyttiin tuottamaan erilaisia kappaleita. Tulosteiden laatu oli vaihteleva ja riippui prosessiparametreista, materiaalista ja geometriasta. Teknologian etuja ovat nopeus, edullisuus, materiaalien monipuolisuus ja kappaleiden korjausmahdollisuus. Teknologian haasteita ovat tulosteiden epätasainen pinta, toisinaan huokoinen rakenne, muodonmuutokset ja rajallinen tarkkuus. Teknologia vaatii vielä kehittämistä ja tutkimusta, mutta sillä on potentiaalia erityisesti suurten ja raskaiden kappaleiden valmistukseen sekä konepajateollisuuden tarpeisiin.

## 2 ROBOTIIKKA

Opinnäytetyössä käsitellään vain kohdennetusti ABB:n robotteja ja liittyen lisäävään valmistukseen. Monet lisäävään valmistukseen liittyvät lainalaisuudet pätevät myös muun merkkisiin robotteihin. ABB valmistaa robotteja, käsittelylaitteita, robottiratoja ja lisälaitteita monelle eri sektorille. ABB robottien käsittelykyky alkaa 0,5 kg ja isoimmat robotit pystyvät käsittelemään 800 kg.

Lisäävässä valmistuksessa käytettävät robotit vaihtelevat yleensä käytetyn prosessin mukaan. Lisäävään valmistukseen soveltuva hitsauspoltin painaa noin 4-6 kg ja isompi granulaattiekstruuderit saattaa painaa 30-50 kg. Robotin paikoitus- ja ratatarkkuus riittää hyvin lisäävässä valmistuksessa olevien työratojen ajamiseen. Yksi haasteista on todella pitkät työstöradat, joissa saattaa olla useita satojatuhansia paikoituspisteitä robotille. Robotti tulee olla varustettu ohjelmistolla, joka osaa paloitella isoja ohjelmia ja syöttää niitä sopivan kokoisena robotin käyttömuistiin.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään ABB yhtiön kehitystä robottiliiketoiminnan näkökulmasta ja ABB robottien historiaa ja kehitystä. Robottien kehitys on ollut nopeaa ja robottien rinnalle on kehitetty erilaisia tuoteperheitä, kuten syöttölaitteita, konenäkökameroita ja mobiilirobotiikkaa.

### 2.1 ABB-robotit

ABB (Asea Brown Boveri Ltd) nimenä on peräisin fuusiosta vuodelta 1988, kun ASEA ja Brown Boveri yhdistyivät. Tätä ennen vuonna 1985 ASEA osti Tralfan ja sai näin merkittävästi maalausrobottiosaamista. ASEA aloitti sähköisten robottien kehityksen 70-luvun alussa ja lanseerasi ensimmäisen version IRB-6 robotista vuonna 1974. Robotissa oli kuuden kilon käsittelykyky ja se oli ainutlaatuinen niin mekaanisesti, kuin ohjausjärjestelmältään. ASEA lanseerasi ensimmäisen kaarihitsaussovelluksen vuonna 1975. Tämän jälkeen kehitys jatkui pistehitsausrobottien saralla. (ABB History)

Nykyään ABB on yksi merkittävimmistä robottivalmistajista ja on tähän mennessä valmistanut yli 400 000 robottia. Tehtaita on Ruotsissa, Kiinassa Pohjois-Amerikassa sekä Norjassa. Robottiportfolio kasvaa koko ajan uusilla tuotteilla ja oheislaitteilla, kuten mobiilirobotiikka ja erilaiset sensori- sekä konenäköratkaisut. Oheisesta taulukosta ilmenee eri ohjelmistosukupolvien merkittäviä muutoksia.

TAULUKKO 2. ABB / ASEA Ohjainversiot ja ilmestymisvuodet.

| Ohjaimen versio | vuosi | Huomioitavaa              |
|-----------------|-------|---------------------------|
| S1              | 1972  |                           |
| S2              | 1982  | ARLA, joystick            |
| S3              | 1986  | ARLA, DC to AC            |
| S4              | 1994  | Virtual technology, RAPID |
| S4C+            | 1998  |                           |
| IRC 5           | 2004  | Virtual technology 2      |
| Omnicores       | 2018  |                           |

### 2.1.1 ABB-robottien lyhyt historia

Ensimmäinen ohjaussukupolvi käytti nimeä S1. Se sisälsi yhden 8-bittisen Intel 8008 -mikroprosessorin. Käyttöliittymä oli nelinumeroisen LED-näytön ja 12 lyöntinappulan yhdistelmä ja sisälsi alkeellisen ohjelmiston akselien interpolointiin ja liikkeen ohjaukseen (kuva 1). Robotin kiertyvänivelinen käsivarsi oli 5-akselinen ja käytti tasavirtaservomootoreita. Käsivarsi oli nimeltään IRB-6 ja se on yksi eniten valmistetuista pyörivänelisistä robottikäsivarsista. Vuonna 1982 ASEA julkaisi S2-version ohjausjärjestelmästä ja siinä oli ensimmäistä kertaa mukana ohjainvipu (joystick) tyyppinen ohjaus (kuva 1). Ohjain pystyi käsittelemään seitsemää servoakselia. S2-ohjausjärjestelmä oli suunniteltu Japanin markkinoita silmällä pitäen. S2-ohjaus rakentui kahden Motorola 68000 mikroprosessorin ympärille. S2-ohjaimen näytössä oli kaksi riviä, josta ylempi näytti yhtä ohjelma-askelta kerrallaan ja alempi rivi osoitti funktionäppäimien toiminnan. Huomionarvoinen seikka on myös, että robotissa oli jo silloin kielikäännös suomeksi ja siinä oli käyttöliittymässä näppäin konenäkösovelluksia varten. (ABB History)





KUVA 1. S1 ja S2 ohjelmointipaneelit (ASEA)

Vuonna 1986 julkaistiin merkittävä robotti IRB2000, jossa oli uusi S3- ohjausjärjestelmä. Robotti tarjosi kuularuuvien tilalle välyksettömät vaihteistot ja uudet rakenteet robotin rungossa ja ranteessa. Konversio suoravirtamoottoreista (DC) vaihtovirtamoottoreihin (AC). AC-moottorit tarjoavat suurempia vääntömomenteja, ovat fyysisesti pienempiä kuin DC-moottorit, toimivat harjattomasti ja näin ollen ovat helpompia huoltaa ja niiden käyttöikä on pidempi. Ohjaimen robottikieli oli sama, kuin S2-ohjaimessa eli ARLA. Ohjaimessa huomionarvoista on, että ohjainvipu on siirtynyt kotelon pätyyn ja kolmiasentoinen sallintakytkin on muotoiltu uudelleen. Kotelo on myös paljon ohuempi, kuin edeltäjänsä. Kuvassa 2 on esitetty S3-ohjain. Ohjaimessa on sama näppäinasettelu, kuin S2-ohjaimessa.



KUVA 2. S3 ohjelmointipaneeli (ABB)

Yli 150 henkilötyövuotta kului monimikroprosessorisen S4:n ohjausjärjestelmän kehittämiseen, joka kykeni ohjaamaan robotin omien akseleiden lisäksi kuutta ulkoista servoakselia, sekä monia prosessiparametrejä, kuten hitsausparametreja. S4-ohjain on suunniteltu parantamaan käyttökokemusta kahdella kriittisellä osalla: käyttöliittymä ihmisen ja koneen välillä sekä robotin tekninen suorituskyky. Yhden rivin sijaan ohjelmaa näkyi näytöltä kahdeksan rivin verran ja valikkorakenne oli Windows käyttöjärjestelmästä tutut veto- ja dialogivalikot. (kuva 3) Ohjelmointikieli vaihtui tässä kohta RAPID- kieleksi, joka on edelleen käytössä moderneissakin ABB-roboteissa. Näihin aikoihin ABB alkoi kehittämään myös ohjelmistotyökaluja, jotka paransivat robotin dynaamista suorituskykyä, joka näkyy parempina tahtiaikoina, laadukkaampana liikkeenä ja parantuneena ratatarkkuutena. Vuonna 1998 S4-ohjaimesta tuli päivitys ja järjestelmä rakentui teollisuus PC:n ympärille.



KUVA 3. S4 ja S4C+ ohjelmointipaneelit (ABB)

IRC5 poikkeaa nimeltään edeltäjistä ja sen sanotaan olevan viidennen sukupolven robottiohjaus. IRC5:n huomattava ominaisuus on sen kyky ohjata samanaikaisesti jopa neljää ABB-robottia sekä ulkoisia akseleita, kuten hitsauspöytiä tai ratoja, tai muita servolaitteita - yhteensä 36 akselia - täysin koordinoituna toimintona uuden MultiMove-toiminnallisuuden avulla. Kuvassa 4 on esitetty IRC paneelista eri versiot. Kehitettyssä versiossa oli parempi näyttö ja ergonomia.



KUVA 4. IRC5 ohjelmointipaneeli. Alkuperäinen 2004 ja päivitetty 2008 (ABB)

Robotin käsiohjain koki myös mullistuksen. Se sai Windows-käyttöjärjestelmän ja ulkoisesti se koostui isosta kosketusnäytöstä ja ajoa ohjaavista näppäimistä, kuten MP3-soittimessa. Oikealla yläkulmassa oli neljä ohjelmitavaa painiketta, joihin voi sovellusten mukaan tuoda prosessissa tarvittavia tärkeitä toimintoja. Kaksi kaarihitsausrobotia voi hitsata yhteistyössä samaa työkappaletta, tarjoten tasaisen lämmöntuonnin ja poistaen jäähdytyksen kutistumisesta johtuvia muodonmuutoksia. Useat robotit voivat yhdessä käsitellä hauraita työkappaletta estääkseen sen taipumisen. Kaksi tai useampi robotti voi nostaa kuorman, joka on suurempi kuin yhden robotin kapasiteetti. IRC5 mahdollisti myös järjestelmän muokattavuuden, jolla voidaan suunnitella sovelluksiin käyttöliittymiä, tilanäyttöjä ja uudenlaista toiminnallisuutta. Nykyään Visual studio -ympäristöön saa hyvät kehitystyökalut robottien käyttöliittymien muokkaamiseen.

Omnicoresukupolvi esiteltiin Automatica-messuilla 2018. Ensimmäiset uudet OmniCore-ohjaimet tarjoavat suuren joustavuuden robottien integroimiseen digitaalisen tehtaan ekosysteemiin, olipa valmistajien tarpeena standardoitu liikkeenohjaus tai räätälöidymmät ratkaisut. "Automatisointitarpeet ovat yhä monimutkaisempia nykyajan korkean sekoituksen ja pienen volyymin valmistuksessa", sanoo ABB:n robotiikan toimitusjohtaja Per Vegard Nersest. "Tehtaat tarvitsevat ratkaisuja, jotka tukevat joustavuutta ja korkeaa suorituskykyä vaativissa 24/7-toiminnoissa ja samalla voidaan mukauttaa tiettyihin sovelluksiin." Kuvassa 5 on esitetty Omnicoresukupolvi. (ABB History, ABB Omnicores Press Release, Robots Done Right 2024)



KUVA 5. Omnicore ohjelmointipaneeli 2018 (ABB)

## 2.2 ABB Ohjelmistot

ABB:llä on lukematon määrä erilaisia robotiikkaan liittyviä ohjelmistoja, mutta työn rajauksena keskitytään niihin ohjelmistoihin, mitä tarvitaan tässä opinnäytetyössä. Seuraavassa esitellään ABB:n perusohjelmisto RobotStudio ja yksi monista lisäosista 3D Printing Power Pack.

### 2.2.1 Robotstudio

RobotStudio on peräisin -90 luvun lopulta ja sen alkuperä on ollut yritysosto. S4-robottien aikana Suomesta ei montaa yritystä löytynyt, jotka hankkivat tämän ohjelmiston. Myös ominaisuudet ja käytettävyys olivat tässä vaiheessa aika heikolla tasolla. RobotStudiosta nähtiin 2000-luvun alussa myös "Lite" -kevyt versio, jota jaettiin robottien mukana.

RobotStudion kehitystyö pääsi todella vauhtiin IRC5 ohjaimen lanseerauksen myötä vuonna 2004. Kuten aiemmin on todettu, ohjain pystyi käsittelemään yhtä aikaa neljän robotin liikelaskentaa. Yksi RobotStudion tärkeimmistä työkaluista loppukäyttäjälle on ollut ohjelmaeditori, jolla käyttäjät ovat voineet editoida robotin dataa ja muokata ohjelmia robotin käyttöönotossa ja myöhemmin tuotannossa, kun ohjelmissa on ollut muutostarvetta. Editori on kokenut monia muutoksia vuosien varrella ja on nykyisin todella hyvä työkalu kaikessa robotin hallintaan ja käyttöön liittyvissä aktiviteeteissa. RobotStudion graafinen puoli toimii solujen suunnittelussa, tuotantosimulaatioissa ja robotin paikkapisteiden, työkalu- ja

koordinaatistotietojen ja ratojen luomisessa. RobotStudioon on lisätty toiminnallisuutta pitkin matkaa kuten älykkäitä komponentteja, jotka mahdollistavat mm. omien työkalujen ja mekanismien määrittelyn suoraan RobotStudiassa. Käyttö perustuu siihen, että CAD-mallit suunnitellaan millä tahansa ohjelmalla ja ladataan soveltuvassa tiedostomuodossa RobotStudio-ohjelmaan. CAD-malliin voidaan määritellä nivelpisteitä ja määritellä sitä kautta kinematiikka, miten CAD mallin tulisi liikkua. Esimerkiksi tarttujan sormet saadaan liikkumaan. Liikkeille määritellään raja-arvot ja nopeudet sekä mahdolliset riippuvuudet muihin liikkeisiin. Ympäristöön on mahdollista määritellä myös virtuaalisia antureita ja monia muita ominaisuuksia, joiden tarkoitus on helpottaa käyttäjää tekemään mahdollisimman tarkka simulaatio käsittelyssä olevasta tehtävästä. RobotStudio saadaan myös kommunikoimaan muiden laitteiden kanssa, kuten ohjelmoitavat logiikat ja konenäkökamerat, jolloin osa testauksista voidaan suorittaa ilman fyysistä robotia.

RobotStudion graafinen maailman ja robotin virtuaalikontrolleri voidaan liittää yhteen ja saada testattua myös robotin ohjelmaa simulointiympäristössä. Haluttu kappale saadaan liikkumaan kuljettimella ja virtuaalisen anturidatan perusteella robotti osaa tarttua siihen ja taustaohjelmisto hoitaa, että tartuttavan geometrian grafiikka jää kiinni tarttujan 3D-malliin. Valmis simulaatio on mahdollista tallentaa videoksi tai luoda siitä oma sovellus, joka on mahdollista lähettää tutkittavaksi toisaalle. Vastaanottaja ei tarvitse itse ohjelmaa, vaan sovellus toimii soittimena itsessään.

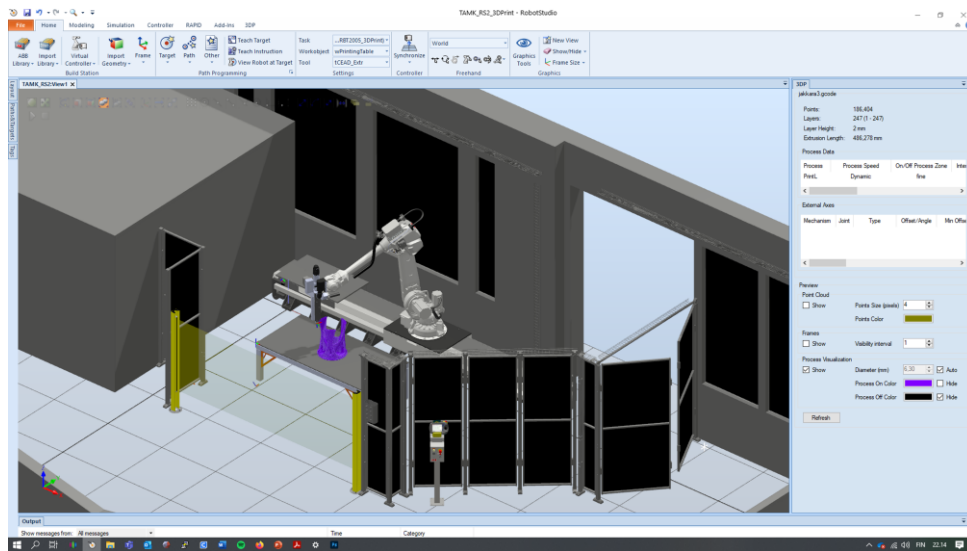
Uudemmissa RobotStudio-ohjelmissa on signaalien analyysityökaluja ja voit helposti valita seurattavaksi erilaista tietoa robotin ominaisuuksista ja järjestelmästä. Näihin kuuluvat akselien asentotiedot ja mm. robotin työkalupisteen nopeus. I/O data ja niiden muutokset. Osa näistä on erittäin hyödyllisiä käyttöönotossa ja vianhaussa. Yhteenvetona voi sanoa, että ohjelmisto on laaja ja hyödyllinen robotissa käytettävästä prosessista tai työtehtävästä huolimatta.

## 2.2.2 3D-tulostus lisäosa 3D Printing Power Pack

ABB RobotStudio tarjoaa hyvät perustyökalut, mutta toisinaan tarvitaan teknologia- tai prosessikohtaisia aputyökaluja. Suosittuja aputyökaluja ovat hitsauksen, koneistuksen ja lavauksen lisäosat. Saatavana on myös kokoonpanon, leikkauksen, konepalvelun, maalauksen, poiminnan, pistehitsauksen lisäosat. 3D-tulostus lukeutuu näihin ja siihenkin on oma lisäosa. 3D Printing PowerPac on RobotStudio-apuohjelma, joka laajentaa RobotStudio 3D-tulostustoiminnoilla. Lisäosaa käytetään erilaisten CAD-mallien 3D-tulostuksen etäohjelmointiin ja simulointiin. Lisäosa tuo käyttäjälle helpotetun käyttöliittymän, jossa käydään kyseiseen prosessiin liittyvät toimenpiteet läpi. 3D-tulostuksessa kysymys on työketju G-koodin lataamisesta valmiin robottiohjelman siirtämiseen todelliselle robotille. Ladattua rataa voi tarkastella pistepilvenä, koordinaatistoina tai yksinkertaisena tankomalliesityksenä, joka simuloi tulostettuja kerroksia. Tyypilliseen työketjuun kuuluu viipalointiohjelmassa eli Slicer-ohjelmassa luotu G-koodi, joka sisältää liikeradat G-koodeina ja tulostuksen määrä eri liikkeille.

3D-tulostus Power-lisäosassa määritellään, että miten robotti kääntelee tulostustyökalua ja miten esimerkiksi ulkoiset akselit, kuten rata tai moniakselinen pöytä käyttäytyy. Parametreista löytyy myös mahdollisuus muuttaa viipalointiohjelmassa tehtyjä päätöksiä. Tehtyjen muutosten jälkeen varmistetaan, että robotti ulottuu joka paikkaan ja että robotille on valittu oikea akselikonfiguraatio.

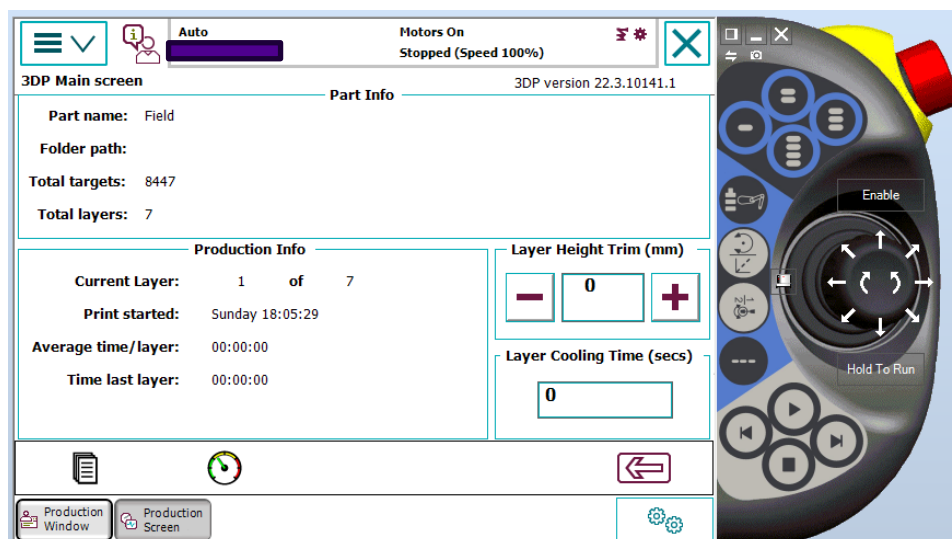
Robotin ulottuessa joka paikkaan voidaan aloittaa simulaatio ja RobotStudiossa se tarkoittaa sitä, että robotin liikkeet lasketaan uudelleen ja niistä koostetaan tuhannen pisteen moduuleita, joita robotilla oleva lisäosa osaa kutsua järjestyksessä ja muodostaa näin tuhansien pisteiden katkeamattoman radan. ohjelmistokäännön jälkeen robotti aloittaa visuaalisen simuloinnin. Visuaalisessa simuloinnissa on mahdollista kytkeä esikatselu, jossa robotti kulkee ohjelmoitua rataa ja aktivoi tankomaisia elementtejä pitkin rataa, joista muodostuu tulostettava kappale simuloinnin edetessä. Valmis ohjelmapaketti voidaan siirtää manuaalisesti robotin ohjaimelle määritettyyn tulostushakemistoon tai käyttää Power-lisäosaan rakennettua siirtotoimintoa, joka vie ohjelmaketin suoraan yhdellä klikkauksella valitulle robotille. Kuvassa 6 on esitetty yksi Tamkin tulostusympäristöistä.



KUVA 6. Näkymä robottisolusta RobotStudiosta

### 2.2.3 3D-tulostus lisäosa Robottiin 3D Printing Robot Ware

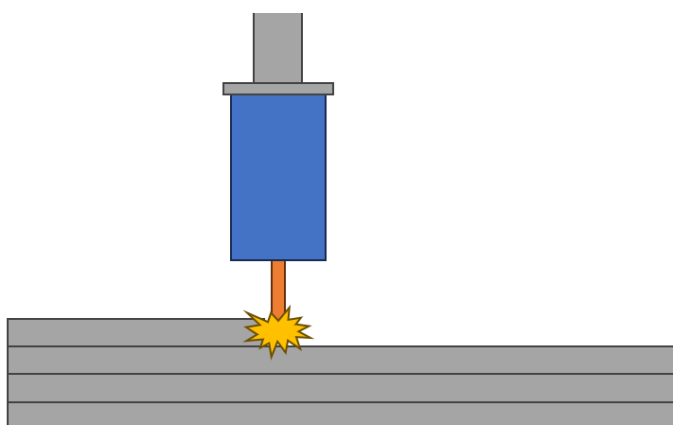
ABB-robotin käyttöohjaimen on saatavilla myös lisäohjelmisto 3D-tulostukseen, joka on ajateltu työkaluksi robotin loppukäyttäjälle, eli robottioperaattorille. Operaattori voi tehdä pieniä säätöjä ohjelmaan, kuten säätää nopeutta ja muuttaa kerrospaksuutta. Käyttöliittymässä voidaan tehdä myös työjonoja, jos yksittäiset tulosteet mahtuvat vierekkäin. Ohjelmistossa on myös mahdollisuus rakentaa ulkoinen integraatio ja määritetty ohjelma kutsutaan jostain ulkoisesta lähteestä, kuten keskitetty tehtaan tuotannonhallinta tai useamman robotin tulostusympäristö. Tampereen Ammattikorkeakoulun FieldLAB-ympäristöön on tulossa työstökeskuksien ja robottien keskitetty hallinta ja tulevaisuuden insinöörien on hyvä hallita myös näiden järjestelmien käyttöönottoon liittyvä tekniikoita. Kuvassa 7 on esitetty näkymä robotin käsiohjaimen 3D tulostusohjelmistosta.



KUVA 7. Robotin 3D-tulostusohjelmisto

### 3 SUORAKERROSTUS JA KÄYTETTY LAITTEISTO

3D-tulostus on menetelmänä kehittynyt niin, että sillä voidaan valmistaa prototyyppien lisäksi myös varsinaisia osia ja tuotteita. Tässä yhteydessä prosessista käytetään yleensä nimitystä “ainetta lisäävä valmistus (additive manufacturing)”. Suorakerrostus on yksi noista menetelmistä. Teollisuusrobotti soveltuu hyvin isompien tulostustyökalujen liikuttamiseen. Kokoluokkia on monia, mutta robotisoitu 3D-tulostus on parhaimmillaan suuren mittakaavan tulostuksissa ja vähän isompien tulostustyökalujen kanssa. Robottitulostusprosessit vaihtelevat muovien ja biokomposiittien tulostamisesta laserprosessien käyttöön, joissa lisätään lisäainelankaa tai suihkutetaan jauhetta. Tyypillisiä suuren mittakaavan robottitulostussovelluksia ovat betonin ja geopolymerien tulostus sekä kaarihitsausta hyödyntävät menetelmät. Kehitys on nopeaa ja robottiratkaisuja tarjoavia toimittajia on tullut markkinoille runsaasti. Kuvassa 8 on esitetty työssäkin käsiteltävä WA-DED prosessi. Kappaletta kasvatetaan kerros kerrokselta.

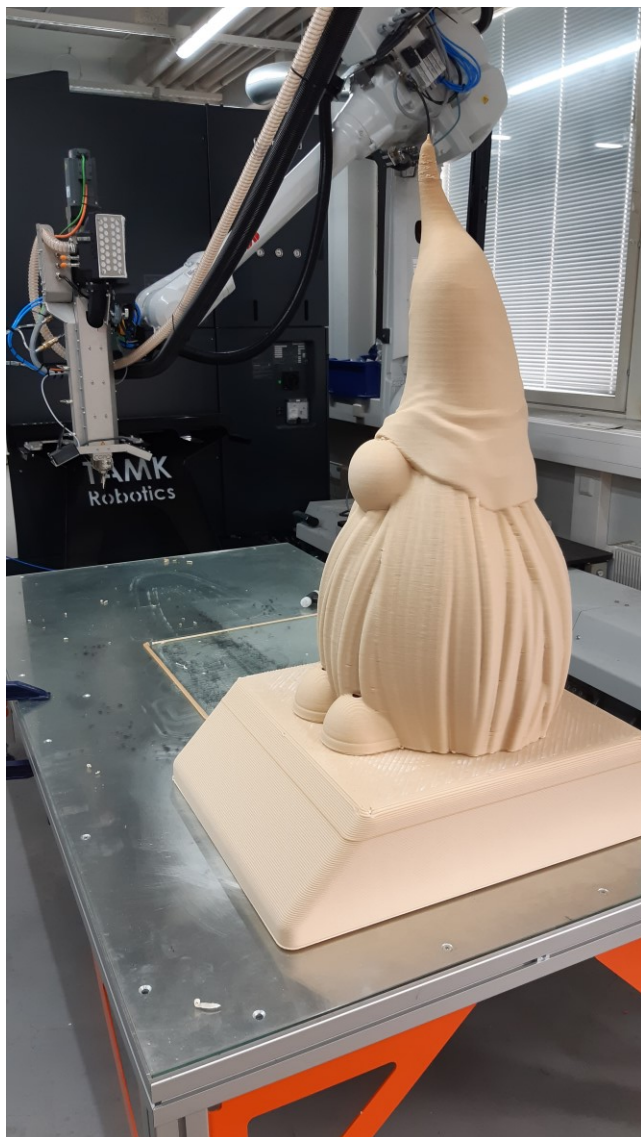


KUVA 8. WA-DED Suorakerrostus

3D-tulostus on teknologia, jonka avulla voidaan valmistaa fyysisiä kappaleita digitaalisesta mallista lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta. Tämä tekniikka on osoittautunut erittäin tehokkaaksi monilla teollisuuden aloilla, ja siitä on tullut yhä tärkeämpi osa koneenrakennusta ja prototyyppien valmistamista. Isoimmat tulokset ovat veneitä ja kokonaisia taloja tai talomodulleita. 3D-tulostus on erityisen hyödyllinen, kun tarvitaan monimutkaisia osia, joita ei voi valmistaa perinteisillä



menetelmillä. Kuvassa 9 on esitetty isokokoinen tuloste, joka on valmistettu ABB robotilla ja CEAD Ekstruderilla. Materiaali on UPM Formi, biokomposiitti.



KUVA 9. Suuren mittaluokan biokomposiittituloste

### 3.1 Slicer -ohjelmistot

Kun käytetään moderneja ohjelmistoja, robotilla tehty 3D-tulostus lähtee samasta lähtökohdasta kuin muukin 3D-tulostus: tarvitaan digitaalinen malli tulosteesta. Malli käsitellään viipalointiohjelmassa eli Slicerissa. Ohjelmia on ominaisuuksiltaan erilaisia ja yksinkertaisimmat ovat ilmaisia ja samoja työkaluja, joita voidaan käyttää pienempien pöytämallisten 3D-tulostimien kanssa. Robottikäyttöön suunnitelluissa ohjelmistoissa saadaan hyödynnettyä paremmin robotin tuoma liikkeen vapaus, jolloin tulostustyökalun kulmaa voidaan muuttaa tulostuksen aikana

ja tulostuksen suunta ei tarvitse olla samansuuntainen tulostusalustan kanssa. Ohjelmassa määritellään tulostustyökalun parametrit, kuten suuttimen koko ja materiaalin virtaus, kerrospaksuus ja tulostettavan kerroksen leveys, nopeudet ja aloituskohtien paikka sekä mahdolliset osan ulkoiset ja sisäiset tukirakenteet.

Suorakerrostuksessa käytetään hitsauspoltinta työkaluna ja käytännössä pitää ajaa koeajoja ja tutkia, millaista palkoa levyn päälle hitsaus tuottaa. Palkoja hitataan päällekkäin ja mitataan, miten testiosa lähtee kasvamaan. Nämä tiedot viedään sitten Slicer-ohjelmaan, jotta saadaan viipalointiparametrit oikein. Viipaloinnin onnistumista voi seurata tulostuksen aikana hitsausparametreista. Osassa ohjelmissa on myös ulkoisten lämpötilojen ohjausmahdollisuus, mutta riippuu täysin käytettävästä laitteistosta, tulostusprosessista ja tulostettavasta materiaalista, hyödynnetäänkö niitä tämän kautta vai ohjataan niitä erikseen suoraan robotin ohjauksesta. Viipalointiohjelmisto tuottaa G-kooditiedoston tai muuten yhteensopivan tiedoston, jossa on tulostusparametrit, liikkeiden koordinaatit ja asento sekä tulostettavan materiaalin määrä suhteessa liikkeeseen.

Tampereen Ammattikorkeakoululla on käytössä useita viipalointiin käytettäviä ohjelmia ja robottien kanssa aloitettiin Simplify-3D ja Cura ohjelmilla. Kyseiset ohjelmat viipaloivat mallit Ainostaan Z-tason suhteen ja niitä ei ole varsinaisesti suunniteltu isoihin kappaleisiin tai erikoisiin prosesseihin vaan niiden kohdekooneet ovat pienet pöytätulostimet. Myöhemmin tutustuimme robottikäyttöön suunniteltuihin ohjelmiin, kuten AIBuild ja Adaxis. Kehittyneet ohjelmat ottavat huomioon robottien tuoman mahdollisuuden ja mahdollistavat monimutkaisemmat työkaluradat. Suurena erona näissä ohjelmissa verrattuna pöytätulostimille tarkoitettuihin ohjelmistoihin on, että nämä ottaa huomioon robotin kinematiikan jo ohjelmassa ja sen pohjalta näkee, että akselien kiertymät on oikein ja pystyy arvioimaan tulostuksen onnistumista. On mahdollista ohjelmoida robottia myös käyttäen robotin hitsausratojen ohjelmointiin tarkoitettua ohjelmistoa ja ohjelmoida tulostusradat käsityönä yksitellen. (Teollisuuden robotiikka-kirja)

### 3.2 WA-DED Menetelmä

Wire Arc Directed Energy Deposition (WA-DED), joka tunnetaan myös nimellä Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), on metallia lisäävän valmistuksen prosessi. Se tarjoaa perinteisiin takomis- ja valumenetelmiin verrattuna kilpailuetua. Wire Arc Directed Energy Deposition (WA-DED) on yksi suorakerrostusmenetelmä, jossa kohdistettua lämpöenergiaa käytetään materiaalien yhdistämiseen. Metallilankaa sulatetaan kaarihitsauksella ja muodostetaan haluttu kappale digitaalisesta 3D-mallista kerros kerrokselta. Tämä menetelmä mahdollistaa suurten ja monimutkaisten metallikappaleiden valmistamisen nopeasti ja kustannustehokkaasti. WA-DED-tulostuksella on useita etuja verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin, kuten:

- Vähemmän materiaalihukkaa, koska vain tarvittava määrä metallia sulatetaan ja lisätään kappaleeseen.
- Parempi mekaaninen lujuus ja väsymiskestävyys, koska kappaleen rakenne on yhtenäinen ja ei sisällä liitoksia tai saumoja.
- Suurempi geometrinen vapaus, koska kappaleen muotoa voidaan muokata lennossa ja luoda monimutkaisia rakenteita, kuten onteloita tai reikiä.
- Ympäristöystävällisempi, koska vähemmän energiaa ja raaka-aineita tarvitaan valmistukseen ja kuljetukseen.

WA-DED 3D-tulostus on vielä kehittyvä teknologia, jolla on myös joitakin haasteita ja rajoituksia, kuten:

- Korkea lämpötila ja lämpötilavaihtelut, jotka voivat aiheuttaa jännityksiä ja muodonmuutoksia kappaleessa.
- Kaarihitsauksen aiheuttama melu, valo ja savu, jotka voivat olla haitallisia työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle.
- Tarve tarkalle prosessin ohjaukselle ja seurannalle, jotta voidaan varmistaa kappaleen laatu ja mittatarkkuus.
- Rajoitettu materiaalivalikoima, koska kaikki metallit eivät sovellu kaarihitsaukseen tai 3D-tulostukseen.

Nämä haasteet ja rajoitukset ovat tutkimuksen kohteena eri puolilla maailmaa, ja WA-DED 3D-tulostus on saanut paljon huomiota teollisuudelta ja akateemiselta yhteisöltä. (3D-tulostuksen tietopankki)

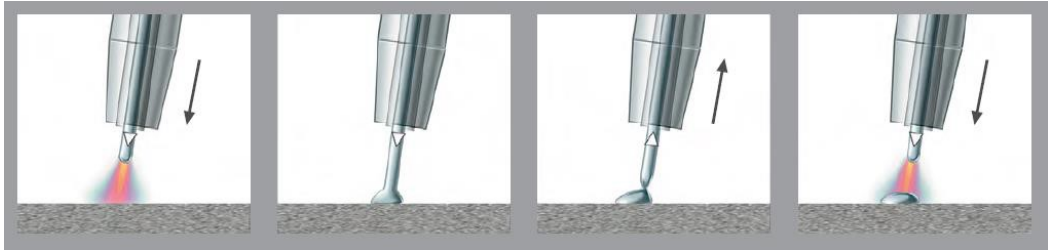
### **3.3 Hitsauslaitteisto Fronius**

Fronius GmbH on itävaltalainen perheyriutus, jonka tuoteportfolio jakautuu kolmeen kategoriaan: aurinkopaneeliratkaisut, latausjärjestelmät ja hitsaustekniikka. Kaikkia yhdistää teema yhteinen teema: muuntajat. Froniuksen hitsauskoneiden historia alkaa noin 1950-luvulta. Perustaja Günter Fronius huomasi, että hitsausmuuntajat eivät tuolloin käyttäneet energiaa tehokkaasti, joten hän kehitti säädettävän hitsausmuuntajan. Tästä eteenpäin yritys on kasvanut ja siitä on kehittynyt iso tekijä hitsauskoneiden valmistajana, jota monet tutkivat ja kopioivat. Heillä on kattava oma laboratorio ja hitsauskoneita löytyy nykyään kannettavista akullisista puikkokoneista laserhybridijärjestelmiin ja kaikkea siitä väliltä. (Fronius International)

#### **3.3.1 CMT-teknologia**

CMT teknologia on Mig/Mag-hitsauksen yksi alaprosessi. MAG-hitsaus tulee lyhenteestä Metal-arc activ gas welding (Kyröläinen ja Lukkari 1999, 282) tai Metal Activ Gas welding (Kuusisto 2014, 4). Se tarkoittaa metallikaasukaarihitsausta aktiivisella suojakaasulla. Aktiivisia suojakaasuja ovat happi, hiilidioksidi ja näiden argonseokset. MIG-hitsaus tulee lyhenteestä Metal-arc inert gas welding (Kyröläinen ja Lukkari 1999, 282) tai Metal Inert Gas Welding (Kuusisto 2014, 4)

CMT-hitsaus on MAG-hitsauksen kaltainen hitsausprosessi, jossa langansyöttö perustuu edestakaiseen liikkeeseen, joka vaihtuu jopa 140 kertaa sekunnissa. CMT:llä hitsattaessa prosessi vaihtelee kylmän ja kuumen kaaren alueella. CMT-prosessi saa vakaan valokaaren digitaalisesta virtalähteestä, joka tunnistaa ja mittaa valokaaren pituutta ja säätää tämän mekaanisesti. CMT-prosessi saa sulapisaran siirtymään liki nollavirralla. Sulapisaran irtoamista avustaa langan veto taaksepäin. Kuvassa 10 on esitetty langan takaisin veto (Fronius Oy 2024.)

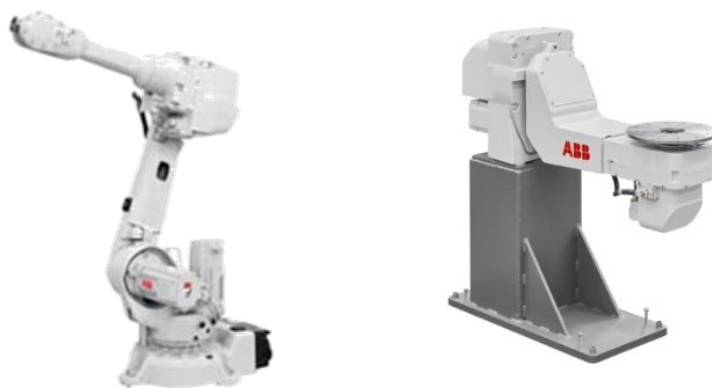


KUVA 10. Sulapيسان irtoaminen takaisinvedossa

### 3.4 ABB-Robotti ja käsittelylaite

Tampereen Ammattikorkeakoulun pienemmässä robottisolussa on robottikäsi-  
varsi ABB IRB 2600-12/1,85. Sana IRB tulee sanoista Industrial Robot Body.  
Luku 2600 kuvaa tuoteperhettä, luku 12 käsittelykykyä kiloina ja luku 1,85 mak-  
simi ulottuvuutta robotin laippaan metreinä. Robotista sanotaan ABB:n verkkosi-  
vuilla, että se on luokkansa tarkin, kompakti ja hyvin suojattu (IP67). Sen pää-  
käyttöalueet ovat kaarihitsaus, kokoonpano, materiaalinkäsittely, konepalvelu, hi-  
onta ja kiillotus, pakkaus, Liimaus ja 3D-tulostus. (2600 tuoteperhe).

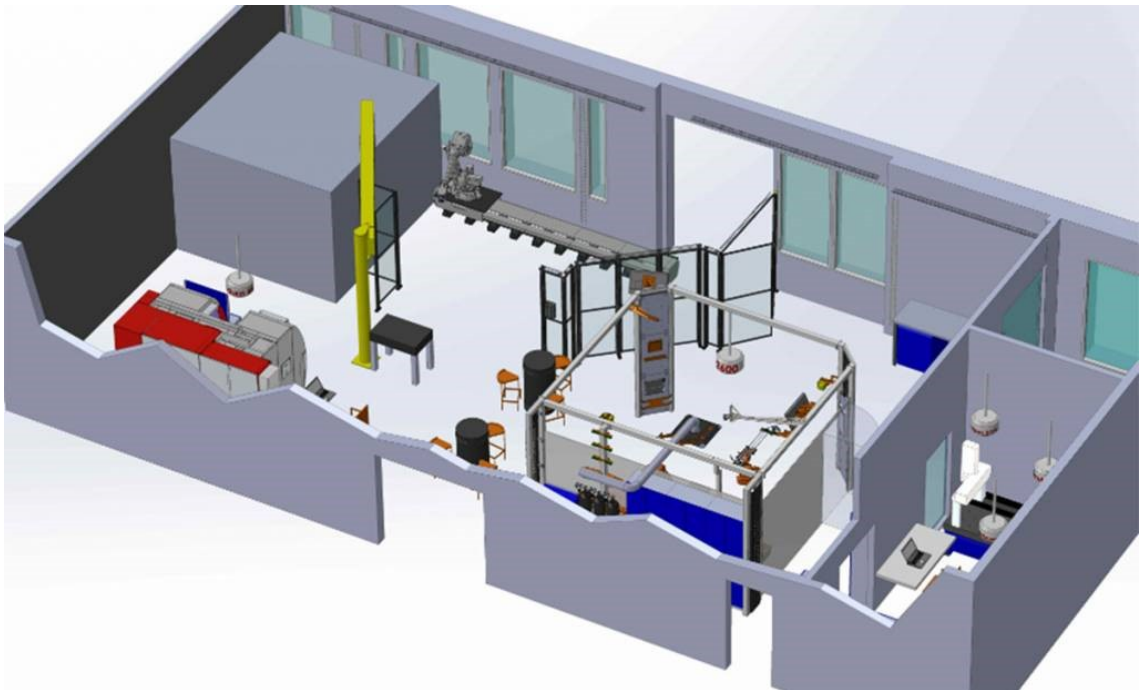
Robotin edessä on tyypillinen hitsauksessa käytetty kaksi akselinen käsittelylaite  
tyypiltään IRBP-250A. Käsittelylaite näkyy robotin ohjauksessa robotin lisäakse-  
leina ja jokaiseen opetettuun sijaintaa voidaan antaa kulma-arvo pöydän akse-  
leille. Tulostusta varten robotti on varustettu lisäohjelmistolla, joka mahdollistaa  
pöytälevyn pyörittämisen loputtomasti. Kuvassa 11 on esitetty robotti IRB2600 ja  
Käsittelylaite IRBP-250. (ABB IRBP tuoteperhe)



KUVA 12. Robotti ja käsittelylaite (ABB)

## 4 HITS AUSROBOTIN PÄIVITYS

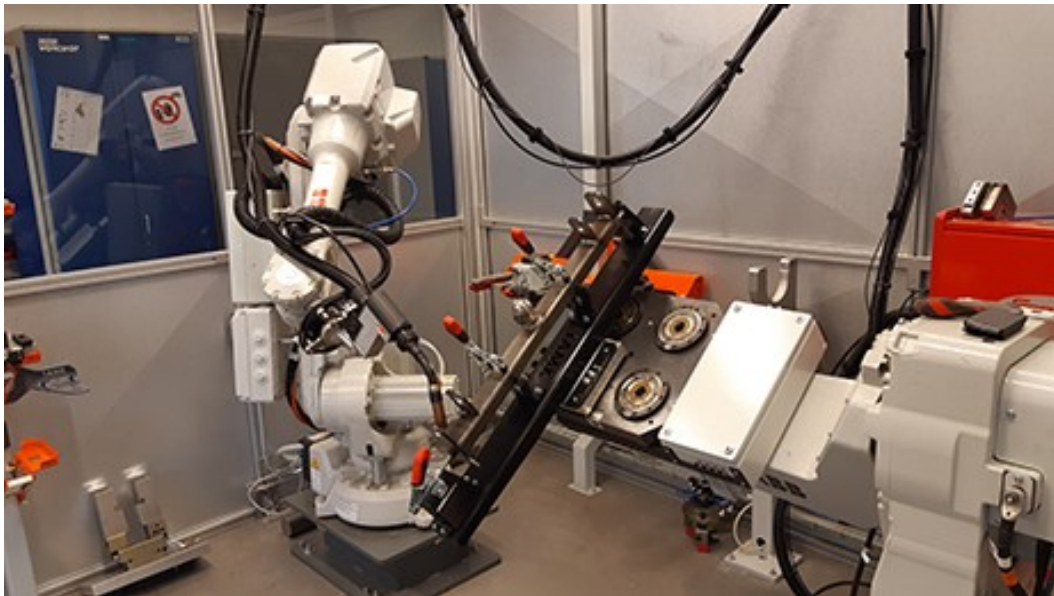
Tamk FieldLab on Tampereen ammattikorkeakoulun ylläpitämä kokeilu- ja kehitysympäristö, joka mahdollistaa industry 4.0 tyyppiset kokeilut ja tarjoaa monipuolisia mahdollisuuksia opiskelijoille, tutkijoille ja yrityksille. FieldLab sijaitsee Kaupin kampuksella, ja se koostuu erilaisista laboratorioista, työpajoista ja testi-alueista. Laitteistot koostuvat työstökoneista, roboteista, yhteistyöroboteista, mobiiliroboteista, Yksityisestä 5G verkosta sekä erilaisista datarajapinnoista ja pilvipalveluista. FieldLabin tavoitteena on edistää innovaatioita, yhteistyötä ja oppimista eri alojen välillä. FieldLabissa voi esimerkiksi kehittää uusia tuotteita tai palveluita, testata niiden toimivuutta ja käyttäjäkokemusta, osallistua erilaisiin projekteihin tai tapahtumiin tai hankkia uutta osaamista ja verkostoja. FieldLabissa järjestetään myös paljon hanketapahtumia. (Tamk FieldLAB). Kuvassa 12 on esitetty FieldLAB 3D mallina.



KUVA 12. FieldLAB 3D-malli

#### 4.1 Nykytilakartoitus hitsausrobotista

ABB IRB 2600-robottia on käytetty robotiikan perusopetuksessa ja erilaisissa hankkeissa monipuolisesti erilaisten varustusten kanssa. Robotin normaalivarustukseen kuuluu hitsausvarustus, polttimen huoltoasema, jossa on myös työkalupisteen tarkistusasema Bullseye sekä työkalunvaihtoasema kappaleenkäsittelytyökaluineen. Robotissa on myös ABB-integroitu konenäkö, joka mahdollistaa yhteistyön mm. Omron LD-90-mobiilirobottien ja erilaisten palettien kanssa. Kameran avustuksella robotti pystyy poimimaan haluttuja kappaleita tarkasti. Robotisolussa on myös palettitorni FMU, jossa on viisi pientä palettia, jotka voidaan varustaa erilaisilla päällysrakenteilla ja yksi käyttökohde on erilaiset hitsauskiinnittimet. Yksi robotin poimintatyökaluista on palettityökalu, jolla voidaan näitä edellä mainittuja paletteja siirtää hyllystä robotin pöydälle tai mobiilirobotin päälle kuljetettavaksi seuraaviin työvaiheisiin. Kuvassa 13 on esitetty IRB2600-robotti hitsausvarustuksessa ja hitsaamassa kappaletta kiinnittimessä, joka on asennettu yhteen tornin kiinnittimistä.



KUVA 13. Hitsausrobotti ja hitsauskiinnitin

Robotteja on käytetty monissa rata-ajoprosesseissa, kuten hitsaus, leikkaus ja liimaus, joten se soveltuu hyvin myös suorakerrostukseen. Poikkeuksena edellisiin on, että robotin ohjelmista tulee erittäin pitkiä, koska tulostettava kappale muodostetaan liikuttelemalla käytettävää työkalua kerros kerrallaan. Robotti saattaa liikkua maltillisella nopeudella tunneista päiviin, riippuen kappaleen koosta. Robottien ohjauksessa käytettävän työmuistin kapasiteetti on rajallinen,

joten tarvitaan tekniikoita tai lisäohjelmistoja, joiden avulla ohjelmia voidaan ladata käyttömuistiin pieninä osuuksina ilman, että se vaikuttaa liikkeiden laatuun.

Nykytilakartoituksessa selvitetään, mitä optioita robotissa on valmiina. Robottia voi tässä kohtaa verrata vaikka uuden auton ostoon. Autoon voi valita listalta eri ominaisuuksia ja lisävarusteita. Roboteissa listalla on erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, hitsauksen käyttöliittymiä, tuotannonohjausohjelmistoa ja edistykseellisiä lisätoimintoja, kuten parannettu tarkkuus, ohjelmoinnin lisätyökalut ja kommunikointi ulkoisen tietokoneen tai OPC-UA ympäristön kanssa.

Mainittava on myös, että osa optioista vaikuttaa robottiin fyysisesti ja niitä ei välttämättä voi päivittää jälkikäteen. Toiset päivitykset ovat ohjelmistopäivityksiä ja ne asennetaan robottiin, kuten appi matkapuhelimeen. Robotin lisävarusteita ja ohjelmistoja on paljon, koska samanlaista robottia voidaan käyttää niin monessa erilaisessa sovelluksessa. Myös eri kokoisten yrityksen tarpeet ovat erilaiset, kuten datan keräyksen ja käytön suhteen. Seuraavaan taulukkoon on kerätty Tampereen Ammattikorkeakoulun ABB IRB2600-robotin alkuperäiset optiot.

TAULUKKO 1. Robotin optiot (taulukko jatkuu seuraavalla sivulla)

| Koodi         | optio                           |
|---------------|---------------------------------|
| 611-1         | Path Recovery                   |
| 613-1         | Collision Detection             |
| 616-1         | PC Interface                    |
| 688-1         | RobotStudio App Connect         |
| 617-1         | FlexPendant Interface           |
| 623-1         | Multitasking                    |
| 624-1         | Continuous Application Platform |
| 1341-1/1520-1 | Integrated Vision Interface     |
| 652-1         | BullsEye                        |
| 653-3         | ABB TSC 2013                    |
| 812-1         | Production Manager              |
| 637-1         | Production Screen               |
| 709-1         | DeviceNet Master/Slave          |



|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 841-1 | EtherNet/IP Scanner/Adapter |
| 988-1 | RW Add-In Prepared          |
| 608-1 | World Zones                 |
| 653-x | Torch Service               |
| 633-4 | Arc                         |
| N/A   | Fronius TPS                 |

Taulukosta käy hyvin ilmi, että robotti on varustettu monella optiolla jo valmiiksi. Oppilaitoksen robotiksi siitä löytyy hyvät dataominaisuudet ja omien käyttöliittymien tekoon ja testaukseen liittyviä optioita. Väylätekniikoita on DeviceNET ja Ethernet/ IP. Kaikki hitsauksessa tarvittavat optiot ovat myös läsnä, kuten polttimen huolto ja työkalupisteen tarkistus. Myös törmäystunnistus -optio on tärkeä, koska robotissa ei ole ulkoista törmäyskytkintä ollenkaan. Optiolistan ulkopuolelta voidaan todeta, että asema on varustettu ABB:n SafeMove-toiminnallisuudella, joka mahdollistaa ohjelmistopohjaisen turvallisuuden.

#### 4.2 Suorakerrostuksen laite ja ohjelmistovaatimukset

Tässä opinnäytetyössä kehitettävässä robottihitsausasemassa ovat perusasiat kunnossa, ja tästä on helppoa lähteä tarkastelemaan vaatimuksia suorakerrosta varten. Robottihitsauksessa hitsien koko ja pituus vaikuttavat siihen, paljonko lämpöä ja hitsauksessa syntyviä käryjä syntyy ympäristöön per työkierto. Kaarihitsauspohjaisessa suorakerrostuksessa ajallisesti kappaleen valmistusaika on moninkertainen perinteisiin hitsausohjelmiin verrattuna. Suorakerrostuksessa voi olla tarpeen pitää myös taukoja, että edellinen kerros ehtii jäähtyä riittävästi, että se kantaa sen päälle hitsattavan kerroksen.

Muutama vuosi sitten tehdyt hitsauskokeet aiheuttivat kampuksella palohälytyksen ja koko kiinteistö oli tyhjennettävä. Tähän osoittautui syyksi, että robottiaseman yläpuolella on palotunnistin, jonka tunnistuslämpötila oli 50–60°C. Tässä yhteydessä anturi vaihdettiin kestävämmän 120°C ja siitä ei pitäisi aiheutua ongelmia suorakerrostuskokeiluissa ja tuotantoajoissa. Toinen ympäristöön tehtävä tarkistus oli kärynpoiston tarkistus. Järjestelmä on kytketty kiinteistön poistojärjestel-

mään ja iso puhallin on talon kolmannen kerroksen katolla. Mittauksien perusteella kärynpoisto osoittautui aika vaatimattomaksi. Kiinteistöpuolen tarkemmista tutkimuksista selvisi, että sulkulevyjen automatiikassa oli rikkoutunut toimilaite ja se ei saanut imuputkea kokonaan aukeamaan.

Ohjelmistopuolen vaatimuksia on helpoin lähestyä RobotStudio lisäosan ABB 3DPrint Power Packin kautta ja tutustua sen vaatimuksiin eri prosesseille. Aloitamme tarkastelun tutustumalla tietokoneen järjestelmävaatimuksiin. Seuraavissa luvuissa esitellään Laitteisto- ja ohjelmistovaatimukset.

#### 4.2.1 Laitteistovaatimukset

Taulukkoon 2 on kerätty laitteistovaatimukset. Tarvitaan tehokas pöytätietokone tai kannettava työasema seuraavilla vaatimuksilla:

TAULUKKO 2. Tietokoneen vaatimukset

| Komponentti               | Vaatimukset   |
|---------------------------|---|
| Suoritin                  | 2.0GHz tai nopeampi prosessori, useita ytimiä suositellaan.   |
| Muisti                    | 8 GB minimi.<br><br>16 GB tai enemmän, jos työskentelet raskaiden CAD-mallien kanssa.   |
| Tallennustila             | 10+ GB free space, solid state drive (SSD) recommended.   |
| Näytönohjain              | Suorituskykyinen, DirectX 11 -yhteensopiva pelinäytönohjain kaikilta johtavilta toimittajilta. Advanced lightning mode edellyttää Direct3D-ominaisuustasoa 10_1 tai uudempaa. |
| Näytön asetukset          | Suositus on vähintään 1920 x 1080 pikseliä.   |
| Osoitinlaite              | Kolmen painikkeen hiiri.  |
| 3D-hiiri<br>[valinnainen] | Mikä tahansa 3D-hiiri 3DConnexionilta.<br>katso <a href="http://www.3dconnexion.com">http://www.3dconnexion.com</a> .   |

#### 4.2.2 Ohjelmistovaatimukset

Seuraavat ohjelmistot ja käyttöjärjestelmät tukevat 3D-tulostusta.

- RobotStudio voimassa olevalla Premium-lisenssillä
- RobotWare 6.07 ja uudemmat (IRC5)
- RobotWare 7.3.x ja uudemmat (Omnicores)
- 3D Printing PowerPac Lisäosa
- 3D Printing RobotWare Add-In (robottiin)

3D-tulostus RobotWare Add-In asennetaan yhdessä 3DP Printing PowerPacin kanssa. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä yksityiskohtaisesti varsinaisten ohjelmien asennusta. Asennukseen löytyy selkeät ohjeet ABB-dokumentaatiosta.

Seuraavaan taulukkoon 3 on kerätty eri prosessit, mitä RobotStudio lisäosa tukee ja mitä optioita täytyy robotin ohjauksesta löytyä, että ohjelmien asennus on mahdollista.

TAULUKKO 3. ABB 3D tulostusprosessit

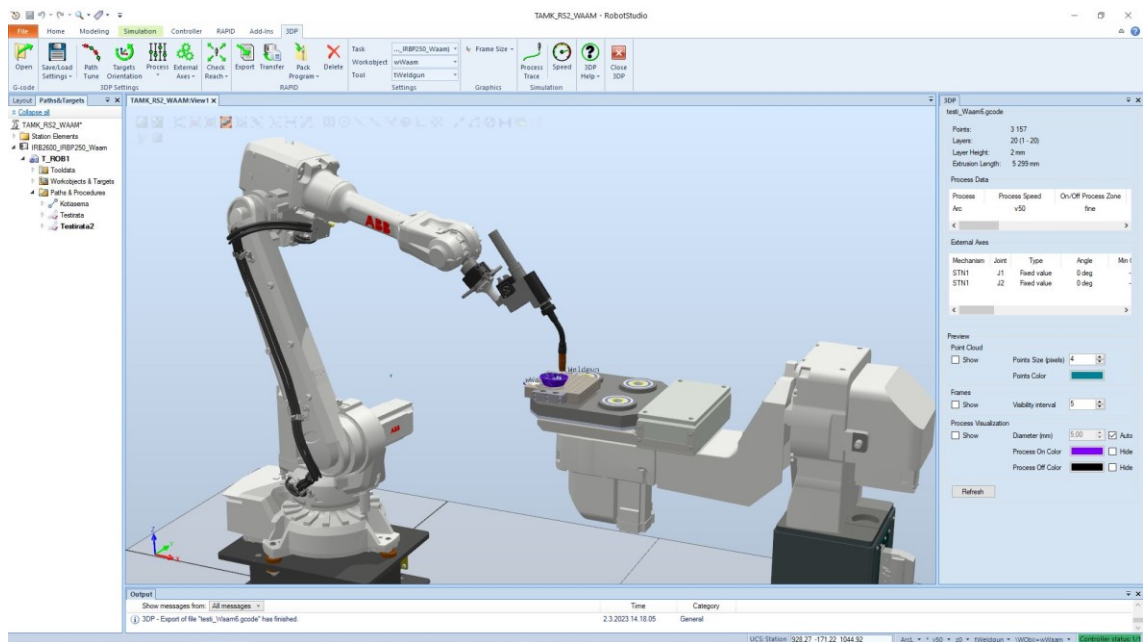
| Tulostusprosessi  | RobotWare optiot   |
|---|--|
| 3D printing Arc<br><i>Kaarihitsaus</i>                      | 623-1 Multitasking<br>633-4 Arc or 633-4 Arc with MultiProcess<br>687-1 Advanced Robot Motion                                      |
| 3D printing Dispense<br><i>Pursotus</i>                     | 623-1 Multitasking<br>637-1 Production Screen<br>641-1 Dispense or 641-1 Dispense with MultiProcess<br>687-1 Advanced Robot Motion |
| 3D printing Dispense lean<br><i>Yksinkertainen pursotus</i> | 623-1 Multitasking<br>637-1 Production Screen<br>687-1 Advanced Robot Motion   |
| 3D printing Integrated<br>Extruder                          | 610-1 Independent Axis<br>623-1 Multitasking<br>637-1 Production Screen<br>687-1 Advanced Robot Motion                             |

Kaikkia yhdistävät tekijät ovat Multitasking ja Advanced robot motion -toiminnallisuudet. Näillä saadaan robotin tarvitsema pitkien ohjelmien hallinta hoidettua.

Tässä opinnäytetyössä valitaan prosessiksi 3D Printing Arc, eli 3D-tulostusta käyttäen kaarihitsauskäskyjä. Verrattaessa tätä listaa huomaa, että Tampereen Ammattikorkeakoulun robotista puuttuu optio *687-1 Advanced Robot Motion*. Sen lisäksi, että ajatus on hyödyntää tulostuksissa robotin ulkoisia akseleita, on syytä varustaa robotti lisäosalla, joka mahdollistaa pöydän lautasen pyöryksen ja nollauksen. Robotin asetuksista on mahdollista siirtää akselin rajat hyvin pitkälle, mutta tulostuksen jälkeen se pitäisi ajaa ohjelmallisesti takaisin nolnaan. ABB:llä on olemassa tähän optio, joka tekee nollauksen ohjelmallisesti. Optio on nimeltään 610-1 Independent Axis.

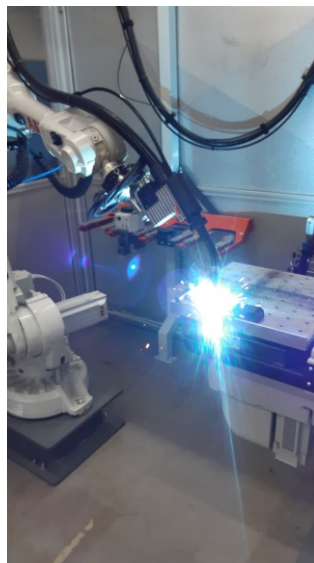
## 5 TESTAUS

Robotin käyttöjärjestelmän päivityksen ja RobotStudio 3D Printing PowerPac -lisäosan käyttöönoton jälkeen tehtiin uusi RobotStudio-malli solusta, joka oli mahdollisimman pelkistetty. Solu sisälsi robotin mallin, jalustan, käsittelypöydän ja pöydän päällä olevat kiinnittimet. Malliin tehtiin yksinkertaisia ohjelmaratoja ja niitä ladattiin oikealle robotille ja testattiin tarkkuutta. Mallissa oli käytännössä samat asema-arvot, kuin robotti käyttää itse omassa järjestelmässään. Tämä kertoo siitä, että robotti on pöytään nähden hyvin asennettu ja kalibroitu.



KUVA 14. RobotStudio-malli robottiasemasta

Liiketestauksien jälkeen oli tarkoitus tehdä ensimmäiset tulosradat. Kappaleeksi valikoitui suora seinämä ja tässä kohtaa säädettiin hitsauskonetta manuaalisesti, että kunhan se nyt hit-saa. Tulostusradat suunniteltiin SolidWorks ohjelmassa ja viipalointi suoritettiin Simplify3D ohjelmassa.



KUVAT 15 ja 16. Robotin koehitsaukset

Muutamien seinämättestien jälkeen testattiin ensimmäistä muotoa. Muodoksi valikoitu kappale, joka lähtee ympyrästä ja muuttuu matkalla jouheasti ovaaliksi. Tästä tulostettiin useampi versio siten, että prosessi ei sammu kerroksien välillä, vaan valokaari palaa alusta loppuun. Ensimmäiset versiot epäonnistuivat ja kerrosten välinen lämpötila kasvoi niin paljon, että jossain kohtaa seinämä romahti. Tässä kuva onnistuneesta testistä. Kappaleesta irtoaa hilsettä jonkin verran, mutta poltin pysyy yllättävän puhtaana pitkistä ajoajoista huolimatta.



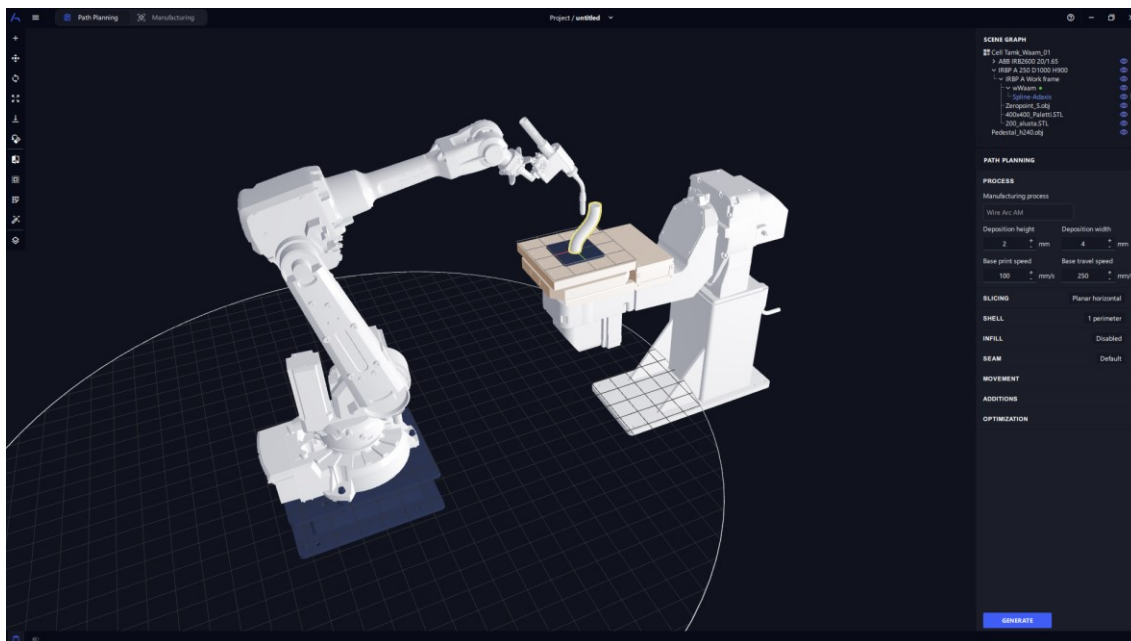
KUVA 15. Ympyrästä ovaaliksi, korkeus 40 mm

Testissä käytetyt parametrit ovat

- Langansyöttönopeus 4 m/min
- Hitsausvirta 98 – 102A
- Robotin kuljetusnopeus 8 mm/s

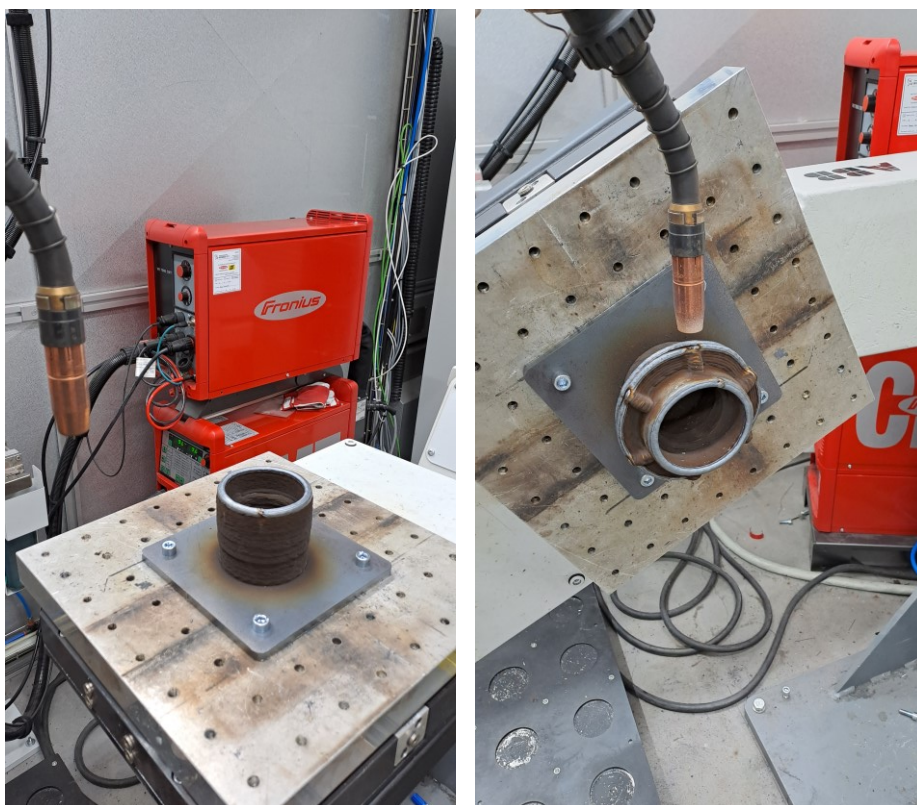
Tampereen Ammattikorkeakoululle on hankittuna viipalointiohjelma nimeltä Adaxis AdaOne. AdaOne tukee monia eri lisäävän valmistuksen prosesseja sekä robottimerkkejä ja tämän työn puitteissa määrittelimme sinne samat lähtötiedot, kuin RobotStudiosin lisäohjelmaan. Tämä viipalointiohjelma eroaa monesta siinä,

että siinä on läsnä mallit robotista, lisäakseleista ja työkalusta. Tällöin voidaan simulaatiossa havaita törmäykset ja mahdolliset robotin hankalat asennot ym.



KUVA 16. Adaxis ADA One ympäristö

Kuvassa 17 ja 18 on esitetty koekappale, jossa käytettiin sekventiaalista ohjelmointia ja tulostusradat ohjelmoitiin kahdessa vaiheessa. Ensin on tulostettu akseli ja tämän jälkeen laippa eri asennossa.



KUVA 17 ja 18. Akseli ja laippa koetulosteet

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lankapohjaiseen suorakerrostuksen teknologiaan ja sen käyttöönottoa Tampereen Ammattikorkeakoulun ABB- hitsausrobotissa. Robotista kartoitettiin nykytila ja lisättiin tarvittavat optiot suorakerrostusta varten. Lisäksi otettiin käyttöön Adaxis AdaOne ohjelmisto robotin ratojen luontiin. Käytännön koeajojen jälkeen on todettava, että käyttöönotto oli onnistunut. ABB:n 3D Printing Powerpack -ohjelmistolla varustettua robottiasemaa on helppo käyttää ja sitä tullaan hyödyntämään myös robotiikan koulutuksessa ja erilaisissa täydennyskoulutuksissa.

Seuraavassa vaiheessa robottiasemaan kannattaa lisätä tulostusprosessin valvontaan antureita ja kehittää järjestelmä, jossa voidaan kerätä dataa tulostustahtumasta. Myös välikerroslämpötilan seuranta kannattaa laittaa antureita. Välttää kappaleen lämpötilan liialliselta nousulta ja muodonmuutoksilta.

Suomalaisia konepajoja ajatellen WA-DED tulostusta voisi hyödyntää esimerkiksi varaosien valmistuksessa, prototyyppien ja pienien sarjojen valmistuksessa. Valmistuksessa olisi myös mielenkiintoista yhdistää perinteiset valmistusmenetelmät ja liittää komponentteja, jotka on valmistettu WA-DED prosessilla.

## LÄHTEET

Tamk FieldLAB. Verkkosivu. Viitattu 16.3.2024. <https://sites.tuni.fi/fieldlab/>

Teollisuuden robotiikka-kirja, 288 s, ISBN 978-951-97329-6-1. Viitattu 14.3.2024

ABB History. Success story, looking back at ABB's contribution to industrial robots. David Marshall, Christina Bredin. PDF. Perpetual Pioneering.

ABB Omnicore Press Release. PDF. Munich, Germany June 19.2018. Viitattu 14.3.2024

Robots Done Right 2024. ABB Robot Controllers. Verkkosivu. Viitattu 12.2.2024. <https://robotsdoneright.com/Articles/abb-robot-controllers.html>

3D-tulostuksen tietopankki. Suorakerrostusmenetelmä. Verkkosivu. Viitattu 16.3.2024. <https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki/menetelmat/suorakerrostusmenetelma>

ABB 2600 tuoteperhe. IRB 2600. Verkkosivu. Viitattu 16.3.2024. <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb2600.html>

ABB IRBP tuoteperhe. IRBP250. Verkkosivu. Viitattu 16.3.2024 <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-a>

PRONIUS Oy 2024. Cold Metal Transfer / Teknologia.





