



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lasse Melasalmi

3D-tulostettujen työkalujen ja jigien suunnittelu ja valmistus teknologiateollisuuden käyttöön

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Lasse Melasalmi

Työn nimi: 3D-tulostettujen työkalujen ja jigien suunnittelu ja valmistus teknologiateollisuuden käyttöön

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 33

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli suunnitella ja valmistaa 3D-tulostamalla erilaisia työkaluja ja jigejä. Kohdeyrityksenä oli Lapualla sijaitseva Plate Power Oy ja yritykselle oli mahdollisuuksien mukaan tarkoitus suunnitella muovista tulostettavia jigejä helpottamaan työtä, vähentämään kappaleiden valmistamiseen kuluva aikaa ja parantamaan työn laatua. Käytössä oli ammattilaistason 3D-tulostin sekä laaja valikoima erilaisia materiaaleja, joista työkaluja ja jigejä valmistettiin. Metallista tehtävien jigien tekeminen on erittäin aikaa vievää ja kallista verrattuna muovista tulostettuihin kappaleisiin, joten tätä kautta haettiin myös kustannussäästöjä.

Työssä perehdyttiin myös tarkemmin eri tulostusmenetelmiin, syvennyttiin käytettyihin tulostusmateriaaleihin ja vertailtiin 3D-tulostuksen hyviä ja huonoja puolia. Lisäksi tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin suunniteltuja ja valmistettuja kappaleita.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tehtyä yritykselle useampikin erilainen metallin työstämistä helpottava työkalu muun muassa särmäämistä, poraamista ja hitsaamista varten. Vaikka kaikki eivät päätyneet tuotantoon asti, sai yritys kuitenkin hyviä esimerkkejä siitä, minkälaisia työkaluja voitaisiin jatkossa valmistaa. Samalla saatiin myös paljon hyödyllistä oppia siitä, miten eri materiaalit käyttäytyvät tulostettaessa ja soveltuvat työkaluihin.

¹ Asiasanat: 3D-tulostus, työkalu, suunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Lasse Melasalmi

Title of thesis: Designing and manufacturing 3D printed tools and jigs for technology industry

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2025

Number of pages: 33

The purpose of the thesis was to design and manufacture different types of tools and jigs by 3D-printing. The thesis was made in cooperation with Plate Power Oy, located in Lapua and the goal was to improve their work quality, accelerate the process and make their job easier by making them tools and jigs of plastic. They had a professional 3D printer in use and a wide range of different printing materials. As making jigs of metal is very time consuming and expensive compared to plastic, the thesis project was one way to find cost savings.

The thesis studied different printing methods, focusing on the printing materials used and weighing the pros and cons of 3D printing. Also, the designed and manufactured pieces were introduced in detail.

As the result of the thesis, we were able to make various types of tools that make working with metal easier, for example, when edging, drilling and welding. Even though all the pieces did not go to serial production the company got good examples of the tooling they can produce themselves in the future. At the same time useful experience was gained on how different materials behave during printing and how they work as the material of tools.

¹ Keywords: 3D-printing, tools, design

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo.....	6
Käytetyt lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoitteet.....	9
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	9
2 3D-TULOSTAMINEN YLEISESTI.....	10
2.1 3D-tulostamisen teoriaa	10
2.2 3D-tulostuksen eri luokat.....	10
2.3 FDM 3D-tulostus	12
2.4 3D-tulostuksen hyödyt.....	13
2.4.1 Prototyyppien luominen nopeasti	13
2.4.2 Osien valmistus pyynnöstä tai juuri ajallaan (JIT)	14
2.4.3 Osien yhteen liittäminen ja kokoaminen.....	14
2.4.4 Ekologisuus.....	15
2.5 3D-tulostuksen huonot puolet.....	15
2.5.1 Rajatut materiaalit	16
2.5.2 Tulostimen koko.....	16
2.5.3 Jälkikäsittely.....	16
2.5.4 Tuotantomäärät.....	16
2.5.5 Kappaleiden rakenne	17
2.5.6 Epätarkkuus	17
3 TULOSTIN JA KÄYTETYT FILAMENTIT	18
3.1 3D-tulostin Bambu Lab X1E ja AMS-järjestelmä	18
3.2 Käytetyt filamentit.....	21

3.3	PLA	21
3.4	PETG	22
3.5	PA (nylon)	22
3.6	Mitä pitää ottaa huomioon nylonia tulostaessa?.....	23
4	SUUNNITTELU, VALMISTUS JA TESTAUS	25
4.1	Osien suunnitleminen	25
4.2	Suunnitellut ja valmistetut työkalut ja jigit	27
4.2.1	Särmäystyökalu C-profiilille	27
4.2.2	C-profiilin särmäystyökalu V2.....	28
4.2.3	Hitsausjigi.....	28
4.2.4	Alasärmäystyökalun jigi	29
4.2.5	Porausjigi	30
5	JOHTOPÄÄTELMÄT	32
	LÄHTEET	33

Kuvaluettelo

Kuva 1. Bambu Lab X1E + AMS-järjestelmä.....	20
Kuva 2. Epäonnistunut tulostus PAHT-CF.....	24
Kuva 3. Bambustudio 100 % täyttökuvio.....	25
Kuva 4. Bambustudio 60 % täyttökuvio.....	26

Käytetyt lyhenteet

3D	Three dimensional. Kolmiulotteinen.
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene. Akrylinitriilibutadieenistyreeni.
AM	Additive manufacturing. Materiaalia lisäävä valmistus.
CAD	Computer-aided design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CNC	Computerized Numerical Control. Numeerinen ohjaus.
DXF	Drawing Exchange Format. Vektoritiedostotyyppi.
FDM	Fused deposition modelling. Sulatetun laskeuman mallintaminen.
FFF	Fused filament fabrication. Sulatettujen filamenttien valmistus.
PA	Polyamide/Nylon. Polyamidi/Nylon.
PAHT-CF	Carbon Fiber Reinforced High Temperature Nylon. Hiilikuituvahvistettu korkean lämpötilan nylon.
PBF	Powder bed fusion. Jauhepetiteknikka.
PETG	Polyethylene terephthalate glycol. Polyetyleenitereftalaatti.
PLA	Polyactic acid. Polyaktidi.
STL	Standard template library. Vakiomallikirjasto.
UV	Ultraviolet. Ultravioletti.

1 JOHDANTO

3D-tulostaminen on yleistynyt maailmassa muutaman vuoden sisällä. Osasyynä tähän on ollut se, että tulostimien hinnat ovat laskeneet huomattavasti. Nykyään harrastetason tulostimia saa ostettua jo muutamalla sadalla eurolla. Ammattilaistason tulostimienkin hinnat ovat pudonneet huomattavan paljon. Aiemmin ammattilaistason tulostin maksoi monta tuhatta euroa, nykyään sellaisen saa jo noin tuhannella eurolla. Tämän myötä yhä useammalle yritykselle on suotu mahdollisuus alkaa harjoittamaan 3D-tulostamista. Tulostimet ovat nykyään myös erittäin helppokäyttöisiä, ja tulostamisen voi aloittaa jopa puolen tunnin sisään paketin avaamisesta. Tulostimiin on koodattu asetuksetkin jo valmiiksi materiaalien mukaan, joten säätämistä vaaditaan erittäin vähän. Materiaaleja on useita erilaisia ja niistä saa helposti valittua itselleen sopivan materiaalin kuhunkin käyttötarkoitukseen.

Slaissausohjelmiakin on nykyään useita erilaisia, ja melkein jokaisella tulostinten valmistajalla on oma ohjelma. Ohjelmat toki toimivat useammalla tulostimella ja niistä saakin valittua tarkat asetukset tulostimen merkin ja mallin mukaan. Tällöin tulostin osaa toimia G-koodin mukaan. Mikä parasta, suurin osa näistä ohjelmista on ilmaisia. Niihin on myös ilmaiseksi saatavilla lisäosia ja päivityksiä.

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena oli siis suunnitella ja valmistaa yritykselle 3D-tulostettuja työkaluja ja jigejä helpottamaan heidän sarjatuotantojaan. Tähän asti jiggit oli tehty käyttäen metallia. Tästä syystä jigien tekeminen on ollut kallista ja aikaa vievää, ja usein on todettu, että halvemmaksi tulee vain olla tekemättä minkäänlaista jiggiä. Esimerkiksi joitain kappaleita on jouduttu käsin särmäämään useaan otteeseen yksitellen, kun ne olisi yhdellä työkalulla voitu särmätä useampi kappale kerralla ja yhdellä painalluksella. Muovista valmistetut jiggit olisivat myös siinä mielessä helppoja, että ne ovat halpoja valmistaa ja muokata. Tämä on myös ekologista, koska tehdyn tuotannon jälkeen työkalut voidaan heittää muovinkeräykseen. Tässä työssä oli myös tarkoituksena hieman selvittää, miten eri muovilaadut soveltuvat esimerkiksi särmäystyökalun valmistukseen.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena siis oli:

- Suunnitella ja valmistaa mahdollisuuksien mukaan sarjatuotantokappaleiden valmistusta helpottavia jigejä ja työkaluja.
- Perehtyä erilaisten muovilaatujen soveltuvuuteen jigeinä ja työkaluina.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön ensimmäisessä luvussa kerrotaan johdantoa aiheeseen, sen jälkeen on hieman työn taustaa, tavoitteita ja tietoa yrityksestä. Toisessa luvussa on teoriaa, eli kerrotaan yleisesti 3D-tulostuksesta ja sen eri menetelmistä sekä perehdytään tarkemmin käytössä olleeseen tulostustapaan. Sen jälkeen on vuorossa hieman lisää teoriaa 3D-tulostuksen hyvistä ja huonoista puolista. Kolmannessa luvussa kerrotaan käytössä olleesta tulostimesta ja materiaaleista tarkemmin. Luvussa on myös lyhyt osuus nylonfilamentin tulostamisesta, koska se oli eniten käytössä ollut materiaali. Neljännessä luvussa on kerrottu osien suunnittelusta ja valmistuksesta. Aluksi perehdytään suunnitteluun ja mitä siinä tulisi ottaa huomioon ja luvun lopussa esitellään suunniteltuja ja valmistettuja kappaleita. Viimeisessä eli viidennessä luvussa on johtopäätelmät opinnäytetyöstä.

1.4 Yritysesittely

Tässä opinnäytetyössä toimeksiantajana toimi Plate Power Oy. Plate Power Oy sijaitsee Lapualla valtatie 66 varressa. Yritys on perustettu vuonna 2002 ja se työllistää noin 40 henkilöä (Plate Power, i.a.). Plate Power valmistaa pääosin alihankintana ohutlevykomponenttiratkaisuja muun muassa juna-, traktori-, rakennus- ja laivateollisuuteen. Yrityksen palveluihin kuuluvat esimerkiksi lävistys ja laserleikkaus, särmäys, hitsaustyöt, kokoonpano ja suunnittelu. Yritys noudattaa sertifioitua laadunhallintajärjestelmää ISO 9001:2015.

2 3D-TULOSTAMINEN YLEISESTI

2.1 3D-tulostamisen teoriaa

3D-tulostaminen sai alkunsa 1980-luvulla, kun teollisessa tuotekehityksessä haluttiin saada nopeammin aikaan prototyyppejä (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Chuck Hullia pidetään 3D-tulostimen keksijänä, kun hän patentoi 1984 keksintönsä SLA:n eli stereolitografialaitteen. Vaikka Hull onkin nimekkäin keksijä, on 1980-luvulla tehty muitakin 3D-tulostamiseen liittyviä keksintöjä. 1981 japanilainen Hideo Kodama kehitti laitteen, joka käytti UV-valoa photopolymerien kovettamiseen. Laite ei kuitenkaan tuolloin herättänyt kiinnostusta, joten patentointi hylättiin. 1984 joukko ranskalaisia keksijöitä kehitti Kodaman laitetta vastaavan laitteen, mutta senkin patentointi hylättiin, koska sen ei uskottu tuovan mitään potentiaalista hyötyä yrityksille. 1987 Hull keksi STL-tiedostomuodon, ja myöhemmin samana vuonna hän perusti 3D Systems -yrityksen.

Mitä 3D-tulostaminen sitten on? 3D-tulostamisella tarkoitetaan menetelmää, jolla luodaan digitaalisesta tiedostosta fyysinen kolmiulotteinen malli. 3D-tulostamisesta käytetään myös nimitystä lisäävä valmistus, AM. Seuraavaksi hieman lisää erilaisista tavoista 3D-tulostaa.

2.2 3D-tulostuksen eri luokat

Nesteen (yleisesti hartsin) photopolymerointi, eli Vat photopolymerization (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Siinä hartsin läpi johdetaan UV-valoa, joka saa hartsin muuttumaan kiinteäksi. Tämä menetelmä sopii parhaiten, jos halutaan saada aikaan tarkkoja yksityiskohtia ja sileäpintaisia esineitä. Haittoina tässä valmistusmenetelmässä on, että tuotteet ovat melko hauraita, vaativat paljon tukirakenteita ja laajalti jälkikäsittelyä.

Jauhepetimenetelmä eli PBF on 3D-tulostusmuoto, jossa käytetään lämpölähdettä sulattamaan muovi- tai metallikerroksia yksitellen (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Tulostusalustalle levitetään aina kerros jauhetta, joka sulatetaan haluttuun muotoon, ja tätä toistetaan, kunnes kappale on valmis. Tämän menetelmän hyötyjä ovat, että saadaan kestäviä osia, voidaan tehdä monimutkaisia geometrioita, kappaleita on helppo skaalata ja niihin ei tarvitse tehdä tukirakenteita. Huonoja puolia ovat kappaleiden pidempi valmistusaika sekä kalliimpi valmistushinta.

Materiaalin pursotus eli FDM on näistä menetelmistä tällä hetkellä yleisin. Tätä menetelmää hyödynnettiin myös opinnäytetyössä. Siinä siis materiaalia pursotetaan suuttimen läpi tulos-
tusalustalle kerros kerrokselta (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Näin saadaan aikaiseksi haluttu rakenne. Tässä menetelmässä hyötyjä ovat, että se on nopeaa, halpaa ja sillä saa-
daan tulostettua useita erilaisia thermoplastisia materiaaleja. Menetelmän haittapuolia ovat pinnan laatu, kappaleiden vaatimat tukirakenteet, skaalaamisen hankaluus sekä vaihteleva tulostustarkkuus.

Materiaalin suihkutuspaine eli Material jetting -teknologiassa käytetään UV-valoa tai lämpöä kovet-
tamaan photopolymeerejä, metallia tai vahaa (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Tässäkin menetelmässä kappaleet kootaan kerroksittain. Hyötyjä ovat, että prototyypeistä saa melko realistisia, yksityiskohdat ovat erinomaisia, tulostuksen tarkkuus on erittäin korkeaa luokkaa ja pinnan viimeistely on sileä. Haittoja ovat, että menetelmä maksaa paljon ja kappaleet ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan hauraita.

Sidosaineen suihkutuspaine eli Binder jetting on menetelmä, jossa sidosainetta suihkutetaan ohui-
siin kerroksiin jauhemaista materiaalia (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Toisin kuin muissa 3D-tulostusmenetelmissä, tässä menetelmässä ei vaadita lainkaan lämpöä. Menetel-
män hyviä puolia ovat, että materiaalien valikoima on laaja, ei vaadita tukirakenteita, osat ei-
vät vääntyile tai kutistu. Huonoja puolia, että osat ovat melko hauraita ja vähemmän tarkkoja, kuin materiaalin suihkutuksessa.

Suorakerrostusmenetelmä tunnetaan nimellä Direct energy deposition (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Siinä kappaleet luodaan sulattamalla jauhetta haluttuun muotoon. Tätä käytetään enimmäkseen metallia tulostettaessa. Hyötyjä ovat osien kestävyys ja lujuus, laaja ma-
teriaalivalikoima ja kappaleiden suuruus. Haittoina ovat korkeat kustannukset ja huono pin-
nan laatu.

Viimeisimpänä on kerroslaminointi eli Sheet lamination (Protolab Network by HUBS, i.a.-a). Tässä menetelmässä pinotaan ja laminoidaan ohuita kerroksia materiaalia, jotta saadaan tehtyä haluttu kappale. Kerroslaminointia voidaan tehdä muutamalla eri tavalla. On olemassa liimaus, ultraäänihitsaus ja juottaminen. Hyödyt ovat, että se on nopeaa, halpaa, ei vaadi

välttämättä tukirakenteita ja saadaan useasta eri materiaalista tehtyä kerrokset. Haitat ovat, että yleensä kappale vaatii jälkikäsittelyä ja valmistusjälki vaihtelee.

2.3 FDM 3D-tulostus

Tässä opinnäytetyössä käytössä oli siis FDM-tulostusmenetelmä. Tutustutaan siihen hieman tarkemmin. FDM, toiselta nimeltä myös FFF, toimii siten, että tulostin syöttää sulatettua filamenttia tulostusalustalle kerros kerrokselta, kunnes haluttu kappale on valmis (Protolab Network by HUBS, i.a.-b). FDM käyttää digitaalisia tiedostoja, jotka ladataan tulostimeen, ja ne muunnetaan fyysisiksi kappaleiksi. Materiaaleina käytetään muun muassa sellaisia polymeerejä kuin ABS, PLA ja PETG. Muovit ovat yleensä lankamaisena rullana kelalla. Tätä lankaa tulostin syöttää kuuman suuttimen läpi. Tulostinta käytetään siis siten, että ladataan muovikela tulostimeen. Kun suuttimen lämpötila saavuttaa halutun lämpötilan, se alkaa syöttää filamenttia tulostuspään ja suuttimen läpi.

Tulostuspää on kiinnitetty kolmiakseliseen systeemiin, jonka avulla se voi liikkua X-, Y- ja Z-akseleilla (Protolab Network by HUBS, i.a.-b). Tulostin pursottaa sulaa materiaalia ohuina säikeinä ja asettaa ne kerros kerrokselta mallin muotojen mukaisesti. Kun aine on pursotettu, se jäähtyy ja kovettuu. Tulostuspäässä on tulostimesta riippuen yksi tai useampi tuuletin, jonka avulla aine jähmettyy nopeammin. Yleensä kappaleen valmistus vaatii useamman kerroksen. Kun kerros on saatu valmiiksi, jälleen tulostimesta riippuen joko tulostuspää nousee tai tulostusalusta laskee hieman ja uuden kerroksen tulostaminen alkaa. Tätä prosessia toistetaan, kunnes kappale on valmis.

FDM-tulostuksessa tulee ottaa huomioon tulostusasetuksia, jotka vaihtuvat yleensä materiaalin mukaan. Yleisimmät asetukset koskevat suuttimen ja tulostusalustan lämpöä, tulostusnopeutta, kerroksen korkeutta/paksuutta sekä tuulettimen nopeutta (Protolab Network by HUBS, i.a.-b). Näitä asetuksia säätämällä pääsee jo pitkälle, mutta on myös olemassa paljon hienosäätöasetuksia, joilla tulosteen laatua voi entisestään parantaa. Tulostettaessa tulee ottaa myös huomioon tulostimen fyysiset ominaisuudet eli kuinka suuren kappaleen sillä pystyy tulostamaan. Tavallisten pöytämallisten tulostimien rakennuskoko on 200 x 200 x 200 mm. Teollisuuskäyttöön valmistettujen tulostimien koko voi olla jopa 1000 x 1000 x 1000 mm. Jos haluaa käyttää pienempää tulostinta, voi myös isompia kappaleita tulostaa pienempinä osina. FDM:lla tulostettaessa yleisin kerrospaksuus on 50–400 mikronia. Matalampia kerroksia

tulostettaessa tulosteiden pinnan laatu on parempi ja geometriat saa tehtyä tarkemmin. Paksumpia kerroksia tehtäessä osat tulostuvat nopeammin ja maksavat vähemmän, koska niihin kuluu vähemmän materiaalia.

2.4 3D-tulostuksen hyödyt

3D-tulostuksen hyödyt alkavat suunnittelun vapaudesta (Sacco, 2024). Osien suunnittelu ja niiden tekemisen suunnittelu 3D-tulostuksen ja muiden menetelmien välillä on suunnilleen saman hintaista, koska molemmissa käytetään samoja CAD-ohjelmia. Materiaalien hinnat ja osien monimutkaisuus ovat kaksi asiaa, jotka vaikuttavat hintaeroihin. Perinteisemmät valmistusmenetelmät, kuten esimerkiksi ruiskuvalu ja CNC-koneistus, eivät juurikaan tarjoa mitään oikotietä, jos pitää valmistaa monimutkaisia osia tai lisätä kappaleiden valmistusnopeutta. Kappaleet täytyy valmistaa ottaen huomioon kaikki näille valmistusmenetelmille ominaiset rajoitteet, kuten työkalujen mahtuminen tiettyihin väleihin tai yhtenäisen seinäpaksuuden tekeminen muottiin.

3D-tulostuksessa sen sijaan on erittäin vähän näitä rajoitteita (Sacco, 2024). FDM-tulosteen suunnittelussa keskitytään pääosin vain siihen, että kappaleeseen tulisi mahdollisimman vähän tukirakenteita tai että ne olisivat helposti poistettavissa kappaleesta. Tämä mahdollistaa sen, että suunnittelijalla on enemmän vapauksia suunnittelun suhteen. 3D-tulostettavien kappaleiden käyttökohteita on tästä syystä melkein rajaton määrä. Niitä voidaan käyttää myös sellaisissa kohteissa, joihin perinteisillä menetelmillä olisi mahdoton valmistaa osia. Tavallinen 3D-tulostin voi valmistaa monenlaisia eri osia kuten esimerkiksi tiivisteitä kemian tehtaille, satelliittien runko-osia, yksinkertaisia klipsejä, vesipumpun siipipyöriä tai vaikka leluja lapsille. Rajoitteet ovat vain tekijän päässä.

2.4.1 Prototyyppien luominen nopeasti

Kuten aiemmin mainittiin, 3D-tulostus luotiin varta vasten prototyyppien tekemistä varten. 3D-tulosteiden suunnittelun vapauden myötä prototyyppien muokkaaminen on erittäin helppoa. Kuten myöhemmin käy ilmi, useasta Plate Power Oy:lle tehdystä työkalusta tehtiin ensin karka prototyyppi, tulostettiin se, kokeiltiin, toimiiko/istuuko paikalleen, tehtiin tarvittavat muutokset ja sen jälkeen tehtiin lopullinen versio. Tähän ei yleensä kulunut kuin muutama tunti, riippuen toki prototyypin muokkaustarpeesta ja tulostusajasta. Aikaa säästyy huomattavan

paljon, kun ei tarvitse joka kerta esimerkiksi tehdä uutta muottia osaa varten, kun osan geometriaa muutetaan. Tämä on myös halvempaa, sillä karkeat prototyypit voitiin tehdä halvemmasta muovista (esimerkiksi PLA) ja heppoisella täytöllä, eli filamenttia kuluu vähemmän. Sen jälkeen oikea osa valmistettiin kalliimmasta ja kestävämmästä materiaalista (PA-6CF).

2.4.2 Osien valmistus pyynnöstä tai juuri ajallaan (JIT)

3D-tulostamisesta on yrityksille monia hyötyjä, mutta yksi suurimmista on valmistusaikojen lyhentyminen (Sacco, 2024). Yrityksillä on yleensä juuri heidän tarpeidensa mukaan suunniteltu varastojärjestelmä, mutta kukaan ei toivo toimitusketjuunsa häiriöitä, jotka voisivat johdattaa siihen, että määräajat menevät umpeen. Joskus tällaisia ennalta-arvaamattomia tilanteita saattaa tulla eteen, ja siksi on tärkeää olla jokin keino, jolla kompensoida niitä. Nämä keinot ovat osien valmistus pyynnöstä tai JIT eli just in time. Nämä tarkoittavat sitä, että kappale menee suoraan valmistajalta asiakkaalle kulkematta varaston kautta. Kun yrityksellä on valmiit mallit olemassa, uudet kappaleet voidaan valmistaa nopealla aikataululla ja näin pitää asiakkaat tyytyväisenä.

Yleensä varastoihin tehdään valmiita osia odottamaan, jotta niitä saadaan käyttöön, kun tarve vaatii (Sacco, 2024). Varaosien tarpeen määrää on välillä hankala ennustaa ja välillä niitä saattaakin jäädä varastoon lojumaan suuria määriä. Tällöin ne vievät turhaa varastotilaa ja lisäävät siten kustannuksia. Tämän voi kuitenkin ratkaista 3D-tulostimilla. Varaosia voidaan säilyttää pilvipalvelussa ja tulostaa tarpeen mukaan lisää. Osat eivät tällöin vie fyysistä tilaa ja niiden varastointiin ei tarvitse käyttää resursseja. Jos yrityksellä on useita konttoreita ympäri maata tai maailmaa, voidaan myös kuljetuskustannuksia vähentää, kun osa voidaan ottaa pilvipalvelusta ja tulostaa lähimmällä paikkakunnalla. Tämä on myös ekologisempi ratkaisu, kun kappaletta ei tarvitse kuljettaa maasta toiseen, esimerkiksi Suomesta Yhdysvaltoihin.

2.4.3 Osien yhteen liittäminen ja kokoaminen

Kun ajatellaan muita 3D-tulostamisen hyötyjä, tulee mieleen myös osien liitettävyyys. 3D-tulosteita suunniteltaessa pystyy siis osan osista liittämään toisiinsa valmiiksi, ja ne pystytään tulostamaan yhdellä tulostuksella kiinni toisiinsa. Perinteisillä menetelmillä, kuten esimerkiksi CNC-koneistamalla, osat täytyisi tehdä erikseen ja liittää toisiinsa joko pulttiliitoksella tai

hitaamalla. 3D-tulostus siis säästää resursseja ja aikaa tuotannosta. Näin ollen myös materiaalia kuluu vähemmän. Toki, kun lähtee tekemään näitä niin sanottuja yhteen liitettyjä tulosteita, on hyvä huomioida, että niiden suunnittelussa täytyy ottaa enemmän asioita huomioon, jotta niistä saadaan kestäviä tai toisiinsa hyvin istuvia. Esimerkiksi, jos lähtee tekemään tassaiseen osaan tappimaista uloketta, on sen alaosaan hyvä tehdä pyöristys tai tehdä osasta ontto, jolloin siihen saa lisää seinämäpaksuutta. Joskus myös osan tulostuskulma vaikuttaa siihen, miten kestävä siitä tulee.

Yhteen liitettävissä osissa on myös hyvä ottaa huomioon, että osien väliin tulee jättää ilmaraako (Packer, 2019). Tällä vältetään se riski, että osat eivät sula toisiinsa kiinni. Yleisesti hyvänä ilmarakona on pidetty 0,2 millimetriä. Tämä sama pätee myös, jos halutaan tehdä väljyksiä kappaleiden välille, kun liittää kaksi erillistä kappaletta tiukasti yhteen. Tämä tuli huomattua myös useampaa jigia tehtäessä, että tulostusmateriaalin mukaan väliä on hyvä jättää ainakin tuo 0,2 millimetriä. Joidenkin kappaleiden kohdalla testattiin myös 0,15 mm väljystä. Se toimi ainakin PLA-tulosteissa, mutta PA-HTCF:n kanssa oli ongelmia niin pienen väljyksen kanssa. Tämä saattoi kuitenkin johtua siitä, että filamenttia ei ollut ohjeiden mukaisesti kuivattettu ennen käyttöä.

2.4.4 Ekologisuus

3D-tulostus tuottaa suhteessa varsin vähän jätettä (McClements, 2022). Yleensä suurin jättemäärä tulee poistetuista tukirakenteista. Yleisesti FDM-menetelmä on luotu siten, että materiaalia käytetään vain niihin kohtiin, mihin sitä oikeasti tarvitaan. Osien muokkaaminen hiomalla tai muulla materiaalia poistavalla tavalla on yleensä turhaa. Välillä tulosteet saattavat mennä pieleen, jolloin yleensä koko kappale päättyy roskiin. Onneksi suurin osa materiaaleista on kierrätettävissä. Jotkut myös tekevät suoraan itse ylijäävästä filamentista uutta nauhaa tai muita tuotteita, sulattamalla sitä ja pursottamalla uudestaan kelalle tai muottiin.

2.5 3D-tulostuksen huonot puolet

Kuten kaikilla muillakin menetelmillä, on myös 3D-tulostuksella omat rajoitteensa ja huonot puolensa, jotka tulisi ottaa huomioon.

2.5.1 Rajatut materiaalit

Vaikka tulostuksessa voidaankin käyttää monia erilaisia metalleja tai muoveja, on silti niiden valikoima melko suppea (TWI-Global, i.a.). Tämä johtuu siitä, että kaikkia muoveja tai metalleja ei voida kontrolloida lämmöllä niin hyvin, että ne soveltuisivat 3D-tulostamiseen. Sen vuoksi vain harvat niistä ovat turvallisia käytettäväksi esimerkiksi elintarviketeollisuudessa. On myös huomattava, että kaikilla tulostimilla ei voi tulostaa kaikkia materiaaleja.

2.5.2 Tulostimen koko

Kuten aiemmin mainittiin, suurin osa nykyisistä tulostimista on kooltaan noin luokkaa 200 x 200 x 200 millimetriä, joten niillä ei voi tehdä kovin suuria kappaleita. Jos haluaa tehdä suurempia kappaleita, pitää ostaa kalliimpi erikoistulostin. Se taas maksaa huomattavasti enemmän kuin pöytämallinen tulostin. Toisena vaihtoehtona on tulostaa kappaleet osissa, jolloin ne täytyy liittää toisiinsa erilaisilla menetelmillä, ja se lisää valmistusaikaa.

2.5.3 Jälkikäsittely

Varsinkin monimutkaiset osat vaativat yleensä tukirakenteita tulostettaessa. Nämä tukirakenteet täytyy yleensä manuaalisesti poistaa kappaleesta tulostuksen jälkeen (TWI-Global, i.a.). Jos kappaleen tukirakenteet on tehty samasta materiaalista kuin kappale, niiden poistamisen jälkeen kappaleen pintaan saattaa jäädä röpelöisiä tai muuten karheita osia. On myös olemassa tukimateriaaleja, jotka liukenevat veteen tai johonkin muuhun liuottimeen. Niiden poistosta jää yleensä tasaisempi pinta, mutta niiden tekemiseen vaaditaan tulostin, jolla pystyy tulostamaan useampaa materiaalia samaan aikaan. Liukenevat tukimateriaalit ovat myös yleensä kalliimpia verrattuna tavalliseen filamenttiin. Tulostusalusta on myös hyvä puhdistaa jokaisen tulostuksen jälkeen, jotta sen pintaan ei jää epäpuhtauksia tai jäämiä tartunta-aineista. Tämä takaa myös sen, että uusi tuloste tarttuu paremmin kiinni alustaan.

2.5.4 Tuotantomäärät

Vaikka 3D-kappaleiden tekeminen on yleensä suhteellisen halpaa, tuotannon volyymin kasvaessa yksittäisen kappaleen hinta ei laske niin paljoa (TWI-Global, i.a.). Tämä eroaa siitä, jos kappale tehtäisiin esimerkiksi muottiin valamalla. Pieniä kappaleita voi tuki tulostusalustan koon mukaan tehdä useampia, mutta se kasvattaa tulostusaikaa huomattavasti ja saattaa

vaikuttaa yksittäisten kappaleiden laatuun.

Plate Power Oy:lla laskettiin yhden tulostettavan tuotteen kappalehinnaksi vajaa 3 euroa, mutta tulostusaika tälle on reilu 2 tuntia ja kappale on sen kokoinen, että sitä ei pysty tulostamaan kuin yhden kappaleen kerrallaan. Aiemmin tuote on tehty muottiin valamalla ABS-muovista. Nähtäväksi jää, aletaanko sitä valmistaa 3D-tulostamalla jatkossa. Sarjatuotanto vaatisi ainakin useamman tulostimen.

2.5.5 Kappaleiden rakenne

FDM-tulostuksessa kappaleet siis rakennetaan kerros kerrokselta (TWI-Global, i.a.). Vaikka nämä kerrokset yleensä kiinnittyvät toisiinsa hyvin ja luovat yhtenäisen rakenteen, saattavat ne silti murtua tietynlaisen rasituksen alla. Osa muoveista myös käyttäytyy eri tavalla. Yksi muovi saattaa kestää hyvinkin taivuttelua ja iskuja, kun taas toinen murtuu heti, jos sitä hieinan taivuttaa eri suuntaan. Tähän törmättiin myös muutamaa jigiä tehdessä. Sen takia on tärkeää valita oikea muovi oikeaan käyttötarkoitukseen ja myös oikeat asetukset tulostettaessa.

2.5.6 Epätarkkuus

3D-tulosteet eivät ole tunnettuja mittatarkkuudestaan (McClements, 2022). Osat saattavat vääntyä tulostettaessa ja eri materiaalit käyttäytyvät eri tavalla tulostettaessa. Joskus materiaali saattaa vaatia aivan hiuksen hienoja säätöjä, jotta tulostusjälki saadaan optimaaliselle tasolle. Siltikään 3D-tulostimet eivät millään pärjää tarkkuudessa esimerkiksi CNC-koneille, joiden mittatarkkuus saattaa olla 0,025 millimetrin luokkaa. Tavallisen 3D-tulostimen tarkkuus on tavallisesti jotain 0,2 ja 0,4 millimetrin väliltä.

3 TULOSTIN JA KÄYTETYT FILAMENTIT

Kun valitaan 3D-tulostinta, on tärkeää ensin perehtyä siihen, mitä sillä aikoo tehdä. Ennen ostoa on siis hyvä ensin vertailla tulostimia ja niiden ominaisuuksia. Seuraavassa osiossa kerrotaankin tarkemmin käytössä olleesta tulostimesta ja materiaaleista.

3.1 3D-tulostin Bambu Lab X1E ja AMS-järjestelmä

Bambu Lab X1E 3D-tulostin (kuva 1) tarjoaa käyttäjälleen erinomaiset tulostusominaisuudet, kuten tulostinpään, joka lämpiää jopa 320 celsiusasteen kuumuuteen, ja lämmitetyn rakennuskammion (3DKauppa, i.a.). Tulostin on myös suojattu WPA-2 Enterprise Wi-Fi-suojauksella. X1E on aiemman X1 Carbonin jatkojalostettu versio, joka on siis suunniteltu ammattimaiseen käyttöön. Laite on mahdollista yhdistää Ethernet-portilla verkkoon, mutta siinä on myös valinta, jolla sen saa yhdistettyä Wi-Fiin. Laite toimii mainiosti etäyhteydellä jopa usean kymmenen kilometrin päästä. Laitteesta löytyy myös raskas ilmanpuhdistusjärjestelmä. Tämän ansiosta laitteella voi tulostaa useita eri materiaaleja, jotka muodostavat haitallisia höyryjä tulostettaessa. Se myös vähentää haitallisten hiukkasten pääsyn huoneilmaan.

Kuten edellä mainittiin, laitteessa on myös lämmitettävä kammio (3DKauppa, i.a.). Laite on suunniteltu siten, että se voi itse aktiivisesti säädellä ja lämmittää kammiota. Tällä tavoin kappaleille saadaan paras mahdollinen tulostuslaatu erityisesti ABS- ja PC-filamenttien kohdalla, koska ne ovat alttiita vääntymään. Lämmitetty kammio mahdollistaa myös sen, että sillä voidaan tarvittaessa kuivata filamentteja. Laitteesta saa valittua ajan sekä lämpötilan, jossa filamenttia halutaan kuivata. Tulostimen suuttimen lämpötila nousee myös erittäin korkeaksi. Tämä mahdollistaa sen, että sillä voi tulostaa tehokkaampia materiaaleja kuten käytössä olleet PA-HTCF ja PA6-CF.

Tulostin on myös varustettu tekoälyyn perustuvalla tulostuksen seurannalla (3DKauppa, i.a.). Siinä tekoälyalgoritmi havaitsee ensimmäisestä kerroksesta epätäydellisyydet. Sen avulla se voi keskeyttää tulosteen heti alkuunsa, jotta se ei epäonnistu kokonaan. Laite on myös varustettu tärinän ja pursotuksen kompensoinnilla, jotta tulostuslaadusta saataisiin tasainen. Kaiken tämän laite suorittaa itse automaattisesti, joten käyttäjältä ei vaadita mitään manuaalisia säätöjä.

Tässä kyseisessä laitteessa on myös lisäosana Bambu Labin AMS-järjestelmä, eli Automatic Material System (3DKauppa, i.a.). Tämä mahdollistaa sen, että tulostimella voidaan tulostaa jopa neljää eri väriä. AMS-järjestelmä myös pitää filamentit kuivana ja havaitsee, kun lanka on loppumassa tai jos lanka menee solmuun.

Muutaman kuukauden käytön aikana tuli vain kourallinen pilalle menneitä tulosteita ja kerran tänä aikana laite vaati huoltoa piirikortin mentyä rikki.



Kuva 1. Bambu Lab X1E + AMS-järjestelmä.

3.2 Käytetyt filamentit

Tulostuksia tehtäessä pyrittiin ensin tekemään suuntaa antava malli, jota kokeiltiin paikalleen toimivuuden ja istuvuuden varmistamiseksi. Tämän jälkeen oikea työkalu tai jiggi tulostettiin kovemmasta ja kestävämmästä materiaalista.

3.3 PLA

Prototyyppeihin siis käytettiin PLA-muovia, joka on yleisin muovilaatu 3D-tulostuksessa. Se on yleensä myös halvin mahdollinen muovilaatu. 1 kg:n filamenttirulla maksaa halvimmillaan noin 10 euroa.

Yksi käytetyistä PLA-filamenteista oli Bambu Labin PLA-CF, joka on hiilikuituvahvisteinen muovi. Hiilikuiturakenteen ansiosta sillä on mekaanisesti paremmat ominaisuudet kuin normaalilla PLA:lla (Bambu Lab Eu, i.a.). Sen tulostusmittatarkkuus myös muuttuu tavallista vähemmän, joten sillä saa tarkempaa laatua aikaiseksi. PLA-CF:ää tulostettaessa pitää ottaa huomioon, että se ei sovellu käytettäväksi 0.2 mm halkaisijaltaan olevan suuttimen kanssa, koska hiilikuitusäkeet eivät välttämättä mahdu suuttimesta läpi, joten tukkiutumisaara on suuri. Suutin ei myöskään saisi olla ruostumatonta terästä, koska se ei ole tarpeeksi kestävä. Hiilikuitusäkeet saattavat olla kovempia kuin suutin itsessään, joten tämä voi aiheuttaa ongelmia tai saada jopa vahinkoa aikaan. Filamentti tulisi myös kuivattaa ennen tulostusta, jotta saadaan aikaan paras mahdollinen tulostusjälki.

Toinen käytetty PLA filamentti oli Polymakerin Polyterra PLA. Tämä filamentti on mattapintainen ja sitä saa tilattua montaa erilaista väriä ja laatua (Polymaker. i.a.). Se on erittäin helppo tulostettava, joten se ei vaadi tekijältä tai tulostimelta juuri mitään erikoista. Polyterra PLA on myös ominaisuuksiltaan erinomainen, joten eri muodot eivät tuota sille vaikeuksia. Sitä voi tulostaa isolla lämpötilaerolla ja se sopii kaikkiin ekstruusiopäisiin tulostimiin. Lisäksi siitä irtoaa tukirakenteet hyvin ja se on ekoystävällistä.

Kumpaakaan PLA-filamenttia tulostettaessa ei kohdattu mitään ongelmia ja kaikki tulosteet onnistuivat kerralla

3.4 PETG

Tulostamisessa käytettiin myös PolyLite PETG-muovia. PETG on hinnaltaan melkein yhtä edullista kuin PLA, mutta ominaisuuksiltaan parempaa (3D-cadsolutions, i.a.). Vetolujuus on esimerkiksi $31,9 \pm 1,1$ MPa ja taivutuslujuus $53,7 \pm 2,4$ MPa, kun taas PLA alimmillaan 5 MPa. (Matweb, i.a.). Tulostettaessa PETG-muovista tulee erittäin kiiltävä ja sileä pinta. Muovin huono puoli on se, että sen tulostusnopeus on hieman alhaisempi, vain noin 30-50 mm/s.

3.5 PA (nylon)

Eniten työkalujen tekoon käytettiin erilaisia nylonista valmistettuja filamentteja. Yksi näistä oli Bambu Labin PAHT-CF eli hiilikuituvahvistettu korkean lämpötilan nylon. Se tarjoaa erinomaiset mekaaniset ja lämpöominaisuudet, jotka se pystyy säilyttämään, vaikka kappale kastuisi (Bambu Lab Eu, i.a.). PAHT-CF on ideaali materiaali teknisten osien, kuten toimivien prototyyppien, työstökalusteiden, ruiskuvalumuottien, jigien ja pienivolyymisien tuotanto-osien luomiseen. Ominaisuuksiensa vuoksi se valittiinkin materiaaliksi suurimpaan osaan jigeistä. Nylonin tulostuksessa tulee ottaa huomioon, että filamentti kannattaa kuivattaa huolellisesti ennen tulostamista. Tätä neuvoa ei kuitenkaan ihan aina noudatettu, jonka vuoksi muutama tulostus epäonnistui kokonaan tai pinnanlaatu jäi huonoksi.

Toinen käytetyistä nylonfilamenteista on myös Bambu Labin valmistama PA6-CF. Se on myös hiilikuituvahvistettua ja ominaisuuksiltaan erittäin jäykkää ja kestävää kuivissa ympäristöissä (Bambu Lab Eu, i.a.). Se säilyttää myös lämpökestävyyden ja iskunkestävyyden erinomaisesti. Kuten muutkin Bambu Labin CF -filamentit, tämäkin tarjoaa loistavat mekaaniset ominaisuudet. Siksi se on ideaali vaihtoehto käytettäväksi esimerkiksi puristimissa, autoteollisuuden komponenteissa tai muissa kuivan tilan laitteissa. Tulostetut osat kestävät myös värähtelyä erinomaisesti.

3.6 Mitä pitää ottaa huomioon nylonia tulostaessa?

FDM-tulostinta käytettäessä nylon voi olla erittäinkin haasteellinen tulostettava (kuva 2). Ei kannata siis odottaa, että tulostaminen olisi yhtä helppoa kuin esimerkiksi PLA:ta tulostettaessa (Schwaar, 2024). Kuitenkin kun käytössä on oikeat asetukset, niin tulostamisen tulisi olla hyvin hallittavissa.

On olemassa erittäin suuri valikoima eri tyyllisiä nylonfilamentteja, joista suosituimpia ovat hiilikuitua sisältävät langat. Ne kuitenkin lisäävät vielä entisestään tulostuksen haastavuutta. Nylonfilamenttia valittaessa kannattaakin aloittaa ensin tulostimen valmistajan omista filamenteista. Valmistajat ovat yleensä luoneet filamentit suoraan sopivaksi heidän omille laitteilleen, joten tulostimesta löytyy valmiiksi asetukset parhaan tulostuslaadun takaamiseksi.

Yksi nylonin ominaisuuksista tulostettaessa on se, että se saattaa vääntyä (Schwaar, 2024). Tämän ongelman kompensoimiseksi kannattaa käyttää filamentin valmistajan ehdottamaa tulostusalustaa. Alustaan myös kannattaa laittaa jotain tartunta-ainetta. Useimmat tarvikekaupat myyvät nylonin tulostamiseen tarkoitettua liimaa. Sitä käytettiin myös tässä opinnäytetyössä tehtyihin tulosteisiin. Alustan lämpötilaan kannattaa myös kiinnittää huomiota. Nylon on myös erittäin hydroskooppinen muovi, eli se imee itseensä helposti kosteutta. Tämän vuoksi avattua nylonkelaa tulisi säilyttää ilmatiiviissä tilassa ja mahdollisuuksien mukaan kuivata ennen käyttöä.

Eri filamentit toki imevät kosteutta itseensä eri tavalla, mutta kostean filamentin tunnistaa muutamasta yleisestä merkistä:

- Tulostettaessa kuuluu paukkuva tai poksuva ääni
- Kerrokset eivät tartu toisiinsa ja osien kestävyys vähenee
- Epätasaiset paksuudet kerroksissa
- Tulosteessa näkyy lankoja, töyhtöjä ja valumia
- Tulosteiden pinnat ovat karheita tai muuten tekstuuriltaan epätasaisia



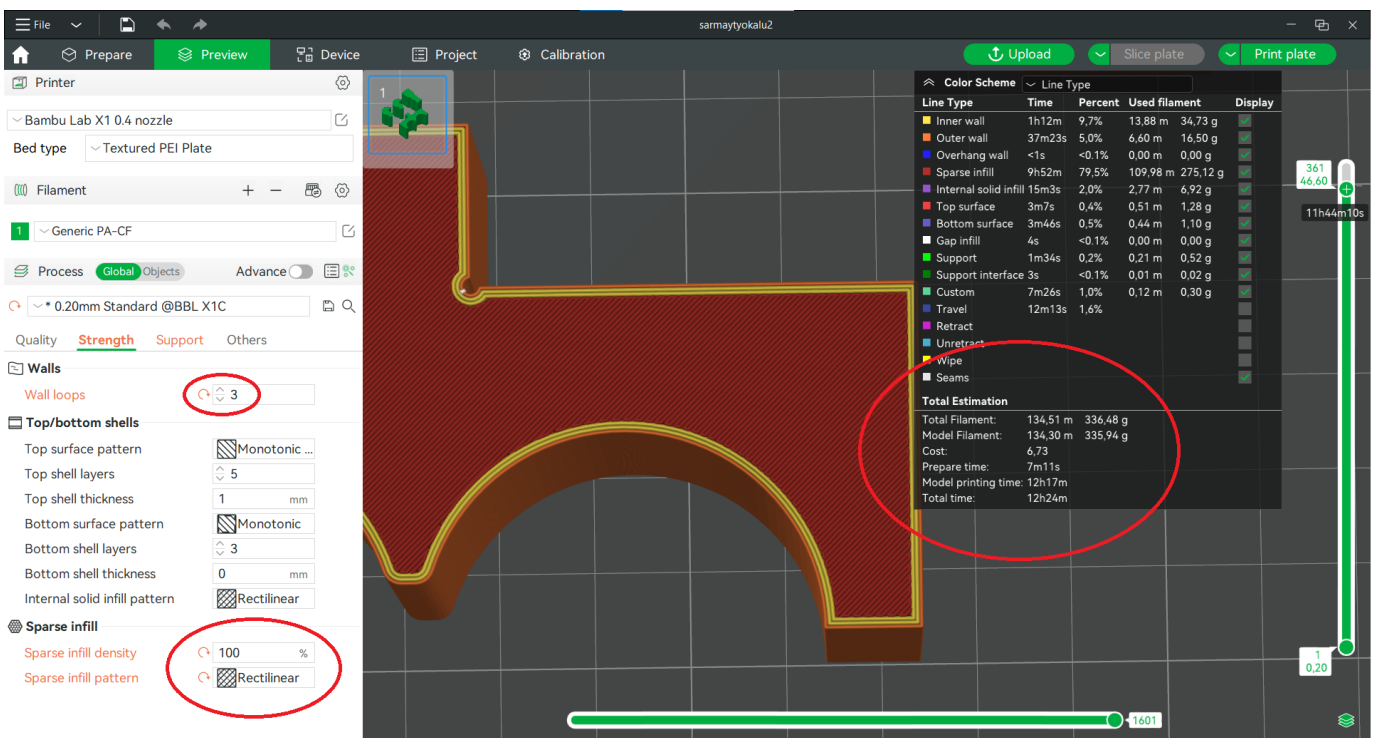
Kuva 2. Epäonnistunut tulostus PAHT-CF.

4 SUUNNITTELU, VALMISTUS JA TESTAUS

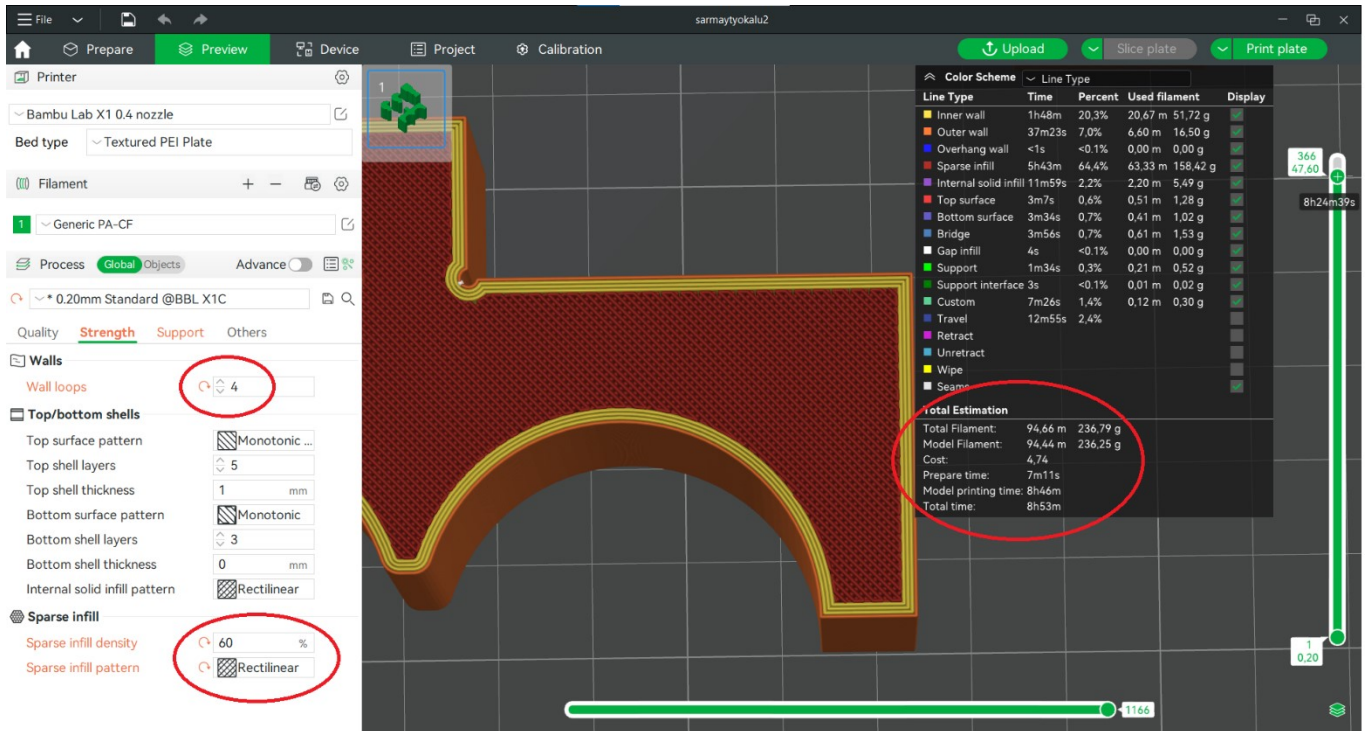
4.1 Osien suunnitleminen

Osia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon joitain seikkoja, jotka vaikuttavat niiden istuvuuteen ja kestävyteen. Toki suurin on materiaalivalinta. Tulostussuunta vaikuttaa myös kestävyteen, eli mistä suunnasta tulostettuun osaan kohdistuu voima. Tämä oli tärkeä varsinkin särmäystyökaluja suunniteltaessa.

Suunnittelussa kannattaa huomioida myös täyttökuvio ja -määrä slicerissa. Tällä voidaan vaikuttaa kappaleen kestävyteen, mutta myös siihen, kauanko kappale tulostuu ja paljonko siihen kuluu materiaalia. Kannattaa miettiä, tarvitseeko esimerkiksi 1 mm paksuisen alumiinin särmäämiseen olla täysin solidi kappale vai riittääkö, jos kappaleen täyttöprosentti on vaikka 60. Kappaleen vahvuutta voi myös kasvattaa lisäämällä seinämien paksuutta. Alla esimerkki kahdesta eri täyttöasteesta ja seinämävahvuudesta (kuva 3 ja 4).



Kuva 3. Bambustudio 100 % täyttökuvio.



Kuva 4. Bambustudio 60 % täyttökuvio.

Kun vertailee saman kappaleen tulostamista hieman eri arvoilla, niin huomaa merkittäviä eroja. Ensimmäisenä huomio kiinnittyy filamentin määrään. 100 % täytöllä filamenttia kuluu reilu 336 grammaa, kun taas 60 % täytöllä vajaa 240 grammaa. Seuraavana kappaleen arvioitu hinta. Ensimmäisen hinta on 6,73 euroa, kun taas toisen 4,74 euroa. Nämä lukemat eivät äkkiseltään kuulosta paljolta, mutta jos tehdään esimerkiksi 10 tai 50 kappaletta, eron huomaa. Suurin eroavaisuus on tulostusaika. Täydellä täytöllä 12 tuntia ja 24 minuuttia, kun taas 60 prosentin täytöllä vain 8 tuntia 53 min. Jälleen, kun miettii useamman kappaleen tekemistä, niin säästö ajan suhteen on jo huomattava. Työkalun keston suhteen tuskin on suuria eroa, mutta edelleen on otettava huomioon se, minkäkokoista ja vahvuista kappaletta työkalulla on tarkoitus särmätä.

4.2 Suunnitellut ja valmistetut työkalut ja jigit

Plate Power Oy:lle suunniteltiin ja valmistettiin opinnäytetyön aikana muitakin kappaleita ja tuotteita, mutta seuraavassa luvussa on esitelty opinnäytetyön kannalta oleelliset kappaleet.

4.2.1 Särmäystyökalu C-profiilille

Ensimmäinen suunniteltu työkalu oli 2,5 mm paksun alumiinikappaleen särmäämistä varten. Kappale piti saada C-profiilin muotoon siten, että ulkoreunojen väli on 36 mm. Tähän asti kappale oli tehty kahdella särmäyksellä, yksi levy kerrallaan. Tämän työkalun ideana oli, että kappale saataisiin tehtyä yhdellä painalluksella ja niitä saataisiin tehtyä monta kerralla. Työkalun suunnittelu alkoi mallintamalla ensin särmättävä osa sekä tasaisena että särmättynä. Sen jälkeen katsottiin internetistä, löytyisikö valmiina suurin piirtein samanlaisia työkaluja, joista voisi hieman ottaa mallia. Ihan tarkalleen samanlaista ei löytynyt, joten suunniteltiin käytettävään särmäriin sopivat ylä- ja alatyökalut. Otettiin särmärissä käytettävistä työkaluista mitat ja tehtiin tarkasti niiden mittojen mukaan työkalujen kiinnityskohdat. Itse särmäysosat mallinnettiin särmättävän kappaleen mukaan käyttäen 0,2 mm väljystä. C-profiilin molemmat kulmat olivat 90 astetta, joten tehtiin työkaluihinkin 90 asteen kulmat. Alatyökaluun tehtiin pienet urat, joiden tehtävä oli helpottaa särmättävän kappaleen keskelle asettamista. Urat tehtiin 0,15 mm offsetillä. Ylätyökalun kiinnitysosan leveys oli 20,3 mm, joten tehtiin tarkalleen sen kokoinen osa. Työkalut tulostettiin PA6-CF muovista ja ne tulostettiin vaakasuunnassa, jotta tekemiseen ei tarvittu ollenkaan tukia. Ensimmäistä ylätyökalua kiinnittäessä todettiin, että se oli liian leveä. Tulostettu pala oli 20,8 mm, joten sitä hieman hiottiin ja lyötiin kumivasaralla, jotta se saatiin osumaan särmäyskoneen yläuraan. Alatyökalu istui täydellisesti.

Ensimmäistä särmättävää kappaletta sovitettaessa huomattiin, että alatyökaluun tehdyt kohdistusurat olivat liian kapeat, eli kappale jäi kellumaan niiden päälle. Siitä huolimatta saatiin kuitenkin särmättyä kolme mallikappaletta. Kappaleiden kulmat jäivät kuitenkin pari astetta vajaiksi ja reunojen leveysmitta oli yhden sentin yli halutun leveyden, kun toleranssi oli $\pm 0,25$ millimetriä.

Seuraavaan prototyyppiin tehtiin pieniä muutoksia, eli ylä- ja alatyökalun kulmat muutettiin 90 asteen sijaan 89 asteeseen, jotta kappale saatiin taittumaan hieman yli. Tällä pyrittiin kompensoimaan sitä, että metalli taipuu särmäyksen jälkeen hieman takaisin. Seuraavat muutokset olivat, että ylätyökalun leveys muutettiin 19 millimetriin ja alatyökalusta poistettiin

kohdistusura. Kappale laitettiin keskelle käyttäen särmäsin omaa vastetta. Näillä pienillä muutoksilla saatiin särmättyä useampi toleransseihin sopiva kappale.

Vaikka molemmat työkalut olivat tehty kestävästä hiilikuituvahvisteisesta nailonista, alkoi niissä näkyä kulumisen jälkiä alle kymmenen särmäyskerran jälkeen. Alatyökalu kului etenkin sisäreunasta, jota vasten kappale painettiin. Yksi tämän mallin huono puoli oli myös se, että kappale jäi välillä kiinni alatyökaluun, eli se jouduttiin poistamaan sieltä pientä voimaa käyttäen. Tästä syystä alettiin kehittää toisenlaista versiota.

4.2.2 C-profiilin särmäystyökalu V2

Ensimmäisen työkalun pohjalta lähdettiin suunnittelemaan samaa särmättävää kappaletta varten toinen työkalu. Tässä työkalussa ylätyökalu pysyi samana kuin aiemmassa versiossa, mutta alatyökalusta piti tehdä sellainen, että kappaleen saisi poistettua sieltä helpommin. Täähän löytyi YouTubesta malli, jonka pohjalta alatyökalua lähdettiin suunnittelemaan. Tarkoitus oli siis, että kappale särmätään kahden rullamaisen palikan väliin ja rullat palautuvat särmäyksen jälkeen takaisin alkuasentoon, jolloin särmättävää kappaletta ei tarvitse erikseen irrottaa alatyökalusta.

Suunnitellun työkalun ulkomuoto oli hyvin samanlainen kuin esimerkkinä käytetyssä työkalussa. Ensimmäinen versio tehtiinkin pelkkien rullien testaamiseksi. Rulliin tehtiin 89 asteen kulma, jotta kappale taittuisi jälleen hieman yli. Muutaman testin jälkeen todettiin, että tässäkin pitää olla enemmän ylitaitetta kulmissa. Näin ollen rulliin tuli 87 asteen kulmat. Jousille tehtiin pienet kolot rullien ja alaosan reunoihin. Alaosan pohjaan tehtiin myös pienet urat ja rullien pohjiin tapit, jotka estäisivät sitä, että rullat eivät pullahda särmäyksen jälkeen ulos alaosasta, kun jousi vetää ne takaisin alkuasentoon. Tämä työkalu jäi kuitenkin suunnittelupöydälle eli sitä ei ikinä valmistettu loppuun saakka.

4.2.3 Hitsausjigi

Yksi suunnitelluista jigeistä oli hitsausta varten. Jigi valmistettiin pitämään suorassa teräväpohjaista levyä, kun se hitsataan kiinni toiseen kappaleeseen. Suunnittelu aloitettiin tuttuun tapaan mallintamalla ensin hitsattavat kappaleet, ja niiden mittojen pohjalta lähdettiin miettimään jigiä. Suunnittelua helpotti se, että pohjalevyssä oli kaksi ovaalin muotoista reikää,

joihin jigi voitiin kohdistaa. Jigiin tuli jättää hieman väljää, koska piti ottaa huomioon metallin vääntyily hitsattaessa. Jigin sisäreunojen ja pystylevyn ulkoreunojen väliin jätettiin ensimmäisessä versiossa 0,5 mm rako. Toinen huomioon otettava asia oli, että hitsauspään piti mahduttaa jigin ja alalevyn väliin. Jigiä oli tosin tarkoitus vain käyttää siihen, että saataisiin pystylevystä päädyt hitsattua alkuun pienellä hitsillä kiinni. Tähän riitti, että jigin alareuna olisi pohjalevystä 40 mm korkeudella. Ensimmäinen jigi olikin hyvin yksinkertainen. Sitä sovitettaessa huomattiin, että väljystä oli jopa hieman liikaa ja pystylevy tarvitsi enemmän tukea. Toiseen versioon lähdettiin tekemään parannuksia tämän pohjalta.

Toiseen versioon tehtiin pulteille paikat, jotta pystylevyn kulmaa saisi säädettyä sen mukaan, miten se vääntyy tai vetelee hitsatessa. Siihen lisättiin siis materiaalia ja tehtiin Solid Edgellä Helix työkalulla M8-pultille sopivat kierteet. Kappale tulostettiin pystyasennossa, joten vaakasuuntaiset kierteet eivät onnistuneet kovin hyvin. Tämä ongelma kuitenkin ratkaistiin asentamalla reikiin kierreinsertit, joihin pultit saatiin osumaan.

Tähän versioon pystylevyn ja jigin välinen rako pienennettiin 0,5 millimetristä 0,2 millimetriin. Tämä ja säätöpulttien lisäyskään eivät auttaneet siihen, että pystylevy pääsi heilumaan liikaa hitsatessa. Versioon kolme tehtiinkin alas lisätuennat, jotka tukisivat pystylevyä vielä enemmän, mutta lopulta tultiin siihen lopputulokseen, että kappaleiden hitsaamiseen pitäisi valmistaa metallista järeämpi jigi. Joten tätä muovista mallia ei käytetty enää loppusarjan aikana.

Huomion arvoisena asiana tämän jigin valmistuksessa oli se, että se tehtiin PLA-muovista, eli valmistettuihin jigeihin ei kulunut montaa euroa filamenttia. Tulostusajatkin olivat melko maltillisia, ensimmäinen versio kesti reilun tunnin ja toinen versio vajaa kaksi tuntia. Eli uutta versiota päästiin kokeilemaan jo saman päivän aikana. Vaikkei siis tämä jigi tullut käyttöön, niin tästä huomattiin se, kuinka vaivatonta on tehdä tulostamalla monta jigiä saman päivän aikana.

4.2.4 Alasärmästyökalun jigi

Erästä särmättävää kappaletta varten tarvittiin erikoistyökalu tai jigi, jotta se saataisiin haastavan muotonsa vuoksi taitettu helpommin. Alatyökaluun oli siis tarkoitus tehdä v-kirjaimen mallinen jigi, joka taittaisi kappaletta hieman pienempään kulmaan kuin alkuperäinen alatyökalu. Kappaleen suunnittelu aloitettiin tuttuun tapaan ensin etsimällä alatyökalun dxf-tiedosto

ja sen mittojen mukaan mallinnettaisiin jigi. Se tehtiin 0,15 mm offsetillä alatyökalun muodosta, koska siitä haluttiin saada mahdollisimman tiukasti istuva. Jigin kulmien väli oli 89 astetta, jotta se taas taittaisi särmättävän kappaleen hieman yli. Säde (R) oli 1 mm. Ensimmäinen versio suunniteltiin siten, että se olisi pelkästään alatyökalun uraan sopiva, eikä menisi työkalun reunojen yli. Jigin muodon ja käyttötarkoituksen vuoksi piti miettiä sopiva tulostusasento. Aluksi kokeiltiin tulostaa kappaleen neljällä eri tavalla, jotta saataisiin selville, mikä on paras asento.

Testituloksen perusteella todettiin, että pystysuunta on kaikista paras. Kaikkien muiden tulosteiden pinnassa oli epätasaisia kohtia tai tulosteet epäonnistuivat muulla tavalla. Esimerkiksi vääntymällä tai irtoamalla alustasta, vaikka alustaan laitettiin Bambu Labin omaa tartunta-ainetta, joka oli suunniteltu erityisesti nylonin tulostamista varten. Kaikki kappaleet valmistettiin samasta materiaalista eli PAHT-CF.

Onnistunutta tulostetta kokeiltiin alatyökaluun ja se istui sinne täydellisesti. Suoritettiin myös muutaman testisärmäys 3 mm paksulla rosteripalalla ja jigi toimi hyvin. Jigillä oli tarkoitus särmätä 5 mm vahvaa mustaa terästä. Ylätyökaluna käytettiin tavallista särmäystyökalua. Testien jälkeen tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että jigistä voisi tehdä sellaisen, että se tulee alatyökalun päälle kokonaan. Todettiin myös, että ylätyökaluunkin pitäisi suunnitella oma jiginsä. Molemmat työkalut suunniteltiin, mutta nekin jäivät valmistamatta.

4.2.5 Porausjigi

Asiakkaalle piti saada 10 mm leveään kappaleeseen kaksi 5 mm leveää reikää molemmin puolin. Tähän saakka reiät olivat hankala saada keskelle kappaleen muodon vuoksi. Kappaleita saatiin myös porattua vain yksi kerrallaan. Eli tarkoitus oli ensin tehdä jigi, jolla porauksen alkureikä saataisiin mahdollisimmat keskelle kappaletta molemmin puolin. Sitä lähdettiin suunnittelemaan jälleen kappaleen dxf-tiedostosta. Mallinnettiin jälleen 0,15 mm offsetillä muodosta jigin sisämitan, jotta kappale saataisiin mahdollisimmat jämäkästi jigiin kiinni. Ulkoosa tehtiin mahdollisimman vähän materiaalia käyttäen, kuitenkin siten, että jigistä saa mahdollisimman kestäväen.

Ensimmäinen malli tehtiin PLA-CF:stä ja se istui täydellisesti kappaleen päälle. Pistepuikkoa varten tehty reikä oli kuitenkin hieman liian pieni ja jigi murtui reikien kohdalta. Toiseen

kappaleeseen tehtiin hieman isommat reiät, ja se valmistettiin PAHT-CF:stä. Tämä tulostus kuitenkin jostain syystä hieman epäonnistui pinnanlaadultaan ja kappale meni jigini sisään todella nihkeästi. Pistepuikkoa testatessa se pääsi vielä hieman heilumaan liikaa merkkausta tehdessä, joten jigini piti tehdä pieniä muutoksia. Merkkausreikien kohtia korotettiin hieman, jotta puikon pää menee mahdollisimman suoraan kappaleeseen. Uusi jigi tulostettiin tällä kertaa PETG-muovista ja se onnistui täydellisesti. Kappale istui jigini sisään jämäkästi ja alkumerkki saatiin tehtyä aivan keskelle kappaletta.

Kappaleeseen poratut reiät eivät tulleet siis kohtisuoraan toisiaan vasten, joten reikien poraaminen ei käynyt myöskään ihan käden käänteessä. Tätä varten suunniteltiinkin toinen jigi, johon saataisiin kerralla useampi näitä kappaleita kiinni, ja niihin saataisiin yhdellä ohjelmalla ajettua kaikkiin reiät. Sitten jigi vain käännettäisiin toisin päin ja ajettaisiin toisen puolen reiät. Tässä haasteena oli, että jigini päädyn tulisi kuitenkin olla 90 asteen kulmassa molemmiin päin, jotta reiät saataisiin varmasti suoraan kappaleeseen. Tämä saatiin kuitenkin toteutettua melko helposti, ilman että jigistä tulisi kovin suuri. Tästä tehtiin testiversio käyttäen jälleen PLA-muovia sen tekemiseen. Kappale sopi jälleen täydellisesti jigini, mutta todettiin, että helpompi on varmaan tehdä kaksi jigijä, eli molemmille puolille erikseen omansa.

Näitä ei kuitenkaan valmistettu ikinä sarjatuotantoa varten, vaan tyydyttiin käyttämään pelkkää pistepuikkoa varten tehtyä jigijä. Tämä siitä syystä, että porattavien osien paksuudessa saattoi olla muutaman millin kymmenyksen verran heittoa. Jos niitä siis olisi monta vierekkäin, kaikki reiät eivät välttämättä tulisi keskelle kappaletta.

5 JOHTOPÄÄTELMÄT

Lähtökohdat tähän projektiin olivat mielenkiintoiset. Keväällä koululla suoritetun harjoittelujakson aikana tuli syvennyttyä 3D-tulostuksen eri osa-alueisiin, minkä myötä kokemusta tulosteiden suunnittelusta ja valmistuksesta oli ehtinyt kertyä. Tämän ansiosta oli miellyttävää havaita, että Plate Power Oy:n henkilöstöä pystyi ajoittain avustamaan tulostimen käytössä sekä materiaalien valinnassa. Projektin aikana karttui edelleen runsaasti tietoa eri materiaaleista ja niiden käyttökohteista. Oli myös ilahduttavaa huomata kehitystä kappaleiden suunnittelutaidoissa. Mallintaminen alkoi sujua nopeammin, ja kappaleiden muokkaamisesta tuli sujuvampaa. Tämän myötä oli mahdollista saada valmiiksi jopa useampia jigejä tai työkaluja yhden päivän aikana.

Opinnäytetyön aikana tuli perehdyttyä syvemmin 3D-tulostamisen hyötyihin ja haasteisiin. Tulosteiden valmistus on suhteellisen nopeaa ja kustannustehokasta. Jigien suunnittelussa ja tulostuksessa on kuitenkin otettava huomioon useita eri tekijöitä. Kuten esimerkiksi valittu materiaali, tulostussuunta, täyttöaste, tuennat yms. Suurin osa tehdyistä jigeistä pystyttiin tulostamaan melko vaivattomasti. Joissakin tapauksissa jouduttiin kuitenkin tekemään useampi testi, jotta voitiin valmistaa optimaalinen jigi.

Myös toleranssien ja istuvuuksien kanssa ilmeni aluksi haasteita. Tulostimen epätarkkuuden vuoksi työkalu saattoi toisinaan olla 0,5 mm liian leveä tai vastaavasti 0,5 mm liian kapea. Yleisesti ottaen, mikäli kappaleet halutaan liittää toisiinsa, käytetään noin 0,2 mm:n väljyyttä. Joissain tapauksissa suunnitteluvaiheessa kappaleen ja jigin välinen vällys oli kuitenkin 0,13 mm, jolloin lopputuloksena oli tiukka sovitus. Mutta kuten aiemminkin mainittiin, niin 3D-tulostin häviää aina tarkkuudessa CNC-koneelle.

Kaiken kaikkiaan työtä voidaan pitää onnistuneena, sillä yritykselle saatiin valmistettua useampia toimivia työkaluja ja jigejä, joiden avulla pystyttiin tehostamaan toimintaa. Projektia olisi ollut mahdollista jatkaa edelleen, sillä yritykselle syntyi jatkuvasti uusia tarpeita, joita 3D-tulosteiden avulla olisi voitu ratkaista. Kiinnostavaa olisi ollut myös tarkastella, miten hyvin särmäystyökalut kestävät käytössä suurten tuotantoerien yhteydessä.

LÄHTEET

3D-cadsolutions. (i.a.). *Polymaker Polylite PETG*.

<https://www.an-cadsolutions.fi/tuote/polymaker-polylite-petg/>

3DKauppa. (i.a.). *Bambu Lab X1E – Carbon Combo*.

<https://www.3dkauppa.com/en/31747-bambu-lab-x1e-carbon-combo.html#attr=4938>

Bambu Lab Eu. (i.a.). *Bambu Lab EU Store products*.

<https://eu.store.bambulab.com/en-fi/products/>

Matweb. (i.a.). *Overview of materials for Polylactic Acid (PLA) Biopolymer*.

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab96a4c0655c4018a8785ac4031b9278&ckck=1>

McClements, D. (15.02.2022). *Complete guide to the pros and cons of 3D printing*.

<https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-pros-and-cons/>

Packer, T. (10.04.2019). *How to design an assembly for 3D printing*.

<https://www.fictiv.com/articles/how-to-design-an-assembly-for-3d-printing>

Plate Power. (i.a.). *Yritysinfo*.

<https://www.platepower.fi/info/yritys/>

Polymaker. (i.a.). *Polymaker products PLA*.

<https://polymaker.com/product/polyterra-pla/>

Protolabs Network by HUBS. (i.a.-a). *What is 3D printing?*

<https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#chap>

Protolabs Network by HUBS. (i.a.-b). *What is FDM (fused deposit modelling) 3D Printing?*

<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>

Sacco, E. (2024). *Benefits and advantages of 3D printing*.

<https://www.roboze.com/en/resources/benefits-and-advantages-of-3d-printing.html>

Schwaar, C. (30.07.2024). *The Complete Guide to Nylon 3D Printing*.

<https://all3dp.com/2/nylon-3d-printing-how-to-get-nylon-3d-printed/>

TWI-Global. (i.a.). *What are the advantages and disadvantages of 3D printing?*

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>