



Käyttöohje 3D-tulostukseen robotilla

Santeri Halonen

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2022

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

HALONEN, SANTERI:
Käyttöohje 3D-tulostukseen robotilla

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 31 sivua
Tammikuu 2022

Tampereen ammattikorkeakoulu oli investoinut CEAD:n valmistamaan 3D-tulostusyksikköön, joka oli käyttöönotettu ja integroitu oppilaitoksen ABB IRB 4600 -robottiin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia Tampereen ammattikorkeakoululle suomenkielinen käyttöohje 3D-tulostukseen robotilla. Tavoitteena oli laatia käyttöohjeesta mahdollisimman yksiselitteinen ja helposti luettava.

Opinnäytetyössä on kerrottu yleisesti teollisuusroboteista, tutkittu erilaisia materiaalia lisäävän valmistuksen valmistusmenetelmiä ja esitelty TAMK:n 3D-tulostusympäristön komponentit, tulostettavat materiaalit, 3D-tulostusprosessi sekä 3D-tulostukseen vaikuttavia merkittäviä tekijöitä. Työssä on myös selostettu, kuinka käyttöohje laadittiin.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi Microsoft PowerPointilla laadittu 62-sivuinen käyttöohje, joka ohjeistaa TAMK:n 3D-tulostusprosessin vaihe vaiheelta. Käyttöohjetta käytetään tukena 3D-tulostuksen opetuksessa Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Asiasanat: 3D-tulostus, robotti, käyttöohje

ABSTRACT

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

HALONEN, SANTERI:
Instruction manual for 3D printing with a robot

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 31 pages
January 2022

Tampere University of Applied Sciences (TAMK) had invested in a 3D printing unit manufactured by CEAD which was commissioned and integrated into the university's ABB IRB 4600 robot. The purpose of this thesis was to create an instruction manual in Finnish for 3D printing with a robot for TAMK. The goal was to make the instructions as unambiguous and easy to read as possible.

The thesis provides a general overview of industrial robots, research of various additive manufacturing techniques, and introduces the components of TAMK's 3D printing environment, the printing materials, the 3D printing process, and the significant factors that affect the 3D printing. The thesis also includes how the instruction manual was made

The result of the thesis was a 62-page instruction manual made with Microsoft PowerPoint, which guides TAMK's 3D printing process step by step. The instruction manual is used in addition to the teaching of 3D printing at Tampere University of Applied Sciences.

Key words: 3D printing, robot, manual

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEOLLISUUSROBOTIT	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Yleisimmät robottityypit	8
3	MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS	10
3.1	Yleistä	10
3.2	Valmistustekniikat	10
3.2.1	Materiaalin pursotus	11
3.2.2	Valokovetus altaassa.....	11
3.2.3	Jauhepetisulatus.....	12
3.2.4	Materiaalin ruiskutus.....	13
3.2.5	Sidosaineen ruiskutus	14
3.2.6	Laminointi	15
3.2.7	Materiaalin ja lämmön kohdistus	16
4	TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULUN 3D- TULOSTUSYMPÄRISTÖ.....	18
4.1	ABB IRB 4600 -teollisuusrobotti.....	18
4.2	CEAD 3D-tulostusjärjestelmä.....	18
4.2.1	CEAD ekstruuderit.....	18
4.2.2	CEAD ohjausyksikkö	20
4.2.3	CEAD kuivausyksikkö.....	21
4.3	Tulostusalusta	22
4.4	Tulostettavat materiaalit	23
5	3D-TULOSTUS TAMK:N ROBOTILLA	25
5.1	3D-tulostusprosessi.....	25
5.2	3D-tulostukseen vaikuttavat merkittävimmät tekijät.....	26
5.2.1	Resoluutio	26
5.2.2	Pursotuksen aloitus ja lopetus	27
6	KÄYTTÖOHJEEN TOTEUTUS.....	29
6.1	Käyttöohjeen tarkoitus.....	29
6.2	Käyttöohjeen luonti.....	29
6.3	Käyttöohjeen sisällön rajausta	30
7	POHDINTA	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	35

Liite 1. Käyttöohje 3D-tulostukseen robotilla	35
---	----

LYHENTEET JA TERMIT

3D	Kolmiulotteinen
AM	Additive Manufacturing, materiaalia lisäävä valmistus
CAD	Computer Aided Design, tietokone avusteinen suunnittelu
G-koodi	Ohjelmistokieli, jota käytetään automatisoitujen laitteiden ohjaamiseen
Ekstruuder	3D-tulostuspää, pursottaa tulostettavan materiaalin ulos
HMI	Human-Machine Interface, ihmisen ja ohjelmoitavan logiikan välinen kommunikaatiossa käytettävä käyttöliittymä

1 JOHDANTO

Tampereen ammattikorkeakoulu investoi ABB IRB 4600 teollisuusrobottiin integroitavaan CEAD:n valmistamaan 3D-tulostusyksikköön, joka mahdollistaa materiaalia lisäävän valmistuksen suuressa mittakaavassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä Tampereen ammattikorkeakoululle käyttöohje, jossa käydään 3D-tulostusprosessi läpi vaihe vaiheelta. Käyttöohjeessa ei oteta kantaa 3D-tulostusprosessissa käytettävien asetusten arvoihin vaan on keskitytty ainoastaan ohjeistamaan, kuinka 3D-tulostusprosessi viedään alusta loppuun.

Käyttöohjetta tullaan käyttämään opetuksen tukena kursseilla, joilla 3D-tulostus robotilla on ajankohtaista.

2 TEOLLISUUSROBOTIT


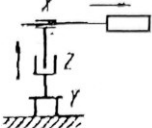


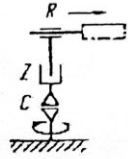


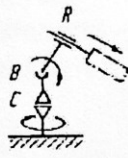

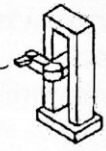
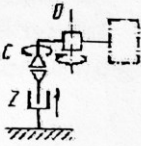


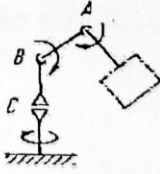


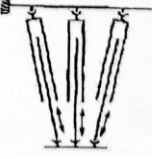

2.1 Yleistä

Teollisuusrobotti on kansainvälisen robotiikkayhdistyksen määritelmän mukaan vähintään kolminivelinen uudelleen ohjelmoitava mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan ohjelmoitavin liikkein kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Teollisuusrobotti on yksinkertaistettuna mekaaninen kone, joka halutulla tavalla liikuttaa työkalun kiinnityslaippaa. Robotin liikeradat voivat olla kokonaan ennalta määritettyjä, toimintaympäristön tapahtumien perusteella valittavia tai antureiden perusteella liikkeiden aikana luotuja. (Kuivanen 1999, 13.)

Teollisuusrobotit ovat ideaaleja suorittamaan työtehtäviä, joita pidetään ihmisille sopimattomina, yksitoikkoisina tai terveydelle haitallisina. Niitä käytetään myös prosesseissa, jotka vaativat korkeaa tuotantokykyä ja laatua. Kun otetaan huomioon robotin yksittäisten osien liikkuvuus, kyky suorittaa erilaisia liikeratoja ja kyky saavuttaa tietyssä asennossa työalueen mikä tahansa piste, mahdollisuudet käyttää robottia tuotannossa ovat lähes rajattomat. Robotin käyttöä yksittäisessä työtehtävässä rajoittava ongelma on kustannustehokkuus. Nopean ja suuritehoisen robottirakenteen ei ole kustannustehokasta suorittaa työtehtäviä, joihin se ei hyödynnä täyttä kapasiteettiaan. Tästä syystä tiettyihin tuotannon työtehtäviin on suunniteltu tietyn tyyppisiä teollisuusrobotteja. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, 2.)

2.2 Yleisimmät robottityypit

Robotteja on parin tonnin painoisia kappaleita nostavista hydraulisista roboteista pieniin mikrometrien liikkeisiin kykeneviin robotteihin. Mekaanisen rakenteen mukaan yleisimmät robottimallit ja teollisuusrobottien sanasto ovat määritetty standardissa ISO 8373. Teollisuusrobottien yleisimmät rakenteet, työalueet ja niiden kinemaattiset kaaviot ovat esitetty kuvassa 1. (Kuivanen 1999, 12-13.)

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatirobotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

KUVA 1. Yleisimpien robottien rakenteet (Kuivanen 1999, 12)

3 MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS

3.1 Yleistä

Additive Manufacturing (AM), suomeksi materiaalia lisäävä valmistus eli arkikielessä 3D-tulostus on valmistusmenetelmä, jossa kolmiulotteisia kappaleita valmistetaan lisäämällä raaka-ainetta kerros kerrokselta. Tietokoneavusteisella suunnittelulla aikaan saaduista kolmiulotteisista CAD-malleista voidaan valmistaa tuotteita suoraan ilman vaativaa prosessisuunnittelua. Muut valmistusmenetelmät vaativat huolellisen ja yksityiskohtaisen analyysin kappaleen geometrian määrittämiseksi, kuten missä järjestyksessä tietyt muodot tehdään ja mitä työkaluja, kiinnittimiä sekä prosesseja on käytettävä. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 1-2.)

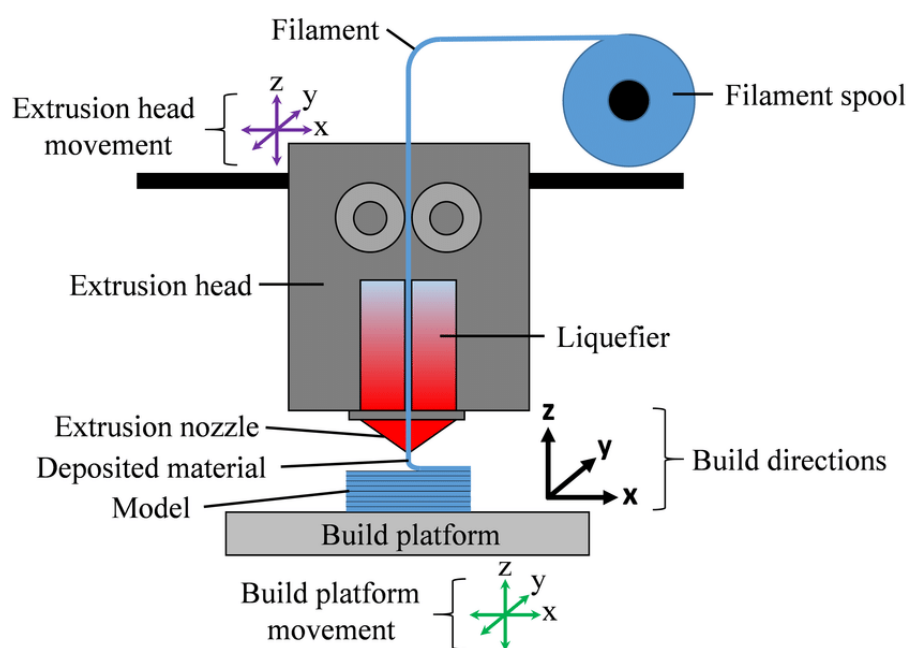
3D-tulostusta käytetään teollisuudessa esimerkiksi arkkitehtuurissa, tuotesuunnittelussa, lääketieteessä sekä rakennus-, avaruus-, auto-, muoti- ja elintarvikkealoilla. Myös sosiokulttuurisiin sovelluksiin, kuten taiteeseen, käytetään 3D-tulostusta. (Sculpteo 2021; 3DPrinting.com 2021; PC World from IDG 2013.)

3.2 Valmistustekniikat

Koska 3D-tulostusta käytetään erilaisilla aloilla eri tarkoituksiin ja eri materiaaleilla, on kehitetty monia erilaisia valmistustekniikoita. Valmistustekniikat voidaan ryhmitellä seitsemään luokkaan: materiaalin pursotus, valokovetus altaassa, jauhepetisulatus, materiaalin ruiskutus, sidosaineen ruiskutus, laminointi sekä materiaalin ja lämmön kohdistus. (Awari, Thorat, Ambade & Kothari 2021, 5-6)

3.2.1 Materiaalin pursotus

Materiaalin pursotus, englanniksi fused filament fabrication (FFF), joka tunnetaan myös nimellä fused deposition modeling (FDM) on valmistustapa, jossa aine pursotetaan suuttimen läpi. Kun materiaalia pursotetaan, sen täytyy olla puoliliikettä ja kun se on pursotettu, sen täytyy jähmettyä, jotta pursotettu rakenne säilyttää muotonsa. Materiaalin pursotukseen on kaksi ensisijaista lähestymistapaa. Yleisempi tapa on kontrolloida materiaalia lämmön avulla eli sulattamalla. Toinen tapa on saada materiaali jähmettymään kemiallisen muutoksen avulla, esimerkiksi kovetusaineella, jäännösluottimella tai reaktiolla ilman kanssa. (Awari ym. 2021, 6; Gibson ym. 2015, 147-148.) Kuvassa 2 on esitetty materiaalin pursotuksen perusperiaate.

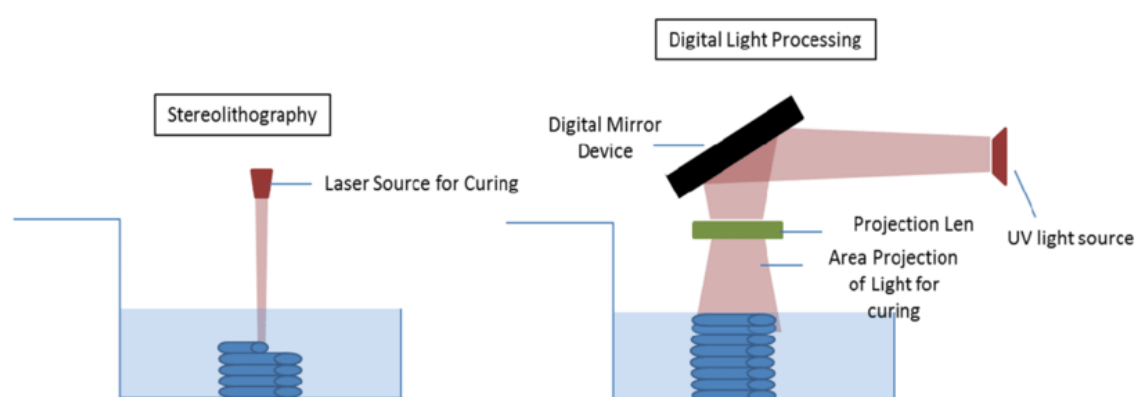


KUVA 2. Materiaalin pursotuksen perusperiaate (ResearchGate 2019)

3.2.2 Valokovetus altaassa

Valokovetus altaassa, englanniksi Vat Photopolymerization, on valmistustapa, jossa käytetään ensisijaisina materiaaleina nestemäisiä, säteilyllä kovettuvia fotopolymeerejä tai hartseja. Gamma-, röntgen- ja elektronisäteitä, UV-valoa sekä joissain tapauksissa näkyvää valoa käytetään materiaalin kovetukseen. (Gibson ym. 2015, 63-64.)

Kaksi yleisintä tapaa ovat stereolitografia (stereolithography, SLA tai SL) ja digitaalinen valonkäsittely (Digital Light Processing, DLP). SLA-tulostimet käyttävät pistelaseria, jolla piirretään haluttu kerroksen kuvio altaassa olevan nestemäisen materiaalin pinnalle sen kovettamiseksi. DLP-tulostimet taas väläyttävät valolla yhden kokonaisen kerroksen kuvion kerralla materiaalin pinnalle digitaalisella valoprojektorilla. Tästä johtuen DLP on nopeampi valokovetustekniikka kuin SLA. (Awari ym. 2021, 8.) Valokovetus altaassa -tekniikan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Valokovetus altaassa (ResearchGate 2018)

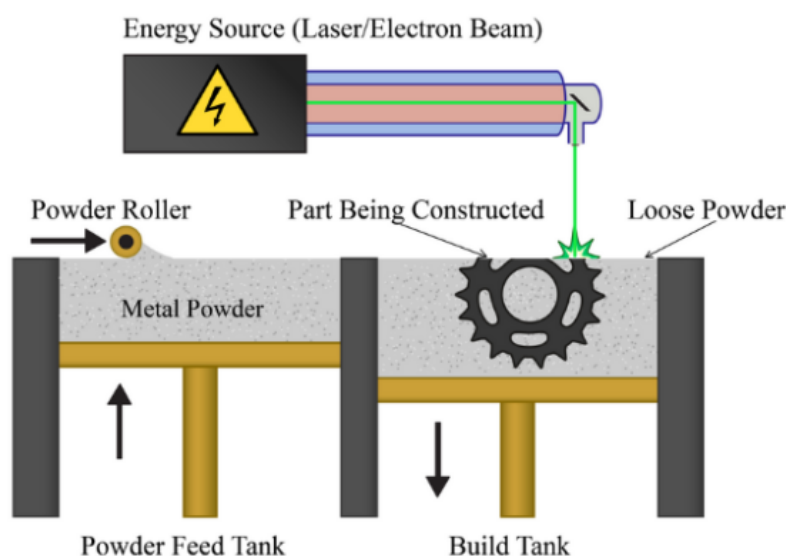
3.2.3 Jauhepetisulatus

Jauhepetisulatus (powder bed fusion, PBF) on 3D-tulostustekniikka, jossa lämpöenergiälähteen avulla jauhepedissä olevat jauhehiukkaset sulatetaan yhteen kiinteäksi kappaleeksi kerros kerrokselta (kuva 4). (Awari ym. 2021, 8-9.)

Jauhepetisulatuksessa materiaaleina käytetään polymeeri- ja metallijauheita. SLS-tekniikalla (Selective Laser Sintering) polymeerijauhe lämmitetään säiliössä juuri alle sen sulamispisteen. Pyyhkijä levittää ohuen kerroksen jauhetta tulostusalueelle, jonka jälkeen lasersäde kohdistetaan jauheeseen ja jauhe kovettuu. Kun koko haluttu kerros on kovetettu laserilla, tulostusalueesta liikkuu yhden kerroksen paksuuden verran alaspäin. Jauhe, jota ei ole kovetettu toimii tukirakenteena, jolloin tukirakenteita ei tarvitse valmistaa erikseen. (Awari ym. 2021, 9-10.)

Metallijauheita sulatetaan DMLS-, SLM ja EBM-tekniikoilla. Nämä tekniikat käyttävät samaa valmistusperiaatetta kuin SLS. DMLS eli direct metal laser sintering ei sulata metallijauhetta, mutta lämmittää sen niin, että metallimolekyylit sulautuvat yhteen. SLM eli selective laser melting sulattaa metallijauheen laserilla muodostaen homogeenisen kappaleen. Näiden kahden valmistusmenetelmän erona on se, että DMLS tuottaa kappaleita metalliseoksista, kun SLM tuottaa kappaleita yhdestä elementistä, esimerkiksi titaanista. DMLS- ja SLM-tekniikoilla tehdyt kappaleet vaativat tukirakenteita mahdollisten vääristymien rajoittamiseksi. (Awari ym. 2021, 10-11.)

EBM eli electro beam melting käyttää laserin sijasta elektronisuihkua jauheen sulatukseen. Koska elektronisuihku on energiatihempää kuin lasersäde, on EBM-tekniikka nopeampi kuin muut jauhepetisulatustekniikat. EBM-tekniikalla kappaleet valmistetaan tyhjiössä ja prosessissa voidaan käyttää vain sähköä johtavia materiaaleja. (Awari ym. 2021, 11.)

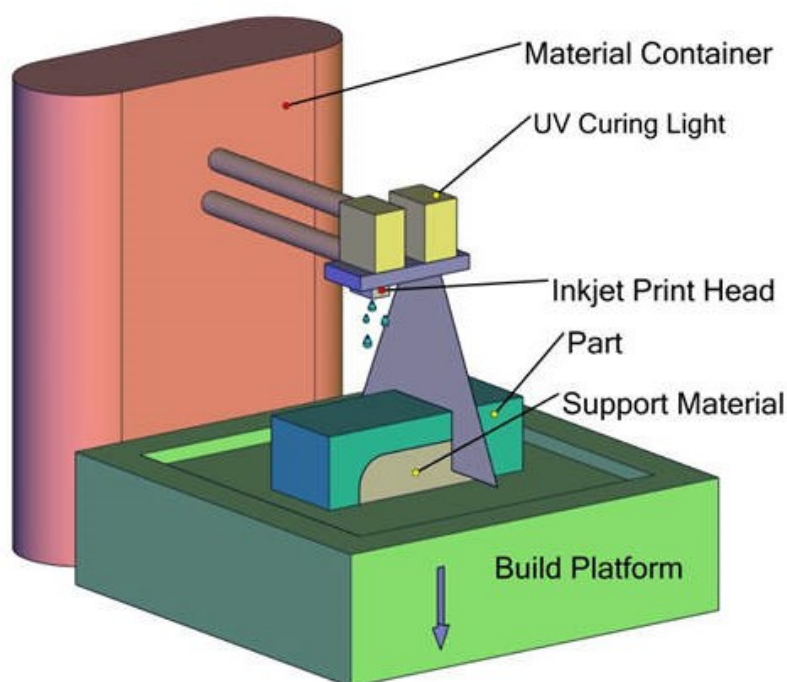


KUVA 4. Jauhepetisulatus (3DEO 2018)

3.2.4 Materiaalin ruiskutus

Materiaalin ruiskutus (material jetting, MJ) toimii samalla periaatteella kuin tavallinen mustesuihkutulostin (kuva 5). Menetelmässä fotopolymeeripisaroita ruisku-

tetaan nopeasti, riveittäin tulostusalustalle, jossa materiaali kovetetaan UV-valolla. Materiaalin lisäämisen etuna riveittäin on, että MJ-tulostimet pystyvät valmistamaan useita kappaleita samanaikaisesti vaikuttamatta tulostusnopeuteen, jos kappaleet ovat optimoitu ja asetettu tulostusalustalle oikein. Koska tyhjän päälle ei voida tulostaa, materiaalin ruiskutuksella valmistetut kappaleet vaativat tukirakenteita, jotka poistetaan jälkikäsittelyssä. (Awari ym. 2021, 12.)

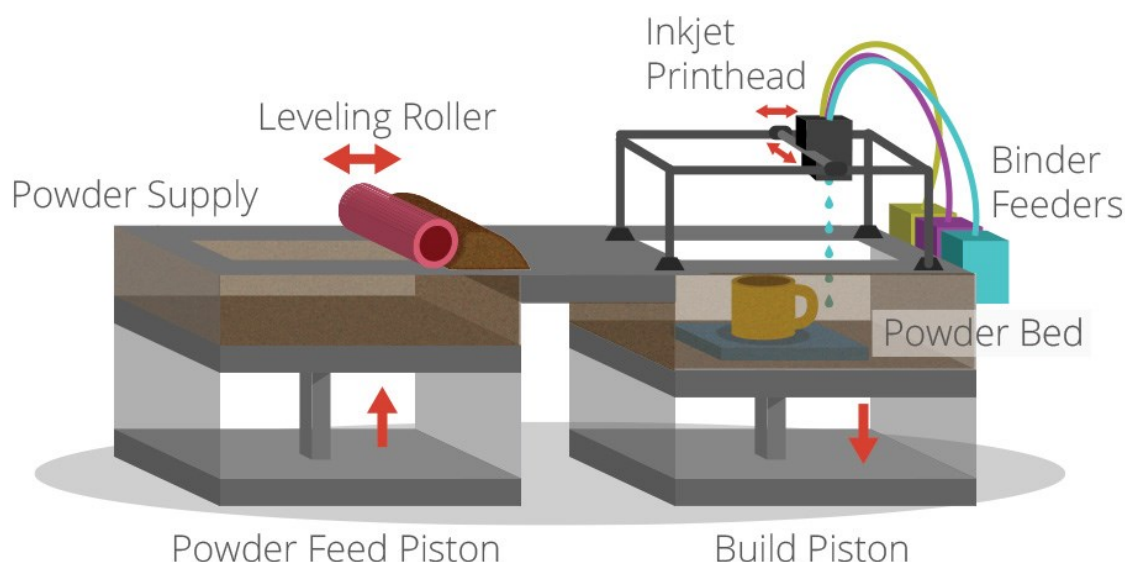


KUVA 5. Materiaalin ruiskutus (Tanerux 2019)

3.2.5 Sidosaineen ruiskutus

Sidosaineen ruiskutus (binder jetting, BJ) on 3D-tulostusmenetelmä, jossa sidosainetta ruiskutetaan jauhepetiin osan valmistamiseksi (kuva 6). Siksi sidosaineen ruiskutuksessa, vain pieni osa valmistettavan kappaleen materiaalista tulee tulostuspään kautta. Suurin osa kappaleen materiaalista koostuu jauhepedissä olevasta jauhemateriaalista. Tyypillisesti halkaisijaltaan 80 µm kokoiset sidosainepisarat muodostavat pyöreitä sidosaineen ja jauhehiukkasten kasaumia, jotka sioutuvat aiemmin tulostettuun kerrokseen. Kuten jauhepetisulatusmenetelmässä, kun yksi kerros on tulostettu, jauhepetiä lasketaan alaspäin ja uusi jauhekerros

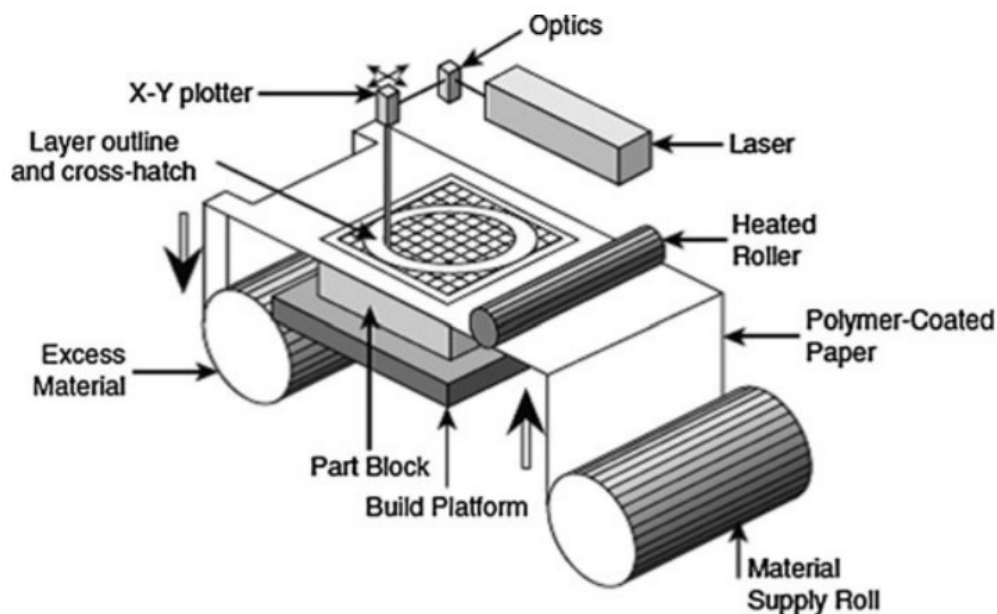
levitetään valmiin kerroksen päälle. Kun kappale on valmis, se jätetään yleensä jauhepetiin sidosaineen kovettumista varten. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa kappaleita metalli- ja hiekkajauheesta sekä kipsi- ja akryylipohjaisista jauheista. (Gibson ym. 2015, 205-208.)



KUVA 6. Sidosaineen ruiskutus (Threeding 2016)

3.2.6 Laminointi

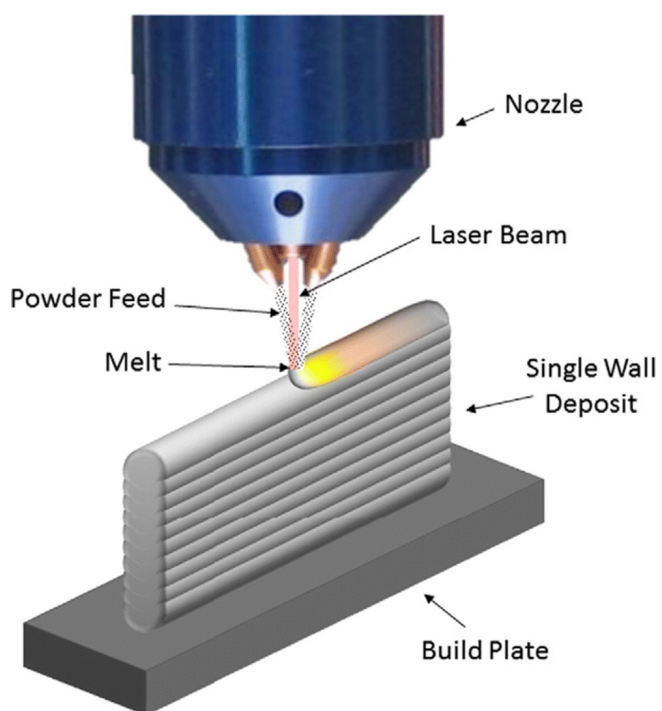
Laminoinnissa (sheet lamination) ohuista materiaalikalvoista laserilla tai mekaanisella leikkurilla leikatut kerrokset pinotaan ja yhdistetään liimalla tai lämmöllä. Kalvot voidaan leikata ja sitten laminoida, tai laminoida ja sitten leikata. Materiaaleina käytetään yleensä paperia, polymeerejä, sekä metallikalvoja. Tulostukseen voidaan käyttää melkein mitä vain polymeeriä, kunhan sitä on saatavilla ohutlevyinä ja kerrosten yhdistäminen on mahdollista liimoilla tai lämmöllä. (Awari ym. 2021, 14; Gibson ym. 2015, 219.) Kuvassa 7 on kuvattu paperin 3D-tulostus laminointiprosessilla.



KUVA 7. Laminointiprosessi (Gibson ym. 2015)

3.2.7 Materiaalin ja lämmön kohdistus

Materiaalin ja lämmön kohdistus -tekniikat (direct energy deposition, DED) sulattavat materiaalin samalla kun materiaalia lisätään kappaleen pintaan. DED-tekniikat kohdistavat lämpöenergianlähteen, tyypillisesti laserin tai elektronisuihkun, kapealle alueelle sulattaen syötetyn jauhe- tai lankamateriaalin. (Gibson ym. 2015, 245.) Tätä valmistusmenetelmää käytetään yleensä komponenttien korjaukseen tai ylimääräisen materiaalin lisäämiseen. Materiaaleina käytetään metalleja, lasia ja keraameja. (Awari ym. 2021, 15.) Kuvassa 8 on tyypillinen laserjauhe DED-valmistustekniikka.

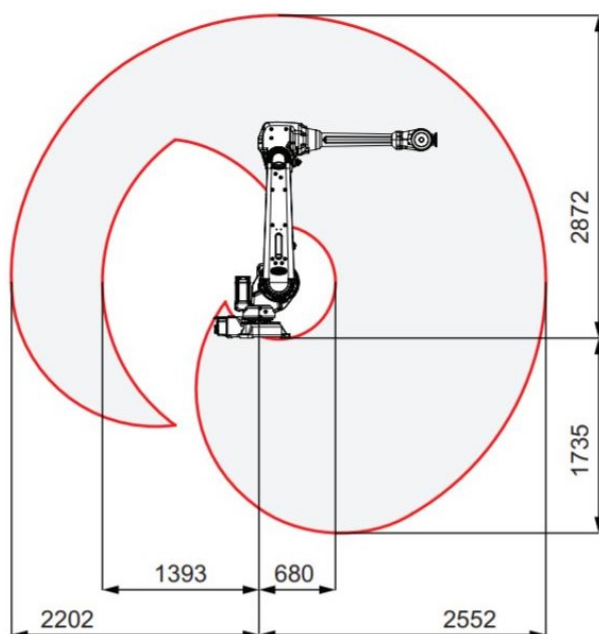


KUVA 8. Tyypillinen laser-jauhepohjainen DED-tekniikka (Springer 2020)

4 TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULUN 3D-TULOSTUSYMPÄRISTÖ

4.1 ABB IRB 4600 -teollisuusrobotti

Koulun teollisuusrobotti oli kuusinivelinen robottikäsivarsi, malliltaan ABB IRB 4600 40/2.55 Type C ja se oli kiinnitetty ABB IRBT 2005 -liikkumisalustaan. Liikkumisalusta mahdollistaa robotin sivuttaisen liikkeen liikkumisalustan rataa pitkin. Robotin maksimikuorma on 40 kilogrammaa. Sen toistotarkkuus on 0,06 mm nopeudella 250 mm/s. Kuvassa 9 robotin työalue. (ABB Oy, 2021.)



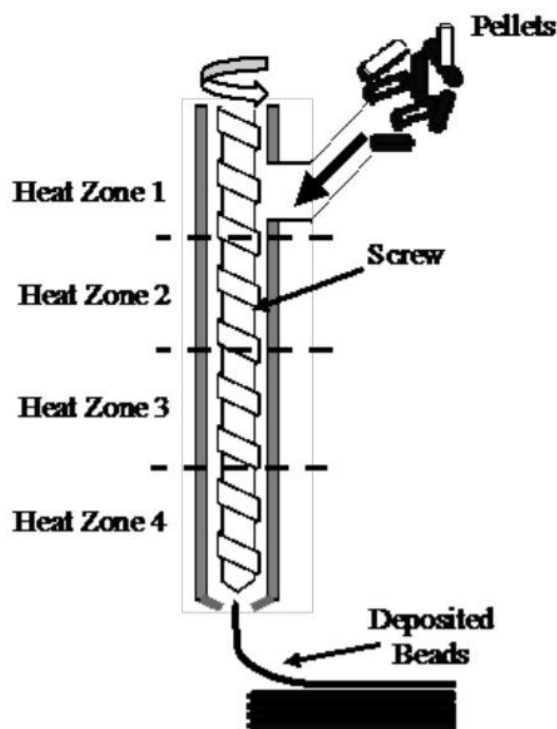
KUVA 9. ABB IRB 4600 40/2.55 -robotin työaluekuva (ABB Oy, 2021)

4.2 CEAD 3D-tulostusjärjestelmä

4.2.1 CEAD ekstruuderit

Robotin työkaluna oli CEAD:n valmistama ekstruuderit (kuva 11). Ekstruuderit on kehitetty robottikäsivarrelle suuren mittakaavan 3D-tulostukseen. Ekstruuderin si-

sällä on yksi iso ruuvi, joka pyörii lämmitetyn kammion sisällä. Tulostusmateriaalina käytettävät granulaatit syötetään ekstruuderille ja lämmitetty kammio sulattaa ne. Granulaattien sulaminen ja ruuvin pyöritys kammiossa saa materiaalin pursettumaan ulos suuttimesta. Kuvassa 10 on esitetty ekstruuderin toimintaperiaate.



KUVA 10. Ekstruuderin toimintaperiaate (Chesser, Post, Roschli, Carnal, Lind, Borish & Love n.d., 27)

Ekstruuderilla voi tulostaa materiaalia maksimissaan 12 kilogrammaa tunnissa. Hankittuun ekstruuderiiin oli otettu lisäominaisuuksina vääntöpäivitys ja lämpötilapäivitys. Vääntöpäivitykseen kuuluu 1 kW servomoottori, joka antaa 25 % enemmän maksimivääntöä kuin vakiona toimiva servomoottori. Tämä mahdollistaa sitkeämpien materiaalien tulostamisen suurella teholla. Lämpötilapäivitys nosti maksimi tulostuslämpötilan 310 °C asteesta 400 °C asteeseen, jolloin tiettyjä materiaaleja voidaan käsitellä helpommin.



KUVA 11. CEAD:n valmistama ekstruuderintuotantolinjat integroituna koulun robottiin

4.2.2 CEAD ohjausyksikkö

Ohjausyksikössä ovat kaikki ekstruuderin ohjaukseen ja granulaattien syöttöön sekä varastointiin liittyvä elektroniikka ja laitteisto (kuva 12). Ohjausyksikössä olevalla Siemensin HMI-paneelilla voidaan ohjata ekstruuderia ja muuttaa sen tulostusasetuksia, kuten lämpötiloja. Ohjausyksikössä on myös 50 kilogramman varastotila granulaateille. Ohjausyksikön sisässä oleva ilmapumppu puhalttaa tulostettavan materiaalin putkea pitkin ekstruuderille.



KUVA 12. CEAD ohjausyksikkö

4.2.3 CEAD kuivausyksikkö

Vismecin valmistama Dryplus 50 -kuivausyksikkö varastoi 100 kg granulaatteja ja pitää ne kuivana (kuva 13). Ennen tulostusta uusilla granulaateilla olisi hyvä olla noin 3 tuntia ja vanhoilla noin 6 tuntia kuivauksessa ennen tulostamista, jotta granulaatteihin imeytynyt kosteus saataisiin pois ja tulostuksen laatu olisi paras mahdollinen. Kuivausyksikön lämpötila voidaan säätää 50-185 °C välille.



KUVA 13. CEAD kuivausyksikkö

4.3 Tulostusalusta

Tulostusalustana käytettiin opiskelijoiden tekemää lämmitettävää 2 m x 1 m x 1,5 m kokoista lasilevyllä päällystettyä pöytää. Tulostusalusta lämmitettiin noin 70 °C

asteeseen. Kuvassa 14 on näkyvissä robotti ja tulostusalusta. Tulevaisuudessa TAMK:lla on tarkoitus hankkia matalampi tulostusalusta.



KUVA 14. Robotti ja tulostusalusta

4.4 Tulostettavat materiaalit

CEAD:n 3D-tulostusyksiköllä voidaan tulostaa eri materiaaleja, jotka koostuvat eri muovien ja erilaisten kuitujen sekoituksista. Valmistettavan kappaleen käyttö-tarkoitukset ja halutut ominaisuudet määrittävät materiaalin valinnan.

UPM Formi 20/19 on kokonaan biopohjainen selluloosakuiduista ja polyaktidista valmistettu muovikomposiitti (CEAD B.V, 2019). Materiaalia voidaan jätkityöstää 3D-tulostamisen jälkeen.

PP 50 % GF on polypropeenista ja lasikuidusta valmistettu muovikomposiitti. Lasikuidun määrä komposiitista on 50 %. Kestää hyvin kemikaaleja (CEAD B.V, 2019).

Muovikomposiitti rPETG 30 % GF on valmistettu kierrätetystä glykolilla muokatusa polyetyleenitereftalaatista ja lasikuidusta. Lasikuidun määrä komposiitista on 30 %. Kestää hyvin UV-säteilyä (CEAD B.V, 2019; Simplify3D, 2021)

PET 50 % GF on polyetyleenitereftalaatista ja lasikuidusta valmistettu muovikomposiitti. Komposiitista 50 % on lasikuitua. Materiaali on vahvaa, jäykkää ja kestää hyvin lämpöä (CEAD B.V, 2019).

Muovikomposiitti ABS 20 % CF on akryliniitrilibutadieenistyyreenistä ja lasikuidusta valmistettu materiaali. Sillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet. Lasikuidun määrä komposiitista on 20 % (CEAD B.V, 2019).

PC 20 % CF on polykarbonaatista ja lasikuidusta valmistettu muovikomposiitti. Komposiitista 20 % on lasikuitua. Materiaalilla on mahdollista noudattaa palo-, savu-, ja myrkyllisyysvaatimuksia, kuten rautateillä käytettävää standardia SFS-EN 45545-2:2020 (CEAD B.V, 2019).

PPS 30 % CF on muovikomposiitti, joka on valmistettu polyfenyleenisulfidista ja lasikuidusta. Lasikuidun määrä komposiitista on 30 %. Kestää hyvin lämpöä, tulta ja kemikaaleja sekä omaa hyvät mekaaniset ominaisuudet (CEAD B.V, 2019).

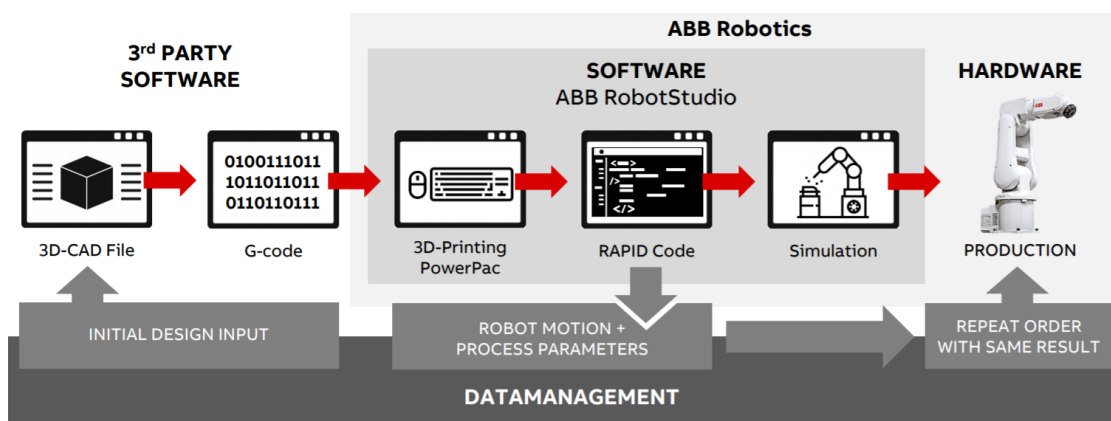
Muovikomposiitti PEEK 30 % CF on valmistettu polyeetterieetteriketonista ja lasikuidusta. Komposiitista lasikuitua on 30 %. Materiaalia voidaan käyttää korkeissa lämpötiloissa. Erinomaiset mekaaniset ominaisuudet ja kestää hyvin kemikaaleja (CEAD B.V, 2019).

5 3D-TULOSTUS TAMK:N ROBOTILLA

5.1 3D-tulostusprosessi

Materiaalia lisäävä valmistus yhdistettynä robotiikkaan ja uusiin materiaaleihin avaa uusia mahdollisuuksia luoda innovatiivisia komplekseja suuria tuotteita. 3D-tulostus robotilla onkin siis suuren mittakaavan materiaalin pursotusmenetelmä.

Valmiista kolmiulotteisesta CAD-mallista luodaan tulostettava versio viipalointiohjelmistolla. Viipalointiohjelmisto viipaloi kolmiulotteisen kappaleen kerroksiksi ja muuttaa sen G-koodiksi, joka on komentokieli, jolla ohjataan myös muunmuassa CNC-työstökoneita. G-kooditiedosto avataan ABB RobotStudio -ohjelmistossa ja se lukee sekä muuntaa G-koodin robotin omalle ohjelmistokielelle eli RAPID-koodiksi. RAPID-koodi sisältää kaikki robotin liikekäskyt ja prosessien parametrit, joita tulostamiseen tarvitaan. 3D-tulostusprosessi voidaan visualisoida ja simuloida virtuaaliympäristössä ABB RobotStudioissa. Seuraavaksi RAPID-koodi siirretään tietokoneelta robotille. (ABB Oy, 2020.) Tulostuksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 15.



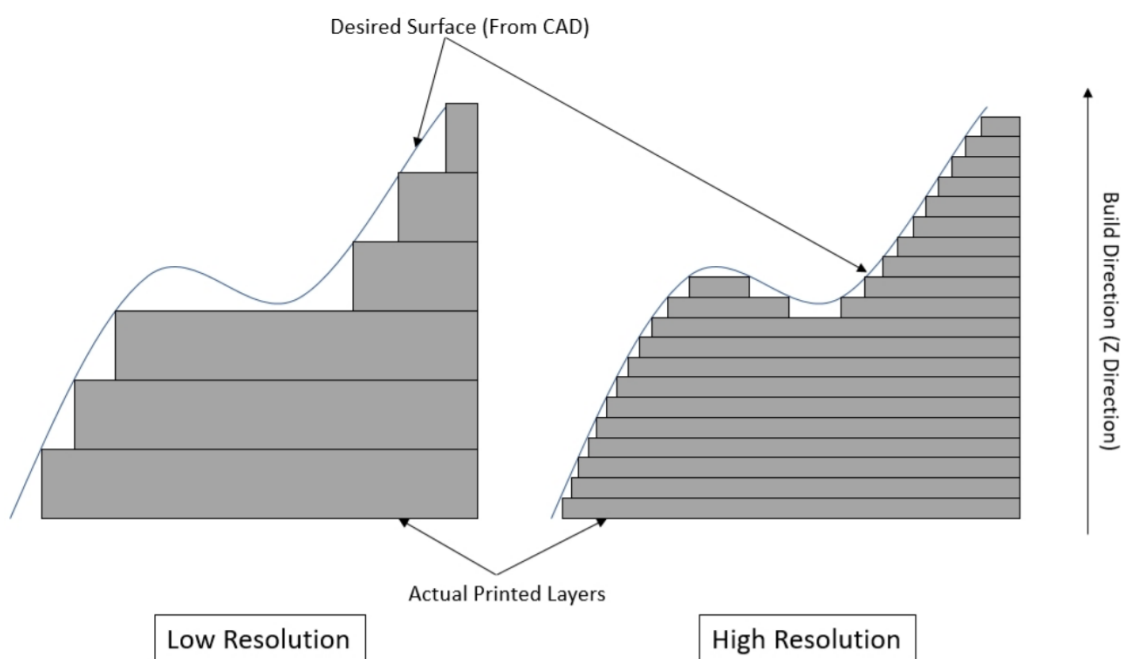
KUVA 15. Tulostusprosessin kulku (search.abb.com 2020)

Kun RAPID-ohjelma on siirretty robotille ja CEAD:n ohjausyksikön HMI-paneelistä valitaan käytössä oleva materiaali ja asetetaan tulostusprosessissa käytettävät ekstruuderin asetukset sekä kun ekstruuderin on saavuttanut asetetut lämpötilat, voidaan 3D-tulostusprosessi aloittaa robotin käsiohjaimen kautta.

5.2 3D-tulostukseen vaikuttavat merkittävimmät tekijät

5.2.1 Resoluutio

Kun tulostusnopeudet kasvavat, pinnan resoluutio ja kyky saavuttaa haluttu geometria heikentyy. Isommilla suuttimilla tulostettaessa, ekstruuderit tulostaa paksumpia kerroksia, jolloin tulostusaika vähenee, mutta samalla tulostettavan kappaleen resoluutio kärsii suuremman kerrospaksuuden takia. Tämä vaikutus kappaleen pinnan muotoihin on nähtävissä kuvassa 16. Perinteisissä FFF-menetelmissä kerroksien virheet ja epämuodostumat ovat läsnä, mutta tulostettavan kappaleen koon kasvaessa geometrian virheet kasvavat myös. (Chesser ym. n.d., 1-2)



KUVA 16. Resoluution vaikutus pinnan muotoihin (Chesser ym. n.d., 18)

Toisaalta pienemmällä resoluutiolla tulostettaessa kerrospaksuuden ollessa isompi ja pursotuksen ollessa leveämpi, voidaan isommalla suuttimella peittää reikiä, joita pienemmällä suuttimella syntyisi geometriaan.

5.2.2 Pursotuksen aloitus ja lopetus

Koska tulostettavaa materiaalia on ekstruuderin lämmityskammiossa enemmän, materiaali on massaltaan painavampaa, kuin perinteisessä FFF-menetelmässä. Tämä aiheuttaa paineen ekstruuderin sisälle, jolloin pieni määrä materiaalia pursottuu suuttimesta, vaikka ruuvi ekstruuderin sisällä ei pyörisi. Tästä johtuen tulostettaessa uutta kerrosta, sen aloitus sekä lopetus ovat haasteellisia. Lopettaessa pursotuksen materiaali saattaa venyä ennen katkeamista, joka aiheuttaa sen, että materiaalia jää suuttimen ulkopuolelle. Näin ollen uuden kerroksen aloitus on ongelmallista, sillä materiaali ei tartu kunnolla alempaan kerrokseen, koska suuttimen ulkopuolelle jäänyt materiaalinokare on jäähtynyt. Kuvassa 17 on nähtävissä tästä johtuvat kappaleeseen muodostuneet geometriset virheet.



KUVA 17. Aloituksen ja lopetuksen aiheuttamat virheet kappaleeseen

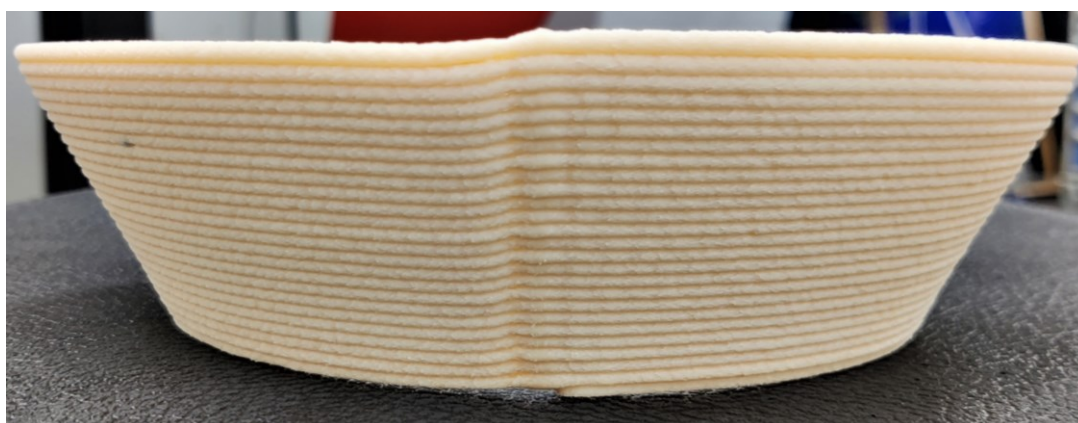
Aloitusten ja lopetusten siistimiseen voidaan vaikuttaa viipalointiohjelmiston ja RobotStudion tietyillä asetuksilla sekä muuttamalla robotin ohjelmakoodista tiet-

tyjä parametrejä. Viipalointiohjelmistossa Coast at End -asetuksella voidaan lopettaa pursotus määritettyä etäisyyttä, normaalisti muutamaa millimetriä ennen alkuperäistä kerroksen pursotuksen lopetuspistettä, jolloin paine ekstruuderissa ehtii tasaantua eikä suuttimen päähän synny isoa materiaalinokareta.

Asetus, jolla voidaan myös vaikuttaa aloitusten ja lopetusten siistimiseen on viipalointiohjelmistossa oleva Wipe nozzle -asetus, jolla kerroksen tulostusta voidaan jatkaa määritetyn etäisyyden verran yli alkuperäisen pursotuksen lopetuspisteen. Näin suuttimesta voidaan ”pyyhkiä” ylimääräinen materiaali siistimmäksi. RobotStudiosta löytyvä End of Print Overlap -asetus toimii samalla periaatteella.

Lisäämällä robotin ohjelmakoodiin pieni odotusaika kerroksen pursotuksen lopetuskohtaan ennen seuraavaan kerrokseen siirtymistä, saadaan materiaali jäähtymään paremmin, jolloin materiaali jää paremmin kiinni alempaan kerrokseen, eikä tartu suuttimeen sen siirtyessä seuraavaan pisteeseen.

Kuvassa 18 olevaan 3D-tulostettuun kappaleeseen on käytetty Coast at End -asetusta ja lisätty ohjelmakoodiin odotusaika, jolloin pursotuksen aloituksista ja lopetuksista on saatu siistimpi.



KUVA 18. Coast at End -asetuksen ja odotusajan käytön jälki

Nämä asetusten parametrit eivät ole samat kaiken kokoisille suuttimille, tulostusnopeuksille ja geometrioille vaan asetukset täytyy iteroida ja hioa jokaisessa tulostustilanteessa erikseen.

6 KÄYTTÖOHJEEN TOTEUTUS

6.1 Käyttöohjeen tarkoitus

Koska TAMK:n 3D-tulostusympäristö koostuu monien eri yritysten valmistamista erillisistä ratkaisuista, jotka yhdessä toimiessaan mahdollistavat 3D-tulostuksen robotilla, ei yhtenäistä kaiken kattavaa käyttöohjetta tähän ollut olemassa.

Tarkoituksena oli laatia käyttöohje, joka opastaa ja tukee opiskelijoita opetuksen ohella kursseilla, joilla 3D-tulostetaan robotilla.

6.2 Käyttöohjeen luonti

Työ aloitettiin perehtymällä Simplify3D-viipalointiohjelmistoon, CEAD:n 3D-tulostusyksikköön, tulostusmateriaaleihin ja ABB RobotStudioon. 3D-tulostusprosessi käytiin kokonaisuudessaan läpi yhdessä toimeksiantajan kanssa. Kun tulostusprosessista oli tehty muistiinpanot, suunniteltiin yksinkertainen kuution mallinen testikappale, jolla 3D-tulostusprosessia päästiin testaamaan toimeksiantajan seurattessa ja antaessa vinkkejä tulostuksen eri vaiheisiin liittyen. Samalla kartoitettiin mitä käyttöohjeiden tulisi sisältää.

Kun 3D-tulostusprosessi oli tullut tutuksi, aloitettiin käyttöohjeen työstäminen. Käyttöohjeesta kirjoitettiin kaksi raakaversiota, toinen Microsoft Word -ohjelmistolla ja toinen Microsoft PowerPoint -ohjelmistolla. Näistä raakaversioista valittiin PowerPointillä tehty käyttöohje helppolukuisuuden ja esteettisyyden vuoksi. Käyttöohjeen raakaversio toimitettiin toimeksiantajalle ja siitä pyydettiin parannusehdotuksia. Parannusehdotuksiin ja palautteeseen perustuen käyttöohjeeseen tehtiin tarvittavat muutokset.

6.3 Käyttöohjeen sisällön rajaus

Käyttöohjeesta haluttiin mahdollisimman yksiselitteinen ja helposti luettava. Käyttöohjeen tuli sisältää ohjeet 3D-tulostusta varten vaihe vaiheelta.

Käyttöohjeessa ensimmäisenä käydään läpi, vaihe vaiheelta kuinka Simplify3D-viipalointiohjelmistolla CAD-mallista saadaan valmis G-koodi. Simplify3D-ohjelmistossa määritettäviin tulostusasetuksien arvoihin ei ole otettu kantaa, vaan asetuksiin tutustuminen ja niiden määrittäminen jää käyttäjälle, sillä jokainen tulostettava kappale on erilainen ja vaatii erilaisia asetuksia onnistuakseen.

Käyttöohjeen ABB RobotStudio-osuudessa käydään läpi vaihe vaiheelta, kuinka asetukset määritetään robotin liikkeitä varten, miten eri asetukset vaikuttavat robotin liikkeisiin, kuinka G-koodi muutetaan RAPID-koodiksi, kuinka 3D-tulostusprosessi voidaan haluttaessa simuloida virtuaalisesti RobotStudiassa ja kuinka RAPID-koodi siirretään tietokoneelta robotille.

RobotStudio-osuuden jälkeen käydään läpi mitä asetuksia ja ominaisuuksia CEAD:n ohjausyksikössä oleva Siemensin HMI-paneeli sisältää ja mitkä asetukset tulee valita, jotta robotti saadaan ohjaamaan ekstruuderia ja 3D-tulostus on mahdollista.

Seuraavaksi ohjeessa läpikäydään vaihe vaiheelta, kuinka 3D-tulostus käynnistetään robotin käsiohjaimesta. Käyttöohjeessa on myös selostettu, kuinka robotin käsiohjaimen avulla voidaan muuttaa tulostusalustan koordinaatistoa ja kuinka tarkastellaan sekä muutetaan robotin tulojen ja lähtöjen arvoja. Robotin tuloilla ja lähdöillä voidaan muun muassa tarkastella ekstruuderin ruuvien kierrosnopeutta ja ohjata ekstruuderissa olevaa paineilmapventtiiliä, jota voidaan käyttää esimerkiksi tulostettavan materiaalin jäähtymykseen.

Ohjeessa on kerrottu, kuinka tulostusmateriaaleina käytettäviä granulaatteja lisätään kuivausyksikköön ja kuivataan. Lisäksi ohjeeseen on kerätty hyvää tietää - osio, jossa kerrotaan mitä asioita tulisi tehdä, jos ekstruuderia on ollut käyttämättä

pitkään ja kuinka pursotuksen määrää voidaan hienosäätää 3D-tulostuksen ollessa käynnissä. Valmis käyttöohje on liitteessä 1.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä helposti luettava käyttöohje TAMK:n 3D-tulostusprosessille. Käyttöohjeen laatiminen itsessään oli suoraviivaista, sillä 3D-tulostusprosessissa oli selkeät vaiheet mitä noudattaa. 3D-tulostusprosessiin paneutumisen aikana 3D-tulostettaessa erilaisia kappaleita haasteeksi muodostui parhaiden mahdollisten asetusten iteroiminen, joilla saavutettaisiin paras mahdollinen laatu tulosteelle. Isojen kappaleiden tulostamiseen kului aikaa useita tunteja, jolloin ensimmäiset geometriset virheetkin saattoivat tulla tuntien päästä tulostamisen alkamisesta. Virheiden korjaamiseksi asetuksia täytyi muokata ja aloittaa kappaleen tulostaminen alusta, jolloin aikaa ja materiaalia meni hukkaan.

Työn tuloksena syntyi 62-sivuinen Microsoft Powerpointilla laadittu käyttöohje. Käyttöohjeessa on käytetty TAMK:n brändiin sopivia väriyhdistelmiä ja fonttia. Käyttöohje sisältää paljon havainnollistavia kuvia, jotka selkeyttävät ohjetta ja pienentävät väärinymmärrysten mahdollisuuksia. Valmis käyttöohje luovutettiin toimeksiantajalle, joka oli työhön tyytyväinen.

LÄHTEET

3DEO. 2018. Intro to Metal 3D Printing Processes. Powder Bed Fusion (DMLS, SLS, SLM, LMF, DMP, EBM). Kuva. Julkaistu 27.02.2018. Luettu 23.04.2021. <https://www.3deo.co/manufacturing/intro-to-metal-3d-printing-processes-powder-bed-fusion-dmls-sls-slm-lmf-dmp-ebm/>

3DPrinting.com. 2021. What is 3D printing. Luettu 21.04.2021 <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

ABB Oy. 2020. RobotStudio 3D Printing PowerPac. Additive Manufacturing of large scale objects. Esite. Luettu 14.04.2021. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A2114&Language-Code=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy. 2021. Technical data for the IRB 4600 industrial robot. Luettu 13.04.2021. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4600/irb-4600-data>

Awari G.K., Thorat C.S., Ambade V. & Kothari D.P. 2021. Additive Manufacturing and 3D Printing Technology. Principles and Applications. 1. painos. Boca Raton: CRC Press. Luettu 21.04.2021.

CEAD B.V. 2019. Materials. Luettu 14.04.2021. <https://ceadgroup.com/materials/>

CEAD B.V. 2019. Technology Components. Luettu 13.04.2021. <https://ceadgroup.com/solutions/technology-components/>

CEAD B.V. 2020. Robot Extruder System 2020 Catalog. Tuotekatalogi. Luettu 13.04.2021.

Chesser P., Post B., Roschli A., Carnal C., Lind R., Borish M. & Love L. n.d. Extrusion Control for High Quality Printing on Big Area Additive Manufacturing (BAAM) Systems. Raportti. Knoxville: Oak Ridge National Laboratory. Luettu 26.04.2021.

Gibson, I., Rosen, D. & Stucker, B. 2015. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing. 2. painos. New York: Springer. Luettu 13.04.2021.

Karabegović, I. & Banjanović-Mehmedović, L. 2020. Industrial Robots. Design, Applications and Technology. New York: Nova Science Publishers, Inc. Luettu 14.04.2021

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys Ry. Vantaa: Talentum Oyj/Metallitekniikka. Luettu 14.04.2021.

PC World from IDG. 2013. 16 Coolest 3D Printing Applications. Luettu 21.04.2021 <https://www.pcworld.idg.com.au/slideshow/610078/16-coolest-3d-printing-applications/>

ResearchGate. 2018. Kuva. Luettu 26.04.2021 https://www.researchgate.net/figure/Vat-polymerization-A-Stereolithography-B-Digital-Light-Processing_fig2_326185196

ResearchGate. 2019. Kuva. Luettu 26.04.2021 https://www.researchgate.net/figure/Key-components-of-a-FDM-printer-Movement-is-achieved-in-the-x-y-and-z-direction-by_fig2_335005103

Sculpteo. 2021. Learn how 3D Printing is useful everywhere. Luettu 21.04.2021 <https://www.sculpteo.com/en/applications/>

Simplify3D. 2021. PETG. Luettu 14.04.2021. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/petg/>

Springer. 2020. Modeling of the laser powder-based directed energy deposition process for additive manufacturing: a review. Kuva. Julkaistu 12.03.2020. Luettu 26.04.2021 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05027-0>

Tanerux. 2019. Principle of 3d printing-material jetting (MJ). Kuva. Julkaistu 01.12.2019. Luettu 26.04.2021. <https://www.tanerxun.com/principle-of-3d-printing-mj/.html>

Threeding. 2016. Binder Jetting 3D Printing Technology. Kuva. Julkaistu 23.10.2016. Luettu 26.04.2021. <https://www.threeding.com/blog/%E2%80%8Bbinder-jetting-3d-printing-technology>

LIITTEET

Liite 1. Käyttöohje 3D-tulostukseen robotilla

1 (31)

Käyttöohje 3D- tulostamiseen robotilla

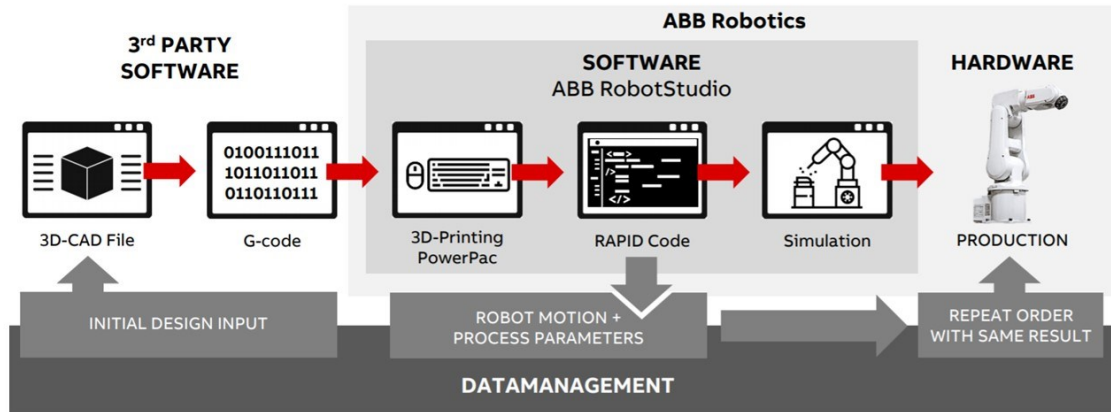


Sisällysluettelo

<u>3D-tulostuksen prosessikaavio</u>	3
<u>Simplify3D</u>	4 - 16
<u>RobotStudio</u>	17 - 39
<u>CEAD:n ohjausyksikkö</u>	40
<u>CEAD:n HMI-paneeli</u>	41 - 50
<u>Robotin FlexPendant</u>	51 - 54
<u>Tulot ja lähdöt</u>	55 - 56
<u>Granulaattien kuivaus</u>	57
<u>Granulaattien lisäys</u>	58
<u>Koordinaatiston muokkaus</u>	59 - 60
<u>Hyvä tietää</u>	61 - 62

(jatkuu)

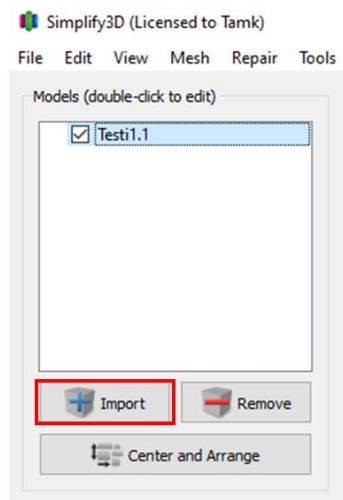
3D-tulostuksen prosessikaavio



3

Simplify3D

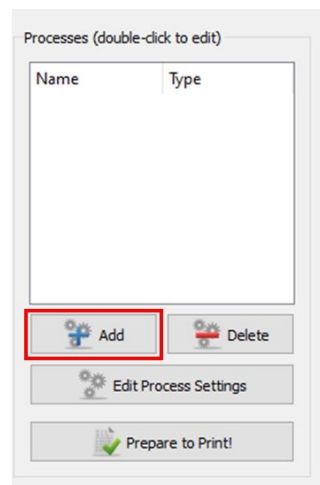
- CAD-mallista tallennettu STL-tiedosto tuodaan Simplify3D:hen painamalla Import-nappia.



4

Simplify3D

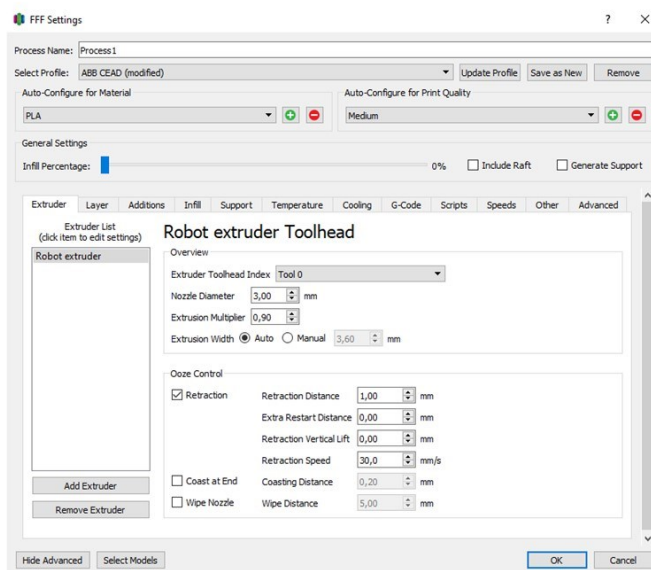
- Uudet tulostusprosessin asetukset luodaan painamalla Add-painiketta.



5

Simplify3D

- Extruder-välilehdeltä määritetään kaikki ekstruuderin asetukset, kuten suuttimen halkaisija, pursotuksen leveys ja kerroin.
- Valitsemalla profiilin "Save as New" määrittämäsi asetukset tallentuvat uuteen profiiliin, jota voit käyttää myöhemmin.



6

Simplify3D

- Layer-välilehdellä määritetään tulostettavien kerrosten eri asetukset.

The screenshot shows the 'Layer' tab in the Simplify3D settings window. It is divided into two main sections: 'Layer Settings' and 'First Layer Settings'.

Layer Settings:

- Primary Extruder: Robot extruder (dropdown)
- Primary Layer Height: 1,0000 mm (input field)
- Top Solid Layers: 0 (input field)
- Bottom Solid Layers: 0 (input field)
- Outline/Perimeter Shells: 1 (input field)
- Outline Direction: ☒ Inside-Out ☐ Outside-In
- ☐ Print islands sequentially without optimization
- ☒ Single outline corkscrew printing mode (vase mode)

First Layer Settings:

- First Layer Height: 120 % (input field)
- First Layer Width: 100 % (input field)
- First Layer Speed: 50 % (input field)

Start Points:

- ☐ Use random start points for all perimeters
- ☒ Optimize start points for fastest printing speed
- ☐ Choose start point closest to specific location
- X: 0,0 mm (input field)
- Y: 0,0 mm (input field)

7

Simplify3D

- Additions-välilehdeltä määritetään tulostukseen haluttavat lisätoiminnot, kuten reunukset skirt tai brim.

The screenshot shows the 'Additions' tab in the Simplify3D settings window. It contains several sections for configuring additional printing features.

Use Skirt/Brim: ☒

- Skirt Extruder: Robot extruder (dropdown)
- Skirt Layers: 1 (input field)
- Skirt Offset from Part: 5,00 mm (input field)
- Skirt Outlines: 1 (input field)

Use Raft: ☐

- Raft Extruder: Robot extruder (dropdown)
- Raft Top Layers: 3 (input field)
- Raft Base Layers: 2 (input field)
- Raft Offset from Part: 3,00 mm (input field)
- Separation Distance: 0,14 mm (input field)
- Raft Top Infill: 100 % (input field)
- Above Raft Speed: 30 % (input field)

Use Prime Pillar: ☐

- Prime Pillar Extruder: All Extruders (dropdown)
- Pillar Width: 12,00 mm (input field)
- Pillar Location: North-West (dropdown)
- Speed Multiplier: 100 % (input field)

Use Ooze Shield: ☐

- Ooze Shield Extruder: All Extruders (dropdown)
- Offset from Part: 2,00 mm (input field)
- Ooze Shield Outlines: 1 (input field)
- Sidewall Shape: Waterfall (dropdown)
- Sidewall Angle Change: 30 deg (input field)
- Speed Multiplier: 100 % (input field)

8

Simplify3D

- Infill-välilehdellä määritetään tulostuksen täytön asetukset.

The screenshot shows the 'Infill' tab in the Simplify3D software interface. The 'General' section includes settings for 'Infill Extruder' (Robot extruder), 'Internal Fill Pattern' (Rectilinear), 'External Fill Pattern' (Rectilinear), 'Interior Fill Percentage' (0%), 'Outline Overlap' (15%), 'Infill Extrusion Width' (100%), 'Minimum Infill Length' (5,00 mm), 'Combine Infill Every' (1 layers), and an option to 'Include solid diaphragm every' (20 layers). The 'Internal Infill Angle Offsets' section shows a list with angles 0, 45, and -45 degrees, with buttons to 'Add Angle' and 'Remove Angle', and a checkbox for 'Print every infill angle on each layer'. The 'External Infill Angle Offsets' section shows a list with angles 0 and 90 degrees, with buttons to 'Add Angle' and 'Remove Angle'.

9

Simplify3D

- Support-välilehdeltä määritetään tulostuksen tukimateriaalin asetukset.
- Temperature- ja Cooling-välilehdet voidaan jättää huomioitta, sillä nämä parametrit asetetaan CEAD:n ohjausyksiköstä.

The screenshot shows the 'Support' tab in the Simplify3D software interface. The 'Support Material Generation' section includes a checkbox for 'Generate Support Material', 'Support Extruder' (Robot extruder), 'Support Infill Percentage' (30%), 'Extra Inflation Distance' (0,00 mm), 'Support Base Layers' (0), and 'Combine Support Every' (1 layers). The 'Dense Support' section includes 'Dense Support Extruder' (Robot extruder), 'Dense Support Layers' (0), and 'Dense Infill Percentage' (70%). The 'Automatic Placement' section includes a dropdown for 'Support Type' (Normal), 'Support Pillar Resolution' (4,00 mm), and 'Max Overhang Angle' (45 degrees). The 'Separation From Part' section includes 'Horizontal Offset From Part' (0,30 mm), 'Upper Vertical Separation Layers' (1), and 'Lower Vertical Separation Layers' (1). The 'Support Infill Angles' section includes a list with angles 0 and 0 degrees, with buttons to 'Add Angle' and 'Remove Angle'.

10

Simplify3D

- G-code -välilehdellä määritetään G-koodiin tulevat asetukset.
- Mm. tulostusalustan koko määritetään kohdassa Build volume.
- Tulostusalue on 2 m x 1 m x 1,5 m, jos käytössä lasipöytä. Isommille kappaleille määritetään tulostusalustaa vastaava koko.
- Ota kuvassa näkyvät asetukset käyttöön.

11

Simplify3D

- Script-välilehdellä ovat ohjelmakoodin asetukset. Poista koodit kaikilta alivälilehdiltä.

12

Simplify3D

- Speeds-välilehdellä määritetään tulostuksessa käytettävät nopeudet.
- Ulkoreunan nopeutta hidastattaessa saavutetaan parempi pinnanlaatu.
- Täytön nopeutta voidaan kasvattaa, jotta tulostuksen kokonaisaika pieneneisi. Nämä arvot esitetään prosentteina oletusnopeudesta.
- Adjust printing speed for layers below -asetuksella voidaan alentaa tulostusnopeutta asetetun prosenttiyksikön verran kerroksille, jotka ovat alle määritetyn ajan.

13

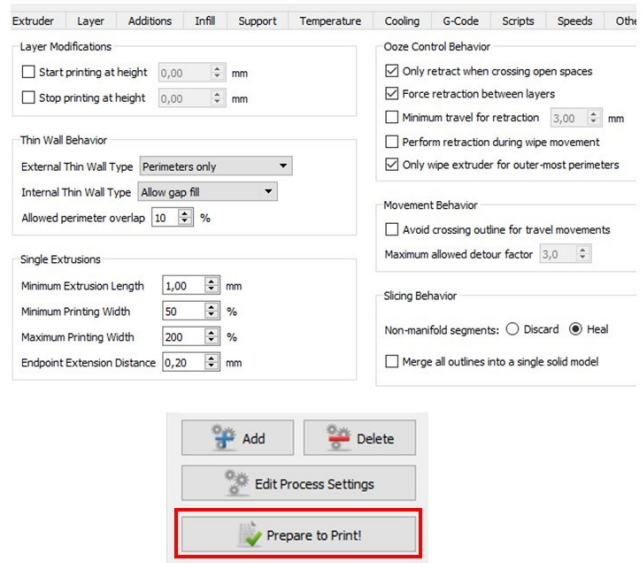
Simplify3D

- Other-välilehdeltä määritetään asetuksia, kuten silloituksen ja filamentin ominaisuuksia.

14

Simplify3D

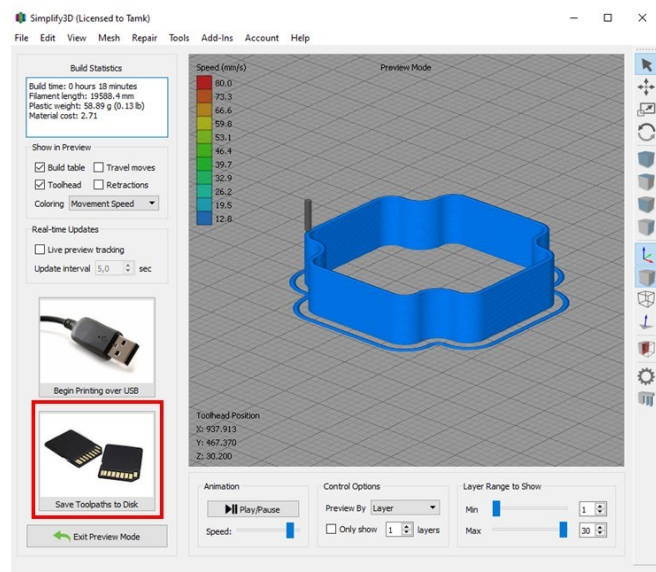
- Advanced-välilehdeltä määritetään sekalaisia asetuksia.
- Kun haluamasi asetukset on määritetty, paina OK-painiketta.
- Siirtyäksesi valmistelutilaan paina Prepare to Print! -näppäintä.



15

Simplify3D

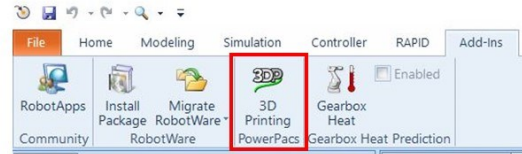
- Valmistelutilassa pystyt esikatselemaan tulostettavaa kappaletta ja sen tietoja.
- Painamalla Save Toolpaths to Disk -painiketta voit tallentaa G-koodin tietokoneellesi.



16

RobotStudio

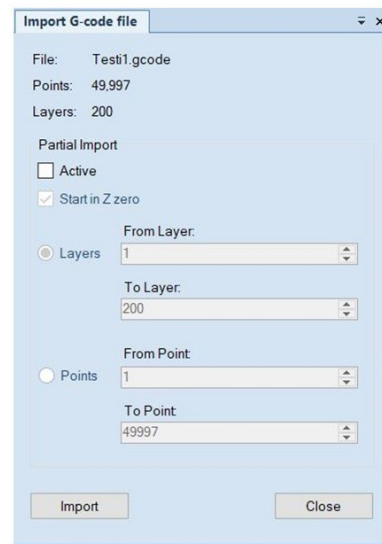
- Avaa RobotStudiassa malli koulun 3D-tulostusympäristöstä.
- Siirry Add-Ins -välilehdelle ja avaa 3D Printing PowerPacs.
- Painamalla Open G-code -painiketta lataat tallentamasi G-koodin RobotStudioon.



17

RobotStudio

- Kun olet avannut G-koodin, avautuu Import G-code file -ikkuna. Tässä voit säätää mistä tai mihin kerrokseen asti kappale tulostetaan.
- Painamalla Import-painiketta G-koodi latautuu RobotStudioon.

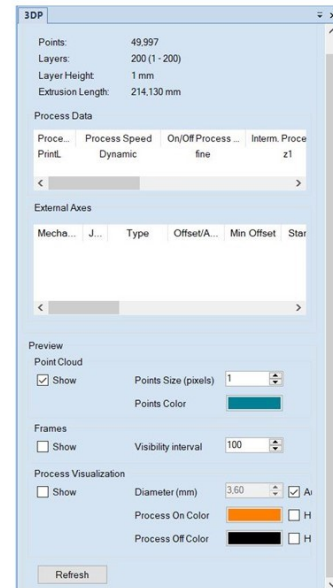


18

RobotStudio

- G-koodin tuonnin jälkeen RobotStudion oikeaan reunaan avautuu 3DP-ikkuna.
- Tässä ikkunassa näkyy informaatiota tulostuksesta.
- Voit esikatsella tulostettavan kappaleen pistepilveä, robotin tageja ja tulostettavaa kappaletta Preview-kohdasta rastittamalla Show-laatikoita.

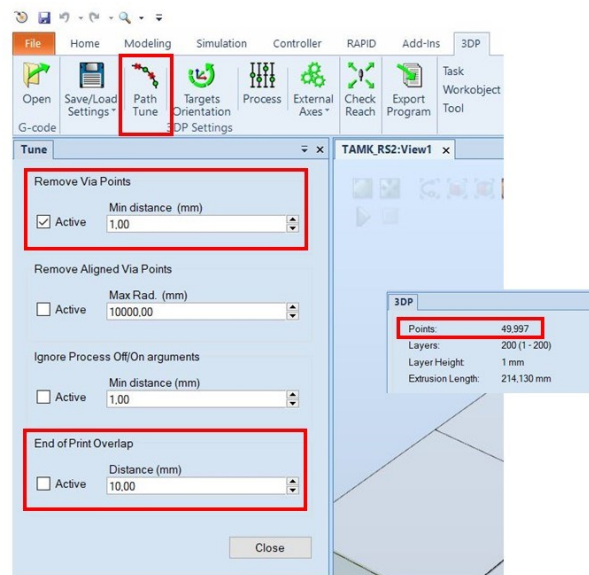
19



RobotStudio

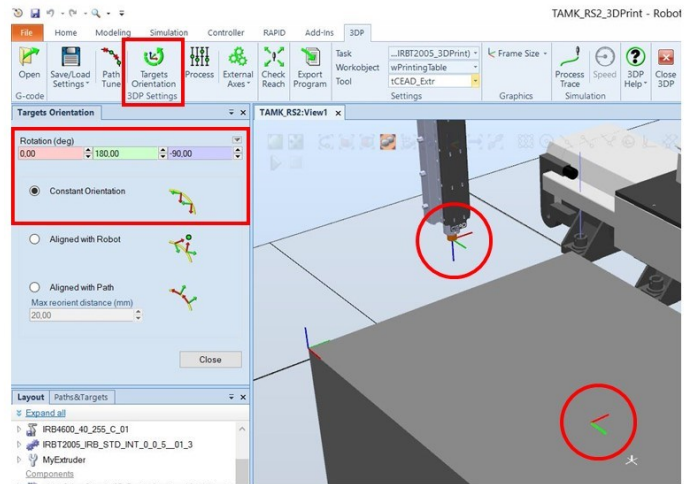
- Path tune -asetuksista voidaan muokata robotin reittiä.
- Remove Via Points poistaa pisteitä, jotka ovat lähempänä kuin määritetty Min distance (mm). Tämä asetus pienentää pisteiden määrää, joka on nähtävissä oikeassa reunassa olevasta 3DP-ikkunasta kohdasta Points.
- End of Point Overlap -toiminnolla robotti ajaa määritetyn etäisyyden verran pursotuksen lopetuspisteen yli, jolloin kerroksien tulostusten lopetuskohdista voidaan saada siistimpiä.

20



RobotStudio

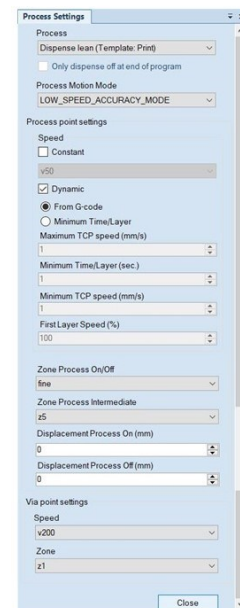
- Targets Orientation - asetuksista muutetaan missä asennossa työkalu on tulostettaessa.
- Työkalun koordinaatisto täytyy olla samoin päin kuin pöydällä näkyvän pisteen koordinaatisto.
- Valitse Constant Orientation ja aseta arvot 0, 180, -90 kohtaan Rotation (deg).



21

RobotStudio

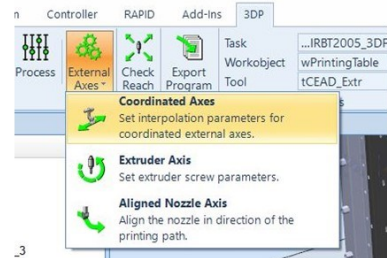
- Process-asetuksista valitse Dispence lean (Template: Print).
- Process Motion Modeksi valitse LOW_SPEED_ACCURACY_MODE tai ACCURACY_MODE.
- Kohdassa Process Point Settings voit valita määrittäkö nopeusasetukset itse vai luetaanko asetukset G-koodista.
- Zone Process On/Off määrittää, kuinka lähellä ohjelmoitua asemaa robotin akselien on oltava aloitus- ja lopetuspisteissä.
- Zone Process Intermediate määrittää, kuinka lähellä ohjelmoitua asemaa robotin akselien on oltava välipisteissä, ennen kuin siirtyä seuraavaan välipisteeseen.
- Via point settings määrittää väliliikenopeuden ja tarkkuuden.



22

RobotStudio

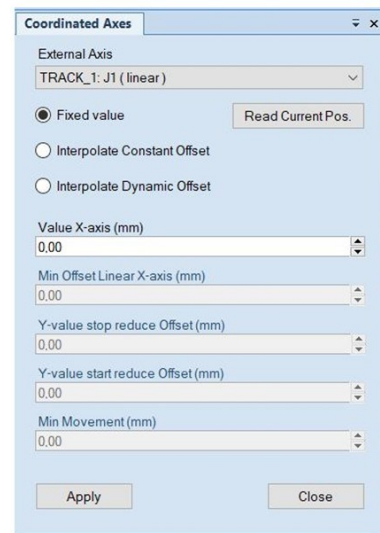
- Valitse External Axes → Coordinated Axes.



23

RobotStudio

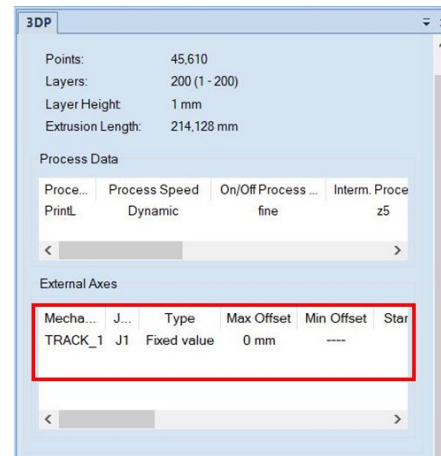
- Coordinated Axes -ikkunasta valitaan TRACK_1: J1 (linear).
- Fixed value: asettaa saman ulkoisen akselin arvon kaikille targeteille, johon robotti on ohjelmoitu liikkumaan. Toisin sanoen robotti ei liiku liikkumisalustaa pitkin. Voidaan käyttää pienemmille kappaleille.
- Interpolate Constant Offset: robotti liikkuu liikkumisalustaa pitkin pitäen akselin 1 keskipisteen ja TCP:n etäisyyden samana.
- Interpolate Dynamic Offset: kun tulostetaan suuria kappaleita, joissa robotin on liikuttava enemmän saavuttaakseen kaikki työobjektin koordinaattipisteet, tarvitaan dynaamista siirtymää. Etäisyys akselin 1 keskipisteen ja TCP:n välillä muuttuu vapaasti.
- Lopuksi paina Apply-painiketta.



24

RobotStudio

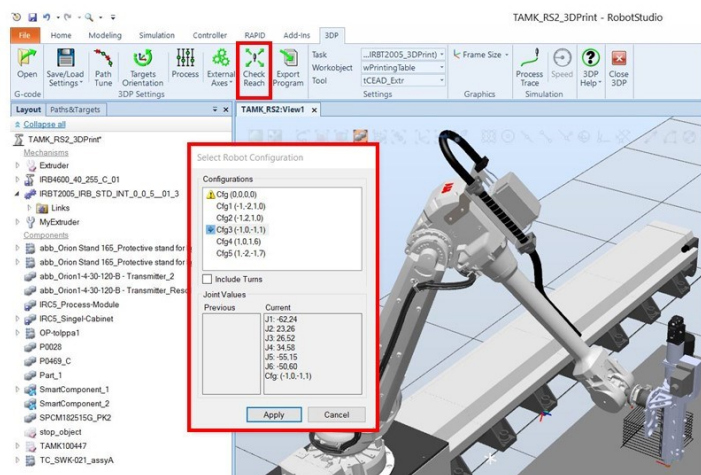
- 3DP-ikkunaan ilmestyy External Axes kohtaan uusi akseli, TRACK_1.



25

RobotStudio

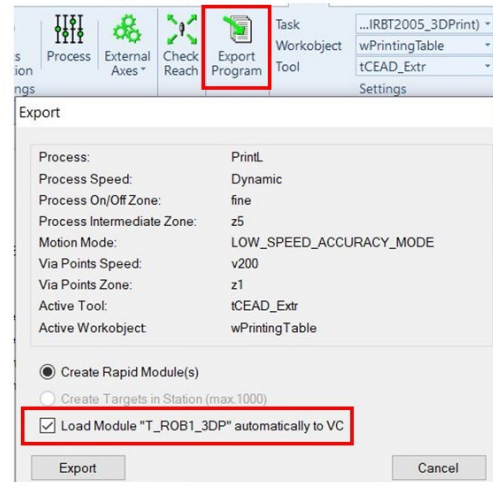
- Check Reach -asetuksesta määritetään robotille paras mahdollinen konfiguraatio, jossa robotti yltää parhaiten tulostamaan kappaletta.
- Ikkunassa näkyvistä eri konfiguraatioista valitaan se, jossa akselit ovat lähimpänä arvoa nolla ja painetaan Apply-painiketta.
- Tässä esimerkissä paras konfiguraatio oli Cfg3.



26

RobotStudio

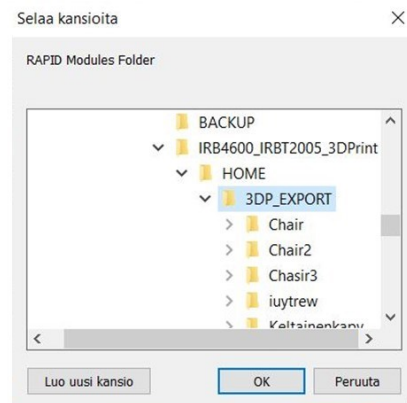
- Export Program -painikkeesta voidaan viedä ohjelma virtuaalikontrollerille ja/tai tallentaa kovalevylle.
- Jos et halua ladata ohjelmaa virtuaalikontrollerille älä raksita kohtaa Load Module "T_ROB1_3DP" automatically to VC.
- Paina Export-painiketta.



27

RobotStudio

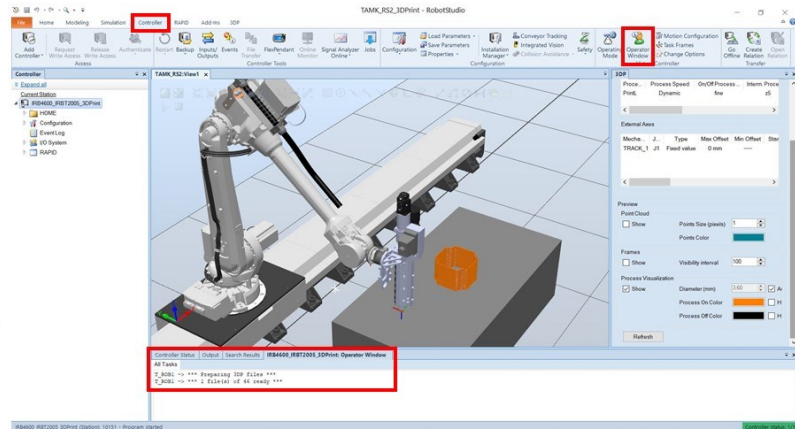
- Luo uusi kansio 3DP_EXPORT-kansion alle ja tallenna ohjelma sinne painamalla OK-painiketta.
- **HUOM!** Tiedostonimessä ei saa olla ääkkösiä eikä välilyöntejä! Luotuun kansioon voi tallentaa vain kerran.



28

RobotStudio

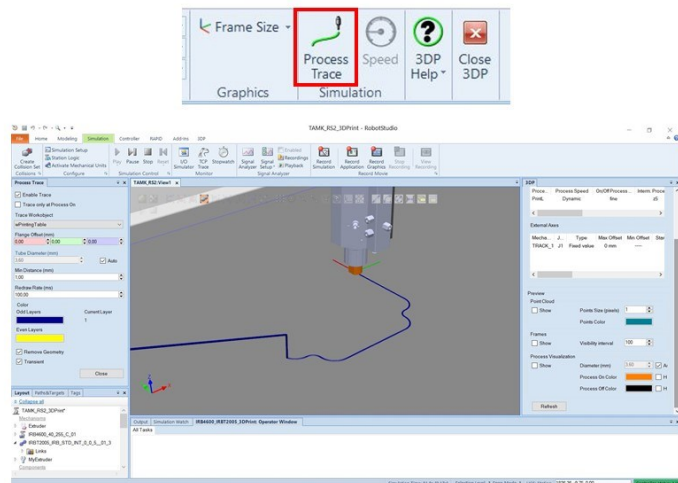
- Jos olet tuonut ohjelman virtuaalikontrollerille, voit ottaa Controller-välilehdeltä Operator Window -ikkunan käyttöön ja laittaa simuloinnin päälle painamalla Play.
- Nyt Operator Window -ikkunasta näkee kuinka virtuaalirobotti kääntää tiedostoja.



29

RobotStudio

- Kun robotti on kääntänyt kaikki tiedostot, lähtee se liikkeelle.
- Painamalla Process Trace, voit seurata virtuaalirobotin tulostamista virtuaaliympäristössä.



30

RobotStudio

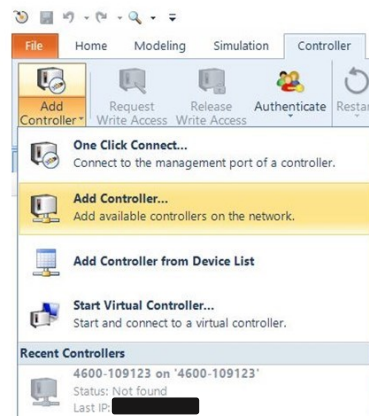
- Yhdistä tietokoneesi Ethernet-kaapelilla robottiin tai käytä robotin luona olevaa pöytäkoneetta.



31

RobotStudio

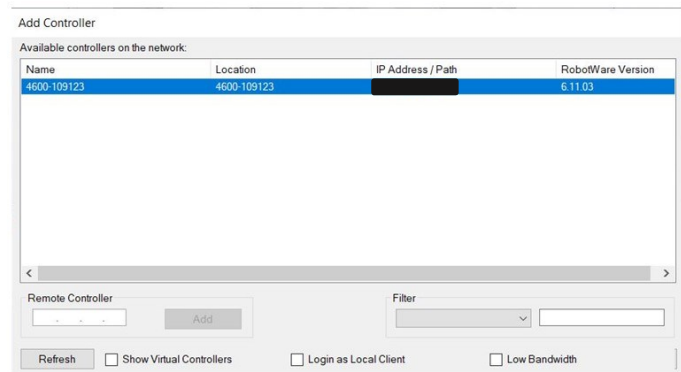
- Valitse Controller-välilehdeltä Add Controller.



32

RobotStudio

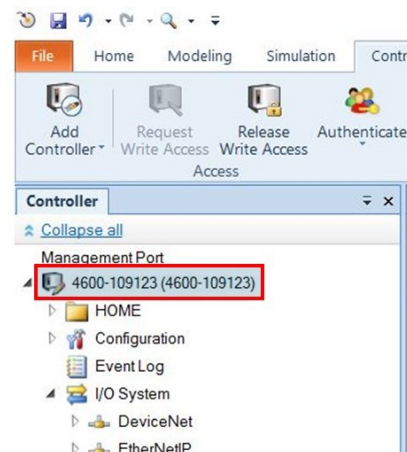
- Add Controller -ikkuna avautuu. Valitse listassa näkyvä kontrolleri 4600-109123 kaksoisklikkaamalla.
- Jos lista on tyhjä, paina Refresh-näppäintä, jolloin ikkuna päivittyy.



33

RobotStudio

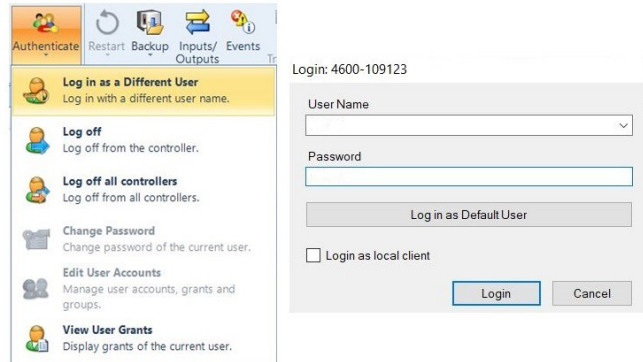
- Klikkaa robottikontrolleri aktiiviseksi vasemmalta valikosta.



34

RobotStudio

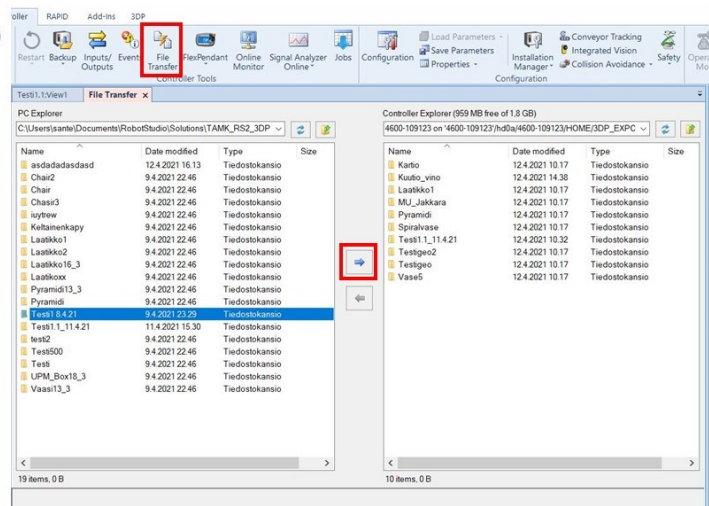
- Hae oikeudet valitsemalla Authenticate → Log in as a Different User, jotta ohjelma voidaan siirtää robotille.
- Kirjaudu sisään Login-ikkunasta opettajasi antamalla tunnuksilla.



35

RobotStudio

- File Transfer -toiminnolla aikaisemmin tallennettu ohjelma voidaan siirtää tietokoneelta robotille.
- Valitse tallentamasi tiedosto ja siirrä se robotille HOME-kansiossa olevaan 3DP_EXPORT- kansioon painamalla nuolipainikkeesta.

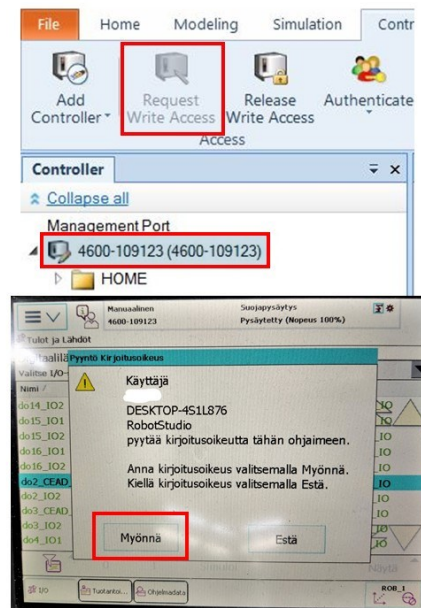


36

RobotStudio

- Pyydä robotilta kirjoitusoikeutta klikkaamalla robottikontrolleri aktiiviseksi vasemmalta valikosta ja valitsemalla Request Write Access.
- Hyväksy pyyntö robotin käsiohjaimesta Myönnä-painikkeella.

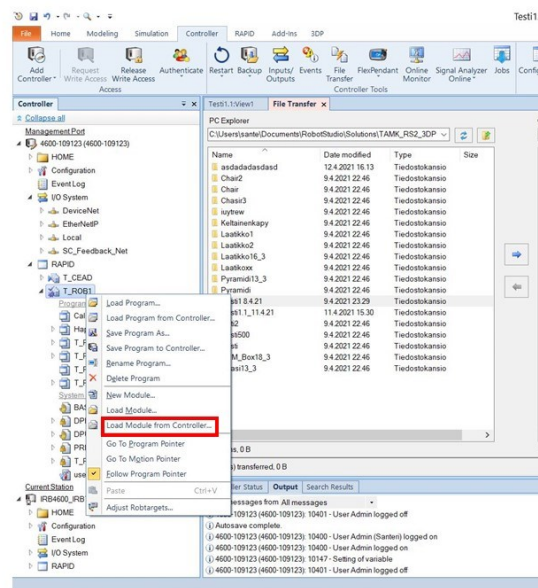
37



RobotStudio

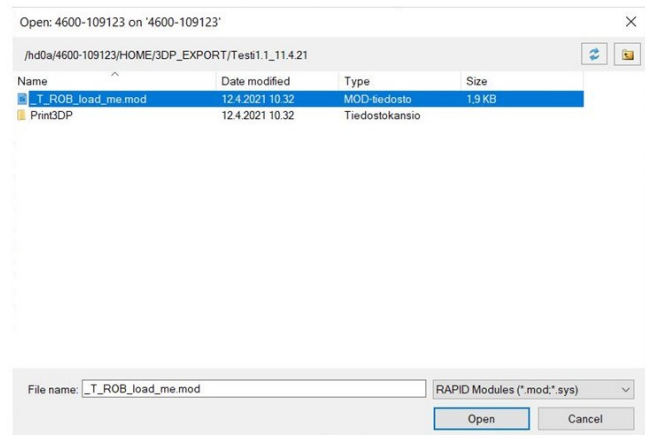
- Klikkaa hiiren oikealla näppäimellä robotin T_ROB1 ja paina Load Module from Controller...

38



RobotStudio

- Lataa ohjelma robotille valitsemalla aiemmin siirtämästäsi kansioista _T_ROB_load_me.mod ja paina Open-painiketta.



39

CEAD:n ohjausyksikkö

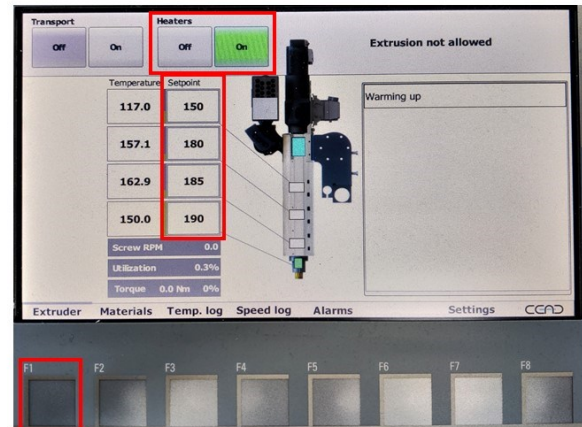
- Ohjausyksikössä ovat kaikki ekstruuderin ohjaukseen ja granulaattien syöttöön sekä varastointiin liittyvä elektroniikka ja laitteisto.
- Ohjausyksikössä olevalla Siemensin HMI-paneelilla voidaan ohjata ekstruuderia ja muuttaa sen tulostusasetuksia, kuten lämpötiloja.



40

CEAD:n HMI-paneeli

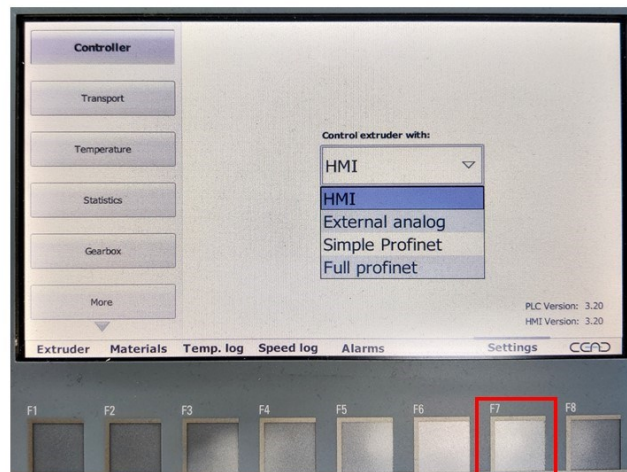
- Ennen tulostamista ekstruuderin on kytkettävä lämmittimet päälle CEAD:n ohjausyksikön HMI-paneelistä. Heaters-napit saat näkyviin valitsemalla Settings (F7) → Control extruder with: HMI (sivu 42)
- Lämmittimet kytketään päälle Extruder-välilehdeltä (F1) painamalla On-painiketta kohdasta Heaters.
- Painamalla Setpoint-kohdassa näkyvää numeroarvoa, voit määrittää erikseen jokaiselle ekstruuderin lämmittimelle lämpötilan asetusarvon.
- Lämmittämisessä kestää n. 15 minuuttia.



41

CEAD:n HMI-paneeli

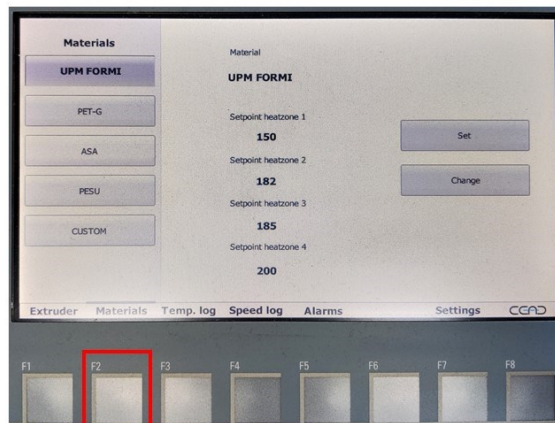
- Painamalla Settings-painiketta (F7) pääset asetuksiin.
- Controller-välilehdeltä valitaan mistä ekstruuderia ohjataan.
- HMI tarkoittaa HMI-paneelin kautta tapahtuvaa käsiohjausta.
- Robotti ohjaa ekstruuderia kun valittuna on asetus External analog. Kun tulostetaan, valitaan tämä asetus.



42

CEAD:n HMI-paneeli

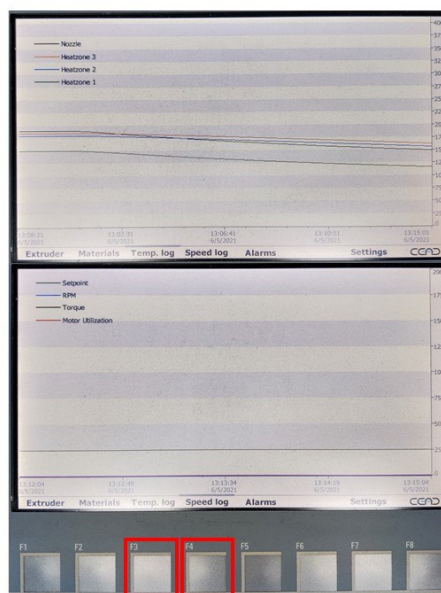
- Painamalla painiketta Materials (F2) pääset valitsemaan materiaalin ja muuttamaan materiaalien asetuksia.



43

CEAD:n HMI-paneeli

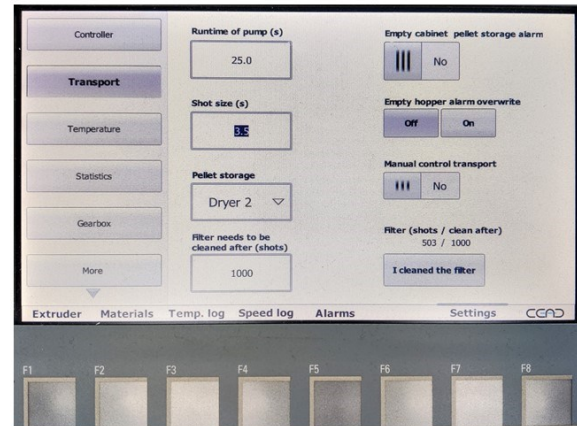
- Temp. log –välilehdellä (F3) näkyvät ekstruuderin osien lämpötilojen muutokset ajan suhteen.
- Speed log –välilehdellä (F4) näkyvät ekstruuderin moottorin käytön muutokset ajan suhteen.



44

CEAD:n HMI-paneeli

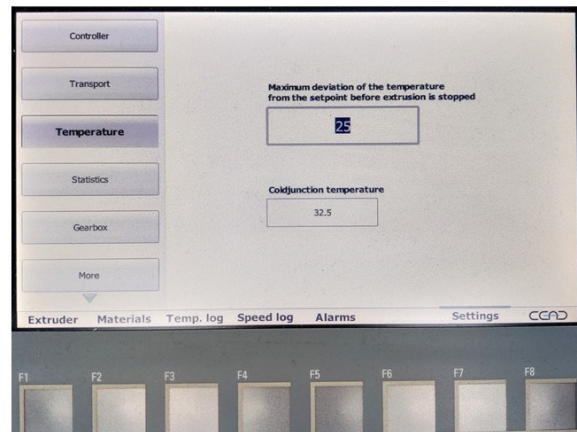
- Transport-välilehdeltä voidaan muuttaa granulaattien syöttöön liittyviä asetuksia.



45

CEAD:n HMI-paneeli

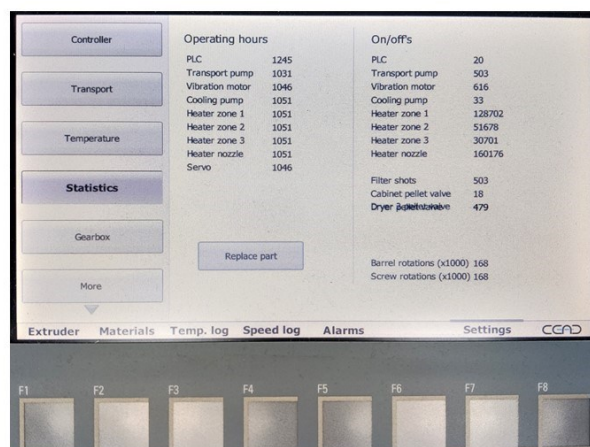
- Temperature-välilehdeltä voidaan asettaa ekstruuderin lämpötilan maksimipoikkeama asetetusta lämpötilasta. Jos poikkeama ylittää asetetun arvon, materiaalin pursotus lopetetaan.



46

CEAD:n HMI-paneeli

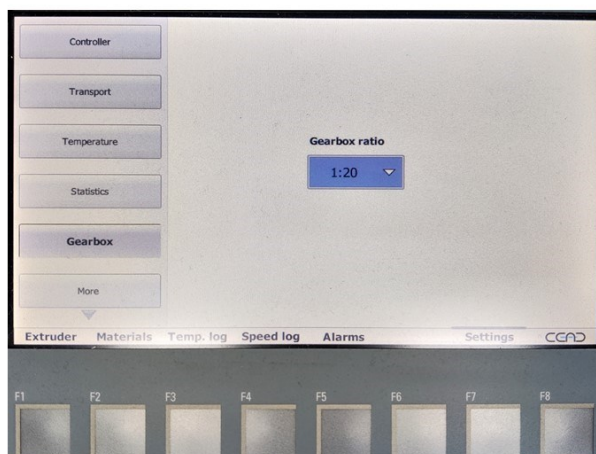
- Statistics-välilehdeltä näkee erilaista statistiikkaa CEAD:n 3D-tulostusyksikön käytöstä.



47

CEAD:n HMI-paneeli

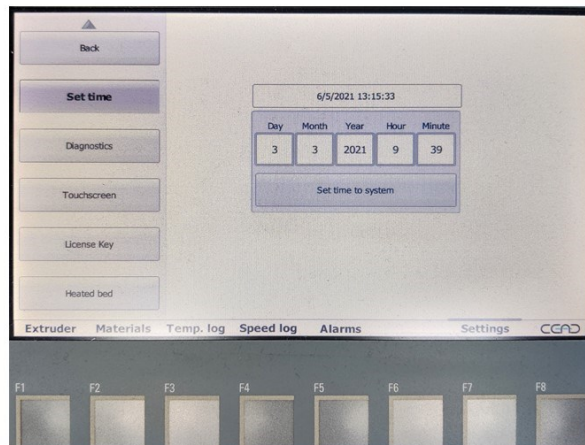
- Gearbox-asetuksella valitaan kumpi vaihteisto on ekstruuderiin asennettu. ÄLÄ KOSKE ☺.



48

CEAD:n HMI-paneeli

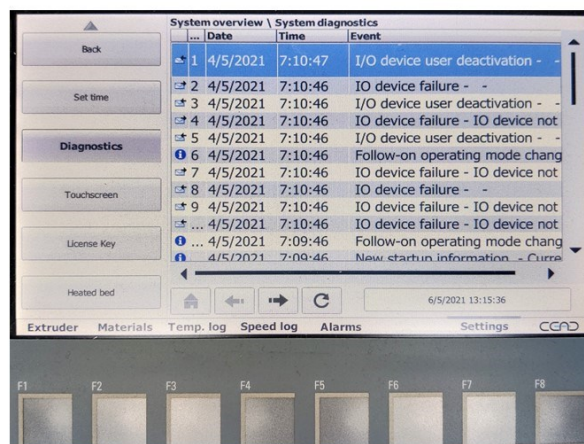
- Set time -välilehdeltä voidaan muuttaa laitteiston päivämäärää.



49

CEAD:n HMI-paneeli

- Diagnostics-välilehdeltä voidaan tehdä 3D-ohjausyksikön vianmäärittystä.



50

Robotin FlexPendant

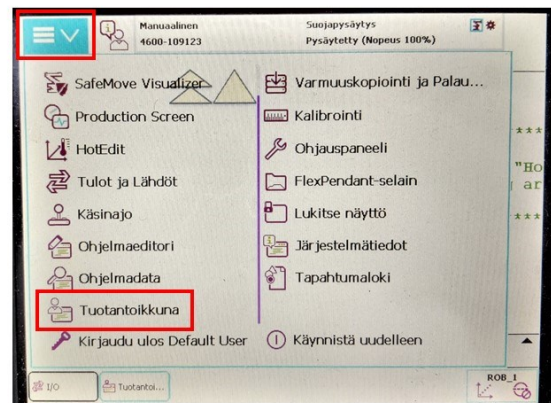
- Ennen tulostuksen käynnistämistä, täytyy robotin turvarajat kuitata sinisistä painikkeista.
- Robotti täytyy asettaa automaattitilaan kääntämällä avain vasemmalle.
- Robotin servot täytyy kytkeä päälle valkoisesta painikkeesta.



51

Robotin FlexPendant

- Kun ohjelma on siirretty robotille ja CEAD:n ohjausyksiköstä kaikki halutut ekstruuderin asetukset ovat asetettu, voidaan aloittaa tulostus.
- Avaa robotin käsiohjaimesta vasemmasta yläkulmasta valikko ja valitse tuotantoikkuna.

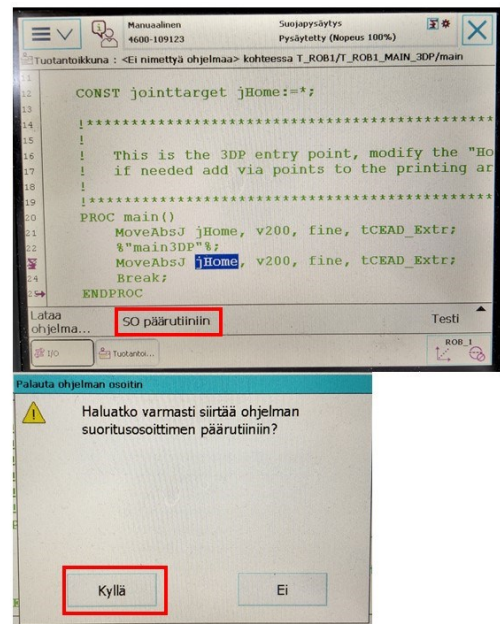


52

Robotin FlexPendant

- Tuotantoikkunaa käytetään ohjelmakoodin tarkasteluun ohjelman suorittamisen aikana.
- Painamalla SO päärutiniin - painikkeesta ja valitsemalla kyllä pääset robottiohjelman alkuun.

53



Robotin FlexPendant

- Kun olet päärutiniinissa ohjelman alussa, paina käynnistyspainikkeesta aloittaaksesi 3D-tulostuksen robotilla.
- Jos et ole simuloinut tulostusta RobotStudiassa, robotti kääntää tiedostot tässä vaiheessa, jolloin tulostuksen aloituksessa kestää hetken.

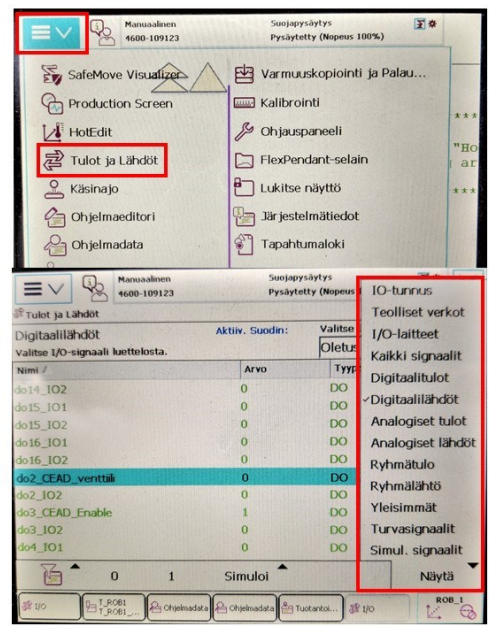
54



Tulot ja lähdöt

- FlexPendantista näkee myös robotin tulot ja lähdöt.
- Jos haluat tarkastella tuloja ja lähtöjä, avaa valikko ja valitse Tulot ja Lähdöt.
- Näytä-painikkeesta voit valita mitä tuloja tai lähtöjä haluat tarkastella.

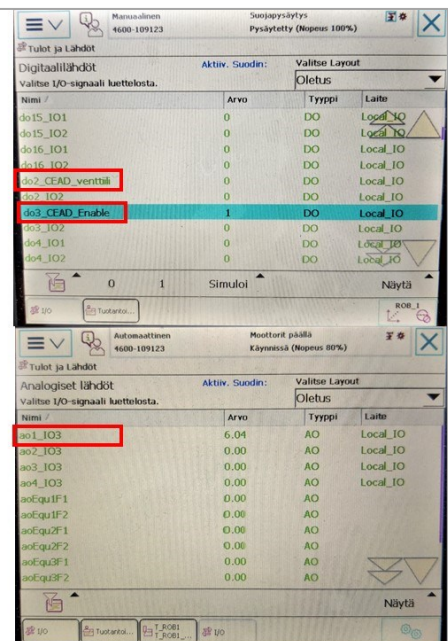
55



Tulot ja lähdöt

- Digitaali-lähdöt:
 - do2_CEAD_venttiilillä ohjataan ekstruuderissa olevaa paineilma-venttiiliä.
 - do3_CEAD_Enablella robotti ohjaa ekstruuderin lämmitystä.
- Analogiset lähdöt:
 - ao1_IO3 näyttää ekstruuderin ruuvien kierrosnopeuden.

56



Granulaattien kuivaus

- Ennen tulostusta uusilla granulaateilla olisi hyvä olla n. 3 tuntia ja vanhoilla n. 6 tuntia kuivauksessa ennen tulostamista, jotta granulaatteihin imeytynyt kosteus saataisiin pois ja tulostuksen laatu olisi paras mahdollinen.

57



Granulaattien lisäys

- Granulaattien lisäys kuivausyksikköön:
 1. Aseta imuputki granulaattipussiin.
 2. Avaa paineilmaventtiili, jotta imutehoa on tarpeeksi.
 3. Käynnistä imupumppu kotelon kyljessä olevasta painikkeesta.
 4. Kun olet valmis, sammuta imupumppu ja sulje paineilmaventtiili.
- Ohjaa käsillä imuputkea, jotta se ei tartu muovipussin reunoihin.

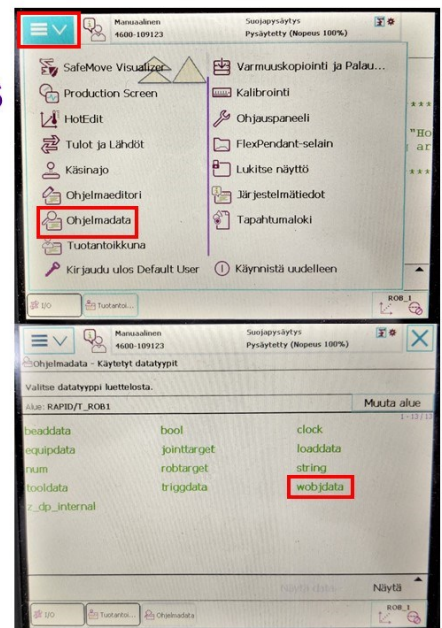
58



Koordinaatiston muokkaus

- Jos tulostusalustan koordinaatisto on liian alhaalla tai ylhäällä tämä vaikuttaa ensimmäisen kerroksen tarttumiseen ja leveyteen.
- Koordinaatistoa voi nostaa ja laskea muuttamalla z-koordinaattia robotin käsiohjaimesta.
- Avaa valikko → Ohjelmadata → valitse wobjdata

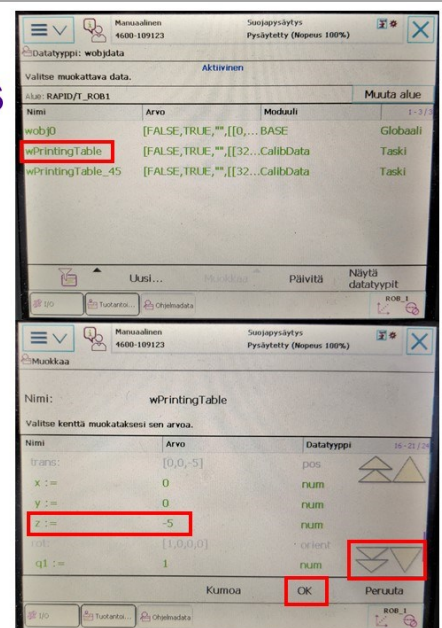
59



Koordinaatiston muokkaus

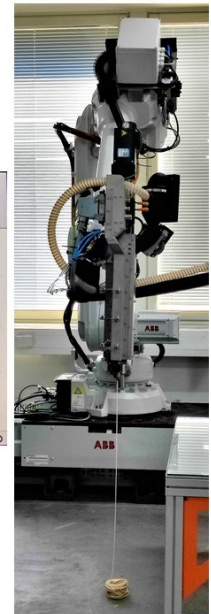
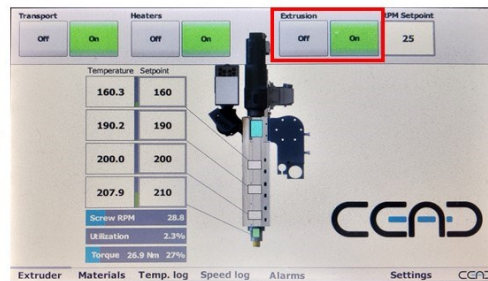
- Valitse wPrintingTable → selaa valikkoa alaspäin ja etsi koordinaatti z. **HUOM!** z-koordinaatteja on enemmän kuin yksi, joten varmistu, että muutat oikeaa arvoa. Tunnistat oikean koordinaatin siitä, että yläpuolella olevat x- ja y-koordinaatit ovat arvoltaan nolla.
- Muuttamalla kuvassa näkyvää arvoa -5 ylöspäin esim. -4, koordinaatisto nousee 1 mm, jolloin ekstruuderin ja tulostusalustan väliin jää 1 mm enemmän tilaa.
- Vastaavasti muuttamalla arvoa alaspäin esim. -6, koordinaatisto laskee 1 mm, jolloin ekstruuderin on 1 mm lähempänä tulostusalustaa.
- Lopuksi paina OK-painiketta tallentaaksesi muutetut asetukset.

60



Hyvä tietää

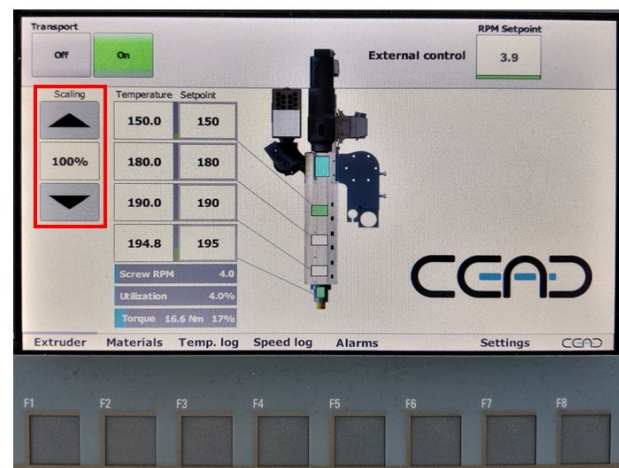
- Jos ekstruuderi on ollut käyttämättä pitkään, ennen kappaleen tulostamista ekstruuderissa oleva vanha materiaali kannattaa pursottaa pois uuden tieltä. Näin tulostuksen laatu paranee.
- Valitse HMI-paneelin asetuksista ekstruuderin ohjaukseksi HMI ja pursota materiaalia Extrusion-kohdan On-painikkeesta. Pursotus lopetetaan Off-painikkeesta.



61

Hyvä tietää

- CEAD:n ohjausyksikön HMI-paneelissa olevalla Scaling-toiminnolla voidaan hienosäätää haluttua pursotuksen määrää.
- Esim. tilanteissa, joissa seinämäpaksuus jää tulostuksen aikana liian ohueksi, voidaan Scaling-toiminnolla säätää paksuutta kesken tulostuksen.



62