

DigiValmistus-hankkeen tulostussolun käyt- töönotto

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikka

2020

Pave Jeskanen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Jeskanen, Pave	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2020
	Sivumäärä 29	
Työn nimi DigiValmistus-hankkeen tulostussolun käyttöönotto		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Timo Lahtinen, lehtori, LAB-ammattikorkeakoulu		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio LAB-ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa LAB-ammattikorkeakoulun DigiValmistus-hankkeeseen kuuluvan tulostussolun toteuttaminen loppuun sekä suorittaa sille käyttöönotto. Hankkeen tavoitteena on kehittää uusia 3D-tulostusteknologioita, joissa hyödynnettäisiin kierrätysmateriaaleja.</p> <p>Opinnäytetyö sisälsi perehtymisen missä vaiheessa hanke on, useamman sähkökaapin kytkennät, toimilaitteiden sekä niihin liittyvien anturien testaukset, käytettyjen ohjelmien muokkaukset sekä koeajot eri materiaaleilla.</p> <p>Lopputulosten perusteella voitiin todeta, että hanke täytti sille annetut tavoitteet, eli tuloksena on toimiva automatisoitu kokonaisuus. Opinnäytetyön tuloksena tuotetut ohjelmat sekä dokumentit toimivat jatkokehityksen pohjana.</p>		
Asiasanat 3D-tulostus, logiikka, automaatio, robotiikka, lisäävä valmistus, DigiValmistus		

Abstract

Author(s) Jeskanen, Pave	Type of Publication Bachelor's thesis, UAS	Published 2020
	Number of Pages 29	
Title of Publication Commissioning of a printing cell for DigiValmistus-project		
Name of Degree Bachelor of Engineering (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Timo Lahtinen, Lecturer, Mechanical Engineering		
Name, title and organization of the client LAB University of Applied Sciences		
Abstract <p>The goal of this thesis was to construct and commission a printing cell for DigiValmistus-project. The goal of the project is to create new 3D-printing technologies which could use recycled materials.</p> <p>The work in this thesis included getting to know that in which state the project is and what has to be done, building multiple electrical enclosures, test actuators and their sensors, editing used programs and test runs on different materials.</p> <p>The result of this thesis is an automated 3D-printing system so the results state that the project met its goals. All the documents and programs of this thesis creates a base for future development of this project.</p>		
Keywords 3D-printing, PLC, automation, robotics, additive manufacturing, DigiValmistus		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	DigiValmistus-hanke	2
3	Robottiohjattava 3D-tulostin.....	3
3.1	3D-tulostaminen	3
3.1.1	FDM (Fused deposition modeling)	3
3.1.2	SLA (Stereolithography)	4
3.1.3	SLS (Selective laser sintering).....	5
3.2	Ekstruuderit	6
3.2.1	Pursottimet	7
3.2.2	Lämmönsäätöyksikkö	7
3.3	Taajuusmuuttaja	7
3.4	Hydrauliikka	8
3.5	Pneumatiikka.....	9
3.6	Robottiikka.....	10
3.6.1	Suorakulmaiset robotit.....	10
3.6.2	Kiertyväniveliset robotit.....	10
3.7	Automaatio	12
3.7.1	PLC (Programmable logic controller)	12
3.7.2	Anturit ja laitteiden ohjaus.....	13
4	Robottisolun käyttöönotto	14
4.1	Tilanteen selvitys	14
4.2	Kaapelointi, johdotus sekä letkut.....	14
4.2.1	Ekstruuderin sähkökaappi.....	14
4.2.2	Hydrauliikan sähkökaappi.....	15
4.2.3	Pääsähkökaappi.....	16
4.3	Parametrointi	17
4.3.1	Robotti.....	17
4.3.2	Taajuusmuuttajat	18
4.3.3	Lineaarianturi.....	20
4.4	I/O-testaus.....	21
4.5	Ohjelmat	22
4.5.1	Logiikkaohjelma.....	22
4.5.2	Robotin ohjelma.....	22
4.5.3	Käyttöliittymä	22

4.6	Laitteiston testaus.....	23
4.6.1	Lämmönsäätöyksikön testaus.....	24
4.6.2	Ekstruuderin testaus.....	24
4.7	Kokonaisuuden koeajot	25
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on LAB-ammattikorkeakoulun DigiValmistus-hanketta varten tuotettavan robottisolun lopullinen rakentaminen sekä käyttöönotto. Hankkeeseen on jo aiemmin tehty yksi opinnäytetyö, eli tarvittavat laitteet on jo valittu ja mekaniikkaa on mietitty valmiiksi. Lisäksi suurin osa ohjelmistoista on jo alustavasti luotu, mutta lopullinen toteutus puuttuu.

Työ pitää sisällään perehtymisen hankkeen toteuttamista varten tarvittaviin aihealueisiin teorian pohjalta ja käydä läpi käytettyä laitteistoa. Käytännön osuuden tarkoituksena on testata vaihe vaiheelta opinnäytetyöhön liittyvät laitteistot sekä ohjelmistot ja tehdä niihin tarvittavia muutoksia. Tämän jälkeen siirrytään testaamaan robottisolua kokonaisuutena.

2 DigiValmistus-hanke

Hankkeen tarkoituksena on kehittää uusia 3D-tulostusteknologioita, joissa hyödynnetään kierrätysmateriaaleja. Samalla on tarkoituksena parantaa lisäävän valmistuksen osaamista, 3D-tulostusmahdollisuuksia sekä niihin liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia Päijät-Hämeessä. Suurin haaste projektissa on luoda robottiohjattava 3D-tulostin, jolla voidaan tulostaa kierrätettyjä materiaaleja. (LAB-ammattikorkeakoulu.)

Hankkeeseen on jo aikaisemmin tehty toisen opiskelijan toimesta opinnäytetyö, joka liittyi enemmän automaatisuunnitteluun sekä tarvittavien ohjelmien luomiseen niin robotille, logiikalle sekä käyttöliittymän suunnittelu tietokoneelle. Tarkoituksena oli jatkaa tästä tilanteesta ja viedä projekti loppuun sekä suorittaa laitteelle käyttöönotto.

3 Robottiohjattava 3D-tulostin

3.1 3D-tulostaminen

3D-tulostamisella tarkoitetaan kappaleen luomista lisäävillä menetelmillä erilaisista materiaaleista, kuten muovilangasta tai pulverista. 3D-tulostin saa kappaleen ajoradat tietokoneella tehdystä CAD-mallista, jonka slicer-ohjelmisto sitten pilkkoo kerroksiksi ja jotka sitten tulostetaan yksitellen tulostusalueelle. Yleisimpiä 3D-tulostus teknologioita ovat FDM, SLA sekä SLS.

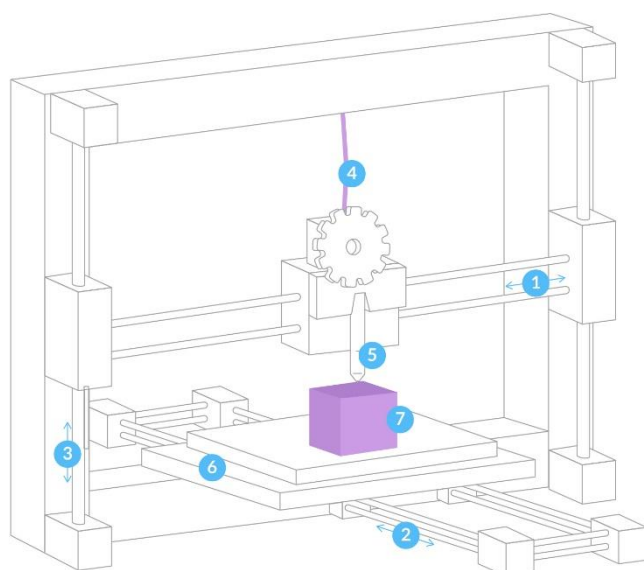
Etenkin tuotteiden suunnittelun aikana tulostamalla tuotetut prototyypit auttavat hahmottamaan mahdollisia ongelmia tuotteen kasausvaiheessa tai sen massatuotannossa. Pieni rahallinen panostus tulostettuun kappaleeseen voi auttaa tuotekehitystä huomattavasti ja tällöin voidaan saada suurta säästöä hankintakustannuksissa, koska ei tarvita uusia kalliita muotteja tai muita tarvikkeita ongelmien löydyttyä vasta testisarjan tuottamisen yhteydessä.

3.1.1 FDM (Fused deposition modeling)

FDM-tulostimet käyttävät tulostukseen muovilankaa, eli filamenttia, joka ajetaan kuuman suuttimen läpi. Suutin sulattaa muovin kerros kerrokselta, minkä jälkeen se kovettuu tulostusalueelle. Tämän tyyppiset tulostimet ovat tällä hetkellä yleisimpiä niiden helppokäyttöisyyden sekä helpon sijoittelun vuoksi. Tällainen laite voi hyvin olla esimerkiksi toimiston pöydällä, sillä se ei tarvitse toimiakseen, kuin itse laitteen ja filamentin. (Pinshape 2016.)

Haittapuolena tässä tekniikassa on se, että kerrokset erottuvat selkeästi tulostetussa kappaleessa ellei sitä erikseen jälkikäsitellä. Tukirankojen tulostaminen on myös joissain tilanteissa järkevää. (Pinshape 2016.) FDM-tulostin on esitetty kuvassa 1.

Fused Deposition Modeling



FDM Printer

- 1 X Direction Motor
- 2 Y Direction Motor
- 3 Z Direction Motor
- 4 Filament
- 5 Extrusion Nozzle
- 6 Build Platform
- 7 Printed Part



KUVA 1. FDM-tulostin (Pinshape 2016)

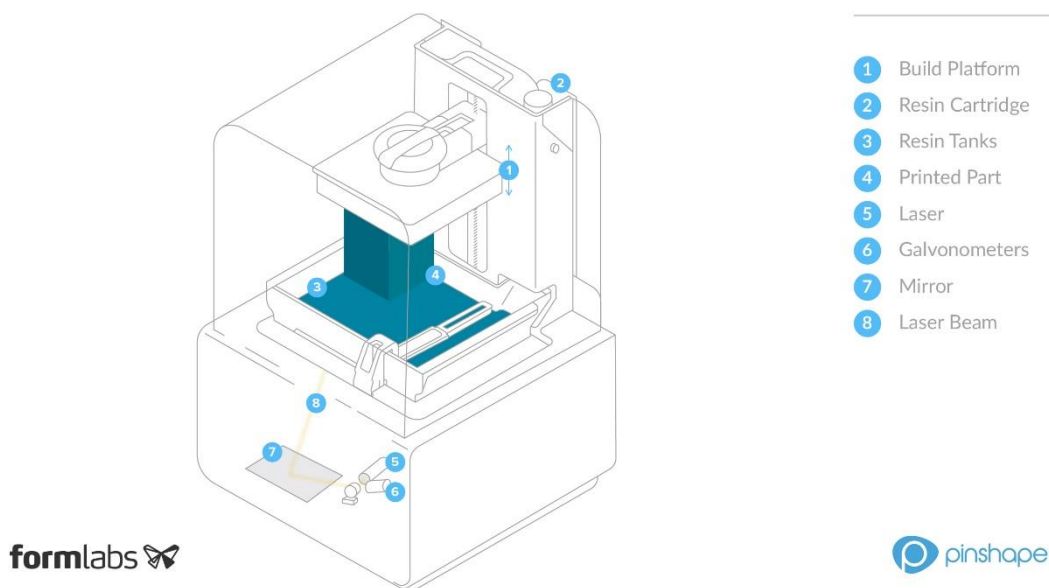
3.1.2 SLA (Stereolithography)

SLA, eli stereolitografia, on tulostustekniikka, jossa tulostettava kappale muodostetaan nestemäisestä, photopolymeeri nimisestä, resiinistä. Tulostusalusta laskeutuu astiaan, jossa on läpinäkyvä pohja ja joka on täytetty resiinillä. Kyseisessä tulostustekniikassa tulostetaan kerros kerrokselta käyttäen kohdistettua UV-laseria, jonka avulla resiini kovettuu tulostusalustaan. Tukirankojen luominen on lähes aina tarpeellista ja onttojen kappaleiden tulostamisessa on otettava huomioon, että ylimääräinen resiini pääsee kappaleesta ulos. (Pinshape 2016.)

Hyötynä SLA-tulostustekniikassa on erittäin hyvä pinnanlaatu sekä yksityiskohdat. Kappaleet kuitenkin täytyy vielä tulostuksen jälkeen huuhdella isopropanolilla sekä kovettaa UV-kammiossa. Resiini on myös tulenarkaa, haisee voimakkaasti sekä se on kalliimpaa, kuin FDM-tulostimien filamentti. (Pinshape 2016.) SLA-tulostin on esitetty kuvassa 2.

Stereolithography

SLA Printer



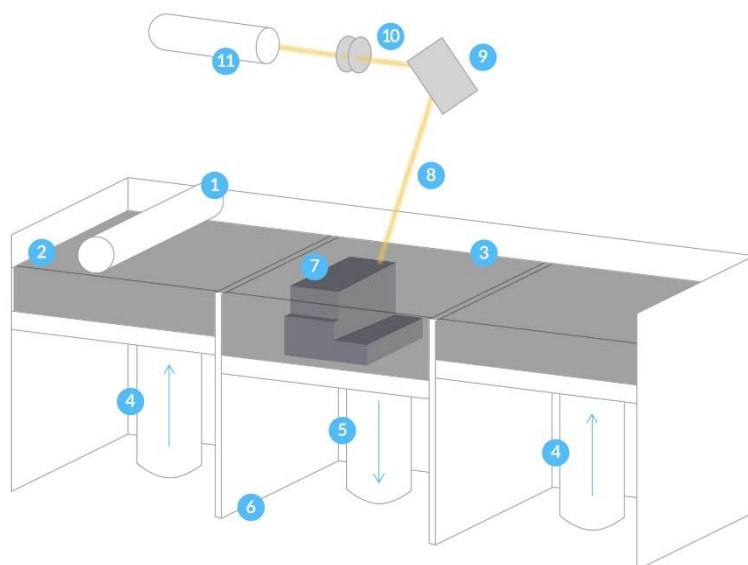
KUVA 2. SLA-tulostin (Pinshape 2016)

3.1.3 SLS (Selective laser sintering)

SLS, eli selektiivinen lasersintraus, luo tulostettavan kappaleen pulveriin. Tulostin levittää kerros kerrokselta pulveria tulostusalustalle ja jokaisen kerroksen lisäämisen jälkeen suurteholaser sulattaa tarvittavat partikkelit paikalleen. Pulveri toimii tässä itse itsensä tukimateriaalina, joten erillisten tukirakenteiden luominen on tarpeetonta. Luotavilla kappaleilla ei käytännössä ole muotorajoitteita. Onttoja kappaleita tulostaessa täytyy ottaa huomioon, että ylimääräinen pulveri pääsee kappaleen sisältä pois. Tulostetut kappaleet ovat pinnanlaadultaan huokoisia, mutta tarkkoja. (Pinshape 2016.) SLS-tulostin on esitetty kuvassa 3.

Vastaavanlaisella tekniikalla voidaan myös tulostaa metallikappaleita tietyistä pulvereista. Näistä kolmesta tekniikasta lähimpänä tämän projektin tulostustekniikkaa on FDM-tulostaminen, mutta kovan muovifilamentin sijaan pursotetaan sulaa muovimateriaalia.

Selective Laser Sintering



SLS Printer

- 1 Leveling Roller
- 2 Powder Feed Supply
- 3 Powder Bed
- 4 Powder Feed Piston
- 5 Build Piston
- 6 Build Chamber
- 7 Sintered Part
- 8 Laser Beam
- 9 X-Y Scanning Mirror
- 10 Lenses
- 11 Laser

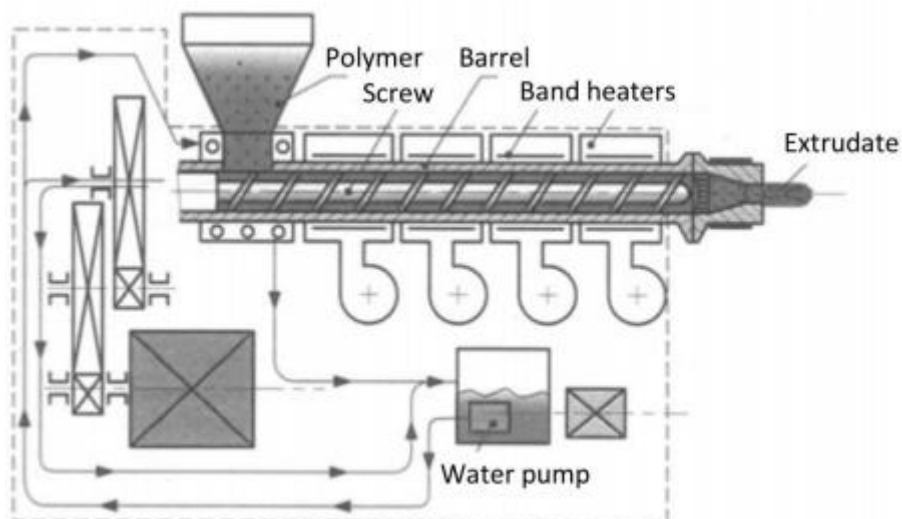


KUVA 3. SLS-tulostin (Pinshape 2016)

3.2 Ekstruuderit

Ekstruuderit on teollisuudessa käytettävä laite, jolla saadaan pursotettua sulaa muovimateriaalia erilaisiin käyttötarkoituksiin, esimerkiksi kalvon, putken tai profiilin valmistukseen. Toiminta perustuu siihen, että ontton putken sisällä pyörivä ruuvi työntää muovimateriaalia, esimerkiksi muovirakeita, eteenpäin sulattaen niitä muovin leikkautumisesta aiheutuvan sisäisen kitkan sekä ulkoisten lämmitysvastusten avulla. Massan työntyessä ruuvien avulla eteenpäin, saadaan putken etupäähän luotua paine ja täten voidaan pursottaa tiivistä muovimateriaalia.

Massan laatuun vaikuttaa hyvin suuresti kosteus, sillä jos sulatettavassa materiaalissa on kosteutta, näkyy tämä heti kuplina tuotetussa massassa heikentäen aikaansaadun tuotteen kestävyyttä sekä pinnanlaatua. Materiaalin kuivattaminen on erityisen tärkeää ennen sen lisäämistä ekstruuderiin. Putken alkupäähän tarvitaan yleensä vedellä jäähdytettävä jäähdytysblokki, jottei lämpö johdu ruuvien kautta sulamatonta muovimateriaalia sisältävään suppiloon tai moottorille vahingoittaen ja vähentäen sen käyttöikää. Ekstruuderit on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Yksiruuviekstruuderin (Lafleur & Vergnes 2014, 37)

Hanketta varten rakennettiin tätä käyttötarkoitusta varten oma ekstruuderinsa ja näin saatiin toteutettua juuri tähän hankkeeseen sopiva laite. Laitteen tarkoituksena on täyttää kaksi erillistä pursotinta, jotka voidaan sitten tyhjentää hydraulikkasyylinterillä tulostustilanteessa.

3.2.1 Pursottimet

Ekstruuderilta tuleva massa ohjataan jakotukin kautta ekstruuderin päässä oleville pursottimille, jotka robotti käy vuorotellen tyhjentämässä tulostusalueelle. Pursottimia on kaksi, jotta saataisiin jatkuva tulostaminen toimimaan.

Toinen pursotin siis täyttyy sillä aikaa, kun toista tyhjenetään. Nämä pursottimet on suunniteltu ja luotu tähän hankkeeseen ja pelkästään tätä käyttötarkoitusta varten.

3.2.2 Lämmönsäätöyksikkö

Lämmönsäätöyksikkö on tärkeä laite, jonka tarkoituksena on sulattaa ja pitää sulana työstettävää materiaalia ekstruuderin sisällä sekä pursottimissa. Se hoitaa ekstruuderin putken, ekstruuderin päässä olevan jakotukin sekä pursottimien lämmitykset.

Laite ohjaa lämpövastuksia releiden avulla ja saa lämpöanturilta paluutietona sen hetkisen lämpötilan. Tällöin voidaan ylläpitää kullekin materiaalille sopivaa lämpötilaa.

3.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on moottoriohjain, joka kykenee muuttamaan tehonsyötön taajuutta ja jännitettä. Tämän seurauksena voidaan säätää moottorin pyörimisnopeutta sekä kyetään toteuttamaan hallitut ja tasaiset käynnistykset sekä sammutukset. Tällä tarkoitetaan siis sitä,

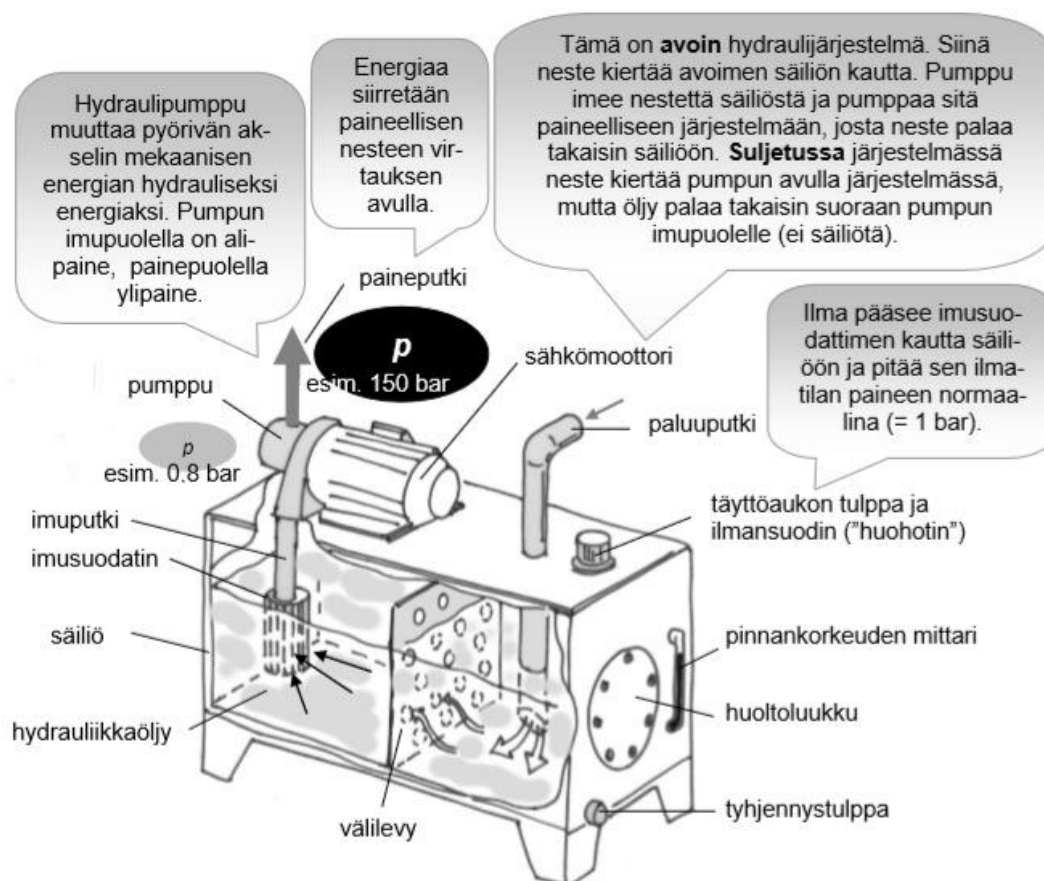
että moottorin nopeutta nostetaan tasaisesti käynnistäessä ja hidastetaan tasaisesti sammuttaessa. Nopeuden säädöllä voidaan säästää energiaa, parantaa järjestelmien tehokkuutta sekä saada vähennettyä koneiden mekaanista rasitusta, jolloin niiden käyttöikä pitenee. Monia taajuusmuuttajia voidaan nykyään ohjata logiikalla ja niistä saadaan ulos diagnostiikkadataa, jota voidaan käyttää hyödyksi tuottavuuden parantamisessa sekä suorituskyvyn parantamisessa. (Danfoss.)

Tässä hankkeessa taajuusmuuttajia käytetään hydraulikkakoneikon pumpun sekä ekstruderin ruuvia pyörittävän moottorin ohjaukseen. Molemmissa tilanteissa moottorin pyörimisnopeuden säätäminen on tärkeää, sillä se vaikuttaa suoraan hydraulikkasynterin liikenopeuteen sekä muovimassan virtausnopeuteen.

3.4 Hydrauliikka

Hydrauliikassa käytettävä neste, yleensä öljy, paineistetaan pumpulla ja syntynyt paine siirretään toimilaitteelle letkuilla tai putkilla. Hydrauliikka on käytännössä tehonsiirtoa nesteen välityksellä. Esimerkiksi auton nostamiseen käytettävässä käsitunkissa paine ja virtaus luodaan käsin, mutta teollisuudessa ja erilaisissa työkoneissa nämä luodaan sähkö- tai dieselmoottorilla, joka pyörittää hydraulikkapumppua. Yleisimmin hydraulikkaa käytetään erilaisten sylinterien liikuttamiseen. Virtauksen suuntaan voidaan vaikuttaa erilaisilla hydraulikkaventtiileillä, joita voidaan ohjata logiikalla.

Tässä hankkeessa hydraulikkaa käytettiin pursottimien tyhjentämiseen, eli hydraulisynteri työntää muovimassan ulos pursottimesta. Hydrauliikalla saadaan aikaiseksi paljon tasaisempi liikenopeus sylinterille, joten se toimi tässä tilanteessa paremmin, kuin esimerkiksi pneumatiikka. Jotta tämä oli mahdollista, tilattiin hankkeeseen oma koneikko, joka muodostui hydraulioöljylle tarkoitettuun säiliöön, pumpusta, pumppua pyörittävästä moottorista sekä tarvittavista venttiileistä. Esimerkki koneikosta on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Koneikko ja sen toiminta (Jyväskylän koulutuskuntayhtymä)

3.5 Pneumatiikka

Pneumatiikassa ilma paineistetaan kompressorin avulla, jota yleensä pyörittää joko polttotai sähkömoottori. Paineistettu ilma siirretään toimilaitteelle, kuten esimerkiksi sylinterille, putkien tai letkujen avulla ja sen virtaussuuntaa voidaan vaikuttaa erilaisilla venttiileillä.

Tässä hankkeessa pneumatiikkaa käytettiin pursottimien lukitukseen tarkoitettujen sylinterien sekä massan virtauksen ohjaamiseen tarkoitettujen sylinterien käyttöön. Pneumatiikalla saadaan aikaiseksi paljon nopeampia liikkeitä, kuin esimerkiksi hydraulikalla, joten se kävi hyvin tähän käyttötarkoitukseen. Tätä varten ei tarvinnut ottaa käyttöön omaa laitetta, kun hankkeen käytössä olevissa tiloissa oli jo pneumatiikkaliitännät saatavilla.

3.6 Robotiikka

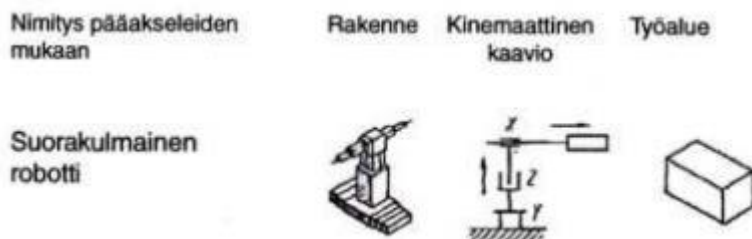
Kansainvälinen robottiyhdistys määrittelee robotin mekaaniseksi laitteeksi, joka on uudelleen ohjelmoitava ja siinä on oltava vähintään kolme niveltä. Lisäksi sen on kyettävä liikuttelemaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoiduilla liikkeillä ja näillä liikkeillä on suoritettava monenlaisia erilaisia tehtäviä teollisuudessa. Robotti voidaan joko ohjelmoida suorittamaan tietyt ennaltamääritellyt liikeradat tai se voi muodostaa nämä radat tai muokata niitä erinäisten antureiden avulla. Robotin varsia liikutellaan servotoimilaitteilla ja nämä varret voivat kyetä joko lineaariseen liikkeeseen tai pyötimään oman akselinsa ympäri kiertyvien akselien ansiosta. (Robotiikka 2008, 2–5.)

Suurin osa roboteista on teollisuuden käyttötärpeisiin luotuja ja niillä on suuri osa yritysten kilpailukyvyyn ylläpidossa. Robottien käyttämisen tärkein osa on kuitenkin ihminen, sillä ilman toimivaa ohjelmaa sekä huoltoja ne eivät kykenisi toimimaan.

3.6.1 Suorakulmaiset robotit

Suorakulmaisessa robotissa on kolme vapausastetta ja ne ovat lineaarisia. Yleisimmin tällaisia robotteja käytetään logistiikassa ja erilaisissa varastosovelluksissa.

Suurin osa 3D-tulostimista toimii tällä periaatteella. Suorakulmainen robotti on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Suorakulmainen robotti sekä sen työalue (Robotiikka 2008, 10)

3.6.2 Kiertyväniveliset robotit

Kiertyvänivelisen robotin kaikki vapausasteet ovat kiertyviä ja niitä käytetään tavallisimmin teollisuudessa. Yleensä näitä vapausasteita on kuusi tai neljä, mutta joissakin malleissa niitä voi olla jopa seitsemän. Tämän tyyppiset robotit kykenevät erittäin monipuolisiin tehtäviin niiden vapausasteiden määrän sekä ulottuvuuden ansiosta. Toisaalta tämän takia joudutaan hieman tinkimään kuormankantokyvystä. (Robotiikka 2008, 11–12.)

Tässä hankkeessa ei kuitenkaan tarvitse siirtää suuria massoja, mutta työskentelyalueen täytyi olla mahdollisimman iso ja sen piti pystyä tarttumaan kätevästi ekstruuderin lähelle sijoitettuihin pursottimiin, joten kiertyvänivelinen robotti oli hankkeeseen sopiva. Lisäksi kyseisen tyylinen robotti, ABB:n IRB 6620, löytyi jo käytössä olevasta tilasta, joten sitä oli helppo käyttää mukana hankkeessa. Kiertyvänivelinen robotti on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Kiertyvänivelinen robotti sekä sen työalue (Robotiikka 2008, 10)

IRB 6620-robotti on ABB:n valmistama ja siinä on kuusi vapausastetta. Kantokyvyltään robotti pystyy, valmistajan mukaan, nostamaan maksimissaan 150 kilogrammaa painavia esineitä, sekä sen suurin ulottuvuus on 2,2 metriä. Valmistaja lupaa myös paikoituksen tarkkuudeksi 0,5-0,95 millimetriä. (ABB 2019.) Kyseinen robotti on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. IRB 6620-robotti (RobotWorks)

Vaikka paikoitustarkkuus robotissa on hyvä, tarkoittaa se vain alkupisteen sekä loppupisteen tarkkuutta. Tulostaessa tarvitaan hyvää tarkkuutta myös näiden pisteiden välillä. Koeajoissa huomattiin selkeää nykimistä ajon aikana, joten tarkempaa tulostusta vaadittaessa täytyy robotin olla erilainen.

3.7 Automaatio

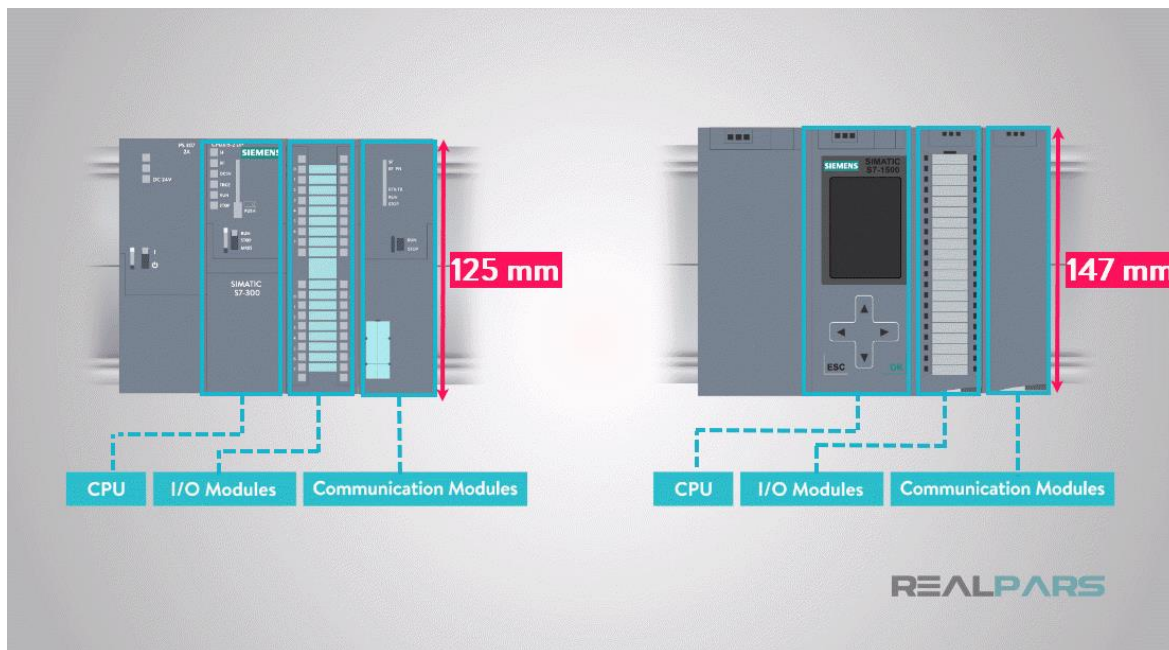
Automaatiolla tarkoitetaan prosessia, joka vaatii mahdollisimman vähän ihmisen vuorovai-
kutusta esimerkiksi robotteja ja ohjelmoitavia logiikoita hyväksi käyttäen. Automaatiolla voi-
daan parantaa huomattavasti tuotannon tehokkuutta ja luotettavuutta sekä karsia etenkin
paljon toistoa vaativat työtehtävät pois. Monet tuotanto- tai kokoonpanolinjat ovat näiden
syiden takia nykyään automatisoitu.

Tässä hankkeessa pyrittiin luomaan melkein täysin autonominen laitteisto, eli käyttäjän täy-
tyisi vain syöttää halutun tulostettavan kappaleen tiedot sisältävä tiedosto ohjelmistolle,
säättää lämmöt materiaalille sopiviksi ja käynnistää laite haluttujen lämpötilojen saavuttami-
sen jälkeen.

3.7.1 PLC (Programmable logic controller)

PLC (Programmable logic controller) eli ohjelmoitava logiikka on teollisuuden käyttöön rääh-
tälöity tietokone, jolla voidaan ohjata erinäisiä toimilaitteita, kuten taajuusmuuttajia tai säh-
köisesti ohjattavien venttiileiden avulla pneumatiikka- ja hydraulisyntereitä. Logiikka voi
myös lukea analogisia sekä digitaalisia signaaleja erilaisilta antureilta. Tällaisia ovat esi-
merkiksi lämpötila- ja paikoitusanturi. Yleensä logiikan rinnalle voidaan ottaa käyttöön eril-
linen virtalähde sekä erilaisia lisäkorteja, kuten I/O-moduuli ja kommunikaatiomoduuli. Esi-
merkki logiikasta ja siihen liitettävistä lisäkorteissa on esitetty kuvassa 9.

Ennen logiikoiden tuloa markkinoille käytettiin samaisessa ohjauksessa suurta määrää re-
leitä sekä ajastimia, jotka veivät reilusti enemmän tilaa ja olivat vaativampia ylläpitää sekä
kytkä. Logiikat mahdollistivat tilansäästön lisäksi myös reilusti monimutkaisempien pro-
sessien luomisen.



KUVA 9. Logiikka ja sen lisäkortit (RealPars)

Hankkeessa käytettiin Siemensin valmistamaa SIMATIC S7-1500-sarjan logiikkaa. Lisäksi laitteistoon oli lisätty virtalähde logiikalle, sekä pari I/O-moduulia anturien lukemista sekä ohjaussignaaleja varten. Kyseisen logiikan ohjelmoimiseen käytettiin Siemensin TIA Portal V14 -ohjelmistoa.

3.7.2 Anturit ja laitteiden ohjaus

Logiikalla luettavia antureita on monenlaisia. Tässä hankkeessa käytettiin sensoreita tulkitsemaan pneumatiikkasynterien paikoitusta, jolloin tiedettiin, missä asennossa sylinterit ja niihin liitetyt mekanismit olivat. Pursottimilla oli myös omat anturinsa tulkitsemaan, onko toinen pursottimista robotin kyydissä vai omalla paikallaan ekstruuderin päässä. Lisäksi saatiin tieto, oliko pursotin täynnä vai ei. Nämä anturit antoivat pääosin magneetilla, valolla tai kytkimellä toteutettuja ON-OFF-tietoja. Hydraulikkasynteristä saatiin tarkka paikkatieto lineaarianturilla, jota logiikka pystyi lukemaan suoraan.

Anturien antamien tietojen perusteella logiikka kykenee tarkkailemaan laitteiston tilaa ja pystyy täten liikkumaan ohjelmalohkosta toiseen tiettyjen kriteereiden täytyttyä sekä ohjaamaan laitteita, esimerkiksi sylintereitä sähköisesti ohjattavien suuntaventtiilien avulla. Ilman näitä anturien antamia tietoja, olisi automatisoinnin tekeminen ollut erittäin hankalaa.

4 Robottisolun käyttöönotto

4.1 Tilanteen selvitys

Tämän opinnäytetyön työstäminen käynnistyi selvitystyöllä, sillä hankkeeseen oli tehty aikaisemmin opinnäytetyö, joka liittyi ohjelmistojen luontiin niin robotille, logiikalle kuin tietokoneelle graafisen käyttöliittymän muodossa. Jotkin osa-alueet olivat jo valmiina, toiset keskenäisiä ja loput puuttuivat kokonaan, joten oli tärkeää saada ensin selville, miten laitteisto ja ohjelmat oli alkuperäisesti suunniteltu toimiviksi ja miten ne oli kytketty toisiinsa.

Helppoin tapa selvittää, mitä oli jo tehty, oli tutkia vanhaa koodia niin logiikan, robotin kuin käyttöliittymän osalta. Näistä sai suurimmaksi osaksi selvyuden, kuinka anturit sekä toimilaitteiden ohjaukset oli alustavasti suunniteltu kytkettäväksi. Sähkökuvat olivat hieman puutteelliset sekä virheelliset, joten näiden osalta täytyi soveltaa.

4.2 Kaapelointi, johdotus sekä letkut

Hankkeeseen rakennettiin kolme sähkökaappia: ekstruuderin sähkökaappi, hydraulikan sähkökaappi, joka oli koneikon yhteydessä sekä pääsähkökaappi. Työskentely lähti liikkeelle ekstruuderin sähkökaapista, sillä koneikko ei ollut vielä saatavilla ja kytkennät pääsähkökaapille oli järkevin tehdä viimeiseksi.

4.2.1 Ekstruuderin sähkökaappi

Ekstruuderin sähkökaappi rakennettiin ekstruuderin yhteyteen. Kaappi sisältää pneumatiikan ohjaukseen, sylinterien paikoitukseen, lämpövastuksiin sekä -antureihin liittyvät johdotukset. Lisäksi kaappiin on sijoitettu pneumatiikan suuntaventtiilit, joille on tuotu ilmaletku tiloissa löytyvästä pääventtiilistä ja joilta pneumatiikkaputket on vedetty sylintereille.

Käytännössä kaikki johdot on liitetty omille riviliittimilleen helppoa eteenpäin johdottamista varten. Ekstruuderin sähkökaappeineen on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Ekstruuderin kokonaisuutena

4.2.2 Hydraulikan sähkökaappi

Koneikko saapui valmiina kokonaisuutena. Siihen tarvitsi kytkeä letkut koneikon ja sylinterin välille, täyttää säiliö hydraulijäällä, ilmata letkut ja kytkeä suuntaventtiilien sekä moottorin johdot tämän yksikön sähkökaappiin riviliittimille.

Sähkökaappiin sijoitettiin myös tämän yksikön moottorin käyttämistä varten taajuusmuuttaja. Koneikko sekä sen sähkökaappi on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Hydraulikkayksikkö kokonaisuutena

4.2.3 Pääsähkökaappi

Kun muut yksiköt ja niiden sähkökaapit olivat valmiina, kytkettiin pääsähkökaapin sekä muiden sähkökaappien välille tarvittavat jännitesyötöt sekä signaalijohdot tietojen lukemista sekä toimilaitteiden ohjausta varten. Kaappiin sijoitettiin myös lämmönsäätöyksikkö, ekstruuderin taajuusmuuttaja, ohjauksissa tarvittavat releet, sekä suojareleet, jotka kytkevät taajuusmuuttajat jännitteettömiksi hätäseis-painiketta painettaessa.

Tähän kaappiin sijoitettiin myös logiikka sekä erillinen kytkin PROFINET-väylää varten, jonka kautta saadaan yhteys logiikkaan ja jonka kautta logiikka pystyy ohjaamaan taajuusmuuttajia sekä lukemaan hydraulisynterin lineaarianturia.

Kun kaikki kytkennät oli saatu valmiiksi, suoritettiin eristevälimitaukset, ettei sähkönjohtavuutta ollut väriin johdotusten ja signaalien välillä, esimerkiksi moottorien vaiheiden ja suojamaan välillä.

4.3 Parametointi

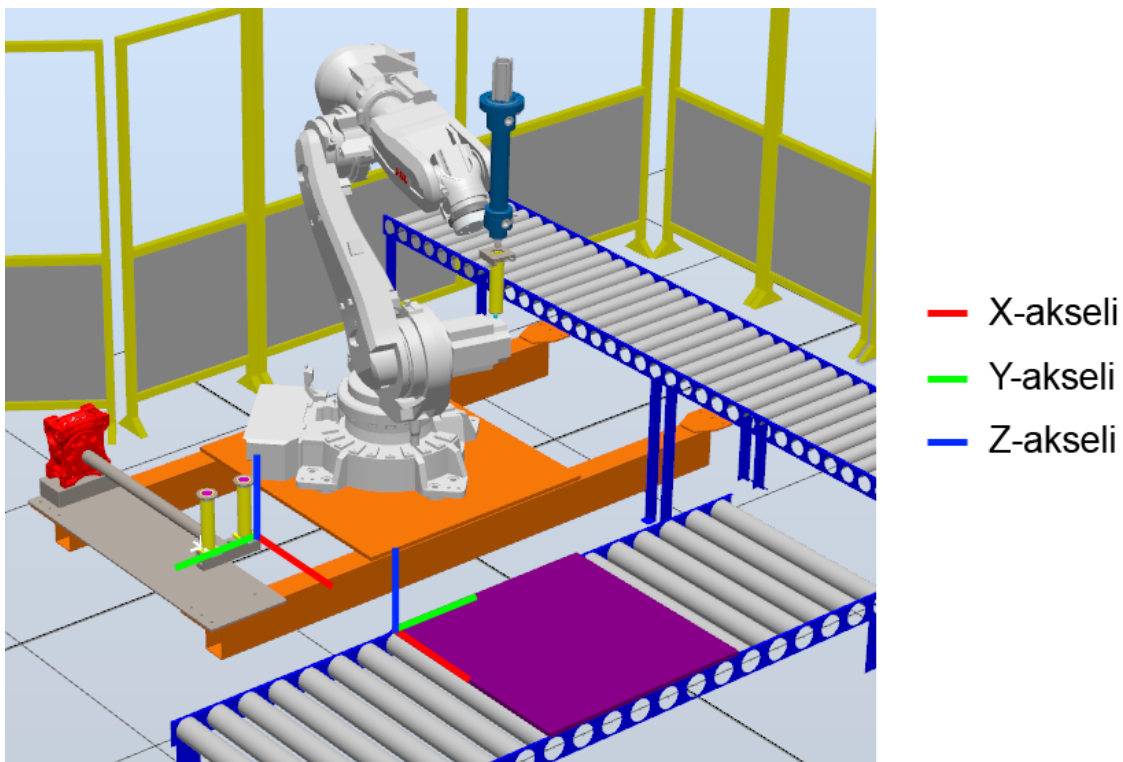
Usealle eri laitteelle täytyi ennen niiden käyttöä syöttää halutut asetukset ja parametrit. Tällä varmistuttiin, että laitteet toimivat juuri halutulla tavalla.

4.3.1 Robotti

Robotin ohjelman lisäksi on tärkeää, että robotin työkalu, sekä työalueet ovat parametroitu oikein. Työkalun ollessa kiinni robotin varressa, kiinnitettiin siihen toinen pursottimista, koska tämä tulee olemaan pääasiallinen käyttötapa. Tässä vaiheessa valittiin jokin kiinteä kiintopiste, johon työkalu pursottimiseen kohdistaan. Kohteeksi valittiin kierretanko, jonka toinen pää oli teroitettu ja joka saatiin kiinteästi ruuvattua kiinni tulostusalueen pöytään. Seuraavaksi pursottimen kärki ohjattiin robotilla mahdollisimman lähelle kierretangon terävää päätä. Sama toistettiin vielä kolme kertaa eri orientaatioissa. Ohjelmaan syötettiin työkalun tietoihin myös sille arvioitu massa.

Kun työkalu on määritetty onnistuneesti, voidaan sen jälkeen määrittellä erilliset työalueet. Työalueita luotiin yksi ekstruuderille sekä toinen tulostusalueelle. Työkalu siirrettiin ensimmäiseen pisteeseen, joka sijaitsee tulostusalueella olevan metallisen tulostusalustan nurkkassa, pursottimen suutin melkein kiinni tasossa. Korkeussuunta saatiin parhaiten määriteltä niin, että työkalua ajettiin robotilla hyvin hitaasti alaspäin, pursottimen ja tason välissä liikuteltiin A4-kokoista paperia ja kun paperi lakkasi liikkumasta, otettiin työkalua hieman ylöspäin niin, että paperi liikkui vielä kappaleiden välissä. Tästä työkalua siirrettiin tulostusalustan reunan suuntaisesti kauemmaksi robotista. Nämä kaksi ensimmäistä pistettä määrittelevät X-akselin suunnan. Kolmas piste määrittää alueelle Y-akselin suunnan, eli sen täytyy olla 90-asteen kulmassa aikaisemmin luotujen pisteiden muodostaman janan suhteen. Z-akselin suunta määriteltiin ylöspäin. Sama toistettiin myös ekstruuderin jakotukille. Nämä helpottavat kunkin alueen pisteiden määrittelyä ja toimimista kyseisillä alueilla, varsinkin kun robotti on asennettu 45-asteen kulmaan tulostusalustaan nähden. Yleiskuva tulostustilasta sekä luotujen alueiden origot orientaatioineen on esitetty kuvassa 12.

Määrittelyt tehtiin ABB:n FlexPendant-ohjauslaitteistolla. Laitteistossa on iso näyttö, nappeja sekä robotin liikkeitä ohjaava ohjainsauva. Työkalun sekä alueiden määrittelyn lisäksi laitteistolla pystyy myös tekemään robotille ohjelman tai muokkaamaan jo olemassa olevaa ohjelmaa.



KUVA 12. Robotti, ekstruuderit, tulostusalue sekä työalueet

4.3.2 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajien parametointi hoidettiin TIA-Portal -ohjelmistolla, jonka kirjastosta löytyi suoraan käytetyt kontrolleriyksiköt. Kontrolleriyksikön lisäämisen jälkeen täytyi määrittellä vielä käytössä oleva tehoyksikkö. Tämän lisäyksen jälkeen päästiin lisäämään käytetyn moottorin tiedot, jotka löytyvät helpoiten moottoriin kylkeen asennetusta arvokilvestä. Esimerkkinä kuvassa 13 on esitetty hydraulikkayksikön moottorin arvokilpi.

V		KW	Hz	A	rpm	COS ϕ
Δ 230		2.2	50	8.47	1440	0.77
Y 400		2.2	50	4.89	1440	0.77
Y 440-480		2.64	60	4.89	1730	0.77

50 Hz: IE2- 84.3(100%)- 84.4(75%)- 82.6(50%)

Standards IEC60034 | DE 6206 2RS C3 NDE 6206 2RS C3

KUVA 13. Hydraulikkayksikön moottorin arvokilpi

TIA Portal -ohjelmistossa on kätevä avustaja, jonka kautta voidaan syöttää tarkemmat tiedot moottorista ja millä tavalla taajuusmuuttajan halutaan moottoria ohjaavan. Arvokilven tietojen syöttäminen on esitetty kuvassa 14. Tiedot syötettiin molemmille taajuusmuuttajille, jonka jälkeen niiden käyttö voitiin optimoida sekä moottoreita pystyi ajamaan manuaalisesti testitarkoituksissa.

Commissioning Wizard

Motor
Specification of motor type and motor data.

Motor configuration
Enter motor data

Select motor type
[1] Induction motor

Select the connection type for your motor and 87 Hz operation:
Star Motor 87 Hz operation

Please enter the following motor data:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p305[0]	Rated motor current	4.89	Arms
p307[0]	Rated motor power	2.20	kW
p311[0]	Rated motor speed	1440.0	rpm

The following motor data is pre-assigned and can be changed if required:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p304[0]	Rated motor voltage	400	Vrms
p310[0]	Rated motor frequency	50.00	Hz
p335[0]	Motor cooling type	[0] Natural ve...	

Temperature sensor:
[0] No sensor

<< Back Next >> Finish Cancel

KUVA 14. Hydraulikkayksikön moottorin tietojen syöttäminen taajuusmuuttajalle

4.3.3 Lineaarianturi

Lineaarianturin parametointi aloitettiin lataamalla valmistajan sivuilta käytössä olevalle anturityypille tarkoitettu tiedostopaketti. Tämä asennettiin TIA Portal -ohjelmiston kautta, sillä sitä ei löytynyt alkuperäisestä kirjastosta. Tämän jälkeen anturille syötettiin tarvittavat parametrit, esimerkiksi millä tarkkuudella anturia luetaan.

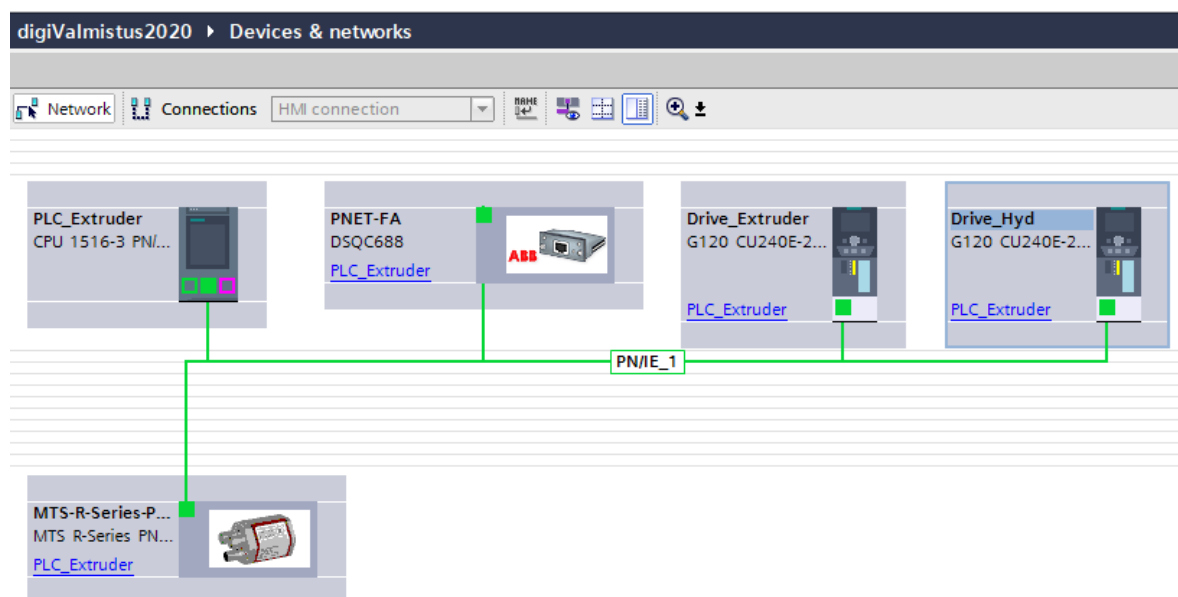
Käytännössä lineaarianturilla voitiin seurata hydraulisynterinin paikoitusta. Tämän avulla saatiin tieto, kuinka paljon massaa pursottimessa on vielä jäljellä ja massan loputtua pysytettiin pursotin viemään uudelleen täytettäväksi ja vaihtamaan tilalle täysi pursotin. Pursotimen vaihdon yhteydessä lineaarianturilla voitiin ajaa hydraulisynterini halutulle paikalle, jolloin tiedettiin, että pursottimeen ei jää ilmaa ja jolloin massa virtaa tasaisesti ulos heti tuloksen jatkuessa.

4.4 I/O-testaus

Kytcentöjen ja parametroinnin jälkeen laitteistolle suoritettiin I/O-testaus, jonka tarkoituksena oli testata jokainen logiikalle kytketty tulo- ja lähtösignaali. Tällä varmistetaan siitä, että jokainen signaali ohjaa oikeaa toimilaitetta ja saadaan paluutietona kyseessä olevan toimilaitteen anturien tiedot.

Helpoin tapa suorittaa tämä vaihe oli kytkeä logiikalta jokainen lähtösignaali yksitellen päälle ja tarkistaa fyysisesti laitteistolta, toteutuiko haluttu toiminto. Samalla pystyttiin varmistamaan että luettiin oikeaa anturia. Esimerkiksi sylinterin liikuttamisen jälkeen nähtiin logiikalta suoraan, muuttuiko kyseisen sylinterin paikoitusanturien tila. Jos tulos ei ollut se mitä haluttiin, vaihdettiin logiikalta tulojen ja lähtöjen paikkaa vastaamaan haluttua tulosta.

Tulo- ja lähtösignaalien testaus suoritettiin sylintereille, niiden antureille, muille paikoitusantureille, lämpövastuksille, lämpötila-antureille sekä taajuusmuuttajille. Samalla varmistettiin, että signaalit liikkuvat myös PROFINET-väylässä, jota käytettiin logiikan ja käyttöliittymän, robotin, lineaarianturin sekä taajuusmuuttajien välillä. Laitteet ja niiden välille kytketty PROFINET-väylä on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Laitteet sekä niiden välinen PROFINET-väylä

4.5 Ohjelmat

Hankeen toteutumiseksi oli useammalle eri alustalle luotava oma ohjelmansa. Ohjelmat oli aikaisemman opinnäytteentekijän toimesta jo luotu, joten ohjelmistokehitykseen ei tarvinnut puuttua sen kummemmin.

Ohjelmista kuitenkin puuttui joitain tarvittavia osioita tai jotkin osiot eivät toimineet täysin halutulla tavalla. Ohjelmien osioita oli lisäiltävä ja muutettava ennen kuin laitteisto kykenisi täyttämään hankkeen vaatimat tavoitteet.

4.5.1 Logiikkaohjelma

Tätä projektia varten on luotu TIA Portal V14 -ohjelmistolla logiikkaohjelma, joka on käytännössä koko muun laitteiston toiminnan aivot. Logiikka lukee antureilta tilatiedot ja kykenee näiden avulla toimimaan ohjelmassa määritetyillä tavoilla. Logiikkaohjelma voidaan tehdä tekstimuodossa, esimerkiksi strukturoituna tekstinä tai sitten graafisessa muodossa, esimerkiksi tikapuukaaviolla.

Tämän hankkeen logiikkaohjelma on toteutettu tikapuukaaviolla ja ohjelma on jaettu sekvensseihin, tarkoittaen että tiettyjen ehtojen on täytyttävä, jotta voidaan siirtyä ohjelmassa seuraaviin vaiheisiin. Joitakin ohjelman osa-alueita oli muuteltava, jotta ohjelma saatiin toimimaan halutulla tavalla ja samalla oli lisättävä lineaarianturin tulkinta sekä toiminnot näiden tulkintojen perusteella.

4.5.2 Robotin ohjelma

Robotin ohjelma on luotu RAPID-ohjelmointikielellä, joka on käytössä ABB-merkkisten robottien ohjelmoinnissa. Ohjelmassa ohjeistetaan rivi kerrallaan liikekäskyillä, mihin robotti liikuttaa siinä kiinni olevan työkalun ja missä asennossa sen kuuluu olla. Ohjelmalla voidaan myös ohjata esimerkiksi tarttujaan liitettyä pneumatiikkasyylinteriä vaihtamaan tilaa lukkiutukseen tartuttavaan esineeseen, kuten tässä hankkeessa on toteutettu pursottimen lukitseminen robotin työkaluun.

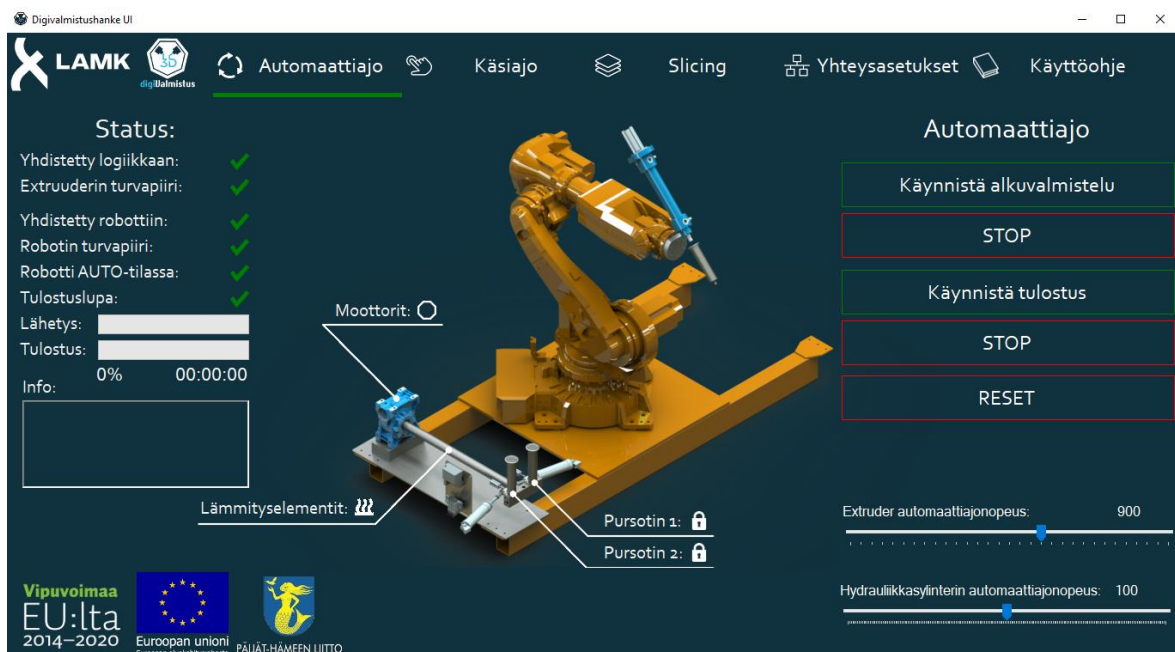
Robotille opetettiin liikepisteet uudelleen ja ohjelmaa täytyi tehdä pieniä lisäyksiä. Muuten robotin ohjelma toimi käyttötarkoituksen mukaisesti.

4.5.3 Käyttöliittymä

Tietokoneelle on luotu C#-ohjelmointikielellä käyttöä helpottamaan käyttöliittymä, jolla onnistuu sylinterien käsiajot sekä automaattiajon käynnistäminen. Ohjelmasta voidaan valita myös ajetaanko massaa ohisyötölle, jolloin voidaan varmistaa massan laatu ennen kuin

aletaan täyttämään pursottimia ja aloitetaan automaattiajo. Ohjelmistolla luodaan myös yhteys logiikkaan ja robotille sekä lähetetään halutun tulostettavan kappaleen G-code-tiedosto, joka ennen lähetystä generoidaan erillisellä slicer-ohjelmistolla. Slicer-ohjelmisto luo halutun kappaleen 3D-kuvasta liikepisteet, jotka robotti osaa tulkita. Tässä hankkeessa käytettiin Ultimaker Cura -ohjelmistoa.

Käyttöliittymään lisättiin ekstruuderin moottorin sekä hydraulisylinterin ajamiseen tarkoitettua moottorin ajonopeuteen vaikuttavat säätimet. Tällöin sekä massan virtausnopeutta ekstruuderissa, että pursotimen tyhjentämisnopeutta voitiin säätää testiajojen aikana tarpeen mukaan. Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16. Hanketta varten kehitetty PC-käyttöliittymä

4.6 Laitteiston testaus

Laitteistojen toimintaa kokonaisuuksina voitiin alkaa testaamaan, kun oltiin varmistettu, että ohjaukset sekä yhteydet toimivat oikein ja laitteistojen ohjelmat olivat suurimmaksi osaksi valmiit. Laitteisto kokonaisuutena on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Vasemmalta katsottuna ekstruuderin, robotti ja pääsähkökaapin paneelissa lämmönsäätöyksikkö

4.6.1 Lämmönsäätöyksikön testaus

Lämmönsäätöyksikön tarkoitus on lämmittää ja valvoa ekstruuderin lämpötiloja, jotta ne täsmäävät syötettyihin arvoihin. Laitteistossa on yhteensä seitsemän lämpöaluetta, joille jokaiselle voidaan määritellä asteen tarkkuudella lämpötila. Näistä alueista kolme on ekstruuderin putkella, kaksi ekstruuderin putken päässä olevalla jakotukilla ja kaksi viimeistä on pursottimilla, yksi kummallakin. Jokaista lämpöaluetta kohden on kaksi lämpövastusta sekä yksi lämpötila-anturi.

Testauksen aikana huomattiin ulkoista lämpötilamittaria käytettäessä, että putken keskiosa lämpenee reilusti enemmän, kuin mitä asetusarvoksi oli säädetty. Kyseisen alueen lämpötila-anturi antoi jostain syystä mittausarvoksi paljon pienemmän arvon, kuin mikä oli kyseessä. Kyseinen anturi vaihdettiin uuteen ja testi toistettiin. Tällä kertaa kaikki oli kunnossa.

4.6.2 Ekstruuderin testaus

Lämmönsäätöyksikön testailun jälkeen lämmöt säädettiin polystyreenille sopiviksi. Ekstruuderille syötettiin sen syöttöaukosta suppilon avulla polystyreeniä, joka oli rakeina. Kun lämpötilan asetusarvot saavutettiin, säädettiin massan virtaussuunta ohisyötölle ja laitettiin moottori pyörimään, jolloin ekstruuderin sisällä oleva ruuvi alkoi siirtämään materiaalia kohti ekstruuderin etupäätä. Massaa alkoi jonkin ajan päästä virtaamaan ohisyötön suuttimesta.

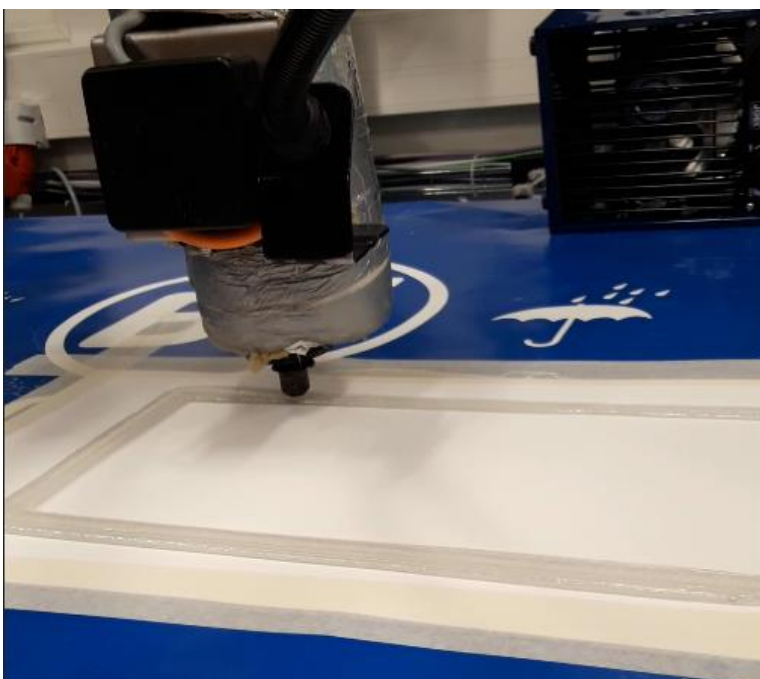
Massa oli tasapaksua, eikä siinä näkynyt ilmakuplia, eli syötetyt rakeet olivat tarpeeksi kivia. Laite kesti myös ruuvin pyörittämisestä sekä materiaalin työnnyttämisestä johtuvat stressit.

Kun toiminta ohisyötöllä oli todettu toimivaksi, testattiin myös muovimassan syöttäminen suoraan pursottimille. Logiikan avulla oli helppo siirtää virtaus ensimmäiselle pursottimelle ja varmistaa, että pursottimen lukitus oli päällä. Massa virtasi helposti pursottimeen, joten tässäkin kiinnitys ja mekaniikka kestivät laitteiston aiheuttamat stressit.

4.7 Kokonaisuuden koeajot

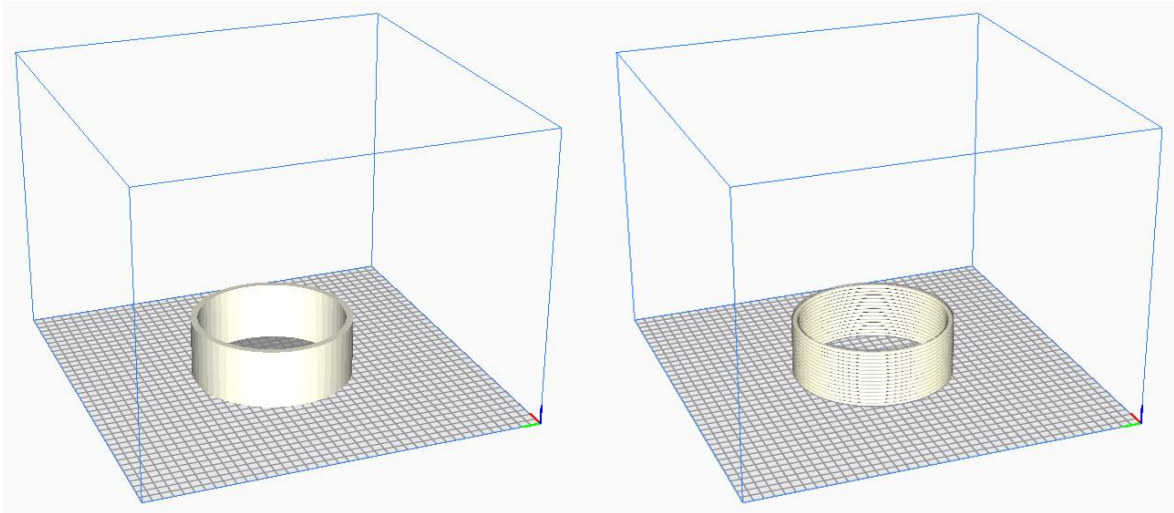
Tässä vaiheessa ei vielä syötetty robotille G-code-tiedostoa, vaan robotille luotiin yksinkertainen ohjelma, joka ajaa kerros kerrokselta yksinkertaista neliskanttista muotoa. Tällöin saatiin testattua laitteen toiminta sekä voitiin arvioida, mikä olisi laitteelle hyvä ajonopeus ja materiaalille sopiva syöttönopeus sekä kerrospaksuus.

Ensimmäiset koeajot suoritettiin tulostamalla polystyreeniä sekä polypropeenä. Näiden viskositeetti sulana oli kuitenkin liian matala, jolloin materiaali ei ollut tarpeeksi jähmeää osuessaan tulostusalustalle. Tästä syystä se levisi leveyssuunnassa tulostusalustalle aiheuttaen seuraavan kerroksen tulostamisessa ongelmia, koska kerrospaksuus ei ollut haluttu. Ratkaisuna tähän on pursottimen lämpöjen tarkempi säätäminen tai mahdollisesti tehokkaampi ulkoinen jäähdytysjärjestelmä tulostusalustalle. Ensimmäisten testikappaleiden tulostaminen on esitetty kuvassa 18.



KUVA 18 Testikappaleen tulostaminen (DigiValmistus-hanke 2020)

Kolmantena materiaalina testattiin komposiittia, joka sisälsi polypropeenä sekä selluloosaa. Tätä materiaalia käsiteltiin hieman matalammilla lämpötiloilla ja tässä vaiheessa testattiin myös G-code-tiedoston syöttämistä robotille sekä tietokoneella mallinnetun kappaleen tulostamista. Kyseessä oli yksinkertainen sylinterin muotoinen kappale, joka on esitetty kuvassa 19. Kuvassa näkyy sekä alkuperäinen mallinnus, että esikatselu tulostettavan kappaleen kerroksista.



KUVA 19. Lopullinen testikappale tulostusalueella sekä esikatselu tulostettavista kerroksista

Tämänhetkiselä kokoonpanolla puukomposiittimateriaali oli ehdottomasti paras materiaali käytettäväksi, sillä se piti muotonsa pursotuksen jälkeen, mutta se oli sen verran sulaa, että kerrokset tarttuivat toisiinsa. Loppua kohden saatiin tulostus- sekä pursotusnopeus tälle materiaalille sopiviksi, jolloin saatiin pinnanlaatua parannettua huomattavasti alun hilseilyn jälkeen. Komposiitti alkoi kuitenkin tummua tulostuksen loppupäässä, eli pursottimen lämpötila pitemmässä aikajaksossa oli liian suuri komposiitin sisältämälle selluloosalle. Lopullinen tulostettu kappale on esitetty kuvassa 20.



KUVA 20. Polypropeenien ja selluloosan sisältävällä komposiitilla tulostettu kappale (DigiValmistus-hanke 2020)

Tulostuksen valmistuttua todettiin, että tulostettava kappale täytti hankkeen tavoitteet. Parametrien ja ohjelmien muokkaukselle ei tässä tilanteessa nähty enää tarvetta.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa DigiValmistus-hankkeen robottisolun loppuun ja suorittaa sille käyttöönotto. Jokainen laitteeseen vaadittava osa-alue saatiin valmistettua ja robottisolulle suoritettiin onnistuneesti käyttöönotto. Lopullinen tulostettu kappale täytti myös hankkeen vaatimukset.

Työ vaikutti aluksi kohtalaisen suppealta ja suoraviivaiselta, mutta työn edetessä tuli eteen uusia aihealueita, joita ei aluksi osannut odottaa. Työ oli kokonaisuutena erittäin monipuolinen ja laaja, jossa pääsi työskentelemään käytännössä esimerkiksi kytkentöjen parissa sekä tutustumaan ohjelmistokehitykseen erilaisille alustoille.

Alussa haasteita tuottivat sähkökuvat ja ohjelmien dokumentoinnit, jotka olisivat voineet olla kattavammat. Työn edetessä haasteita toivat myös vialliset anturit sekä tulostaessa robotin tarkkuuden puute liikkeessä sekä materiaalien ominaisuudet. Ekstruuderin eri komponentit liikkuvat jonkin verran sen lämmitessä sekä erilaisten käsiteltävien materiaalien vuoksi, joten täydellisten paikoitusten tekeminen oli melkein mahdotonta.

Jatkokehityksen kannalta huomioitavaa on, että testatut materiaalit olivat neitseellistä muovia, eikä kierrätysmuovia. Kierrätysmuovi tuo taas omat haasteensa materiaalin putsauksen ja kuivauksen puolesta, joten niiden ominaisuudet voivat vaihdella. Myös materiaalien ominaisuuksiin perehtyminen olisi jatkokehitystä varten tärkeää, jolloin pystyttäisiin paremmin käyttämään useampaa materiaalia tulostamisessa.

Lähteet

ABB 2019. Product specification, IRB5520. Viitattu 11.10.2020. Saatavissa <https://library.e.abb.com/public/eeefde7a4a5b483daa490605a4092abb/3HAC025861%20PS%20IRB%206620LX-en.pdf>

Danfoss. Mikä on taajuusmuuttaja? Viitattu 7.11.2020. Saatavissa <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>

DigiValmistus-hanke 2020. Kuva.

Jyväskylän koulutuskuntayhtymä. Viitattu 8.11.2020. Saatavissa <https://peda.net/jao-ammattillinen/pilotoinnit/sjap/smit1a/sja/tk2/hjp/komponentit/koneikko>

LAB-ammattikorkeakoulu. digiValmistus - Tulevaisuuden valmistusteknologioiden mahdollisuudet liiketoiminnan kehittämisessä. Viitattu 6.10.2020. Saatavissa <https://lab.fi/fi/projekti/digivalmistus-tulevaisuuden-valmistusteknologioiden-mahdollisuudet-liiketoiminnan>

Lafleur, P. & Vergnes, B. 2014. Polymer extrusion. John Wiley & Sons, Incorporated. E-kirja. Viitattu 6.11.2020. Saatavissa <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.saimia.fi/lib/lab-ebooks/detail.action?docID=1688020>

Pinshape 2016. How Do 3D Printers Work? The 4 3D Technologies You Should Know. Viitattu 12.10.2020. Saatavissa <https://pinshape.com/blog/how-do-3d-printers-work-sla-fdm-sls/>

RealPars. What are the differences between SIMATIC S7-300 and S7-1500 PLCs? Viitattu 9.11.2020. Saatavissa <https://realpars.com/s7-300-versus-s7-1500/>

Robottiikka 2008. Viitattu 10.10.2020. Saatavissa <https://docplayer.fi/1226752-Robottiikka-sisallysluettelo.html>

RobotWorks. ABB IRB 6620. Viitattu 11.10.2020. Saatavissa <https://www.robots.com/robots/abb-irb-6620>