



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

URGO KALLIO-SOUKAINEN

Adapterin tuotekehitys 3D- tulosta- malla

TUOTANTOTALOUDEN JA -TEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA

2022

Tekijä(t) Kallio-Soukainen, Urgo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 02/2022
	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Adapterin tuotekehitys 3D- tulostamalla		
Tutkinto-ohjelma Tuotantotalous ja -tekniikka		
<p>Tässä opinnäytetyössä valmistettiin 3D-tulostamalla korvaava adapteri rikkimenneen tilalle. Tuotesuunnittelun tarkoituksena oli tehdä rakenteellisia muutoksia adapterin kestävyuden lisäämiseksi.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin 3D-tulostusteknologiaa ja valittiin FDM menetelmä. Tutkimuksessa luotiin konkreettinen tilanne, jossa kokeilemalla testattiin adapterin kestävyttä.</p> <p>Lopuksi testi tulokset analysoitiin ja niiden perusteella tehtiin johtopäätöksiä mahdollisista tulevista menetelmistä ja muutoksista.</p>		
<u>Asiasanat</u> 3D-tulostus, tuotesuunnittelu, 3D-tulostimet, viipalointiohjelmat		

Author(s) Kallio-Soukainen, Urgo	Type of Publication Bachelor's thesis	Date February 2022
	Number of pages 54	Language of publication: Finnish
Title of publication Adapter product development by 3D-printing		
Degree programme Industrial Management and Technology		
<p>In this thesis was made with 3d-print new adapter for broken replace. Product design was intended to make structural changes to increase the durability of the adapter. The study used 3D printing technology and was selected as an FDM method. The study created a concrete situation with trying to test the durability of the adapter. Finally, the test results were analyzed and concluded conclusions on the forthcoming methods and modifications.</p>		
<u>Key words</u> 3D-printing, manufacture, 3D-printers, slicer software		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 EKOLOGINEN AJATTELU	7
3 TUOTEKEHITYS	8
4 3D-TULOSTUKSEN HISTORIA	9
5 YLEISIMMÄT 3D-TULOSTUSMENETELMÄT	13
5.1 FDM ja FFF	13
5.2 SLA	14
5.3 DLP	15
5.4 MSLA	16
5.5 SLS	17
5.6 Hyödyt ja haitat eri 3D-tulostus menetelmillä	19
6 TULOSTUS MATERIAALIT	25
6.1 Filamentit	25
6.1.1 PLA	26
6.1.2 ABS	26
6.1.3 PET / PETG	27
6.1.4 PVA	27
6.1.5 HIPS	28
6.2 3D-tulostus Hartsit	29
6.2.1 eResin-PLA Pro	30
6.2.2 eResin-ABS	30
6.3 3D-tulostus jauheet	31
7 KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT	32
7.1 3D-Mallinnusohjelmistoja	32
7.1.1 TinkerCAD	33
7.1.2 Autodesk Fusion 360	33
7.1.3 FreeCAD	34
7.1.4 SolidWorks	35
7.2 Viipalointiohjelmat FDM-tulostuksille	36
7.2.1 Cura	37
7.2.2 Slic3r	38
7.2.3 Simplify3D	39
7.3 Viipalointiohjelmat hartsia ja jauheita käyttäville 3D-tulostimille	40
7.3.1 CHITUBOX	41
7.3.2 PreForm	42

7.3.3 Z-SUITE	42
7.3.4 Formware	43
8 ADAPTERIN TUOTEKEHITYS	44
8.1 3D-Tulosteen valmistus.....	46
8.2 Adapterin mittaaminen	47
9 ADAPTERIN ASENNUS JA TESTAUS.....	48
10 LOPPU ANALYYSI.....	49

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tuoda esille ekologista ajattelua, että kaikki tavara mikä menee rikki, ei heitettäisi pois vaan, mietittäisiin ensin kannattaisiko se korjata tai korjauttaa. Opinnäytetyön tarkoitus on myös herättää kiinnostusta 3D-tulostukseen koska se on tulevaisuudessa yksi tapa valmistaa tuotteita ja komponentteja. Tuotekehityksessä pyrittiin parantamaan adapterin kestävyyttä muuttamalla sisämuotoa samanlaiseksi kuin akseli, minkä päälle adapteri tulee. Opinnäytetyössä kerrotaan lyhyesti 3D-tulostuksen historiasta. Yleiset 3D-tulostusmenetelmät ja materiaalit, jotka ovat suunnattu pääosin kuluttajille. 3D-tulostuksessa käytettävistä ohjelmista ja minikälaisia ohjelmia tarvitaan tuotekehityksessä/tuotesuunnittelussa. Ohjelmat ovat pääosin tarkoitettu kuluttajille. Opinnäytetyössä selvitetään myös 3D-tulostimien sekä tulosteiden valmistuksessa käytettävien ohjelmien käytettävyyttä ja raaka-aineiden hintoja, joka helpottaisi ostajaa valintoja tehdessä. Varsinaisessa työssä 3D-tulostettiin uusi paranneltu adapteri, suoritettiin tarvittavat testit, josta sain konkreettiset tulokset. Lopuksi testin analysointia, jonka perusteella tein suunnitelman jatkotoimenpiteistä.

2 EKOLOGINEN AJATTELU

Ekologinen ajattelu on tämän päivän teema ja pyritään tuomaan esille erilaisissa medioissa esim. teeveestä tuttu aarrepaja-ohjelma. Ennen kerskakuluttaminen oli trendi. Välittömästi, kun tuote tai tavara meni rikki, ostettiin tilalle uusi. Varsinkin vanhoja piensähkölaitteita esim. tehosekoitin, vatkain, mehulinko ja yleiskone on vaikeita kierrättää. Tämä johtuu sen ajan valmistusmenetelmistä. Varsinkin muovi kuoret ovat erittäin vaikeita kierrättää koska ei tiedetä mitä yhdisteitä valmistuksessa on käytetty. Hyvin eroteltuna SER-muovi voidaan kuitenkin käyttää uudelleen. (SER-kierrätys, 2012) Tämän päivän trendi on tuonut kuluttajille uuden näkökulman. Rikki mennyttä tavaraa ei välttämättä kannata heti heittää pois, vaan sen voisi korjata tai korjauttaa. Tämä ajattelu malli edistäisi kestäväää kulutusta ja pienentäisi jätettä, jota kotitaloudet tuottava suuria määriä. Vielä 80-luvulla ei puhuttu kierrättämisestä, vaan se oli joillekin elämäntapa käydä kaatopaikalla keräämässä tavaroita ja korjata niitä myyntiin tai omaan käyttöön. Nykyään tämä ei ole mahdollista erilaisten lakien ja direktiivien takia. Kaatopaikoilta ei saa viedä mitään pois ja kierrätyskeskuksilla tehdään bisnestä. Jos rakentaisin 3D-tulostimen kierrätyskeskuksen romuista niin hinta oli melkein sama kuin uuden jo valmiiksi rakennetun tulostimen. Ekologian näkökulmasta tämä ei tue kestäväää kehitystä. Jätteen synnyn ehkäisy, uusien tavaroiden valmistus ja niiden kuluttaminen vähentäisi kaikkien hiilijalanjälkeä. Globaalissa markkinataloudessa kuluttaja tekee kuitenkin päätökset itse.

Ekokumppanit Oy on toteuttanut Korjaa.se -verkkopalvelun. Palvelusta löydät kunnan ja toimialan sekä pienyrittäjiä, jotka tarjoavat korjaus palveluja seuraaville tuotteille:

- huonekaluja
- kenkiä ja jalkineita
- kodinkoneita ja laitteita
- koruja ja kelloja
- pienkoneita
- polkupyöriä
- urheiluvälineitä
- puhelimia ja tietokoneita
- soittimia
- vaatteita ja tekstiilejä

- valaisimia

Palvelussa mukana olevat pienyrittäjät ja käsityöläiset parantavat oman palvelunsa näkyvyyttä. Tämä taas mahdollistaa heille uusia asiakkaita ja työtarjouksia. Yrittäjille tämä on maksuton. (aviisi.etappi, 2020)

3 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys (tuotteen luominen) on prosessi yrityksessä. Tällä toiminnolla yritys pyrkii luomaan uusia tuotteita markkinoille tai parantamaan nykyisiä tuotteita esim. auto-teollisuus käyttää ralliautoista saamien tutkimustulosten ja kokemusten kautta saatua tietoa hyväksi uusien tuotteidensa tuotekehityksessä. Aiemmin tuotekehitys prosessi on kohdistunut valmistettaviin tuotteisiin tai teollisuudessa käytettävään prosessiin esim. kodinkoneet, paperin ja metallien valmistus. Nykyään tuotekehitystä tapahtuu aineettomissa tuotteissa, jotka koostuvat pääsääntöisesti ohjelmistoista, palvelutuotteista, rahamarkkinoiden instrumenteista ja julkisista palveluista. Suurissa yrityksissä tuotekehityksestä vastaa tiimi, jossa on mukana myös yrityksen muiden osastojen edustajia. Osa yrityksistä käyttää vain pelkkää erillistä osastoa joka vastaa tuotekehityksestä. Se on vanhanaikainen malli, kun tuotekehityksen tavoitteena on luoda nopeasti, taloudellisesti uusi tuotteita kilpailukykyiseen hintaa ja täyttää asiakkaan tarpeet. Globaalissa markkina taloudessa on yritysten otettava huomioon markkinatilanne joka saattaa vaihdella hyvin paljon ja vaikuttaa tuotekehitykseen. Nykyään, kun suunnittelu tapahtuu, joko yrityksessä tai ulkoistetussa palvelussa suunnittelutoimistossa.

Tuotekehityksessä tuotetta on katsottava erinäkökulmista. Pelkän tuotteen tai palvelun lisäksi seuraavat asiat pitää ottaa huomioon, kun tehdään päätöksiä:

- ”tuotepaketti”, joka sisältää tuotemerkin, brändin, hinta/laatusuhteen, muotoilun jne.
- tuotetuki (toimitus, takuu, korjaus ja käyttöohjeet)
- tuotteen kierrätys ja elinkaarikustannukset

(wikipedia, 2015)

Nykyään tuotesuunnittelulla ja tuotekehityksen eron on häilyvän pieni molemmissa, käsitellään samoja asioita hieman eri termein. Suurin ero on ajan, kulutetun rahan ja tuotetun rahan suhde. Tuotekehitys on projekti, jonka tärkein elementti on projektihallinta minkä lisäksi siihen sisältyy muitakin osaamisalueita.

Tuotekehitysprojekti voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

1. Tehtävien rajaaminen ja tarkennus
2. Ideointivaihe ja tuotekonseptin laadinta
3. Luonnosteluvaihe
4. Viimeistelyvaihe

(Pahl/Beitz, 2006)

Tietokoneavusteinen suunnittelu on helpottanut tuotekehitystä. Nykyään eri ohjelmat kommunikoivat keskenään pystymme tallentamaan tuotteen/tuoteperheen kaikki vaiheet innovaatiosta aina valmiiseen tuotteeseen. Tämä tarkoittaa, että siellä ei saa olla väärää tietoa vaan tieto pitää päivittää säännöllisesti. Koska selvittely vie aikaa ja rahaa sekä vääristää tuotteen elinkaarta. (Hietikko.E, 2015)

4 3D-TULOSTUKSEN HISTORIA

3D-tulostuksen ensimmäisiä askelia kohti tätä päivää voidaan pitää, kun Teletype Corporation 1960-luvulla kehitti suuttimen, jossa käytettiin elektroniikkaa. Tämän tekniikan avulla pystyttiin tulostamaan 120 merkkiä sekunnissa. Näin oli syntynyt mustesuihkutulostin, josta pystyttiin kehittämään kuluttajille suunnattu pöytämalli. Vuonna 1971 Johannes F. Gottwald haki patenttia laitteelle, joka oli nimeltään Liquid Metal Recorder. Tarkoitus oli luoda esine nesteytetystä metallista, tästä laitteesta ei tullut menestystä, se on mutta perustana nopealle tulostukselle. (Turney, 2021)

Seuraava askel 3D-tulostuksessa tapahtui vuonna 1980, kun Japanilainen tohtori Hideo Kodama kehitti lämmöllä ja valolla kovettuvaa polymeeriä eli hartsia kolmiulotteisten muovimallien valmistukseen. (Kodama, 2014)

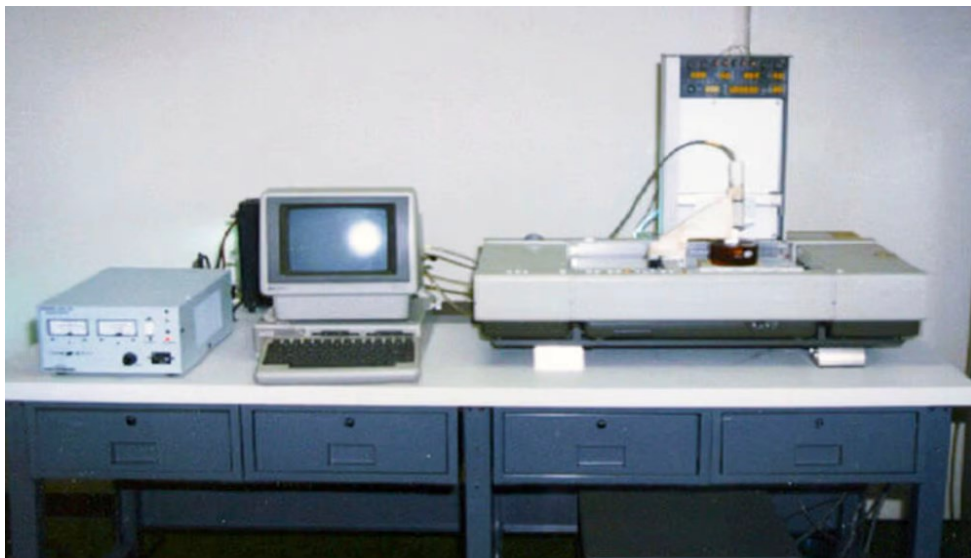
Kodama haki patenttia 10. marraskuussa 1981 laitteelle nimeltä XYZ-piirturi. Kodama julkaisi tutkimustuloksensa useissa lehdissä, mutta ketään ei kiinnostunut koko aiheesta, joten koko projekti lopetettiin. (Kodama, 1981)

Tämän jälkeen alkoi 1980 luvulla varsinainen patenttien hakukilpailu. Ensin haki Raytheon Technologies Corp vuonna 1982 kerros menetelmälle, jossa käytettiin hienojakoista metallijauhetta hyvin pienin kerroksin, jonka sulatukseen käytettiin laseria. (Turney, 2021)

Sen jälkeen oli pari vuotta hiljaiseloa, kunnes vuonna 1984 amerikkalainen yrittäjä Bill Masters jätti patentin tietokoneautomaattiseen valmistusprosessin. Tämä patentti on ensimmäinen, joka antoi perustan tämän päivän 3D-tulostukselle. Samana vuonna Ranskassa keksijät Olivier de Witte, Jean Claude André ja Alain Le Méhauté hakivat patenttia stereolitografialle, tämä tunnetaan paremmin lyhenteestä SLA (StereoLithography Apparatus) joka on yksi yleisempiä 3D-tulostus menetelmiä. Heille kävi kuitenkin huonosti koska yritykset General Electric Company ja CILAS kieltäytyvät hakemuksesta. Yritykset eivät nähneet potentiaalia bisnekselle. (Robert, 2020)

Tämä avasi oven 1984 insinööri Chuck Hullille, joka käytti samaa menetelmää kuin ranskalaiset, jotka olivat menettäneet patentin, jätti Hull hakemuksen ja sai sen kaksi vuotta myöhemmin. Samaan aikaan hän oli perustanut yrityksen 3D Systems Corporation joka esitteli ensimmäisen kaupallisen 3D-tulostimen nimeltä SLA-1. (Turney, 2021)

SLA-1 otettiin käyttöön vuonna 1988. Laitekokonaisuus oli kookas ja kallis (Kuva 1). Samaan aikaan oli keksitty uusi tulostustekniikka SLS (Selective Laser Sintering). Carl Deckard jätti tästä patentti hakemuksen. (Leo Gregurić, 2018)



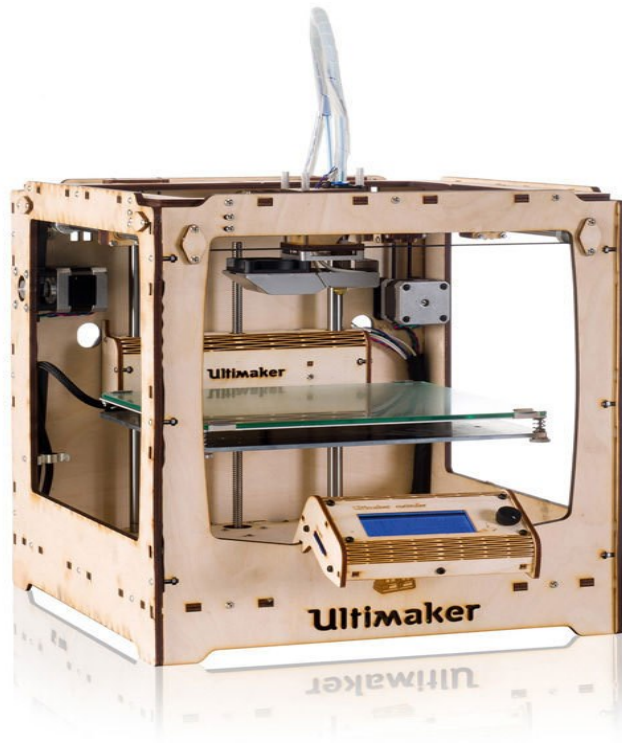
Kuva 1. SLA-1 melko kookas kokonaisuus. Hinta noin 300 000 dollaria melko kallislaitte koti käyttöön (Leo Gregurić 2018, Miller 2016).

SLS tekniikka käyttää hienojakoista jauhetta joka on valmistettu, metallista tai muovista. Tämä hienojakoinen jauhe sulatetaan laserin avulla kerroksittain. (sculpteo, 2021)

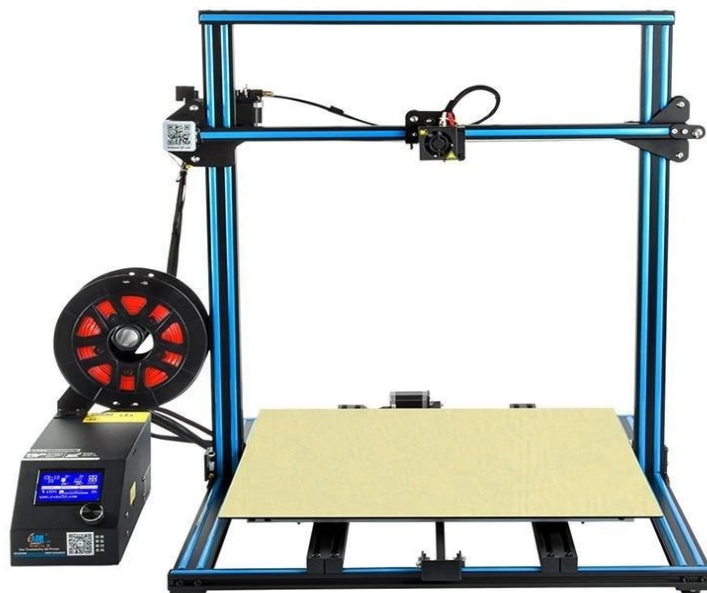
3D-tulostuksen kehitys jatkui edelleen. Samana vuonna 1988 Scott Crump jätti patentin FDM (Fused deposition modeling) patentti hyväksyttiin 1992 ja myönnettiin yritykselle Stratasys, jonka Scott oli perustanut samalla. (Leo Gregurić, 2018)

Vuonna 2004 aloitettiin avoimen lähdekoodin projekti nimeltä RepRap. Tämän projektin tarkoitus oli rakentaa, 3D-tulostin osat itse. (All3dp, 2021)

Vuonna 2009 kun FDM patentti meni vanhaksi, alkoi kuluttaja markkinoille tulla monen näköisiä pöytämalleja, joiden runkoina käytettiin (Kuva 2) vaneria, akryyliä, alumiinia ja rautatankoja. Nykyään melkein kaikki käyttävät runkomateriaalina alumiini profiilitankoa (Kuva 3) koska sillä saadaan riittävä jäykkyys runkoon. (sculpteo, 2021)



Kuva 2. Ultimaker Original+ tyylissä vaneri runko (3d-tulostus-sivusto 2021).



Kuva 3. Creality3D CR-10 S5 alumiininen profiilirunko (cdn.shopify-sivusto 2021).

Kuten voidaan huomata, on kuljettu pitkämatka 3D-tulostuksessa. Se ei ollutkaan 2000-luvun hypetystä, vaan kaikki tämän päivän kolmea eniten käytettyä tekniikkaa

on kehitetty jo 1980-luvulla. Asia, joka saattaa ihmetyttää miksi alussa puhuttiin, paperille tulostavista laitteista oli, että 3D-tulostu käsite yhdisti molempia käsitteenä. Nykypäivänä nämä ovat selvästi eroavia käsitteitä. Kuitenkin on selvää, että paperi tulostimet ovat edes auttaneet ja kehittäneet tekniikallaan 3D-tulostusta.

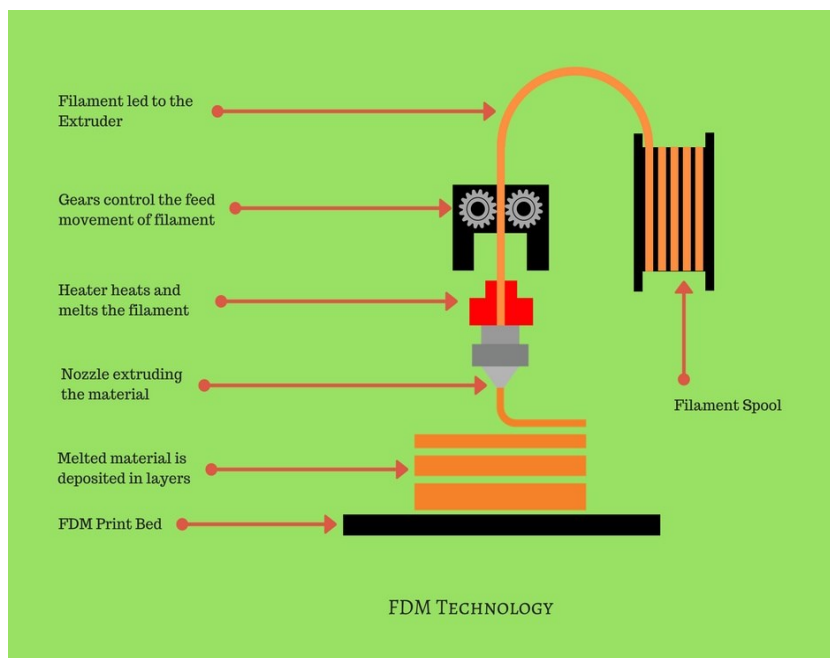
5 YLEISIMMÄT 3D-TULOSTUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa käydään yleisimmät 3D-tulostusmenetelmät pintapuolisesti läpi. Koska 3D-tulostus tekniikka ja sen ympärillä olevat komponentit ja materiaalit kehittyvät jatkuvasti. Samaan aikaan myös kehitetään tulostus materiaaleja, jotka olisivat mekaanisesti kestäviä, vähentäisivät jälkikäsittelyn tarvetta sekä kestäisivät korkeita lämpötiloja, mutta myös myrkyttömiä varsinkin tänä päivänä, kun ekologisuus on joka paikassa esillä.

5.1 FDM ja FFF

FDM (fused deposition modeling) ja FFF (fused filament fabrication) ovat sama 3D-tulostus menetelmiä. Eri nimitykset johtuvat siitä, että ”FDM” lyhenne on Stratasys yrityksen tuotemerkki patentti 1991. Tästä syystä on pitänyt keksiä toinen nimi, joka on helpottanut laitteiden valmistusta kuluttaja puolella vuonna 2009 kun patentit vapautuivat. (Grames, 2020)

Tämä on, maailman yleisin tulostus menetelmä. Se on myös erittäin halpa menetelmä, koska laitteita saa joko valmiina tai itsekoottuna. Se, että näitä voi myös itse rakentaa mahdollistaa, että saat juuri sellaisen laitteen kuin itse haluat rakentaa, mutta samalla hinta voi nousta huomattavasti. Tulostimen toiminta periaatteessa tietokone ohjaa kolme akselia X,Y ja Z määrittelevä suuttimen ja tulostus pedin liikkeit. Samalla työnnetään kuuman suuttimen läpi sulaa muovia märiteltyihin kohtiin, tulostu pedille samalla sula muovi jäähtyy kiinteäksi, kun kerros on valmis. (Kuva 4) Siirrytään seuraavaan kerrokseen ja toistetaan niin kauan, kunnes tulostus on valmis. (Grames, 2020)



Kuva 4. Toimintaperiaate FDM/FFF 3D-tulostus menetelmästä (manufactur3dmag-sivusto 2018).

Koneiden rakenteen mukaan h-bot mallin tulostimissa tulostuspöytä liikkuu vain Z suunnassa ylös ja alas, jolla määritellään kerros paksuus. Suutin taas liikkuu X ja Y suunnassa määritellen leveyttä ja pituutta. (Lütkemeyer, 2022)

Vastaavasti cartesian mallin tulostimissa käyttää tulostustasossa Y-akseli, X-akseli on vaakatasossa olevalla puomilla, jossa suutin liikkuu vasemmalle tai oikealle, Z-akseli määrittelee puomin korkeuden, jolla saadaan haluttu kerros korkeus. (Grames, 2020)

5.2 SLA

Stereolitografia (SLA) tekniikalla pystytään tulostamaan hyvin yksityiskohtaisia ja tarkkoja tulosteita. Menetelmä käyttää hyväksi laserilla tehtyä UV-valoa ja hartsia, joka on erittäin valoherkkää. Valon osuessa hartsiin, joka on valmistettu epoksista, akryylistä ja metakryylimonomeereistä tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa nestemäisistä monomeereistä muodostuu kovia polymeerejä. SLA tekniikka käyttää erityyppisiä tulostimia. Eroavaisuudet ovat laserin sijainnilla ja määrällä. Ensimmäisessä laser sijaitsee altaan yläpuolella, jolloin valo kohdistuu hartsiin ylhäältä alas, Nykyään laser on altaan alapuolella ja valo kohdistuu alhaalta ylös ja osuu hartsiin. Uusimmassa on

kaksi laseria. Siitä käytetään nimitystä 2-fotonipolymerointi (2PP). Laserit sijaitsevat altaan alapuolella. Tämä menetelmä mahdollistaa erittäin tarkan tulostuksen noin $0,1\mu\text{m}$:n resoluutio, tämä tekniikka ei ole vielä kuluttajien saatavilla. SLA tekniikassa laserin säde ei kohdistu suoraan hartsiin, vaan säde tai säteitä suunnataan peilien (galvanometrit) avulla (Kuva 5), joita tietokone ohjaa. Näin määritellään säteen kohta tulostusasossa. Säde skannaa halutun muotoisen kuvion kerrokselta, kun kerros on valmis, nousee taso seuraavan kerroksen verran ylös. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes tulostus on valmis. (Pires, 2019)

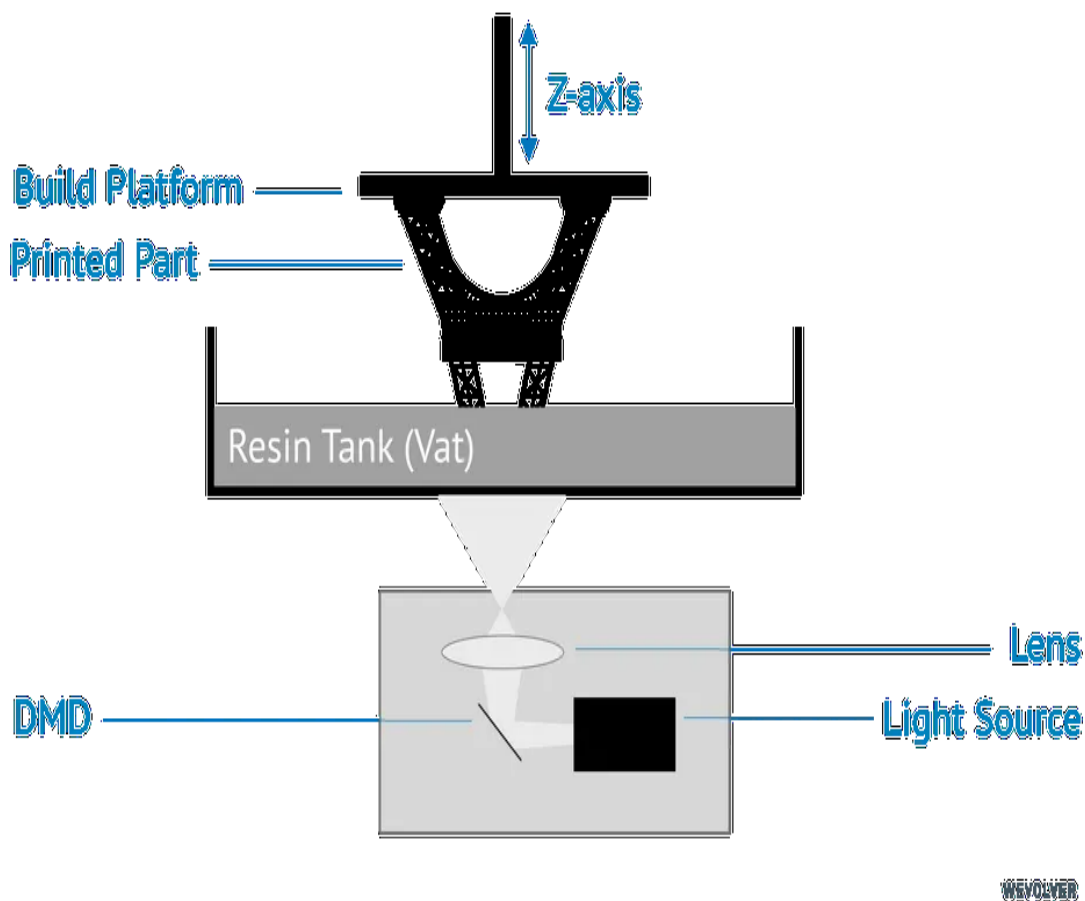


Kuva 5. SLA 3D-tulostuksen toimintaperiaate (formlabs-sivusto 2021).

5.3 DLP

DLP (digitaalinen valonohjaus) menetelmä eroaa hieman SLA:sta. Siinä käytetään laserin sijasta projektoria valon lähteenä, jolla hartsi kovetetaan. Tämä menetelmä on

nopeampi kuin perinteinen SLA, jossa lasersäde kohdistuu hartsiin pistemäisesti. Vastaavasti DLP:ssä valaistaan koko kerros yhdellä kertaa. DLP:ssä valo tuotetaan ledeillä projektorissa, josta se ohjataan DMD (Digital Micromirror Device) erillinen komponentti (Kuva 6), joka sisältää tuhansia pieniä peilejä jotka heijastavat ennalta määrätyn kuvion eli maskin kerrokselle ja kovettaa hartsin. Tämän jälkeen taso nousee kerroksen verran ylös ja sama toistetaan, kunnes kappale on valmis. (Pires, 2019)

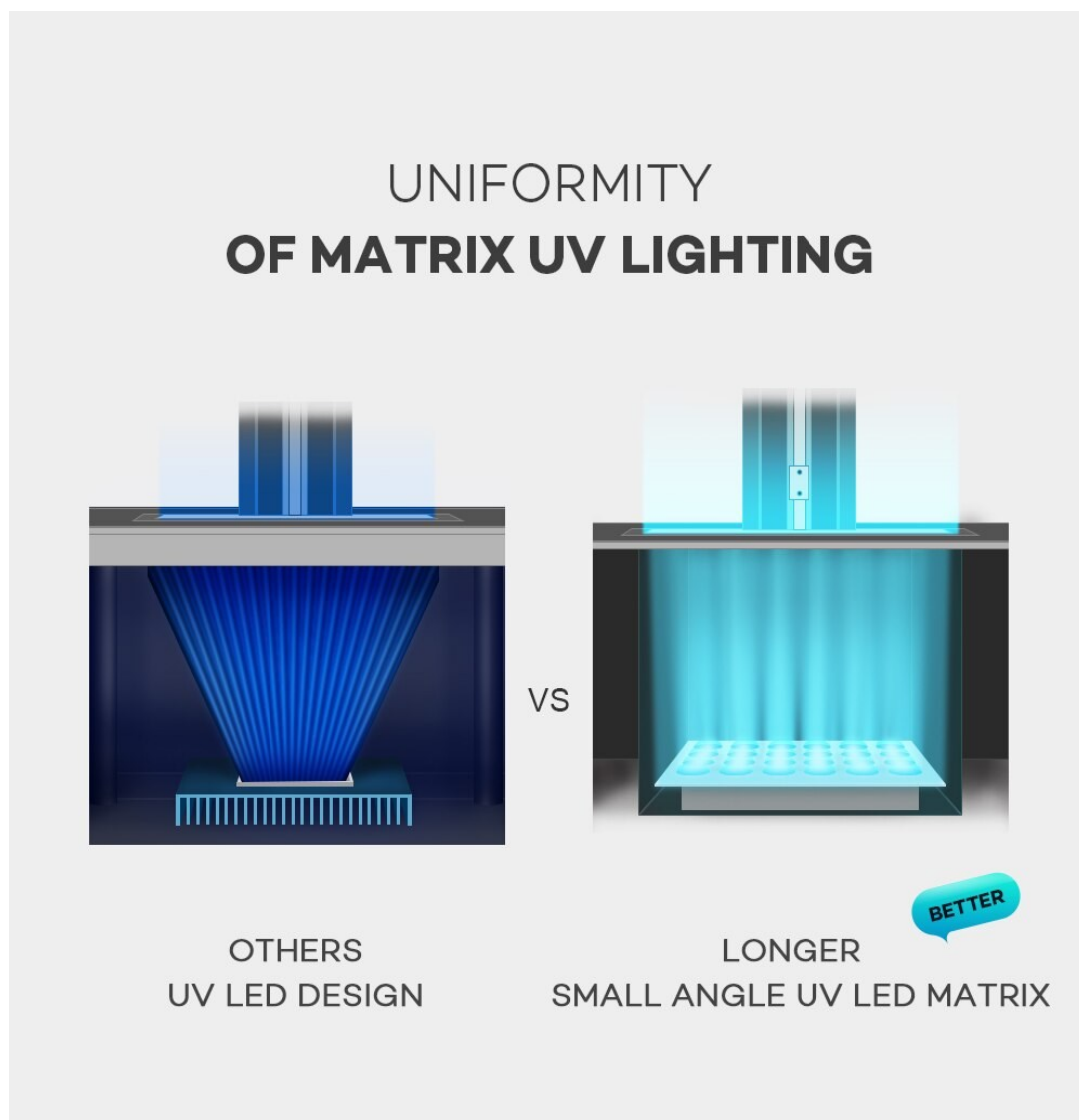


Kuva 6. DLP 3D-tulostus menetelmästä (wevolver-sivusto 2019).

5.4 MSLA

MSLA (Masked Stereolithography Apparatus) on muuten sama tekniikka kuin SLA ja DLP. Ainut muutos on, että valoa ohjaava DMD komponentti ja laser on vaihdettu LCD-näyttöön, joka toimii niin sanottuna maskina. Tämän alle on sijoitettu UV-ledi tai matriisi (Kuva 7), jossa on satoja UV-ledejä. Tietokone ohjaa ledejä. Näin syntyy

kuvio LCD-näytölle, joka heijastuu hartsiin ja kovettaa sen. Peti nousee, määritellyn matkan ylös seuraavaa kerrosta varten. Tämä toistetaan, kunnes tulostus on valmis. (Pires, 2019)



Kuva 7. UV-led valo ja UV-led valo matriisi (ae01.alicdn-sivusto 2021).

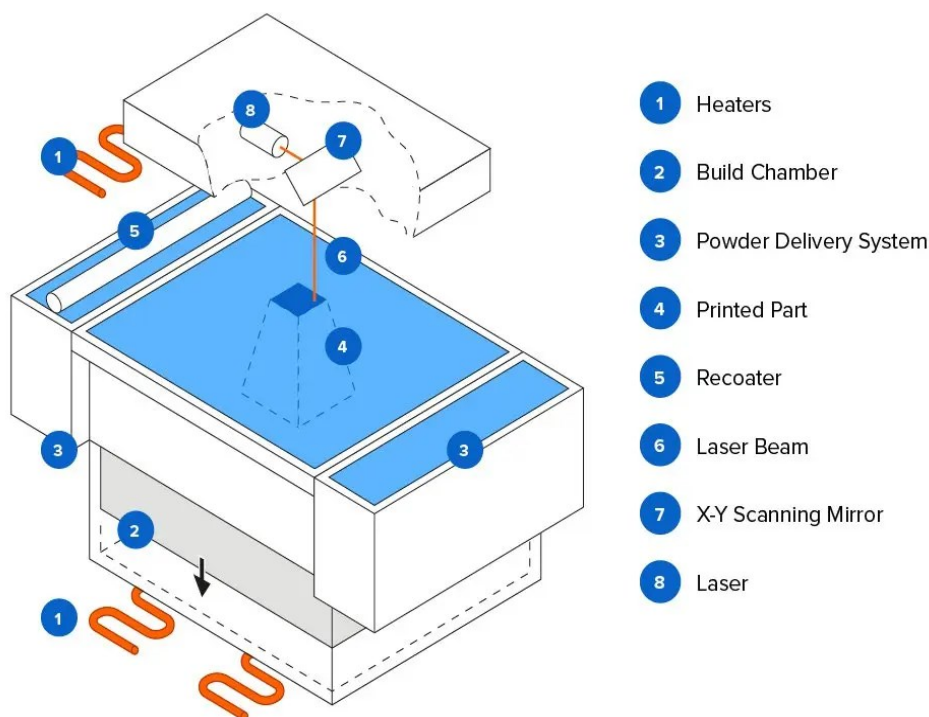
5.5 SLS

Edellä mainituista menetelmistä SLS (Selective Laser Sintering) poikkeaa eniten tulostus materiaalissa sekä rakenteen suhteen, joka on melko suuri kammiollinen tulostin (kuva 8). Suuren koon ja korkean hinnan takia nämä eivät ole enää pöytätulostimia, eivätkä kuulu myöskään kuluttajille vaan yrityksen käyttöön.



Kuva 8. Vasemmalla SLS tulostin ja oikealla materiaalin talteenotto tulostuksen jälkeen (formlabs-sivusto 2021).

Rakenteeltaan edelliset menetelmät poikkesivat toisistaan vain siinä, millä menetelmällä hartsia kovettava valo tuotettiin. Tässä tulostus menetelmässä ei käytetä hartsia, vaan tulostuksen valmistamiseen käytetään hyvin hienojakoista muovijauhetta. Kammiolämmitetään tarvittavaan lämpötilaan, jonka jälkeen lasersäde sulattaa muovijauheen. Laser sijaitsee tulostuspedin yläpuolella, kun kerros on valmis, laskeutuu tulostuspeti kerroksen verran alas. Tämän jälkeen jauhesäiliöstä lanataan uusi kerros jauhetta. Ylimääräinen jauhe lanataan jauhesäiliöön, joka sijaitsee tulostimen toisessa päässä (Kuva 9), tätä jatketaan niin kauan, että tulostus on valmis. (formlabs, 2021)



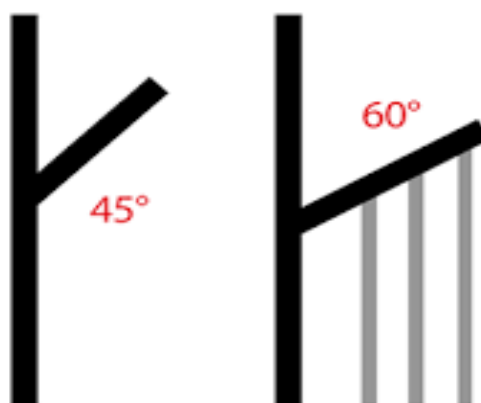
Kuva 9. Yksinkertainen kuvaus SLS menetelmästä (formlabs-sivusto 2021).

5.6 Hyödyt ja haitat eri 3D-tulostus menetelmillä

FDM menetelmällä on ollut monia etuja muihin tulostus menetelmiin verrattuna. Se on kuitenkin menettämässä markkina asemaansa. Syy tähän on, että toiset tekniikat ja raaka-aineet kehittyvät kovaa vauhtia ja hinnat ovat laskeneet kuluttajille suotuisiksi. FDM tekniikan hyvät puolet tällä hetkellä on, että tulostimia löytyy eri kokoja. Tulostimien koot vaihtelevat valmistajan mukaan 150 x 150 x 190 mm - 500 x 500 x 500 mm nämä ovat suunnattu kuluttajille. Hinnat vaihtelevat tulostimen ominaisuuksien, rakenteen ja koon mukaan n. 100\$ – 3000\$ eli hinta ja laitekirjo on melko laaja, mutta noin 350\$ tulostimella saa jo laadukkaita ja melko isoja tulostuksia tehtyä. Tulostimia on saatavilla yhden tai useamman suuttimen kokoonpanolla. Tämä antaa suuren edun muihin verrattuna kun, materiaaleja on laaja kirjo erilaisia värejä ja väri yhdisteitä sekä eri muovilaatuja, jotka sisältävät eri sidosaineita kuten puu, hiilikuitu, metallia jne. Voidaan yhteen tulostukseen tulostaa eri värejä ja materiaaleja. (Grames, 2020)

Usein kun puhumme tulostuksen haitoista, kohdistuu katseemme kappaleen mittoihin, pinnan laatuun, yksityiskohtiin ja mekaaniseen kestävyYTEEN. Pitää kuitenkin muistaa, että olemme tekemisessä sulan muovin kanssa. Tämä aiheuttaa haasteita, mikäli tuotteen pitää olla tarkka mitoiltaan. Kun muovi jäähtyy, se kutistuu ja jokainen muovi käyttäytyy eri tavalla. Mitä tarkempaa tehdään, samalla myös kappaleen valmistus aika kasvaa. Lisäksi muita merkittäviä tekijöitä tulostus ajassa on kappaleenkoko, asento tulostusalustalla ja kuinka paljon joudutaan käyttämään tukia (Kuva 10) tulostusta tehdessä. Mekaaniseen kestävyYTEEN sekä tulostuksen pinnan karheuteen ja yksityiskohtiin vaikuttaa valittu raaka-aine, tulostusnopeus, kerroskorkeus, suuttimen koko, tulostus lämpötila ja sen tasaisuus. Mikäli näitä ei huomio, niin kerrokset eivät välttämättä sula toisiinsa kiinni vaan joukkoon saattaa tulla niin sanottuja kylmä siltoja, josta kerrokset repeytyvät helposti toisistaan irti. Lisätietoa näistä löytyy tulostimen ja materiaalin valmistajilta. (tractus3d, 2020)

FDM tulostus ei välttämättä tarvitse jälkikäsitteilyä. Tämä on aina tapaus kohtainen riippuen valmistus materiaalista ja käyttö kohteesta. Tuki materiaali on aina poistettava tulosteesta. Mitä paremmin tunnet laitteesi säädöt ja säätö mahdollisuudet, sen parempia tulostuksia sinun on mahdollista saada, kun tehdään FDM menetelmällä.



Kuva 10. Tukia tarvitaan aina, mikäli kulma on yli 45° muuten oman harkinnan mukaan (encrypted-tbn0.gstatic-sivusto 2021).

SLA, DLP JA MSLA rakenteeltaan hartsia käyttävät tulostimet ovat melko samanlaisia. ulkomuoto ja koko riippuu valmistajasta (Kuva 11). Tulostimet poikkesivat toisistaan vain siinä, millä menetelmällä hartsia kovettava valo tuotettiin.



Kuva 11. Formlabs SLA tulostin, DLP ja MSLA tulostimet näyttävät ulkoisesti samanlaisilta, joten siitä ei voi päätellä mitä valoa menetelmä käyttää (formlabs-sivusto 2021).

Edellä mainituissa menetelmissä käytetään hartsia tulostus materiaalina, tulostuksen jälkeen otetaan ylimääräinen hartsi talteen, ja pestään tulostuskammio sekä peti. Valmistetusta kappaleesta pestään ylimääräinen kovettumaton hartsi pois liuottimella. Tämä on melko sotkuista. Tämän jälkeen, kun liuotin on haihtunut, voidaan tulostus kovettaa UV-valolla. Kun tämä vaihe on suoritettu, poistetaan tukimateriaali sekä viimeistely hionta ja pinnoitus, mikäli tarvetta. Pesu ja jälki kovetus ovat pakollisia, mikäli haluat hyvän pinnan laadun ja mekaaniset ominaisuudet tulostukseen. Nykyään on näiden vaiheen helpottamiseksi saatavilla pesu sekä UV-valo kammioita yhdistelmälaite, jossa on pyörivä alusta (Kuva 12) tasaisen kovetuksen luomiseksi. (All3DP, 2019)



Kuva 12. Anycubic valmistama yhdistelmälaite, joka sisältää tarvittavat lisälaitteet pesuun ja kovetukseen (ae01.alicdn-sivusto 2021).

Vaikka näillä tulostus menetelmällä saadaan nopeasti resoluutioltaan ($5\mu\text{m}$ - $150\mu\text{m}$ riippuen tulostimesta) tarkkoja kappaleita ja se olisi tämän menetelmän suurin hyöty, niin sama pätee tässäkin menetelmässä mitä tarkempaa ja isompaa tulostusta valmistat sitä pitempi, on valmistus aika. Haitaksi katsoisin jälkikäsittelyn, siihen kuluva ajan ja materiaali hukkan, koska kyseinen menetelmä vaatii aina tukien käyttämistä, kun tulosteita valmistetaan nestemäisestä materiaalista. Haittoihin kuuluu myös, että materiaaleja on melko vähän ja värimaailma on melko suppea, kun vertaa FDM:ään saataviin materiaaleihin ja väri kirjoon, mitä on mahdollista käyttää. Myös rajoittava tekijä on tulostus koko, sekä laitteiden hinta. Tulostus koko vaihtelee menetelmästä ja laite valmistajasta riippuen. Yleisesti koko on $115\text{mm} \times 65\text{mm} \times 165\text{mm}$ – $330\text{mm} \times 185\text{mm} \times 400\text{mm}$ sekä hinta $125\text{\$}$ – $3500\text{\$}$. Huomioitavaa on myös, että näitä tulostimia pitää huoltaa ja tarvittaessa vaihtaa komponentteja, jotka saattavat olla kalliita ja vaativat ammattilaisen huoltotoimet. Lisäksi kun näitä tulostus menetelmiä käyttää

olisi hyvä olla erillinen tila, jossa on hyvä ilman vaihto koska hartsit ja liuottimet eivät ole täysin myrkyttömiä. (formlabs, 2021)

SLS, joka poikkeaa eniten rakenteensa ja käytettävästä tulostus materiaalista, joka on pääsääntöisesti nailonpolyamidijauhetta. Materiaali kirjo on paljon suppeampi verrattuna filamenttia tai hartsia käyttäviin tulostimiin. Tämä on yksi heikkous sekä materiaali maksaa 50 – 60 \$/Kg. Hinta on toinen. Heikkous halvinkin SLS tulostin lähtöhinta on n. 5000€ – 175000€, lisäksi halvempien tulostimien tulostuskoko on aika pieni 110mm x 110mm x 110mm – 381mm x 330mm x 460mm. Tällä tulostus menetelmällä käy samalla tavalla kuin hartsia käyttäville tulostimille. Mitä suurempi tulostusala, sitä enemmän tulostustarkkuus kärsii. Lisäksi tulosteilla on tapana taipua pitkissä ja ohuissa kappaleissa. Tämä takia monilla laitevalmistajalla on esilämmitetty kammio, jolla estettäisiin tämä ilmiö. Haittoina on lisäksi tuotteen pitkä jäähtymisaika, mikä voi olla jopa 50% tulostusajasta sekä puhdistus ylimääräisestä materiaalista ja ylijääneen materiaalin talteenotossa. (Kuva 13) Näissä on aikaa vieviä vaiheita, eikä se ole aivan puhdasta. (3dsourced, 2021)



Kuva 13. Ylimääräinen jauhe poistetaan tulosteesta. (3dsourced-sivusto 2021).

Tulosteen pinta on tulostuksen jälkeen rakeinen. Karheus riippuu tulostus materiaalin raekoosta, tarvittaessa jälkikäsittely (hionta tai hiekkapuhallus). Hyviä puolia on, että

pystytään valmistamaan vahvoja, toiminnallisia ja monimutkaisia kappaleita.(Kuva 14) Melko tarkka riippuu valmistajasta, tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin hartsia käyttävät tulostus menetelmät. Tulosteissa ei tarvita tukimateriaalia, koska hienojakoinen jauhe pakkautuu piukasti tulosteen ympäri, säästää tulostus- ja jälkikäsittelyaika. (3dsourced, 2021)



Kuva 14. Tuotteen pinta on matta ja karhea, karheus riippuu jauheen raekoosta (all3dp-sivusto 2021).

Yhteenvetona voidaan sanoa, että 3D-tulostus menetelmillä on monia etuja muihin valmistus menetelmiin verrattuna esim. koneistus tai muut materiaalia poistavat menetelmät. Etuja tänä päivänä on, että digitaalisista kuvista pystytään nopeasti tulostamaan tuote, joka on skaalattu eri kokoihin, josta voidaan tarkastella tuotteen koneistettavuus, tuotteen rakenne, työkalujen suunnittelu ja mittakoneelle valmistaa mittausohjelma, ennen varsinaista tuotannon aloitusta. Tulostetut tuotteet ovat kierrätettäviä ja materiaali hukka on vähäistä. Materiaalien hinnat ovat suhteellisen edullisia. Myös materiaalit ovat kehittyneet ja laitteiden tarkkuus ovat jo sitä luokkaa, että niillä voidaan valmistaa myytäviä tuotteita.

6 TULOSTUS MATERIAALIT

6.1 Filamentit

Filamentti nimitystä käytetään 3D-tulostusmateriaalista, jota käytetään FDM tai FFF tulostimissa eli lankaa. Langasta on kahta eri vahvuutta 1.75 mm ja 2.85 mm. Yleisin paksuus on 1.75 mm. Langat ovat yleensä keloissa, kelakoot vaihtelevat 500 g, 750 g ja 1 Kg, riippuen valmistajasta. Filamentit olisi hyvä säilyttää kosteudelta ja valolta suojattuna koska monet muovit keräävät itseensä kosteutta. Tämä taas vaikuttaa tulostamiseen. Valo taas hapertaa lankaa ja näin ollen heikentää tulostettavan tuotteen mekaanisia ominaisuuksia. Tähän on myös kiinnitetty huomiota ja eri valmistajilla on myynnissä langan kuivain (Kuva 15) sekä alipaine pusseja.

Vanha kotikonsti poistaa kosteus on, että pistää langan keloineen uuniin n. 50°C – 80°C ja pitää sitä siellä noin 2-3 tuntia. (3dkauppa, 2019)



Kuva 15. Kahden kelan kuivain näyttää ajan, lämpötilan ja ilman kosteuden kotelon sisällä (ae01.alicdn.com-sivusto 2021).

6.1.1 PLA

3D-tulostus materiaalina polymaitohappo tai polylaktidi, kansan kielellä paremmin tunnettuna PLA on yleisin tulostus materiaali. PLA on ympäristöystävällistä kesto-muovi, koska se valmistetaan uusiutuvista luonnonvaroista kuten maissitärkkelyksestä tai sokeriruo'osta. Näin ollen se on myrkytön. PLA:aan hyviä puolia on sen saatavuus, helppo tulostaa, alhainen tulostus lämpötila n. 180 °C – 230 °C, tarttuu tulostus alus-taan hyvin eikä välttämättä vaadi lämmitystä. Mikäli alusta lämmitetään, on sen läm-pötila n. 20 °C – 65°C, ja vähäiset muutokset tulostuksessa, värejä on saatava missä tahansa väreissä ja joillain tulostimilla voi itse valmistaa omat värisävyt. Erikois- fila-mentteja löytyy valoon ja lämpöön reagoivia esim. hehkuu pimeässä, muuttaa väriään, johtaa sähköä sekä jo mainitut puu, metalli ja hiilikuitu filamentit. PLA:sta yleensä valmistetaan mallit, protot, astioita tai kaikkia sellaisia tuotteita mikä ei joudu suurelle rasitukselle, UV-valolle ja korkean lämpötilan kanssa tekemisiin n. 60°C tämän jäl-keen PLA alkaa muuttaa muotoaan. Ominaisuuksiltaan vahva, hauras, huono lämmön kestävyys. (3dkauppa, 2019)

6.1.2 ABS

Toiseksi yleisin 3D-tulostusmateriaali akryylinitriilibutadieenistyreeni eli ABS. Tämä ei ole myrkytön materiaali. Tulostuksen aikana siitä tulee voimakas haju sekä höyryjä jotka ovat vaarallisia, koska sisältävät styreeniä. Tulosteita tehdessä olisi hyvä olla joko tulostinkotelo tai kammiollinen tulostin. Mikäli näihin ei ole mahdollisuutta, niin hyvä ilmanvaihto ja välttää olemista samassa tilassa pitkiä aikoja. Näistä haitoista huo-limatta tämä materiaali on kierrätettävää ja näin ollen ympäristö ystävällistä. ABS on kestävämpää mekaanisen rasituksen ja korkeamman lämpötilan suhteen kuin PLA. Tästä syystä siitä valmistetaan taloustavaroita ja leluja kuten LEGOT. Tulostus omi-naisuuksiltaan ABS on hankala tulostaa, se vaatii aina lämmitettävän alustan lämpötila n. 80°C – 110°C siltikin se tahtoo irrota alustastaan, suuttimen lämpötila on melko korkea n. 210°C – 250°C, tulostimen olisi hyvä olla kotelossa, jotta välttyttäisiin turhilta ilmajirroilta, mikä lisää tulostuksen jäähtymistä ja lisää riskiä tulostuksen irtoamiselle tai vääntymiselle suuren kutistumisen takia. ABS liukenee estereihin, ketoneihin ja asetoniin, asetoniinilla voidaan myös viimeistellä kiiltävä pinta. (3dkauppa, 2019)

6.1.3 PET / PETG

PET (polyetyleenitereftalaatti) on maailman yleisin muovi. PETG G kirjain tarkoittaa glykolia, jota on lisätty parantamaan ominaisuuksia. PETG on helposti tulostettava materiaali. Sen hyviä puolia ovat luja ja kestävä, sitkeä, ei ime itseensä kosteutta. Se yhdistää PLA:aan ja ABS:sän parhaita ominaisuuksia, mutta on niitä hieman parempi. Sopii isoille tulosteille, hyvä lämmön kesto, vähäinen lämpökutistuma, tulostus lämpötila n. 220°C – 250°C, alustan lämpötila n. 75°C – 90°C ja on hajuton sekä kierrätettävä materiaali. (kauppa.sintosen, 2021)

6.1.4 PVA

PVA (polyvinyylialkoholi) on vesiliukoinen tukimateriaali. Tätä on hyvä käyttää silloin kun mekaaninen tukimateriaalin poisto ei ole mahdollista sekä erittäin vaikeiden tulosteiden tekemiseen (Kuva 16). PVA on myrkytön sekä täysin biohajoavaa. Mikäli PVA:an tulostaminen kiehuu tai se pärskyy eikä tartu, on se imenyt itseensä kosteutta. Kosteus voidaan poistaa laittamalla kela uuniin 2,5 tunniksi 50°C, tai langan kuivaimella. Tämän takia PVA filamentti olisi säilytettävä kuivattuna uudelleen suljettavassa pussissa jossa on mukana Silica Gel -pussit. Tulostuslämpötila vaihtelee n. 180°C – 210°C riippuen yksityiskohdista ja tulostus nopeudesta, alustanlämpötila n. 55°C. (an-cadsolutions, 2021)



Kuva 16. PVA on liuennut lämpimään veteen ja kappale on siisti (simplify3d-sivusto 2021).

6.1.5 HIPS

HIPS (High impact polystyrene) on toinen yleinen tukimateriaali. Sitä käytetään ABS-muovin kanssa. Kun sitä käytetään tukimateriaalina, se voidaan liuottaa limoneeniin (Kuva 17), näin vältetään mekaaniselta tukirakenteen poistolta sekä pystytään valmistamaan monimutkaisia tuotteita. (simplify3d, 2021)



Kuva 17. Liuotuksen jälkeen, yhdellä tulostuksella tehty ristikkonivel säästää aikaa huomattavasti (simplify3d-sivusto 2021).

HIPS:illä voidaan myös tehdä tulosteita, koska se on kevyttä esim. erilaiset kotelot ja Cosplay & Wearables esineet. Materiaalin muita hyviä puolia ovat edullisuus, iskun- ja vedenkestävää ja liukenee limoneeniin. HIPS on tulostettavana materiaalina hyvin saman tyyppinen kuin ABS, se on kuitenkin kevyempää ja kutistuu vähemmän. Tulostuksia tehdessä vaaditaan lämmitettävä alusta, lämpötila n. 100°C – 115°C. Jos mahdollista niin kotelo, tulostuslämpötila n. 230°C – 245°C, ei vaadi jäähdytystä ja vaatii hyvän ilmanvaihdon styreeni käryjen takia. (simplify3d, 2021)

Pelkästään ulkonäön perusteella ei pysty sanomaan, että mitä tulostus materiaaleja ke-loissa on. Tässä on vain murto osa väri sävyistä (Kuva 18)



Kuva 18. Pelkän ulkonäön perusteella ei voi sanoa mitä materiaaleja on kuvassa (inwfile-sivusto 2021).

6.2 3D-tulostus hartsit

Fotopolymeerihartsi UV-valolla kovettuvat materiaalit luokitellaan käyttökohteiden ja mekaanisten ominaisuuksien mukaan esim. Yleinen (General purpose), korkealuokkainen (Premium), luova (Creative), tekninen (Engineering), hammaslääketiede ja muotti (Dental ja Castable). Nämä ovat pääkategoriat. Näiden sisältä löytyy väri vaihtoehtoja. Nämä tekijät kuitenkin vaihtelevat valmistajan mukaan. Joka tapauksessa näitä hartseja on huomattavasti vähemmän kuin filamentteja toistaiseksi. Hartsit ja UV-valo käyttävät tulostimet kehittyvät nyt erittäin kovalla vauhdilla. Hartseja on saatavilla 250g, 500g ja 1Kg pulloissa. Hartseja ostaessa on hyvä tarkistaa aina, että se on yhteensopiva tulostimen kanssa. Hartsien hinnat vaihtelevat muutamasta kymmistä satoihin euroihin riippuen pullon koosta ja teknisistä ominaisuuksista sekä valmistajasta. Yksi erittäin hyvä asia hartseja valittaessa on, että niistä löytyy hyvät taulukot tulostusparametreista ja teknisistä ominaisuuksista valmistajien sivuilta. Tämä helpottaa huomattavasti valintaa tehdessä. Hartsien kanssa työskennellessä pitää muistaa välttää ihokontaktit ja huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta. (liqcreate, 2021)

6.2.1 eResin-PLA Pro

eResin-PLA Pro on eSUNin valmistama tuote, joka toteutuu syntetisoituun PLA-polyoliin. Tämä tuote luokitellaan yleiset hartsit ja on yhteensopiva kaikkien UV-valoa käyttävien tulostintyyppien kanssa. Väri vaihtoehdot musta, valkoinen, beige ja harmaa. Tässä hartsissa on korkea resoluutio, sileä pinta, tarkat yksityiskohdat ja korkea muovaustarkkuus. Näiden ominaisuuksien takia se soveltuu figuurien (Kuva 19) ja hammasmallien tulostamiseen. (esun3d, 2021)



Kuva 19. Kuvan figuurissa on erittäin sileä pinta ja sarvien pienetkin yksityiskohdat ovat tarkat (esun3d-sivusto 2021).

6.2.2 eResin-ABS

ABS-hartsi on korkealuokkaista. Sen ominaisuuksiin kuuluu hyvä tarkkuus, hyvä pinnan laatu, vähäinen kutistuma ja hyvät yksityiskohdat. Tulostusmateriaalina se sopii teknisiin malleihin, erilaisiin kokoonpanoihin ja testauksiin. Kuten jo edellä mainitsin niin taulukosta löytyy hyvin materiaalin ominaisuudet. (Taulukko 1) (esun3d, 2021)

Taulukko 1. 3D-tulostus fotopolymerihartsin ominaisuudet taulukko (esun3d, 2021)

3D PRINTING PHOTOPOLYMER RESIN Properties Table

3D PRINTING PHOTOPOLYMER RESIN	eResin-ABS
Viscosity (mPa·s)	200-350
Density (g/cm ³)	1.05-1.13
Tensile Strength (MPa)	42-62
Elongation at Break (%)	11-21
Flexural Strength (MPa)	60-80
Impact Strength (J/m)	60-80
Tearing Strength (GPa)	/
Heat Distortion Temp (°C)	/
Hardness (Shore D)	75-80

Grades (out of 10)

Strength (S)	8
Toughness (F)	7
Forming (P)	9
Accuracy (S)	7
Speed (A)	8

Lisäksi valmistajan sivuilta löytyy myös tulostusparametrit, jotka helpottavat löytämään omalle tulostimelle tarvittavat arvot hyvän tulostuksen luomiseksi. (esun3d, 2021)

6.3 3D-tulostus jauheet

SLS jauheen valmistus materiaali on nailon. Tämä materiaali on synteettinen termoplastinen polymeeri, joka kuuluu polyamidien perheeseen. Nailon on tekninen kesto-
muovi ja siitä voidaan valmistaa erittäin kestäviä tuotteita. Nailonilla on erittäin hyvät tekniset ominaisuudet, jonka takia siitä valmistetaan usein lopputuotteet kuluttajille, ei pelkästään protoja suunnittelijoiden käyttöön.

Kuluttajille tarkoitettuja nailon materiaaleja on rajallisesti. Yleisesti ne ovat nylon 12, nylon 11 ja näiden erilaiset seos yhdistelmät. Lisäaineina käytetään lasia, hiilikuitua, keramiikkaa ja alumiinia. Nailon seoksia käyttäessä kappaleen kerroskovettuminen määräytyy siitä, millä aineella on matalin lasittumispiste. Kuten jo aiemmin sanoin, niin pääsääntöisesti SLS-tulostimia käytetään teollisuudessa koska siellä on materiaaleissa enemmän valinnanvaraa sekä tulostimet ovat isoja ja kalliita. (stratasysdirect, 2021)

Kuten kaikissa edellä käydyissä tulostimissa ja materiaaleissa on kuluttajille suunnatut tuotteet melko rajalliset, mutta 3D-tulostus kehittyy tulevien vuosien aikana niin koneiden, ohjelmistojen ja materiaalin suhteen. Tämä toivottavasti myös tarkoittaa kuluttajille suunnatuissa tuotteissa hintojen laskua ja laadukkaampia tuotteita.

7 KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT

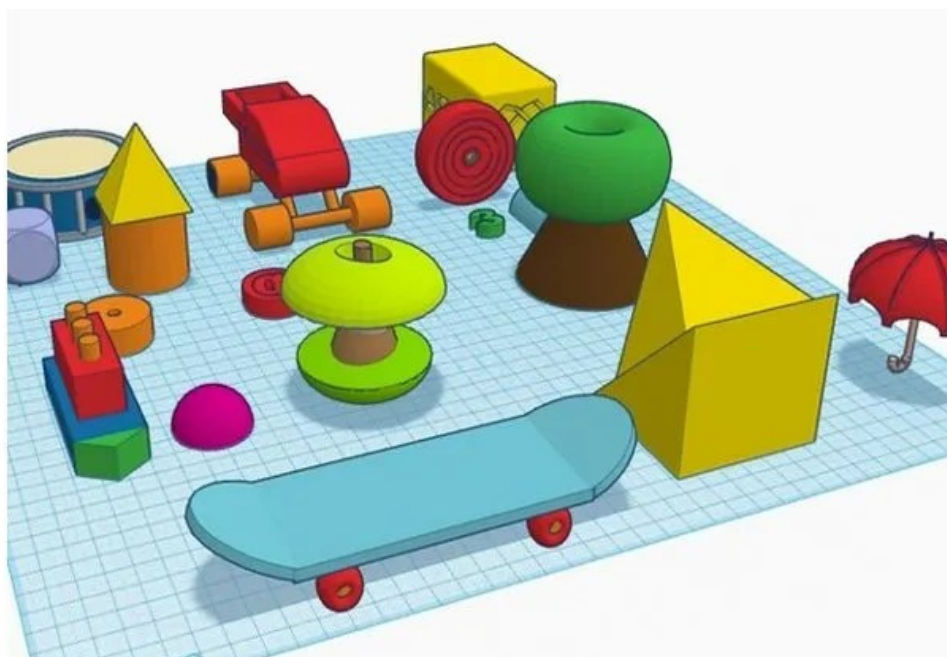
7.1 3D-mallinnusohjelmistoja

3D-mallinnusohjelmistoista löytyy jokaiselle käyttäjälle sopiva, riippuen käyttäjän osaamistasosta tai ohjelman hinnasta. Ilmaiset ohjelmat ovat usein suunnattu aloittelijoille sekä kuluttajille. Ilmaiset ohjelmat ovat helppo käyttöisiä sekä grafiikaltaan pelkistettyjä. Maksulliset ovat usein suunnattu ammattimaiseen suunnitteluun esim. kone- ja laitevalmistukseen. Käyttöliittymältään maksulliset ovat vaikeampia oppia käyttämään, niiden runsaan työkalu valikoiman takia. Paras 3D-mallinnusohjelma ei ole pelkästään helppo käyttöinen vaan siitä löytyy laaja valikoima työkaluja, joita voidaan hyödyntää 3D-mallien luomisessa. Oli sitten kyseessä ilmainen tai maksullinen mallinnusohjelma. Hyvistä ohjelmista on myös löydettävä ohjeita, jotka ovat hyviä ja selkeitä. Nykyään hyviä ohjeita ja opetusvideoita löytyy ohjelmistojen netti sivuilta tai YouTubesta.

Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto tai vastaava ohjelma millä pystytään luomaan, kolmiulotteinen malli on pakollinen, jotta voimme luoda 3D-tulosteita. (3dsourced, 2021)

7.1.1 TinkerCAD

Tämä Autodeskin tarjoama selainpohjainen 3D-mallinnusohjelma on tarkoitettu aloittelijoille ja lapsille. Mallinnusohjelmana tämä on erittäin mukaansa tempaava, johtuen sen helppokäyttöisyydestä. Vaikka TinkerCAD on helppokäyttöinen, on se useasti pystynyt osoittamaan, että sillä pystyy rakentamaan myös monimutkaisia 3D-malleja. TinkerCAD:dillä on helppo luoda ja rakentaa yksityiskohtaisia malleja käyttämällä perusmuotoja (Kuva 20) skaalaamalla ja yhdistelemällä niitä toisiinsa. Ilmaisenä sovelluksena tätä on myös käytetty kouluissa. Lisäksi se voi ladata älypuhelimeen tai tabletille. Näin voit tehdä malleja ja luoda tulosteita missä vaan. Mallin voi lähettää STL-tiedostona tai muussa tiedostomuodossa saman tien 3D-tulostimelle ja tulostaa mallit. (3dsourced, 2021)



Kuva 20. Tinkercad aloittelijalle suunnattu helppo 3D-mallennusohjelma (3dsourced-sivusto 2021).

7.1.2 Autodesk Fusion 360

Fusion 360 on suunnattu ammatti- ja korkeakouluille, sen ulkoasu on ammattimainen ja sillä pystytään piirtämään erittäin vaativia konerakenteita ja malleja (Kuva 21).

Tämä Autodeskin luoma ohjelma on kuitenkin käyttäjäystävällinen ja hieman kokeilemman on suhteellisen helppo aloittaa sen käyttö. Fusion 360 sisältää hyviä ominaisuuksia, kuten pilvipalvelun, jossa käyttäjät voivat jakaa STL-tiedostoja, muokata ja optimoida malleja yhdessä. Tämän lisäksi sisäisistä ominaisuuksista löytyy monenlaisia mittareita, joilla voidaan havainnoida sekä ennakoida erilaisia rasituksia ja näin löytää heikot kohdat ennen tulostusta. Valmis malli voidaan tallentaa STL-tiedostona tai muuna tiedostomuotona, jolloin sitä voidaan hyödyntää muissa valmistusmenetelmissä kuten CNC-sorvaus, jyrshintä ja levyn leikkausmenetelmissä. Ohjelma on ilmainen omaan käyttöön yhden vuoden, Pro-versio noin 500\$ vuodessa, opiskelijoille ilmainen ja startup-yrityksille. (3dsourced, 2021)

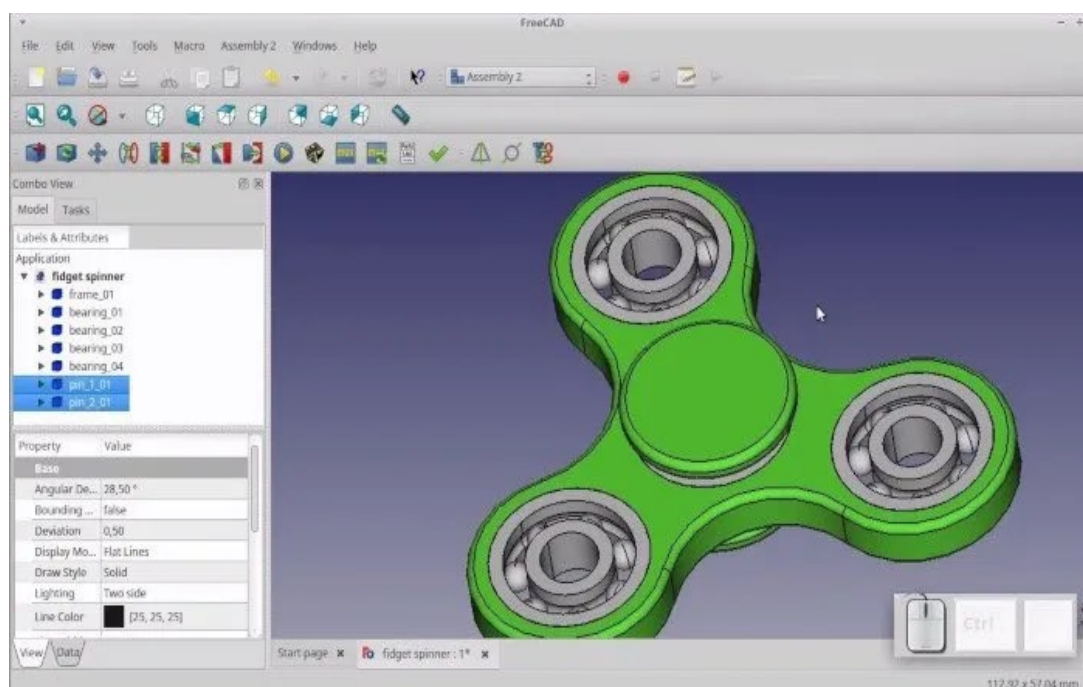


Kuva 21. Fusion 360 suunnittelijoille suunnattu 3D-ohjelmisto, sekä tarkkojen 3D-mallien luomiseen soveltuva ohjelma (3dsourced-sivusto 2021).

7.1.3 FreeCAD

FreeCAD on avoimen lähdekoodin 3D-mallinnusohjelma ja täysin ilmainen. Ohjelmassa sitä on pyritty kehittämään mahdollisimman helppo käyttää ja tehokas vaikka lähtökohdaksi on ollut konetekniikka. Tämä ohjelma on tarkoitettu käyttäjille, jotka

ovat piirtäneet jo aiemmin vastaavanlaisilla ohjelmilla. Aloittelijoilla saattaa mennä hetki oppia käyttämään eri työkaluja, koska osa työkalu ikoneista näyttää oudoilta. Tähän on ratkaisu, FreeCAD:stä löytyy paljon erilaisia opetusvideoita YouTubesta, mikä helpottaa alkuun pääsemisessä. Free-CAD:dillä on mahdollista piirtää (Kuva 22) monimutkaisia, mielenkiintoisia muotoja ja malleja. Tämän jälkeen, kun kuva on valmis, voidaan se heti tallentaa STL-, OBJ- tai DFX-tiedostoksi mikäli tarvitsee CNC:tä. Tällä ohjelmalla on mukava tehdä 3D-malleja ja vielä ilmaiseksi. (3dsourced, 2021)

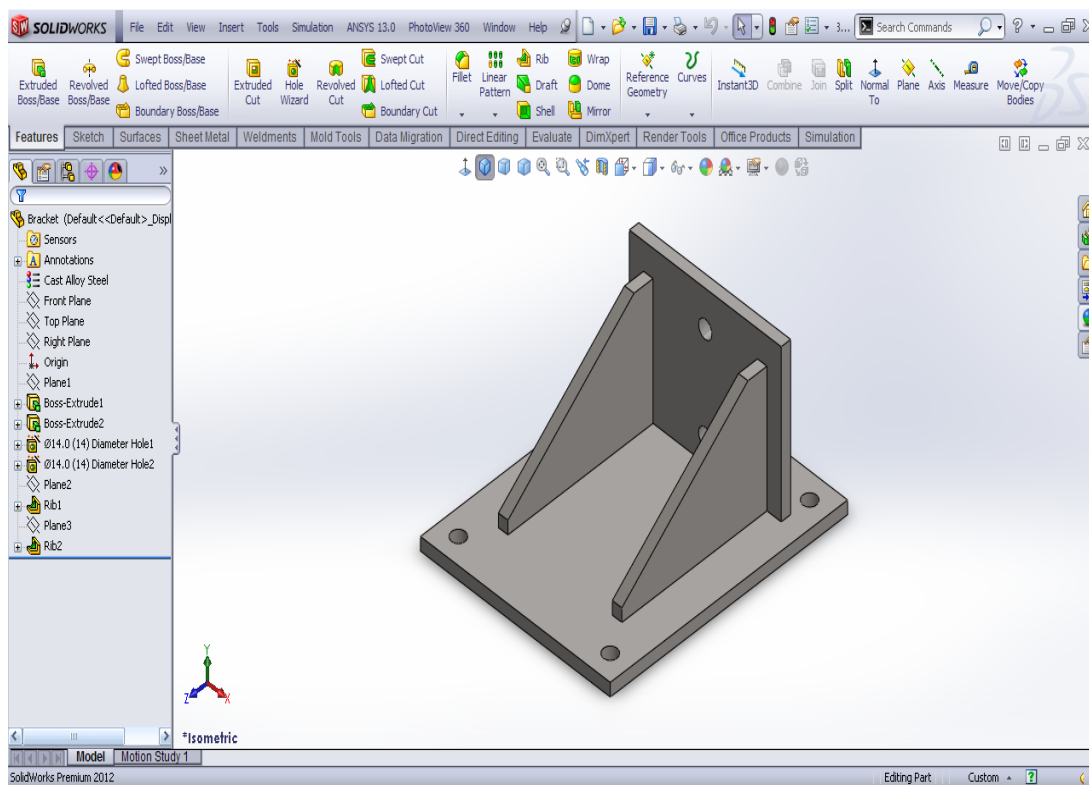


Kuva 22. FreeCAD on erittäin hyvä ilmainen avoimen lähdekoodin ohjelma hieman kokeneemmalle piirtäjälle (3dsourced-sivusto 2021).

7.1.4 SolidWorks

SolidWorks on suunnattu ammatti suunnittelijoille, korkeakouluopiskelijoille ja edistyneille käyttäjille. SolidWorks on mekaniikasuunnitteluohjelmisto. Ohjelmaa käytetään pääasiassa koneiden, laitteiden ja yksittäisten kappaleiden suunnitteluun. Yksittäisestä kappaleesta luotu kuva voidaan tallentaa STL-tiedostona tai muuna tiedosto muotona. STL-tiedostona siitä voidaan valmistaa 3D-tulostus (Kuva 23). Perusmallien piirtäminen SolidWorksillä on melko helppoa, mutta kun kuvan piirtämiseen tarvitaan

erilaisia työkaluja, tulee helposti ongelmia muistamisessa missä järjestyksessä työkaluja käytetään. Tämä saattaa aiheuttaa turhautumista. Korkeakouluopiskelijoille tämä ohjelma on ilmainen vuodeksi kerrallaan, yksityishenkilöille löytyy demo versio ja virallinen version hinta määräytyy version ja siihen liitettävien lisäosien mukaan. Tästä pyydetään yleensä tarjous. Nyt uutena on Startup -ohjelma, kolmen vuoden paketti. Ensimmäinen vuosi on ilmainen, toisena vuotena alennus on 70%, kolmantena vuotena alennus on 50%. Tämä on suunnattu Startup yrityksille. (aipworks, 2021)



Kuva 23. Käyttöliittymän näkymä näytöllä. STL-tiedosto tallennus, sen jälkeen tulostus 3D-tulostimella (d2t1xqejof9utc.cloudfront-sivusto 2021).

7.2 Viipalointiohjelmat FDM-tulostuksille

Hyvältä viipalointiohjelmalta vaaditaan yllättävän paljon ominaisuuksia. Viipalointiohjelman pitää suoriutua nopeasti STL- tiedostosta tai muista tiedostoista, jota ohjelma tukee. Käsittely aika pitää olla mahdollisimman nopea riippumatta tulostuksen koosta tai monimutkaisuudesta.

Viipalointiohjelmassa on hyvät hälytys- ja korjaus ominaisuudet se osaa ilmoittaa virhekohdat tulostuksessa ja korjata ne puolestasi. Tämä säästää aikaa ja rahaa, jota kuluu turhiin tulostuksiin.

Ohjelman pitää olla helppokäyttöinen, käyttöliittymän pitää olla helposti opittava, ohjeet ja oppaat pitää olla selkeät, helposti löydettävät ammattimaisille 3D-viipalointi työkaluille. Monista viipalointiohjelmista löytyy nykyään myös tulostusaika, jäljellä oleva aika ja paljonko materiaalia kuluu tulostukseen. Näin voidaan viitteellisesti hinnoitella tulostuksen hinta. Se kuinka paljon lankaa on jäljellä ei ole suurta merkitystä, koska tämän päivän tulostimet pystyvät ilmoittamaan, jos lanka loppuu, niin tulostin pysähtyy ja jatkaa taas siitä, kun uusi lanka on laitettu paikoilleen.

Mikäli viipalointiohjelma on maksullinen pitää sen ominaisuudet tarjota jotain huomattavaa etua verrattuna ilmaiseen viipalointiohjelmaan.

Hyvään viipalointiohjelmaan on myös automaattiset toiminnot rakennettu niin, että lopputuote on mahdollisimman tarkka ja tukien paikat ovat optimaaliset esim. siltojen ja laajakulmaisia tulosteita tehtäessä. (3dsourced, 2021)

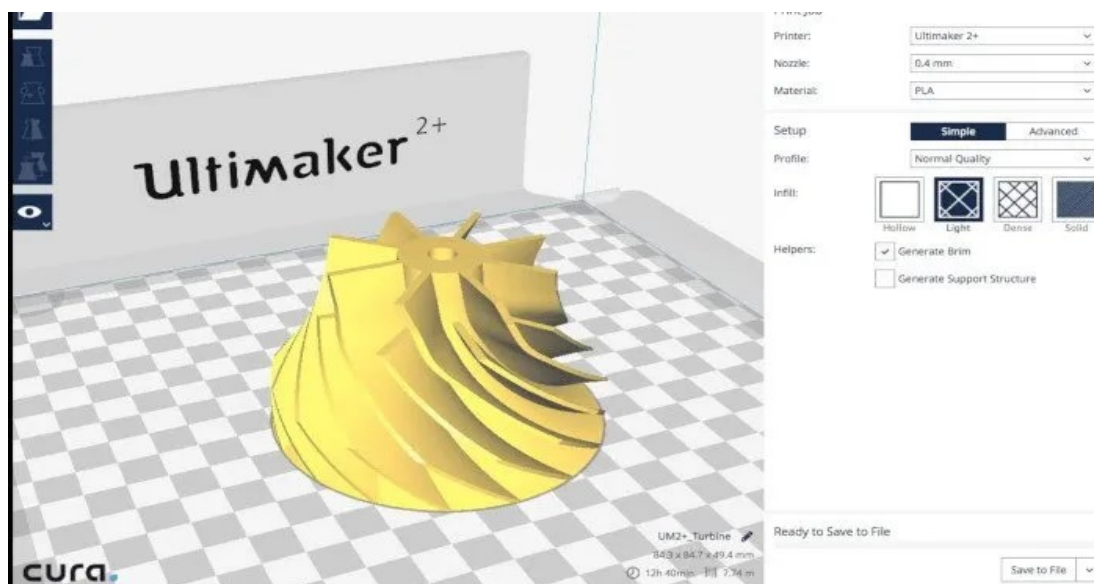
7.2.1 Cura

Cura on monena vuotena äänestetty tai arvosteltu parhaimmaksi ilmaiseksi viipalointiohjelmaksi mitä on markkinoilla. Tämä on Hollantilaisen Ultimakerin kehittämä avoimen lähdekoodin ohjelma ja se on suunniteltu integroitavaksi 3D CAD -ohjelmistotyökalujen, kuten SolidWorksin ja Autodesk Inventirin kanssa helpottamaan eri alustojen työnkulkua.

Koska Cura on Ultimakerin suunnittelema, se on valmis ohjelma Ultimaker tulostimen omistajalle. Cura ohjelmasta löytyy paljon asetuksia niin aloittelijoille kuin kokeneemmillekin 3D-tulostajille, erikoisasetuksia eri 3D-tulostimille, lisäasetuksia niin tuki kuin täytön suhteen.

Näytöllä ohjelma näyttää ammattimaisen tehokkaalta, toisaalta sitä se myös on. Asetuksista löytyy kohdat helppo (Simple) ja edistynyt (Advanced). (Kuva 24) Helppo on tehokas kolmen kohdan vaihtoehto, ensimmäisessä vaiheessa valitaan tulostus asetukset ja viipaloidaan tulostettava kappale. Toisessa vaiheessa voit esikatsella tulostettavaa kappaletta kerros kerrokselta. Tässä vaiheessa on helppo löytää mahdolliset riski

tilanteet, jossa tulostus voi epäonnistua. Tämä säästää aikaa, kun virheet löytyvät ennen tulostusta, näin ollen myös materiaalia säästyy. Kolmannessa vaiheessa voit seurata reaaliajassa tulostuksen etenemistä, nykyään tämän voi tehdä myös etänä. (3dsourced, 2021)



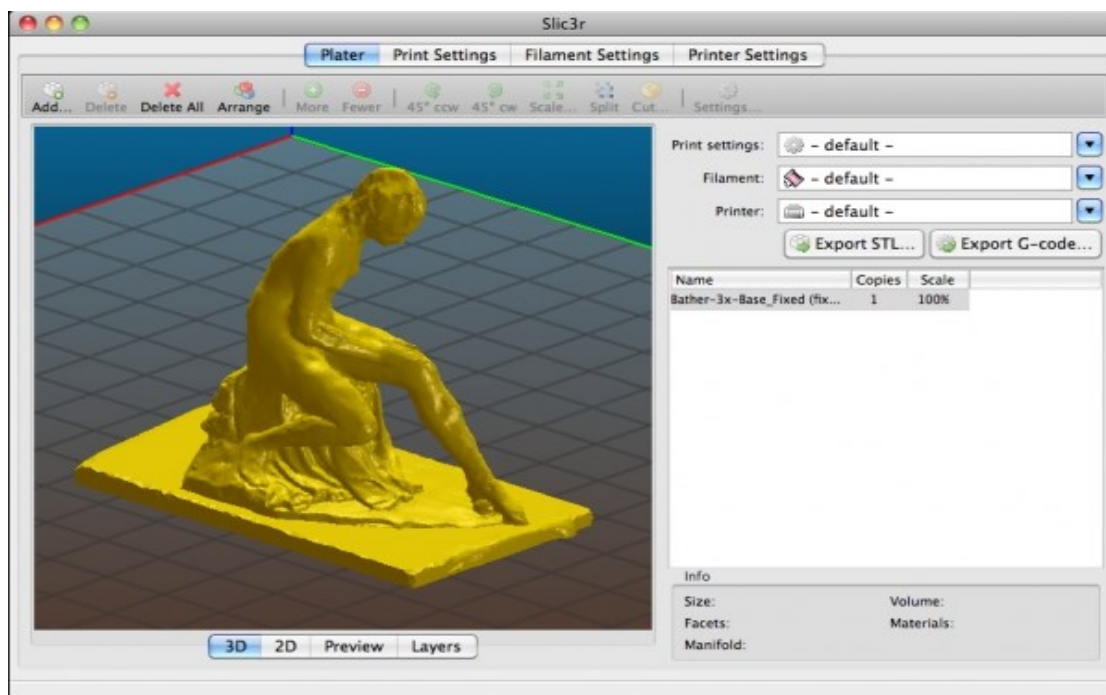
Kuva 24. Ammattimainen käyttöliittymä, ilmainen ja erittäin tehokas (3dsourced-sivusto 2021).

Edistynyt (Advanced) löytyy todella paljon erilaisia säätö mahdollisuuksia lämpötilojen, nopeuksien, täytön ja tukien suhteen. Tämä on tarkoitettu niille jotka ovat tehneet tulostuksia jo enemmän ja ymmärtävä näiden vaikutukset tulostuksessa. (3dsourced, 2021)

7.2.2 Slic3r

Slic3r on viipalointiohjelma, joka Alessandro Ranellucci esitteli ensimmäisen kerran vuonna 2011 ja se on edelleen paras avoimen lähdekoodin viipalointiohjelma. Se sisältää laajan valikoiman ominaisuuksia, kuten vahvat ja tehokkaat täytteet, hyvän esikatselunäkymät (Kuva 25) joista on helppo tarkastaa tulostettava kappale ennen varsinaista tulostusta. Slic3r tukee kahden tai useamman suuttimen tulostimia. Näin voidaan tehdä helposti kahden tai useamman eri materiaalin tulostuksia, lisäksi Slic3r ei rajoitu vain FDM-tulostimiin vaan sillä pystytään viipaloimaan myös ohjelmat hartsia

käyttävillä tulostimilla. Slic3r pystyy myös tulkitsemaan monenlaisia tiedostoja, kuten STL-, AMF- ja OBJ lisäksi sinne voidaan viedä tai itse kirjoittaa GCODE-tiedostoja. (3dsourced, 2021)

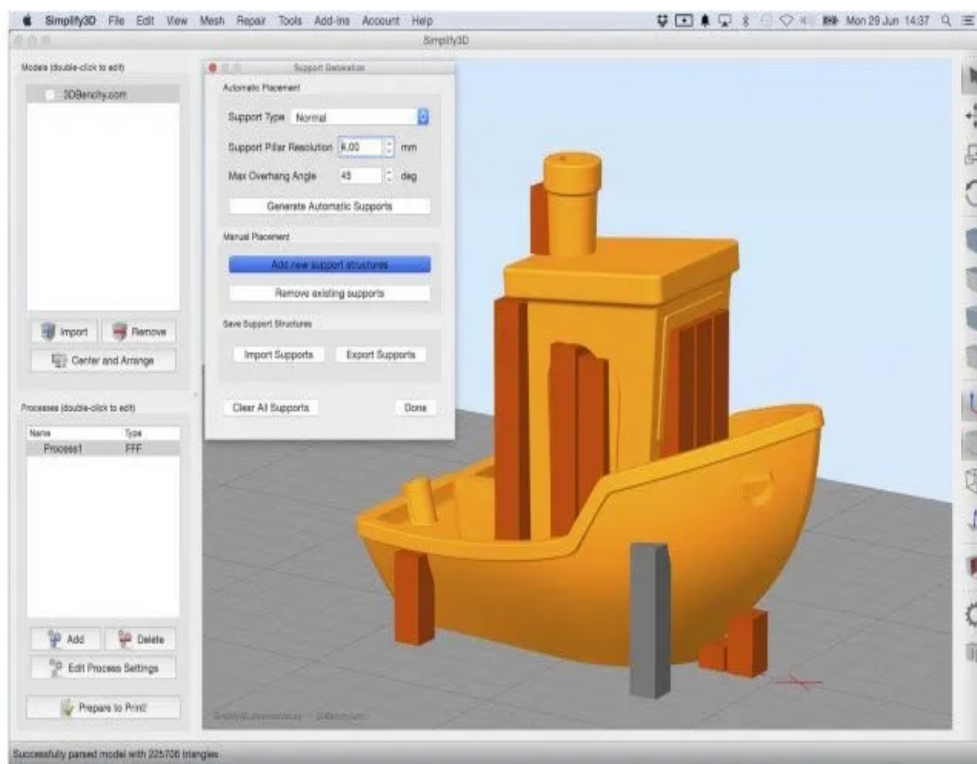


Kuva 25. Näytön näkymä tässä voidaan asetella kappaleet oikeaan asentoon ennen tulostusta (slic3r-sivusto 2021).

7.2.3 Simplify3D

Tämä viipalointiohjelma on erittäin hyvä jo kokeneemmille tulostajille. Se on yhteensopiva melkein kaikkien tulostimien kanssa. Tätä viipalointiohjelmaa käyttävät aloittelija ja kokeneet tulostaja. Jotkut käyttävät tätä myös opetuksessa. Simplify3D sisältää erittäin hyvät aloitus asetukset mitä tulostuksessa tarvitaan. Tähän on myös helppo tallentaa omat tulostinasetukset, materiaalien tai suutin kokojen mukaan. Tästä ohjelmasta löytyvät samat ominaisuudet kuin kilpailevilla ohjelmilla. Niitä on kuitenkin muutettu paremmiksi tuottamaan lopputulos. Ainut huono puoli on, että tämä ohjelma on maksullinen, hinta n. 150\$. Hinta on kuitenkin pieni siihen nähden, jos omistat useamman tulostimen, lisenssi mahdollistaa ohjelman kahteen tietokoneeseen.

Hyväksi puoleksi pitää lisätä vielä, että ohjelmiston kotisivuilla on todella kattava määrä tulostuksesta, tukien asettelusta, (Kuva 26) tulostuksessa tapahtuvista mahdollisista virheistä ja miten virheitä voidaan korjata tai muuttaa asetuksia. (3dsourced, 2021)



Kuva 26. Simplify3D edistynein viipalointiohjelma maailmassa. Näytön näkymä tukien asettelu (3dsourced-sivusto 2021).

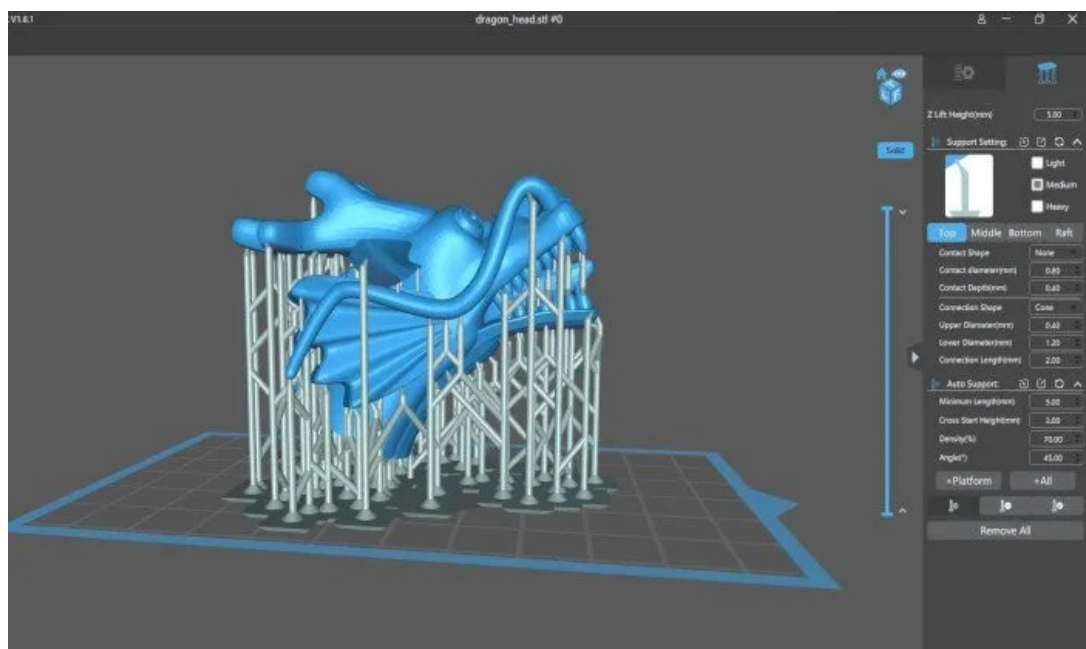
7.3 Viipalointiohjelmat hartsia ja jauheita käyttäville 3D-tulostimille

Usein kun puhutaan viipalointiohjelmasta, niin ensimmäisenä tulee ajatus FDM tulostimet. Huomattavasti vähemmän keskusteltu sekä tietoa on saatavilla hartsia käyttävien 3D-tulostimien viipalointiohjelmista. Tämä johtuu siitä, että ne poikkeavat hienan tavallisesta FDM viipalointiohjelmasta, siksi niitä on huomattavasti vähemmän. Näissäkin viipalointiohjelmissä pätee samat referenssit kuin FDM viipalointiohjelmissä eli ohjelman pitää viipaloida kappale nopeasti, ilmoittaa virheistä sekä korjata ne ja rakentaa ideaaliset tukirakenteet. Ostaessasi SLA-, DLP tai LCD-tulostimen yleensä mukana tulee ilmainen viipalointiohjelma, mutta se ei välttämättä ole paras

mahdollinen juuri sinun tarpeillesi. Sopivan viipalointiohjelman etsimisessä saattaa mennä paljon aikaa. Kaikissa viipalointiohjelmissa on käytetty samaa STL-tiedostoa, jotta näkymä näytöllä olisi mahdollisimman todenperäinen. (3dsourced, 2021)

7.3.1 CHITUBOX

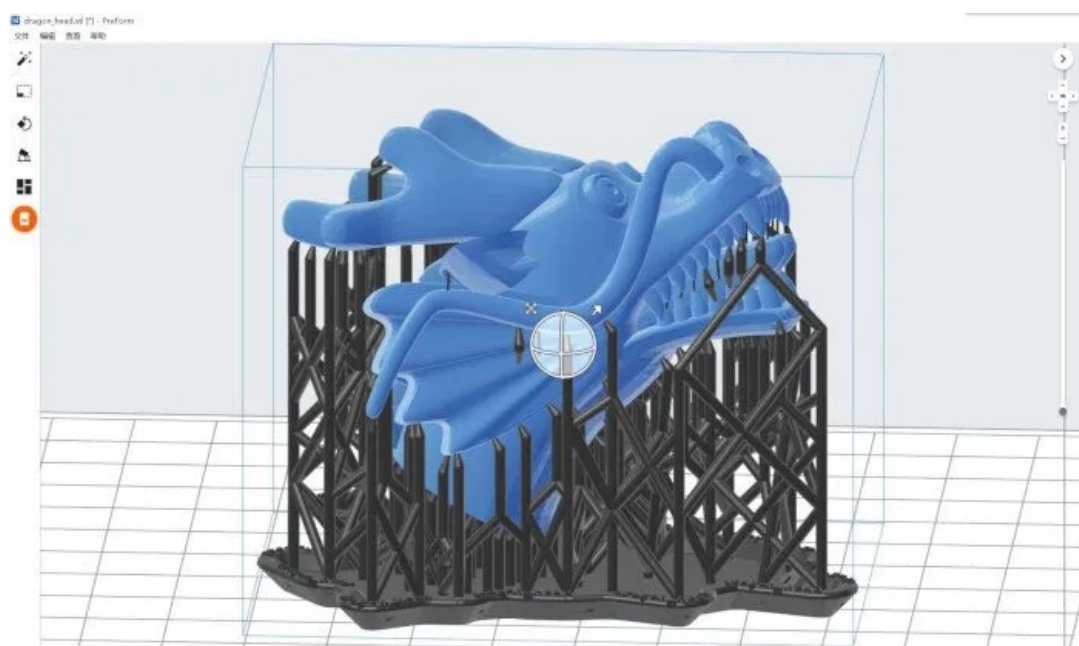
CHITUBOX Free on helppokäyttöinen 3D-viipalointiohjelma, joka on suunniteltu harsia käyttäville 3D-tulostimille. Aloittelijankin on helppo oppia käyttämään tätä tehokasta, mutta kuitenkin selkeällä käyttöliittymällä olevaa ohjelmaa. Ohjelmalla pystytään muokkaamaan malleja, rakentaa ja muuttaa tuentaa sekä viipaloida tulostettava kappale omien tarpeiden mukaan. Ohjelma osaa hyödyntää esitetyttä tietoa tulostimesta, automaattisesti järjestää tulostettavat kappaleet niin että ne mahtuvat tulostus-alustalle, tuet voidaan luoda yhtä kuvaketta painamalla (Kuva 27) tai manuaalisesti haluttuihin kohtiin tulosteessa ja näin voit varmistaa, että mallit tulostuvat oikein. CHITUBOX Free:stä löytyy muitakin mukavia työkaluja kuten 3D-tulosteiden kovertamista, täyttöä, kloonausta, peilaamista ja skaalausta. Ainut miinus on, että ohjelma vaatii tilin. (3dsourced, 2021)



Kuva 27. CHITUBOX:sin käyttöliittymä on selkeä sekä automaattinen tuenta on hyvä (3dsourced-sivusto 2020).

7.3.2 PreForm

PreForm on Formlabsin suunnittelema ilmainen viipalointiohjelma, joka on suunniteltu pääasiassa käytettäväksi heidän omalla Form 3 SLA-tulostimella, mutta tukee muiden valmistajien tulostimia. Ohjelma on hyvin samanlainen kuin CHITUBOX Free ja niiden ominaisuudet ovat melkein identtiset. Muita ominaisuuksia ovat useamman tulostimen samanaikainen käyttö sekä WiFi kautta voi lähettää tulosteita myös useammalle tulostimelle. Tämä ohjelma on helppo käyttää, (Kuva 28). Sopii myös aloittelijoille. Käyttöliittymä on helppo oppia. Turhat kuvakkeet ja toiminnot on riistettu tästä ohjelmasta pois. (3dsourced, 2021)

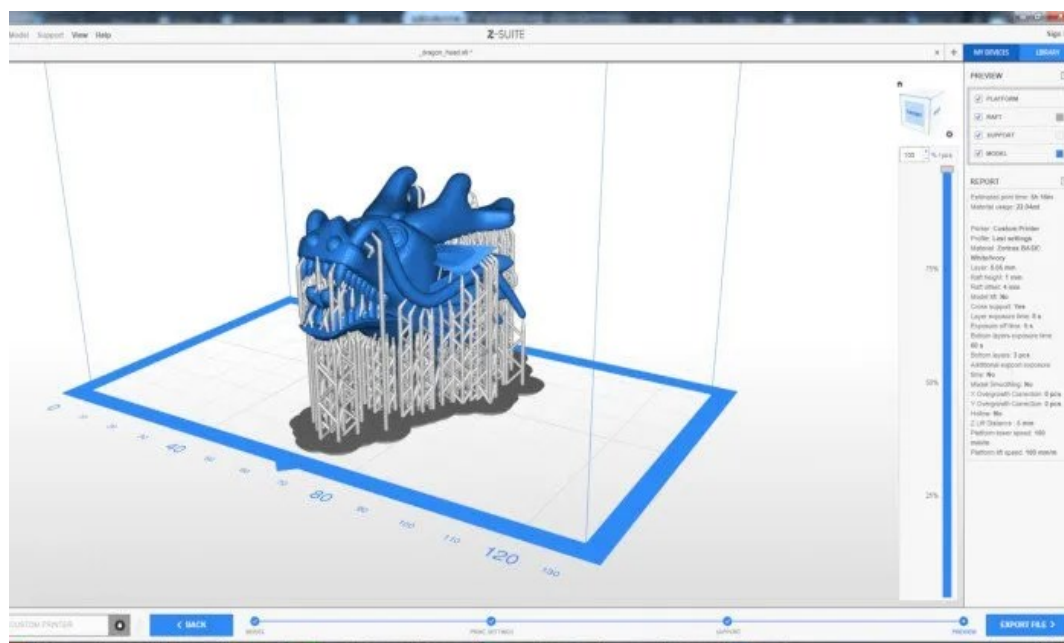


Kuva 28. Käyttöliittymän näkymä on yksinkertainen (3dsourced-sivusto 2020).

7.3.3 Z-SUITE

Z-SUITE on Zortraxin valmistama erittäin kehittynyt viipalointi- ja 3D-tulostusohjelma. Tämä ohjelma on optimoitu Zortrax Inkspirelle, joka on yksi parhaista hartsitulostimista. Ohjelma on kuitenkin yhteen sopiva muiden valmistajien LCD-tulostimien kanssa. Ohjelma sisältää tehokkaita työkaluja kuten kolmioverkkokorjaus, tunnistaa ohuet seinämät jotka voivat rikkoontua tulostuksen aikana, korostaa mahdol-

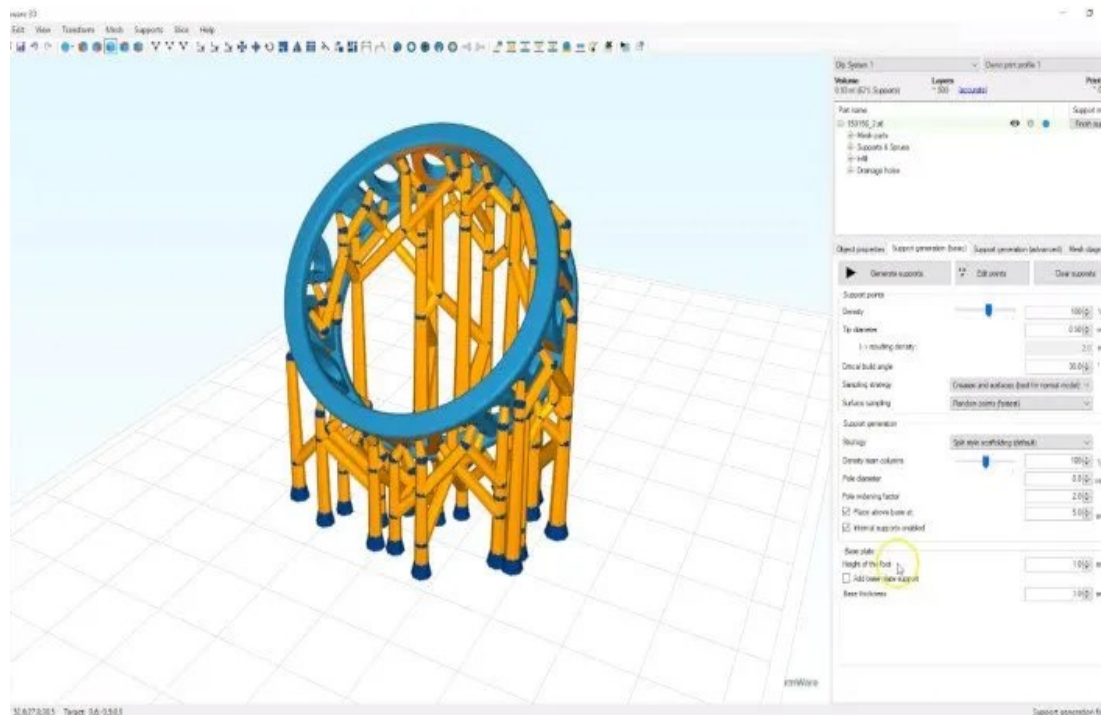
liset ylitykset, kattava näytön tiedot, helppo käyttöinen käyttöliittymä ja itse rakennettu mallikirjasto. Vaikka käyttöliittymä on helppo ja näyttö selkeä, (Kuva 29) voisi valikon asettelua parannella. Z-SUITE sisältää samat yleisimmät työkalut kuten muutkin viipalointiohjelmat. Moni kone tulostus toimii ainoastaan Zortraxin kanssa. (3dsourced, 2021)



Kuva 29. Z-SUITE:n käyttöliittymä näytöllä (3dsourced-sivusto 2020).

7.3.4 Formware

Toisin kuin edellä mainitut viipalointiohjelmat Formware ei ole ilmainen, yhden lisenssin hinta n.150\$. Hinta ei ole suuri siihen nähden mitä kaikkea sillä saa tämän viipalointiohjelman kautta. Ohjelmalla voi kovertaa, täyttää, lisätä reikiä, peilata tai skaalata helposti valmistettavia tulosteita. Formware on edistyksellinen 3D-viipalointiohjelma, joka on erikoistunut hartsitulostuksessa korujen (Kuva 30) sekä hammasimplanttien tulostukseen. Ohjelmassa on hyvä virheiden tunnistus, joka säästää aikaa turhilta tulostuksilta. Formware on suunnattu edistyneemmille käyttäjille, jotka osaat hyödyntää ohjelman kattavia työkaluja. (3dsourced, 2021)



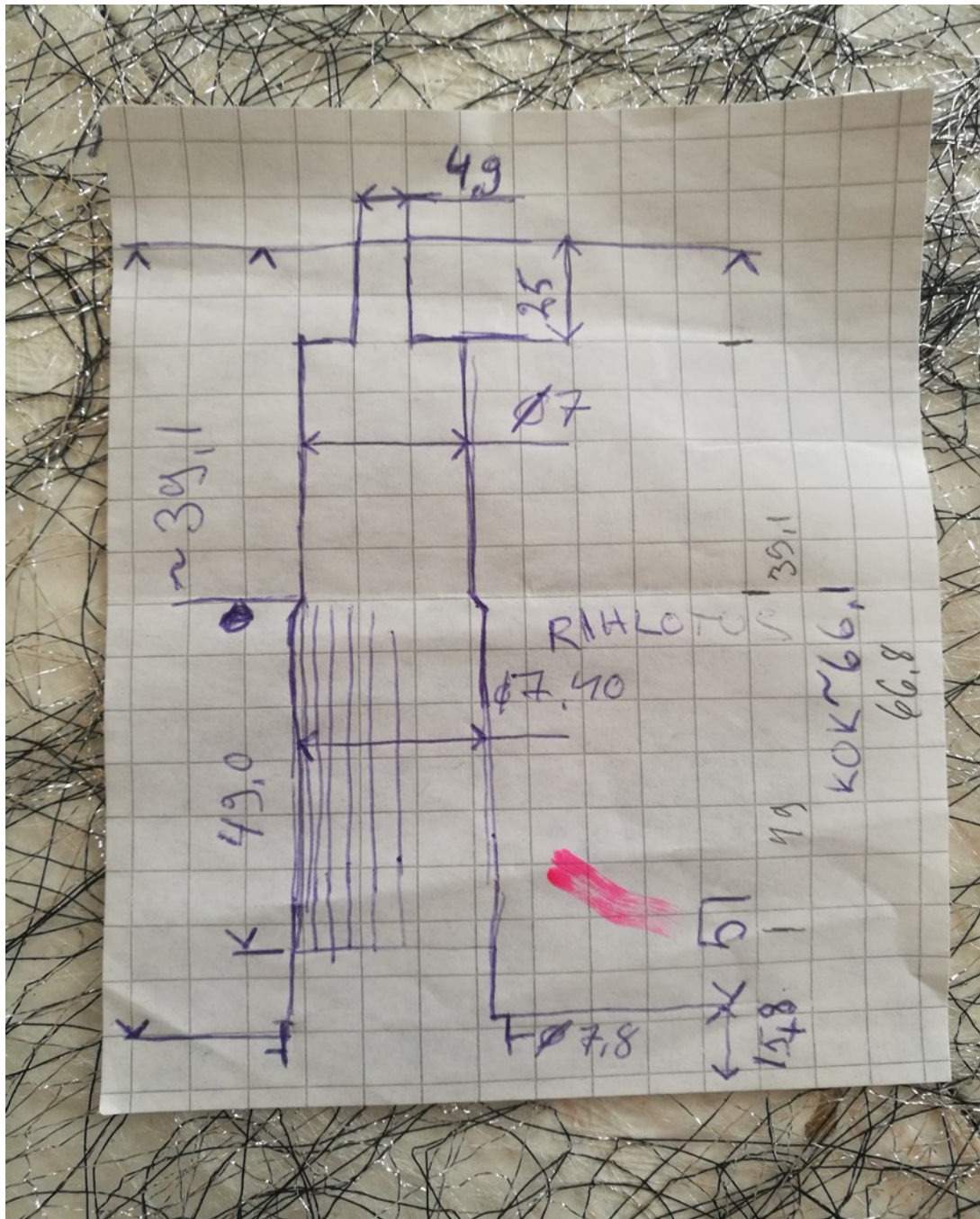
Kuva 30. Formware käyttöliittymä näytöllä, sormuksen tulostus, yläpalkissa kattavasti työkaluja (3dsourced-sivusto 2020).

8 ADAPTERIN TUOTEKEHITYS

Rikki menneen adapterin tutkiminen alkoi visuaalisella tarkastelulla. Visuaalisessa tarkastelussa ei ulkoisesti voinut todeta sen olevan rikki. Tarkemmassa tutkinnassa huomio kiinnittyi adapterin sisällä oleviin muotoihin, joita oli erittäin vaikea tulkita hyvässä valaistuksessakaan adapterin pienen reiän ja tumman värin takia. Tutkinnassa tulii siihen tulokseen, että adapterin sisällä oli ollut rihlaus, joka oli murtunut rikki. Syy mikä tämän aiheutti, oli sen hetkisten tietojen mukaan terään kohdistunut suuri voima, joka oli estänyt terän pyörimisen moottorin kuitenkin yrittäessä jatkaa pyörimistä. Koko paketin heikoin kohta oli adapterin rihlaus.

Adapterin valmistusmateriaalista en osannut sanoa mitä muovia/muoviyhdistettä se oli. Adapterissa ei ollut mitään merkintää mistä tämän olisi voinut selvittää. Adapterin tuotekehityksessä piti selvittää seuraavat asiat, mitä mahdollisia muutoksia adapteriin voisi tehdä, mikä olisi riittävän kestävä materiaali, olisiko FDM-tekniikka riittävän tarkka ja tarkastella korjaus kustannuksia.

Ensimmäinen piirustus tehtiin akselista ruutupaperille, noin mitoilla mittavälineenä oli työntömitta. (Kuva 31)



Kuva 31. Piirustus akselista (Kuva Urgo Kallio-Soukainen).

Varsinaisen kuvan kappaleesta piirrettiin SolidWorks ohjelmalla, joka oli koulun puolesta mahdollista käyttää. Kuvan piirtämisessä apuna minulla oli ulkomuotoja, sekä mitoitusta varten rikki mennyt adapteri, sekä mittavälineinä työntömitta ja astekulma.

kanssa. Materiaalit, jotka aiheuttavat myrkyllisiä savuja ja kaasuja pitää huolehtia riittävästä ilman vaihdosta. Näin vältymme turhilta palovammoilta, sähköiskuilta ja sairastumisilta. Itse tulostaminen tapahtuu seuraavasti:

1. Kytke virta tulostimeen. Odota ja luo yhteys tietokoneeseen.
2. Siirretään STL-tiedosto viipalointiohjelmaan.
3. Tarkastetaan viipalointiohjelmassa asetukset ja tehdään virtuaalinen tulostus, jotta voimme minimoida virheet. Samalla voimme esilämmittää suuttimen ja lämpöalustan.
4. Nyt odotamme, että tulostin ilmoittaa olevansa valmis. Tämän jälkeen voimme aloittaa tulostamisen.
5. Tulostamisen alussa on hyvä seurata muutama kerros, että tulostus tarttuu kunnolla alustaan. Nyt odotamme, että kaikki kerrokset tulostuvat ja tulostus on valmis.
6. Kun tulostus on valmis, ei heti kannata lähteä irrottamaan tulostusta, vaan odotetaan, että tulostusalusta jäähtyy, niin tulostuksen irrottaminen on helpompaa.
7. Visuaalinen tarkastelu, mittaus ja mahdollinen jälkikäsittely.

8.2 Adapterin mittaaminen

Adapterin mittaaminen osoittautui vaikeammaksi kuin olin ajatellut. Suurimman osan ulkopuolisista mitoista pystyi mittaamaan työntömitalla sekä osan sisämitoista mihin työntömitan kärjet ylettyivät. Sisämittojen halkaisijoiden osalta oli käytössä poranteriä, joiden varret olivat lähellä akselin halkaisijoita. Näillä pystyy myös mittaamaan osan syvyysmitoista ja osa työntömitan hännällä. Loppu jäi visuaaliseen arvioon. Varsinkin rihlaus ja päätyura oli vaikea mitata.

Ainut tapa mitata kappale oikein olisi ollut, että kokonaisesta kappaleesta mitataan pituus mitat tämän jälkeen, katkaistaan kappale määrä mittoihin ja mitata halkaisijat erikseen. Silti rihlauksen mittaus olisi epävarmaa. Tietenkin olisi voinut valmistaa kolme kappaletta kaksi mitata edellä mainitusti ja kolmannen halkaista. Tästä aiheutuisi kuitenkin lisätyötä ja tulostusten tekemistä. Omat käytössä olevat mittavälineet ovat hyvin rajalliset, työntömitta, astekulma ja poranterän varsia. Olisin tarvinnut edellä mainittujen mittavälineiden lisäksi projektorin, tappitulkit ja rihlaustulkit.

9 ADAPTERIN ASENNUS JA TESTAUS

Itse adapterin asennus ei sinänsä ole mikään ihmeellinen tai monimutkainen tapahtuma. Asia, joka asennuksessa pitää ottaa huomioon on, että rihlaus ja päätyura ovat linjassa akseliin nähden. Tätäkään ei oikeastaan voinut kuin visuaalisesti tarkastaa adapteria asettaessa akseliin. Mikäli adapteri meni väärin rihlaukseen, jäi se selvästi liian ylös akselissa, koska päätyura ei ollut kohdillaan.

Nyt kun adapteri on oikein asennettu paikoilleen, (Kuva 33) oli testiajon aika.



Kuva 33. Adapteri asennettu akseliin (kuva Urgo Kallio-Soukainen).

Adapteri päälle tulee välikappale, kulho sekä terä ja kansi, jossa on suppilo, minne porkkanan palat laitetaan ja viimeiseksi työnnettä jolla työnnetään porkkanan paloja terää vasten, että saisimme tuotettu raastetta. Testissä käytettiin tuoreita porkkanoita, näin saimme luotua mahdollisimman samanlaisen tilanteen, jossa alkuperäinen adapteri oli mennyt rikki. Jokaisella kerralla käytössä oli viisi isoa porkkanaa. Raastamiseen kuluvaa aikaa ei ole määritetty eikä voimaa, jota käytettiin porkkanan paloja painaessa terää vasten.

10 LOPPU ANALYYSI

Nyt kun testiajot ja mittaukset ovat suoritettu sekä visuaalinen tarkastelu saatettu päätökseen, on aika puida syitä ja seurauksia. Testiajot yksi ja kaksi olivat onnistuneet eikä visuaalisessa tarkastelussa ollut mitään huomautettavaa adapterissa. Kolmaskin testiajo sujui onnistuneesti ja porkkanat tuli raastettua, mutta visuaalisessa tarkastelussa tuli ilmi, että noin 9 mm kappaleen päästä oli pinnassa halkeama. Adapterin visuaalisessa tutkimuksessa havaittiin myös, että sisältä oli rihlaus mennyt rikki ja näin ollen pyörähtänyt ympäri. Tarkemmassa tarkastelussa huomasimme, että myös kaks kantti oli rikkoontunut, jolloin adapteri oli murtunut osittaisen kylmäsillan takia. Näin ollen, adapteri on käyttö kelvoton. (Kuva 34)



Kuva 34. Adapterissa näkyy selvä halkeama (kuva Urgo Kallio-Soukainen).

Ennen tulostusta olisi pitänyt muuttaa tulostus arvoja seuraavasti. Tulostus olisi pitänyt tulostaa umpeen seinämien osalta, suuttimen lämpötilaa nostaa ja jäähdyttävää ilmaa vähentää ja tulostus nopeutta hieman hidastaa. Kappaleen ulkomittoja olisi pitänyt muuttaa, jotta se olisi istunut paremmin vastakappaleeseen ja näin ollen vähentänyt hakkaavaa liikettä sekä adapteriin kohdistuvaa rasitusta. Sisämittoja olisi myös pitänyt muuttaa päätyura ja rihlauksen osalta. Rihlaukseen pitää myös valmistaa tulkit. Se missä asennossa kappale olisi ollut paras tulostaa niin mielestäni se on reikä ylöspäin. Suutin täytyy myös vaihtaa 0,2mm näin minimoimme mahdollisia kylmäsiltoja. Aiempi suutin oli kokoa 0,4mm. Pienenpää suuttimeen vaihtaminen lisää kyllä tulostusaikaa mutta yksittäisessä kappaleessa sillä ei ole suurta merkitystä. Seuraavaksi aion kokeilla ABS ja PETG materiaaleilla, miten tulostus onnistuu. Tätä opinnäytetyötä tehdessä heräsi kiinnostus myös hartsin tulostimeen, jonka tarkkuus on parempi kuin FDM-tulostimen. LCD-tulostimeen on myös helpommin löydettävissä niin sanottua teknistä hartsia kuin FDM-tulostimeen lankaa. Kuluttaja mallin FDM-tulostiin vaatisi koteloinnin, suuttimen, joka mahdollistaisi noin 500°C lämpötilan ja lämmitysalustan, jonka lämpötilaa voisi nostaa 150°C. Itselläni on myös LCD-tulostin. En vain ole ehtinyt ottaa sitä käyttöön. Valitettavasti edellä mainittujen tehtävien testaamista en ehdi tekemään tähän opinnäytetyöhön. Mutta projekti jatkuu ja aion jatkaa testauksia ja uskon vakaasti, että molemmilla menetelmillä pystyy valmistamaan korvaavan adapterin. Mikäli adapteri ei vielä kestä niin muutetaan piirustusta lisäämällä 2 x M2.5 kierre adapterin yläpäähän kaks kantin kohdalle ja lisätään pidätinruuvit niin adapteri ei pääse silloin pyörähtämään eikä näin ollen riko rihlausta. Hirveästi ei kannata resursseja tällaisiin projekteihin tuhlaa. Laitteen tai tavaran rikkoontuessa kannattaa ensin harkita korjauttamista, ennen kuin ostaa uuden rikkimenneen tilalle. Tämän laitteen korjaus kannattaa, koska materiaali ja muut kustannukset jäävät reilusti alle verrattuna uuden laitteen hankinta hintaan.

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni tuli uutta teoria tietoa 3D-tulostuksesta sen eri menetelmistä ja materiaaleista. Tämä tieto auttaa minua ymmärtämään paremmin 3D-tulostamista sekä herätti kiinnostusta LCD-tulostimiin ja niissä käytettävistä materiaaleista, jonka takia aion jatkaa 3D-tulostuksen parissa tulevaisuudessakin. Osa mallinnusohjelmista oli minulle tuttuja kuten FreeCAD ja SolidWorks viimeksi mainitun käytössä

tuli uusia näkökulmia, miten piirtää sisämuotoja. Viipalointiohjelmista olin aikaisemmin käyttänyt kaikkia ohjelmia, joita tässä opinnäytetyössä toin esille. Eniten olen käyttänyt slic3r ja simplify3d ohjelmia niiden helppo käytöisyyden ja hyvien ominaisuuksien takia. Opinnäytetyö opetti hyvin paljo myös dokumentoinnista, joka on tuottanut itselleni aiemmin vaikeuksia.

LÄHTEET

3dkauppa 2019. Tietoa-filamenteista. 3dkauppa-sivusto. Viitattu 10.11.2021.

<https://3dkauppa.com/tietoa-filamenteista>

3dsourced 2021. Selective Laser Sintering: Everything You Need To Know About SLS 3D Printing. 3dsourced-sivusto. Viitattu 12.11.2021.

<https://www.3dsourced.com/guides/selective-laser-sintering-sls/>

3dsourced 2021. The Top 10 Best 3D Slicers 2022 (6 Are Free!). 3dsourced-sivusto. Viitattu 17.11.2021. <https://www.3dsourced.com/3d-software/best-3d-slicer-printer-software/>

3dsourced 2021. Top 12 Best Free 3D Modeling Software (For Beginners) 2022. 3dsourced-sivusto. Viitattu 29.11.2021. <https://www.3dsourced.com/rankings/best-free-3d-software/>

3dsourced 2021. Top 6 Best Resin 3D Slicers in 2022 (SLA/DLP/LCD). 3dsourced-sivusto. Viitattu 7.12.2021. <https://www.3dsourced.com/3d-software/best-resin-3d-slicers/>

Aipworks 2021. SolidWorks ilmaiseksi käyttöön. aipworks-sivusto. Viitattu 2.12.2021. <https://aipworks.fi/solidworks-ilmaiseksi/>

All3DP, 2019. SLA 3D Printing – Simply Explained. all3dp-sivusto. Viitattu 19.10.2021.

<https://all3dp.com/2/stereolithography-3d-printing-simply-explained/>

All3dp 2021. The Types of 3D Printing Technology of 2021. all3dp-sivusto. Viitattu 19.10.2021. <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

An-cadsolutions 2021. Filamentit. an-cadsolutions-sivusto. Viitattu 12.11.2021. <https://www.an-cadsolutions.fi/3d-laitteet-ja-materiaalit/filamentit/>

aviisi.etappi 2020. Menikö tavara rikki? Älä heitä sitä pois, vaan korjauta se! aviisi.etappi-sivusto. Viitattu 26.1.2022.

<https://aviisi.etappi.com/artikkeli/etusivu-2-2020/meniko-tavara-rikki-korjauta-se/>

Emmett Grames. 2020. What is FDM 3D Printing? - Simply Explained. all3dp-sivusto. Viitattu 17.10.2021.

<https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>

esun3d 2021. eResin abs product. esun3d-sivusto. Viitattu 20.12.2021.

<https://www.esun3d.com/eresin-abs-product/>

esun3d, 2021. eResin abs product parameter information. esun3d-sivusto. Viitattu 20.12.2021.

<https://www.esun3d.com/eresin-abs-product/>

Esun3d 2021. eResin-PLA Pro. esun3d-sivusto. Viitattu 20.12.2021.

<https://www.esun3d.com/eresin-pla-pro-product/>

formlabs, 2021. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Viitattu

15.11.2021. <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>

Formlabs 2021. SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers. formlabs-sivusto. Viitattu

2.11.2021. <https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>

Greelane 2019. Kuka rakensi ensimmäisen 3D-tulostimen? greelane-sivusto. Viitattu

12.10.2021. [https://www.greelane.com/fi/humanistiset-tieteet/historia-ja-](https://www.greelane.com/fi/humanistiset-tieteet/historia-ja-kulttuuri/who-invented-3d-printing-4059854/)

[kulttuuri/who-invented-3d-printing-4059854/](https://www.greelane.com/fi/humanistiset-tieteet/historia-ja-kulttuuri/who-invented-3d-printing-4059854/)

Kauppa.sintosen 2021. PETG - 3D-Tulostuslangat. kauppa.sintosen-sivusto. Viitattu

12.11.2021. <https://kauppa.sintosen.com/category/2/petg>

Kodama, H. 1981. "Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer," Review of Scientific Instruments, Vol. 52, No. 11, pp. 1770–73,. Viitattu 8.10.2021.

https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#cite_note-16

Kodama, H. 2014. Background of my invention of 3D printer and its spread," Patent Magazine of Japan Patent Attorneys Association, vo.67, no.13, pp.109-118,. Viitattu 8.10.2021.

https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#cite_note-13

Leo Gregurić. 2018. History of 3D printing: When was 3D Printing Invented?

all3dp-sivusto. Viitattu 12.10.2021. <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>

Liqcreate 2021. Products. liqcreate-sivusto. Viitattu 20.12.2021.

<https://www.liqcreate.com/products/#generalpurpose>

Lütkemeyer, M., 2022. CoreXY vs. H-Bot: Which System is Better for a 3D Printer?

the3dprinterbee-sivusto. Viitattu 7.2.2022. <https://the3dprinterbee.com/corexy-vs-hbot/>

Miller, A. 2016. The Evolution of 3D printing: past, present and future.

3dprintingindustry-sivusto. Viitattu 13.10.2021.

<https://3dprintingindustry.com/news/evolution-3d-printing-past-present-future-90605/>

Pahl/Beitz, 2006. Konstruktionslehre. 6 painos. Berlin: Springer. Viitattu 3.2.2022.

Pires, R. 2019. SLA vs DLP: The Differences - Simply Explained. all3dp-sivusto.

Viitattu 20.10.2021. <https://all3dp.com/2/dlp-vs-sla-3d-printing-technologies-shootout/>

Robert, P. 2020. 3D Printing Revolution: Know Everything From Scratch. printtopeer-sivusto. Viitattu 6.10.2021. <https://www.printtopeer.com/3d-printing-revolution/>

Sculpteo 2021. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. sculpteo-sivusto. Viitattu 13.10.2021. <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>

Simplify3d 2021. HIPS. simplify3d-sivusto. Viitattu 15.11.2021. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/hips/>

Stratasysdirect, 2021. The Complete Guide to Selective Laser Sintering (SLS). stratasysdirect-sivusto. Viitattu 22.12.2021. <https://www.stratasysdirect.com/technologies/selective-laser-sintering>

Tractus3d 2020. FDM 3D printing - Fused Deposition Modeling. tractus3d-sivusto. Viitattu 19.10.2021. <https://tractus3d.com/knowledge/learn-3d-printing/fdm-3d-printing/>

Turney, D. 2021. History of 3D Printing: It's Older Than You Think. redshift.autodesk-sivusto. Viitattu 6.10.2021. <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>

Wikipedia. 2015. Tuotekehitys. Wikipedia-sivusto. Viitattu 3.2.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotekehitys>