



Toni Ferm

## 3D-tulostin kotikäyttöön

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.3.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Toni Ferm
Otsikko:	3D-tulostin kotikäyttöön
Sivumäärä:	40
Aika:	4.3.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Projekti-insinööri Jani Stigell

---

3D-tulostimia alettiin kehittää 1980-luvulta; ensimmäiset tulostimet olivat isoja ja kal-  
liita. 1980-luvulla kehitettiin kolme erilaista 3D-tulostustekniikkaa, joita pidetään 3D-  
tulostusteknologian perustana.

Insinöörityön tavoitteena oli käsitellä 3D-tulostamista ja sen mahdollisuuksia. Insinöö-  
rityön tehtävänä oli antaa lukijalle kattavat perustiedot liittyen 3D-tulostimiin, 3D-tu-  
lostukseen ja turvallisuuteen kotikäytössä. Insinöörityössä tarkasteltiin, kuinka erilai-  
set 3D-tulostimet toimivat ja mitä työvaiheita 3D-tulostus sisältää.

Insinöörityö tehtiin kirjallisena tutkimustyönä hyödyntäen omaa käytännön työkoke-  
musta 3D-tulostimien kanssa. Työssä tutustuttiin monipuolisesti 3D-kirjallisuuteen, ar-  
tikkeleihin ja internetsivuihin, joissa käsiteltiin 3D-tulostusteknologiaa, 3D-tulostuksen  
toimintaperiaatteita ja 3D-tulostuksen turvallisuutta.

Työssä tutustuttiin ja vertailtiin matalan hintaluokan 3D-tulostimia, jotka soveltuvat ko-  
tikäyttöön. Vertailussa huomattiin, että kotitalouksiin tarkoitetut 3D-tulostimet ovat  
edullisesta hinnastaan huolimatta tulostustarkkuudeltaan hyviä. Lisäksi havaittiin, että  
tietyt 3D-tulostimet tarvitsivat rinnalle oheislaitteita, jotta saatiin viimeistelty 3D-tulos-  
tus aikaiseksi.

Insinöörityössä nousee esiin, kuinka vähän tiedetään haitallisten aineiden vaikutuk-  
sista ihmisiin, joita 3D-tulostimet vapauttavat. Tiedetään, että pienhiukkaset ovat vaa-  
rallisia terveydelle, mutta puutteellisten tietojen takia ei ole voitu luoda sääntelystan-  
dardia 3D-tulostimille. Merkillepantavaa on 3D-tulostimen sijoittamisen tärkeys koti-  
oloissa, jotta tulostaminen olisi mahdollisimman turvallista.

Avainsanat: 3D-tulostin, 3D-tulostustekniikat, 3D-tulostus kotitalou-  
dessa, turvallisuus

## Abstract

Author: Toni Ferm  
Title: 3D Printer for Home Use  
Number of Pages: 40  
Date: 4 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Jani Stigell, Project Engineer

---

Development of 3D printers began in the 1980s. For most of the history of 3D printing, these machines were huge and cost hundreds of thousands of US dollars. In the 1980s, three 3D printing technologies that would lay the groundwork for the 3D technology to grow were invented.

The purpose of this thesis is to provide the reader with comprehensive basic information related to 3D printers, 3D printing and 3D printing safety at home use. The thesis study examined how different 3D printers work and what procedures are involved in 3D printing.

The work was done as a literature research using my own experience with 3D printers. 3D literature, articles and websites discussing 3D printing technology, the principles of 3D printing and the safety of 3D printing were reviewed.

The work compared low-priced 3D printers that are suitable for home use. The comparison showed that despite their low price, 3D printers for household use have good print accuracy. In addition, it was found that certain 3D printers required additional devices to achieve finalized 3D print.

The thesis highlights the lack of knowledge about the effects of harmful emissions on people released by 3D printers. It is a well-known fact that ultrafine particles emitted by 3D printers present a human health hazard but due to a lack of data, it has not been possible to establish a regulatory standard for 3D printers. For safety reasons, one must consider carefully where to place 3D printer at home.

Keywords: 3D printer, 3D printing technologies, 3D printing at home, safety

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-tulostuksen historia	2
3	3D-tulostamisen toimintaperiaate	5
3.1	Hyötyjä	6
3.2	Haittoja	9
4	3D-tulostuksen työvaiheet	11
5	3D-tulostusmenetelmät	15
5.1	Allasvalopolymerisaatio (Vat photopolymerisation)	15
5.1.1	LCD (Liquid-Crystal Display)	15
5.1.2	DLP (Digital Light Projector)	16
5.1.3	SLA (Stereolithography)	17
5.2	Materiaalin pursotus (Fused Deposition Modeling, FDM)	18
5.3	Jauhepetimenetelmä (Selective Laser Sintering, SLS)	18
5.4	Materiaalin ruiskutus (Material Jetting)	19
5.5	Sidosaineruiskutus (Binder Jetting)	20
5.6	Kerros laminointi (Sheet Lamination)	21
5.7	Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)	22
6	Materiaalit	23
6.1	Filamentit	23
6.1.1	PLA (Polylactic Acid)	23
6.1.2	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	24
6.1.3	PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)	24
6.1.4	TPE (Thermoplastic Elastomer)	25
6.2	Resiinit	25
6.2.1	Vakioresiinit	26
6.2.2	Kovat resiinit	26
6.2.3	Joustavat resiinit	26
7	Sopiva 3D-tulostin kotikäyttöön	27

8	Turvallisuus	30
9	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

## Lyhenteet

- ABS: *Acrylonitrile Butadiene Styrene*. Kestävä muovilaatu, jota käytetään tulostusmateriaalina pursotusmenetelmässä.
- AM: *Additive Manufacturing*. Ainetta lisäävä valmistus.
- CAD: *Computer Assisted Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
- CAM-LEM: *Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials*. Kerroslaminointityyppi.
- CNC: *Computerized Numerical Control*. Tietokoneen numeerinen ohjaus.
- DLP: *Digital Light Projector*. Mikropeililaite, jota käytetään allasvalokoveteisessä 3D-tulostusteknologiassa.
- EPA: *Environmental Protection Agency*. Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto.
- FDM: *Fused Deposition Modeling*. 3D-tulostusteknologia, jossa käytetään materiaalin pursotusmenetelmää.
- IPA: *Isopropyl Alcohol*. Isopropanoli, jota käytetään 3D-tulostimien puhdistusaineena.
- LCD: *Liquid-Crystal Display*. Nestekidenäyttö, jota käytetään allasvalokoveteisessä 3D-tulostusteknologiassa.
- MC: *Monochrome*. Yksivärinen värimalli, jota käytetään LCD-näytössä.
- PETG: *Polyethylene Terephthalate Glycol*. Yleisesti käytetty 3D-tulostusmateriaali pursotusmenetelmässä.

- PLA: *Polylactic Aids*. Biohajoava muovimateriaali, joka on yleisin käytetty 3D-tulostusmateriaali.
- RGB: *Red Green Blue*. Värimalli, jota käytetään elektronisissa laitteissa värien sekoittamiseksi.
- SDL: *Selective Deposition Lamination*. Kerroslaminointityyppi.
- SLA: *Stereolithography*. 3D-tulostusteknologia, jossa ultraviolettilaserilla kovetetaan nestemäistä hartsia.
- SLS: *Selective Laser Sintering*. 3D-tulostusteknologia, jossa pulveria sulatetaan yhteen suurteholaserilla.
- STL: *Standard Template Library*. 3D-tulostuksessa käytetty tiedostotyyppi.
- TPE: *Thermoplastic Elastomer*. Joustava 3D-tulostusmateriaali.
- UAM: *Ultrasonic Additive Manufacturing*. Kerroslaminointityyppi.
- VOC: *Volatile Organic Compounds*. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

## 1 Johdanto

3D-tulostuksen kehitys alkoi jo 1980-luvulta lähtien, mutta vasta viime vuosina se on noussut kovasti esille. 3D-tulostimien ydintekniikka on suuren kysynnän vuoksi halventunut, jonka ansiosta monista elektroniikka- ja verkkokaupoista löytyy laajat valikoimat eri valmistajien 3D-tulostimia. Nykyään tulostustarkkuudeltaan hyvän 3D-tulostimen saakin hankittua kotitalouteen edulliseen hintaan.

3D-tulostustekniikoiden kehitys on saanut aikaan muun muassa tulostimien koon pienentymisen, niin että niitä voidaan hankkia kotitalouksiin vaivatta. Kotitaloudessa 3D-tulostimilla voi luoda mielikuvitusta käyttäen monenlaisia pieniä esineitä eikä niitä tarvitse erikseen itse hankkia. Harrastelijakäytössä tulostimilla voidaan luoda muun muassa laitteiden varaosia. Ammattikäytössä 3D-tulostaminen mahdollistaa työvälineiden ja esineiden luonnin sekä palvelujen tarjonnan asiakkaille.

Ihmiset ovat selvästi kiinnostuneet 3D-tulostimien tuomista mahdollisuuksista, mutta läheskään kaikki eivät ole vielä lähteneet hankkimaan kotiin 3D-tulostinta. Sen käyttö ei ole yhtä yksinkertaista kuin mikroaaltouunin päälle laitto, vaan se vaatii käyttäjältä tekniikan ymmärrystä, lisäksi tulostimien käytön turvallisuutta ei ole vielä tutkittu kattavasti.

Insinööriyössä tarkastellaan 3D-tulostukseen liittyvää kirjallisuutta, artikkeleita, internetsivuja hyödyntäen omaa käytännön työkokemusta 3D-tulostimien parissa. Insinööriyön tarkoitus on tarkastella 3D-tulostuksen toimintaa, eroja ja turvallisuutta. Lukijalle perehdytetään, mitä kaikkea kannattaa ottaa huomioon, jos on hankkimassa itselleen 3D-tulostinta. Kannattaako 3D-tulostinta hankkia yksityiseen käyttöön?



## 2 3D-tulostuksen historia

Useat modernit 3D-tulostimet ovat kohtuuhintaisia ja ne mahtuvat työpöydälle tietokonenäytön viereen tai keittiöön mikroaaltouunin paikalle. Aina asia ei kuitenkaan ole ollut näin, sillä suurimman osan aikaan 3D-tulostimien historiassa nämä tulostimet ovat olleet pienen teltan kokoisia ja maksanut satoja tuhansia dollareita. [The Complete History of 3D Printing: From 1980 to 2021.] 3D-tulostimien kehitys muistuttaa tietokoneiden kehityksen historiaa.

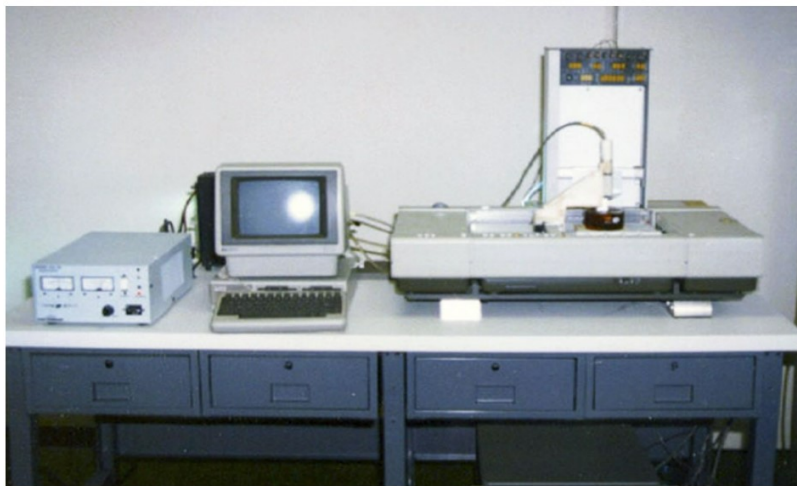
3D-tulostus alkoi kehittyä 1980-luvulla, jolloin sitä kutsuttiin vielä termillä pika-valmistusteknologia (engl. rapid prototyping). Vuonna 1981 Hideo Kodama kehitti ensimmäisenä materiaalia lisäävän 3D-tulostusmenetelmän. Kodama yritti saada patentin liittyen fotopolymeeritekniikkaan, jossa astiassa olevaa valoherkkää hartsiainesta altistetaan ultraviolettivalolle (UV-valo), jonka seurauksena valolle altistunut kohta kovettuu. Hideo Kodaman hakema patenttihakemus kuitenkin epäonnistui. [The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today 2021.]

Ensimmäisen toimivan 3D-tulostimen suunnitteli ja rakensi Chuck Hull vuonna 1983. Hull hyödynsi aikaisempaa Kodaman suunnittelemaa tekniikkaa, missä kovetetaan valoherkkää hartsia kerroksittain, ja loi stereoligrafiaan perustuvan tulostimen. Vuonna 1984 Chuck Hull haki patenttia ”Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography”, joka hyväksyttiin vuonna 1986. [Norman 2021.] Kuvassa 1 on maailman ensimmäinen 3D-tulostettu objekti, jonka Chuck Hull teki vuonna 1983.



Kuva 1. Maailman ensimmäinen 3D-tulostettu objekti [Our story 2021].

Chuck Hull perusti ensimmäisenä 3D-tulostinalan yrityksen 3D Systems Corporationin, joka on suurin ja menestynein yritys 3D-tulostusalalla vielä nykyäänkin. 3D Systems julkaisi markkinoille 1987 ensimmäisen 3D-tulostimen, jonka nimi on SLA-1 Stereolithography (SLA) printer (kuva 2). [Pioneers of Printing: Chuck Hull and the Beginning of 3D Printing 2020.] Chuck Hull kehitti myös STL-tiedostomuodon (Standard Template Library), joka on edelleen yleisesti käytetty tiedostomuoto 3D-tulostuksessa [Horne & Hausman 2017: 20-21].

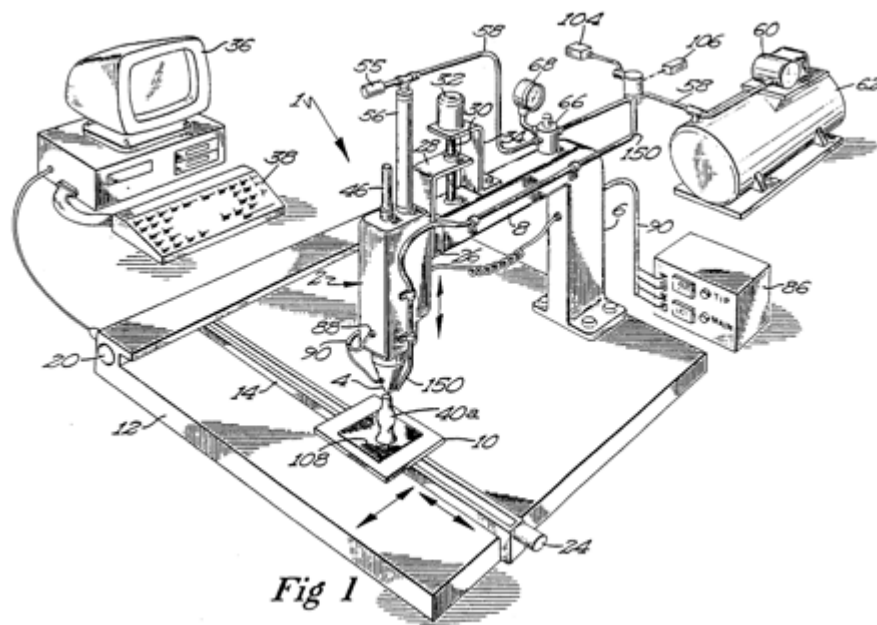


Kuva 2. Ensimmäinen markkinoille ilmestynyt 3D-tulostin [The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today 2021].

1980-luvulla kehitettiin vielä kaksi muutakin merkittävää 3D-tulostustekniikkaa. Toinen näistä tekniikoista on nimeltä SLS (Selective Laser Sintering), jonka kehitti Carl Deckard vuonna 1987. SLS-menetelmässä esilämmitettyä pulveria sulatetaan haluttuun muotoon yhteen ohuina kerroksina käyttäen suurteholaseria. [Lorincz 2011.]

Vuotta myöhemmin Scott Crump patentoi 3D-tulostustekniikan nimeltä FDM (Fused Deposition Modeling) (kuva 3), joka on tällä hetkellä yleisin 3D-tulostusmuoto koti- ja harrastekäytössä. FDM-prosessissa filamenttimateriaalia syötetään kuumen suuttimen läpi. Sulanut filamenttimateriaali pursotetaan tulostusalustalle, jossa filamentti kovettuu uudelleen kerros kerrokselta haluttuun

muotoon. Vuonna 1989 Scott Crump perusti yrityksen nimeltä Stratasys, joka on tänäkin päivänä tunnetuimpia 3D-alan yrityksiä. [Pearson 2021.]



Kuva 3. Alkuperäinen FDM-patentti [Dean 2010].

Edellä mainitut tulostustekniikat (SLA, SLS, FDM) eivät ole ainoita olemassa olevia 3D-tulostusmenetelmiä. Nämä kolme tekniikkaa ovat kuitenkin luoneet vahvan perustan 3D-tulostukselle, joiden avulla teknologia pystyi kehittymään ja kasvamaan. Tämä näkyi 1990-luvulla, kun monet yritykset alkoivat kokeilla erilaisia tapoja toteuttaa 3D-tulostuksia. Vuonna 2006 markkinoille ilmestyi ensimmäinen SLS 3D-tulostin, mikä helpotti ja nopeutti teollisuudessa prototyyppiosien valmistusta. [When Was 3D Printing Invented 2020.]

CAD-ohjelma (Computer Assisted Design) on tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma, jonka avulla käyttäjä voi suunnitella 3D-mallinnuksen. CAD on olennainen osa 3D-tulostusta. Ilman CAD-ohjelmasta saatua CAD-tiedostoa 3D-tulostimella ei ole ohjeita, joita se tarvitsee tuotteen rakentamiseen. [Horvath & Cameron 2018: 52.] 2000-luvun alusta lähtien kehiteltiin verkkopohjaisia CAD-ohjelmia ja CAD-työkalut tulivat entistä enemmän ihmisten saataville. Vuonna

2000 Alibre julkaisi ensimmäisenä CAD-ohjelman nimeltä Alibre Design, jota käyttäjät pystyivät työstää suoraan Internetin kautta. [Bethany 2017.]

1980-luvun FDM-patentit avautuivat julkisiksi vuonna 2009. Tällöin teknologia oli paremmin saatavilla uusille yrityksille, jotka laajensivat innovatiivista tuotekehitystään. Tämän seurauksena yritykset saivat 3D-tulostimia enemmän markkinoille, jolloin ne saivat näkyvyyttä. Markkinoiden kasvun ja kysynnän ansiosta 3D-tulostimien hinnat alkoivat laskea. [The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today 2021.]

### **3 3D-tulostamisen toimintaperiaate**

3D-tulostuksessa käytetään materiaalia lisäävää valmistusteknologiaa (engl. Additive Manufacturing, AM), joka alkaa tyhjästä rakennusaluksista, johon rakentuu kerros kerrokselta materiaalista valmis objekti. Vertauskuvana voi pitää puiden renkaita, jotka osoittavat puun kasvun lisäkerrokset vuosittain. [Horne & Hausman 2017: 9–10.]

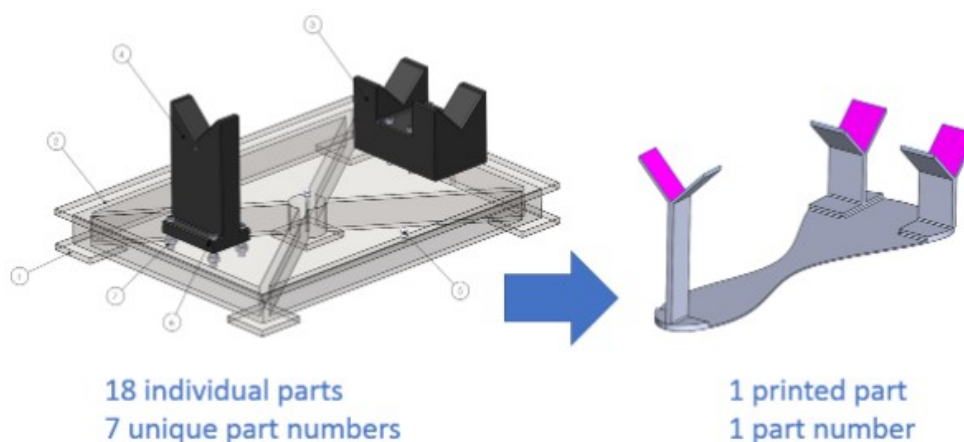
3D-tulostimet luovat objekteja kerros kerrallaan. Prosessi tapahtuu seuraavilla menetelmillä: pursottamalla sulanutta muovia, sintraamalla sopivaa materiaalia eli sulattamalla materiaalia yhteen sekä kovettamalla valoherkkää resiiniä UV-valolla. Peruspiirteet jokaisessa tulostustavassa ovat samat. Materiaalista luodaan kerros, jonka päälle luodaan taas uusi kerros, mikä toistuu niin kauan, kunnes objekti on valmis. Prosessia ohjaa tietokoneeseen tallennettu digitaalinen malli. Tärkein ero useimpiin muihin teollisuudessa käytössä oleviin valmistusmenetelmiin on se, että 3D-tulostumisessa materiaalia lisätään objektiin sitä mukaan, kun sitä rakennetaan eikä materiaalia leikata tai jyrsitä pois. [Horvath & Cameron 2018: 3–4.] Esimerkiksi valutuotteiden valmistuksessa käytetään jyrshintää.

### 3.1 Hyötyjä

Yleisesti ottaen materiaalia lisäävän valmistuksen edut voidaan luokitella seuraaviin kategorioihin:

- osien yhdistäminen
- räätälöinti
- monimutkaisuus
- ekologisuus
- kierrätys ja suunniteltu vanhentuminen
- mittakaavaetu.

Osien yhdistäminen on prosessi, jossa useita osia yhdistetään yhteen CAD-mallissa. Se mahdollistaa myös joitain suunnittelumuutoksia vaarantamatta osan toiminnallisuutta. Osien yhdistämisellä on lukuisia etuja. Esimerkiksi se vähentää pienien osien lukumäärää, jotka on suunniteltava ja valmistettava lopulliseen kokoonpanoon. Näillä yhdistetyillä osilla on monimutkaiset rakenteet, eikä niiden valmistaminen tavanomaisilla menetelmillä ole mahdollista, joten materiaalia lisäävä valmistus on paras vaihtoehto. Kuvasta 4 nähdään tarkemmin tämä idea eli vasemmanpuoleisessa jigissä on seitsemän erilaista osaa ja yhteensä 18 yksittäistä osaa. Tämä voidaan CAD-ohjelmaa käyttäen muuttaa yhdeksi kiinteäksi osaksi. [Parts Consolidation with Additive Manufacturing- From Multiple to Singular 2019.]

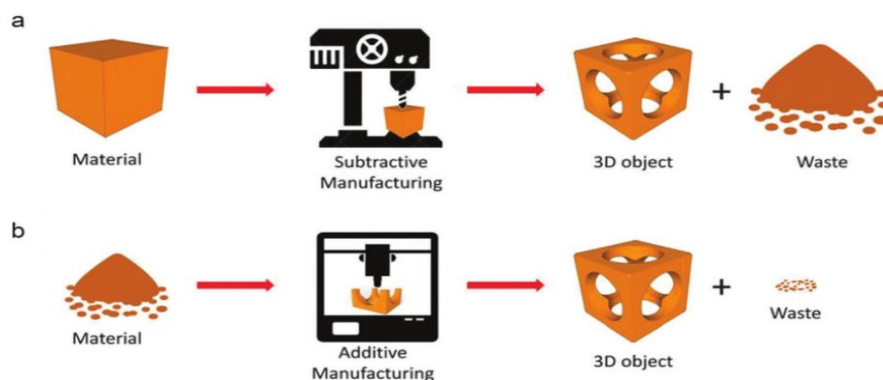


Kuva 4. 3D-tulostamisella säästetään osien lukumäärää [Ghose 2018].

3D-tulostus on menetelmä, jonka avulla voidaan luoda ainutlaatuisia ja yksilöllisiä esineitä. Räättälöinti valmistushetkellä mahdollistaa sen, että kuluttajat pystyvät muokkaamaan esineitä mieltymyksien mukaan. Räättälöinti tarkoittaa, että kuluttaja pystyy kätevästi muokkaamaan tulostettavan objektin muotoa, kokoa, mallia ja väriä tarpeen mukaan. [Horne & Hausman 2017: 13.]

3D-tulostus mahdollistaa monimutkaisten sisärakenteiden luomisen, joita ei voi saavuttaa perinteisillä valetuilla osilla. 3D-tulostuksessa objekti rakennetaan kerroksittain, jolloin objektin sisälle voidaan helposti suunnitella ja rakentaa erilaisia tukirakenteita tai hyödykkeitä. Rakenteet, jotka eivät ole kantavia, voidaan tulostaa jopa ilman seiniä. Hyvä esimerkki 3D-tulostuksen lujasta ja jäykästä mahdollisesta tulosteesta, jota on valutuotannossa hankala tuottaa, on mehiläisten hunajakennomainen rakenne. Tämänkaltaisissa rakenteissa voidaan luoda osittain sisäisiä onteloita, jolloin tuotteesta tulee jämäkkä mutta kevyt. [Horne & Hausman 2017: 14.]

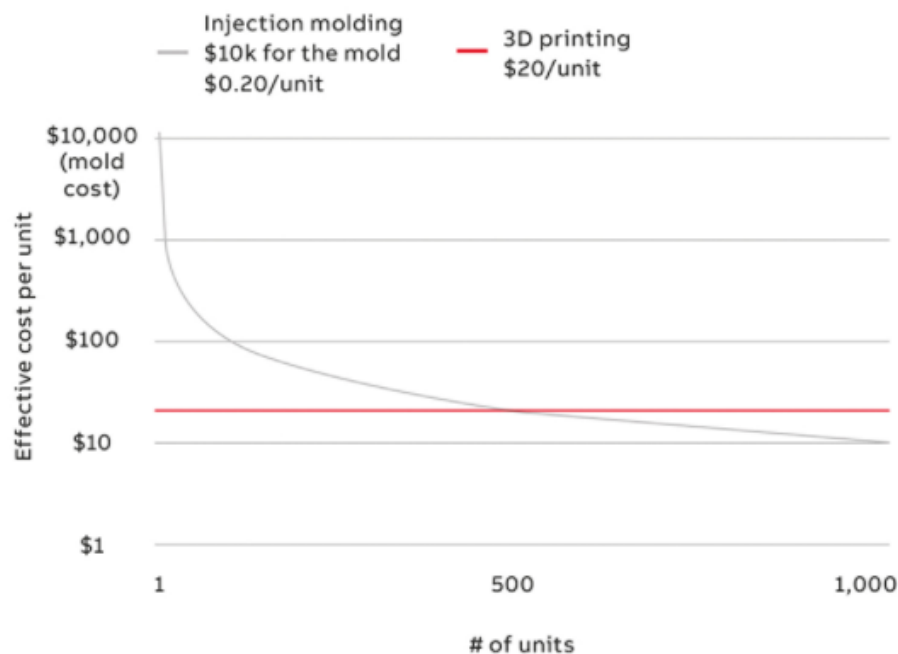
Perinteiset valmistusmenetelmät ovat tuhlaavia ja kuluttavat suuria määriä energiaa sekä raaka-aineita. Sen sijaan, että 3D-tulostus muovataan isosta metalli- tai muovikappaleesta, se valmistaa kohteen tarkasti kerros kerrokselta. Tämän seurauksena romujätettä syntyy 70–90 prosenttia vähemmän verrattuna joihinkin perinteisiin valmistusmenetelmiin, kuten CNC-valmistukseen (Computerized Numerical Control) tai ruiskuvaluun (kuva 5). Siksi 3D-tulostus on ekologisempi tuotantovaihtoehto. [Taylor-Smith 2021.]



Kuva 5. Tuotantoprosessien jätemäärien ero materiaalia lisäävän ja poistavan menetelmien väliltä [Additive & Subtractive Manufacturing 2021].

Suunniteltu vanheneminen on kulutustuotteiden suunnitteluun liittyvä ilmiö, jossa tuotteen valmistaja suunnittelee tuotteen siten, että siinä on sisäänrakennettu suunnitteluvirhe. Tämä sisältää käytännön, että varaosia tarjotaan ostettavaksi vain rajoitetun ajan. Varaosien myynnin loputtua, jos jokin osa menee rikki, se edellyttää kokonaan uuden laitteen ostamista. 3D-tulostus tarjoaakin kuluttajille mahdollisuuden päästä eroon suunnitellusta vanhentumisesta. Tämä ei ole vain hyvä asia asiakkaille ja yrityksille rahan suhteen, vaan se myös vähentää valtavasti tarpeetonta jätettä, joka päättyy vuosittain kaatopaikoille. [Mendoza 2016.]

Materiaalia lisäävä valmistus mahdollistaa yksittäisten esineiden luomisen samaan kappalekohtaiseen hintaan kuin useat saman tai samankaltaisen kohteen tuotteet. Sitä vastoin perinteinen massatuotanto vaatii valtavan määrän identtisten esineiden valmistamista, ennen kuin hinta on saatu järkeväksi kuluttajia varten. Kuvasta 6 havaitaan, että 3D-tulostus on erityisen kustannustehokasta, kun tarvitaan prototyyppisiä tai pieniä eriä. [Horne & Hausman 2017: 16–17.]



Kuva 6. 3D-tulostus on kustannustehokasta pienillä erillä [Additive manufacturing 2020].

## 3.2 Haittoja

Monista eduista huolimatta 3D-tulostuksella on huonojakin puolia. Näitä ovat muun muassa:

- rajoitettu tulosteen koko
- tulosteen rakenne
- 3D-tekniikan hankaluus
- rajoitetut materiaalit
- jälkikäsittely
- haitalliset altisteet.

3D-tulostimien integroitu kammion koko on usein suhteellisen pieni, mikä rajoittaa tulostettavien osien kokoa. Siksi kaikki suuret esineet on tulostettava erikseen ja koottava myöhemmin valmistuksen jälkeen. Tämä voi lisätä kustannuksia ja aikaa suuremmille osille, koska tulostimen tarvitsee tulostaa enemmän osia ennen kuin osat voidaan yhdistää toisiinsa. Suunnitellessa objektia kannattaa miettiä tarkkaan mihin liitoskohdat sijoitetaan, etteivät ne heikennä kappaletta tai pilaa loppuviimeistelyä. [What are the advantages and disadvantages of 3D printing 2021.]

3D-tulostuksen rakenne perustuu kerros kerrokselta luomiseen. Näiden kerrosten välille voi ilmaantua delaminoitumista (kuva 7), jolloin tulosteen kerrokset erottuvat tai eivät tartu kokonaan yhteen. Delaminoituminen tekee tulosteesta sekä ruman että alttiin murtumiselle kevyemmästä kuormasta verrattuna ehyeen tulosteeseen. [What are the advantages and disadvantages of 3D printing 2021.]



Kuva 7. Esimerkki tulosteesta, jossa on ilmennyt äärimmäistä kerrosten välistä delaminoitumista [5 Tips to Avoid Layer Delamination in 3D Printing 2021].



3D-tulostimen käyttö ei ole täysin suoraviivaista ja sen opetteluun vaaditaan kärsivällisyyttä sekä tietoteknistä osaamista. Osien luominen 3D-tulostimella opitaan pääasiassa virheiden kautta, koska tekniikka on vielä suhteellisen uutta. Käyttäjän täytyy tietää kuinka käsitellä 3D-suunnitteluohjelmia, CAD-tiedostoja ja oppia muokkaamaan 3D-tulostimen laitteistoasetuksia ennen kuin onnistuu 3D-tulostamisessa. 3D-tulostuksen oppimiskäyrä on jyrkkä, jonka opettelemiseen kuluu aikansa. [Miller 2021a.]

3D-tulostuksen materiaalikattavuus on rajallinen, sillä tekniikka on suhteellisen uutta. Muovi on toistaiseksi yleisimmin käytetty 3D-tulostusmateriaali, koska se on halpaa ja helppo käsitellä alemman sulamispisteen takia. Muovi ei kuitenkaan ole kaikkein kestävin materiaali, joten se ei ole ihanteellinen valinta tietyille tulosteille. [Miller 2021a.] Jokainen tulostin tukee rajoitettua materiaalmäärää esimerkiksi metallinen 3D-tulostusprosessi ei tulosta muovilla ja päinvastoin.

Monet 3D-tulostetut tuotteet ja osat vaativat jälkikäsittelyn hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Tällaisia menetelmiä ovat hionta, vesisuihkutus, kemiallinen liotus ja huuhtelu, kuivaus, jälkikövetus ja kokoonpano. Tulosteen jälkikäsittelyn määrä riippuu siitä, mitä 3D-tulostustekniikkaa käytetään, kappaleen koosta ja muodoista sekä käyttötarkoituksesta. [Cthornsberry 2018.] Kuvassa 8 on resini-tulosteisiin tarkoitettu pesulaite ja loppukovetin.



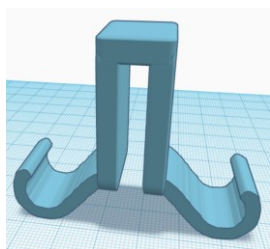
Kuva 8. Formlabsin resini-tulosteiden pesulaite ja loppukovetin [Form Wash + Form Cure 2021].

Edullisia 3D-tulostimia hankitaan yhä enemmän koti- ja koulutusympäristöön. Tämä markkinoiden nopea kasvu on saanut muun muassa EPA-tutkijat (Environmental Protection Agency) tutkimaan näiden tulostimien päästöjen vaikutuksia ihmisten terveyteen. Tutkimuksen mukaan 3D-tulostusprosessi vapauttaa pienhiukkasia ja kaasuja, jotka voivat aiheuttaa terveysriskejä käyttäjille. Nämä päästöt sisältävät haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita kutsutaan VOC-yhdisteiksi (Volatile Organic Compounds). [EPA Researchers Continue to Study the Emissions of 3D Printers 2021.]

#### 4 3D-tulostuksen työvaiheet

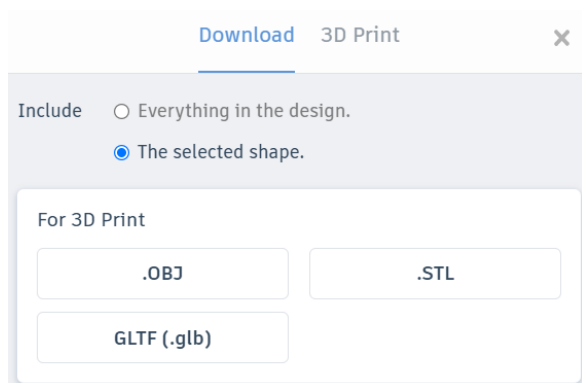
3D-tulostuksen työvaiheet selostetaan käyttämällä Planmeca Oy:n valmistamaa Creo C5:ta, jossa hyödynnetään LCD-tulostustekniikkaa (Liquid-Crystal Display). LCD 3D-tulostimet käyttävät tulostusmateriaalina nestemäistä hartsia, joka kovettuu välittömästi muoviksi, kun se altistuu UV-valolle LCD-näytön kautta [Lalwani 2020].

3D-tulostamisen ensimmäinen askel on 3D-mallintaminen, jossa luodaan tulostettava kolmiulotteinen objekti. Tämä toimenpide tehdään käyttäen siihen sopivaa CAD-ohjelmaa. Tässä esimerkissä käytetään aloittelijaystävällistä Tinkercad-sovellusta (kuva 9), jota voidaan käyttää suoraan selaimesta. Vaihtoehtoisesti internetistä voi ladata valmiin STL-tiedoston, jota pystyy tarpeen vaatiessa editoida sopivaksi omaan tulostimeen. Tällaisia sivustoja on runsain määrin ilmaisia sekä maksullisia. Thingiverse.com on kuitenkin kiistatta suurin online-varasto ilmaisille 3D-tulostintiedostoille, ja sillä on myös yksi suurimmista online-valmistajayhteisöistä. [Horvath & Cameron 2018: 52–53.]

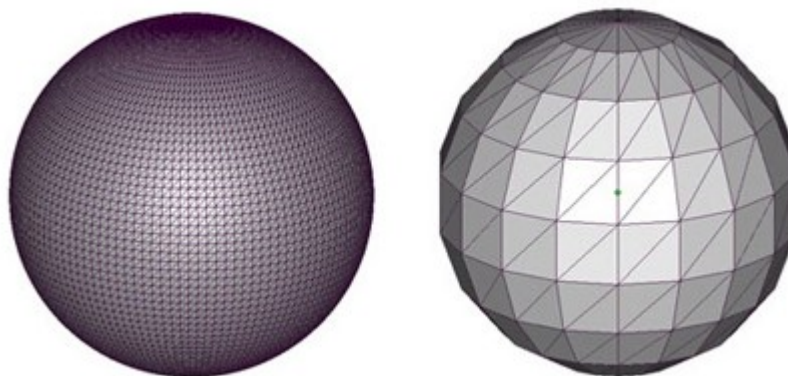


Kuva 9. Suihkuhenkari, joka on tehty Tinkercad-sovelluksella.

Kun haluttu 3D-malli on luotu, se muutetaan sopivaan tiedostoformaattiin. Suihkuhenkariesimerkissä suihkuhenkari-malli muutetaan STL-tiedostotyyppiä (kuva 10). STL-tiedostossa määritetään 3D-mallin geometria. Mallin pinnat esitetään tasokolmioiden avulla (kuva 11), joten tasopinnoista tulee absoluuttisen tarkat. Kaarevista pinnoista sen sijaan ei saa koskaan täysin tarkkoja, mutta riittävän tarkkaan lopputulokseen päästään jakamalla kaareva pinta tarpeeksi pieniin kolmioihin. [Horvath & Cameron 2018: 53–54.]



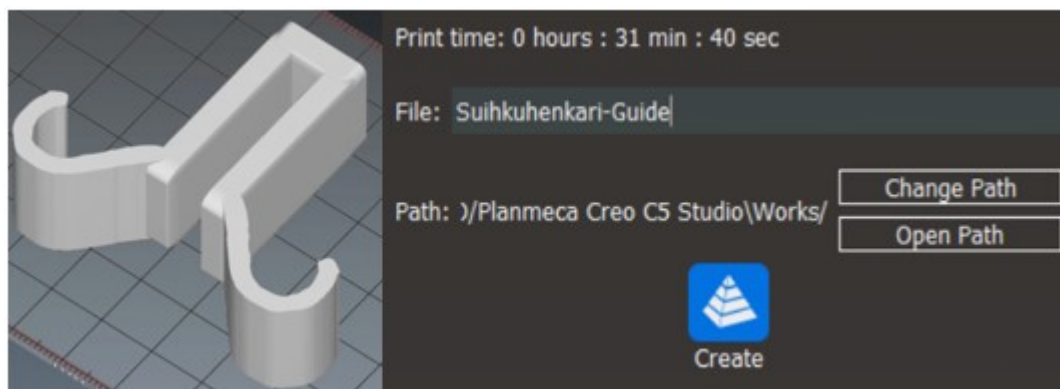
Kuva 10. Henkarista muodostetaan STL-tiedosto.



Kuva 11. Vasen pallo on sileä suuriresoluutioinen STL-tiedosto ja oikea pallo on karkea pieniresoluutioinen STL-tiedosto [What If My 3D Model Is "Too Rough" To Print 2021].

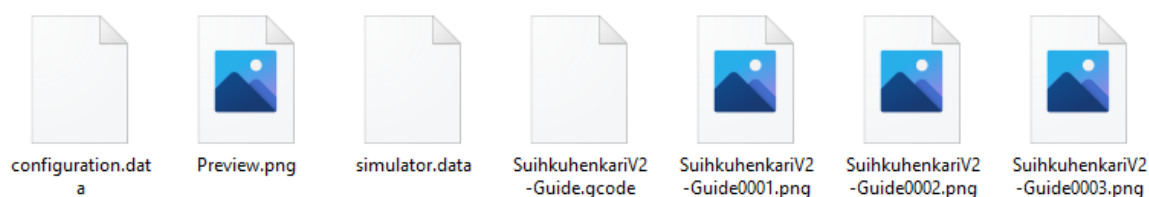
3D-tulostimet eivät pysty suoraan käyttämään CAD-ohjelmalla tehtyä STL-tiedostoa. Tähän vaiheeseen tarvitaan erillinen tulostusohjelma (kuva 12), jossa

voidaan viimeistellä STL-tiedosto. STL-tiedosto viipaloidaan 3D-tulostimille tulkittavaan muotoon, josta saadaan zip-tiedosto, mikä sisältää G-koodin. G-koodi on matalan tason komentokieli. G-koodi-tiedosto sisältää 3D-tulostimen moottorinohjauksen kulun eli se kertoo moottoreille, missä liikkua, kuinka nopeasti liikkua ja mitä polkua seurata. [Horvath & Cameron 2018: 57 & 85–86.]



Kuva 12. Suihkuhenkari aseteltuna Planmeca Creo C5 Studio -tulostusohjelman rakennusalustalle ja on valmis viipaloitavaksi.

Viipaloinnista tehty zip-tiedosto (kuva 13) voidaan siirtää Creo C5 3D-tulostimeen helpoiten USB-muistitikun avulla. Creo C5 Studiosta voidaan myös siirtää zip-tiedosto verkon kautta suoraan tulostimelle. Tämä tapa vaatii alkuun konfigurointia, mutta on jatkossa nopeampi ja käyttöystävällisempi kuin tiedoston siirtäminen USB-muistitikulla.



Kuva 13. Zip-tiedoston sisältöä.

Tulostimen esivalmisteluissa varmistetaan, että rakennusalustan z-akselin nostomoottori on kalibroitu ja ettei resiinivadissa ole mitään ylimääräisiä kappaleita. Creo C5 3D-tulostimessa on ominaisuus, jossa voidaan puhdistaa resiinivadin

pohja valottamalla resiiniä joko 10, 20 tai 30 sekunnin ajan. Valotuksesta jää jäljelle ohut levy resiinivadin pohjaan, joka kaavitaan pois. Sen tehtyä voi olla varma, että resiinivati on puhdas. Kun kaikki on valmista, lisätään haluttua resiniainemateriaalia tarvittava määrä ja tulostuksen voi laittaa käyntiin.

Kun tulostus on valmis, se irrotetaan rakennusalustastaan. Jos tulosteessa on käytetty tukirakenteita niin nekin irrotetaan. Jälkikäsittelyyn kuuluu myös ultraäänipesu IPA:ssa (isopropanoli), kuivatus paineilmalla ja jälkikövetus. Ultraäänipesun tarkoitus on poistaa kaikki ylimääräinen resini tulosteesta. Jälkikövetuksen avulla tulosteet saavuttavat maksimaalisen kovuuden ja vakauden. Suihkuhenkarituloste on nyt valmis ja löytänyt paikkansa suihkuseinästä (kuva 14).



Kuva 14. Valmis suihkuhenkarituloste käytössä.

## 5 3D-tulostusmenetelmät

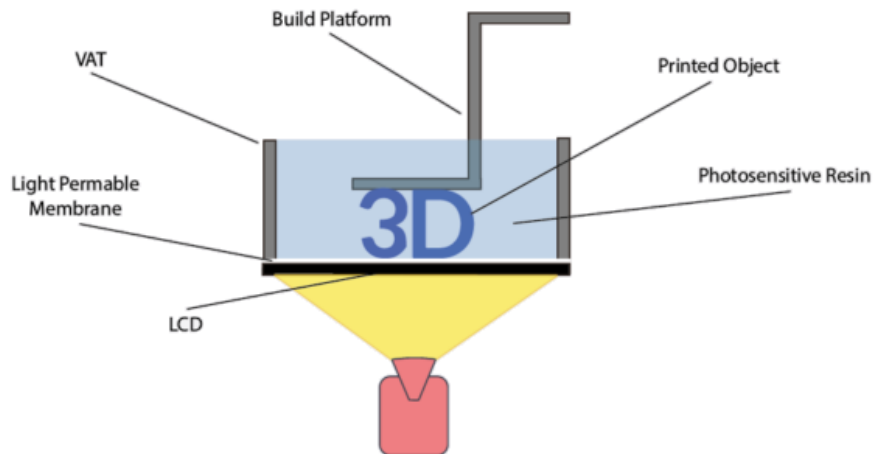
Lisäävän valmistuksen standardit EN ISO/ASTM 52900:2017 ja SFS-EN ISO/ASTM 52900:2017 kategorisoivat lisäävän valmistusmenetelmän prosessit seitsemään eri kategoriaan. Nämä seitsemän 3D-tulostusprosessia ovat tuoneet esiin monia erilaisia 3D-tulostustekniikoita, joita 3D-tulostimet käyttävät nykyään. [Menetelmät 2021.]

### 5.1 Allasvalopolymerisaatio (Vat photopolymerisation)

Allasvalopolymerisoinnilla saa aikaan erinomaisia pintakäsittelyjä kovettamalla nestemäinen valokovetteinen hartsi kerros kerrallaan erilaisin valon lähtein. Ensin rakennusalusta laskeutuu hartsialtaaseen. Sitten UV-valo, tyypillisesti projektorista tai laserista aiheuttaa reaktion hartsissa. Valopolymeerin molekyylit sitoutuvat toisiinsa muodostaen kiinteän aineen, ja rakennusalusta siirtyy ylöspäin mahdollistaen lisäkerrosten rakentamisen aiempien kerrosten päälle. Kun osa on täysin muodostunut, osa poistetaan ja jälkikäsitellään. [All about vat photopolymerization 2021.]

#### 5.1.1 LCD (Liquid-Crystal Display)

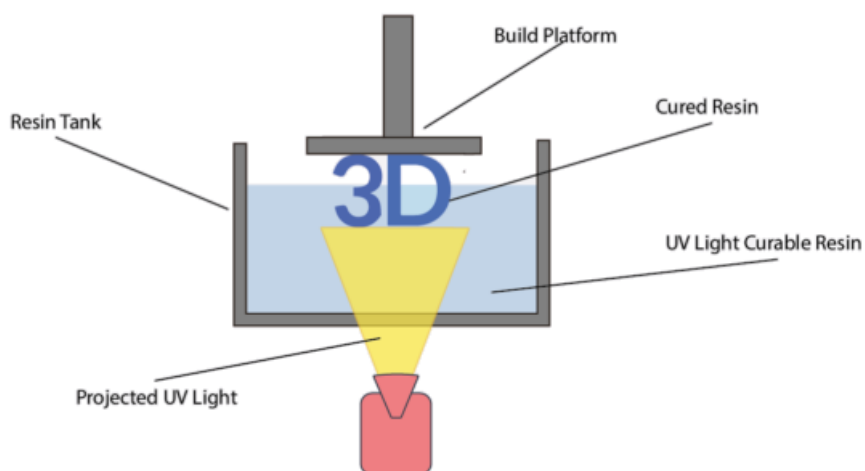
LCD 3D-tulostimessa (kuva 15) käytetään UV-valonlähdettä, jolla kovetetaan nestemäinen tulostusmateriaali. UV-valonlähteen ja rakennusalustan välissä on LCD-näyttö, joka toimii muottina UV-valonlähteelle. LCD-näyttö on tehty pienistä pikseleistä, jotka ovat joko aktiivisina tai ei-aktiivisina. Aktiiviset pikselit päästävät UV-valon läpi muodostaen kerrokseen kuvan. On huomattavasti ajallisesti tehokkaampaa, että koko kerros kovettuu kerralla. Tämän takia LCD-tulostimissa on paljon nopeampi tulostusprosessi kuin esimerkiksi SLA-tulostimissa. [Hawthorne 2021.]



Kuva 15. LCD-tekniikan toiminta [DLP vs LCD – 3D Printing Technologies Compared 2021].

### 5.1.2 DLP (Digital Light Projector)

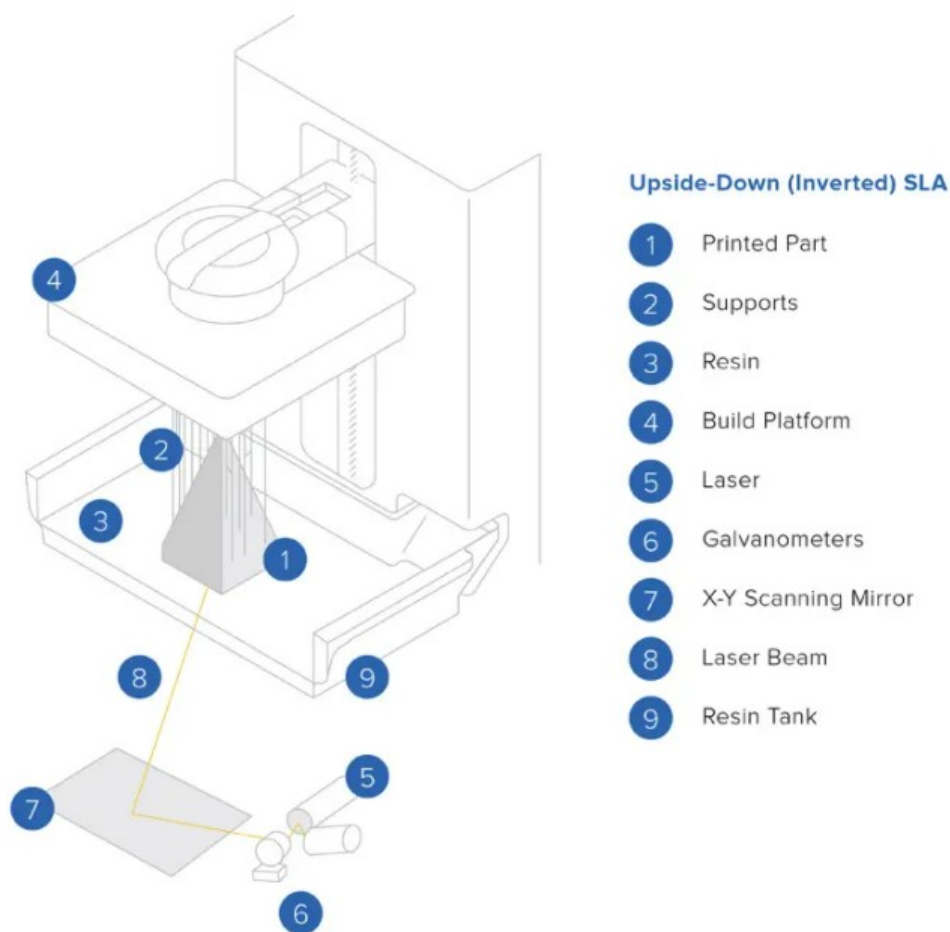
DLP 3D-tulostuksessa (kuva 16) käytetään digitaalista projektoria. Sillä väläytetään UV-valoa tulostusalueelle kovettaen yhden resini kerroksen kerralla. DLP-tulostuksen optinen kuvio syntyy projektorin linssin sisällä olevasta digitaalisesta mikropeililaitteesta (engl. Digital Micromirror device, DMD). DMD koostuu lukuisista pienistä peileistä, jotka ohjaavat projisoitua valokuviota. [Lalwani 2020.]



Kuva 16. DLP-tekniikan toiminta [DLP vs LCD – 3D Printing Technologies Compared 2021].

### 5.1.3 SLA (Stereolithography)

SLA-tulostusprosessi (kuva 17) alkaa siitä, kun rakennusalusta laskeutuu hartsisäiliöön jättäen yhden kerroksen korkeuden verran tilaa rakennusalustan ja säiliön pohjan väliin. UV-laserin valopiste kohdistetaan usean peilin kautta ylöspäin säiliön pohjan läpi kovettaen hartsikerroksen. Kovettunut kerros erotetaan sitten säiliön pohjasta, kun rakennusalusta liikkuu ylöspäin päästämällä tuoreen hartsin virrata säiliön pohjalle. [SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers 2021.]

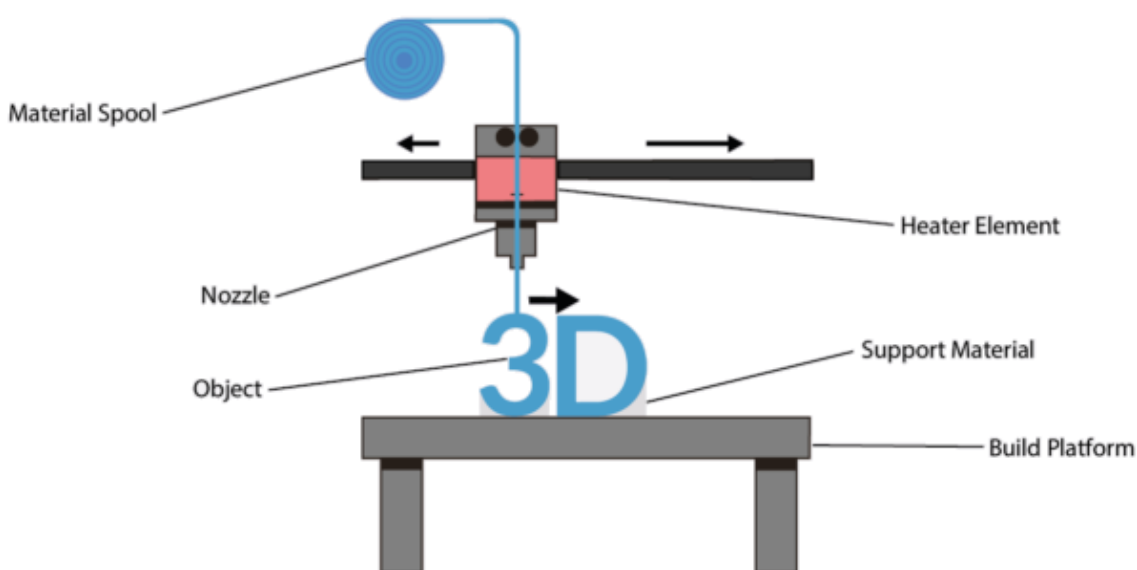


Kuva 17. SLA-tekniikan toiminta [SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers 2021].



## 5.2 Materiaalin pursotus (Fused Deposition Modeling, FDM)

Materiaalin pursotuksessa (kuva 18) lämmityselementti lämmittää suutinta, ja kun suutin on saavuttanut halutun lämpötilan, filamentti syötetään suuttimeen, jossa se sulaa. Sulatettu materiaali pursotetaan ohuina säikeinä ja levitetään kerros kerrokselta ennalta määrättyihin paikkoihin, joissa se jäähtyy ja kovettuu paikoilleen. Tietyn alueen täyttäminen edellyttää useita liikkeitä, niin kuin kynällä värittäisi ympyrän. Kun kerros on valmis, rakennusalue liikkuu pykälän alas tai suutin liikkuu pykälän ylemmäs. [Bournias-Varotsis 2021b.]

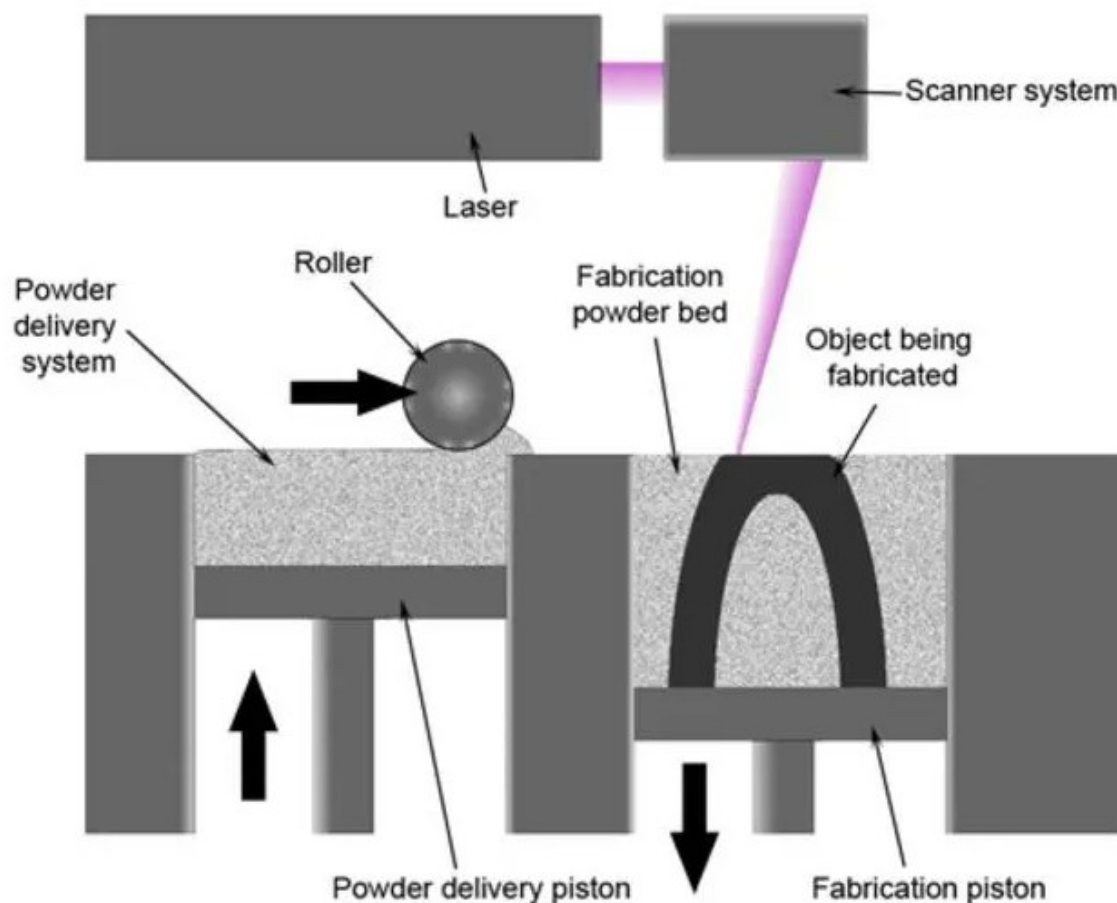


Kuva 18. FDM-tekniikan toiminta [Best 3D Printing Technology – FFF vs FDM What is The Difference 2021].

## 5.3 Jauhepetimenetelmä (Selective Laser Sintering, SLS)

Selektiivinen lasersintraus (kuva 19) on pulveripohjainen 3D-tulostustekniikka, joka sulattaa materiaalikerrokset laserin avulla lopulliseen muotoon. Tulostin ensiksi esilämmittää pulverin lämpötilaan, joka on hieman raaka-aineen sulamispisteen alapuolella. Pulveri levitetään ohuena kerroksena rakennuskammion sisällä olevan rakennusalan päälle. Laser skannaa kerroksen ääriviivat ja selektiivisesti sintraa eli sulattaa yhteen pulverihiukkaset muodostaen yhden kiinteän osan. Jokaisen kerroksen jälkeen rakennusalan laskeutuu pykälän

alemmas, tyypillisesti 50–200 mikronin verran, ja sen päälle levitetään uusi pulverikerros. Tämä prosessi jatkuu, kunnes jokainen kerros on rakennettu ja osa on valmis. Fuusioitumaton jauhe tukee osaa koko tulostuksen ajan ja poistaa erillisten tukirakenteiden tarpeen. [Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing 2021.]

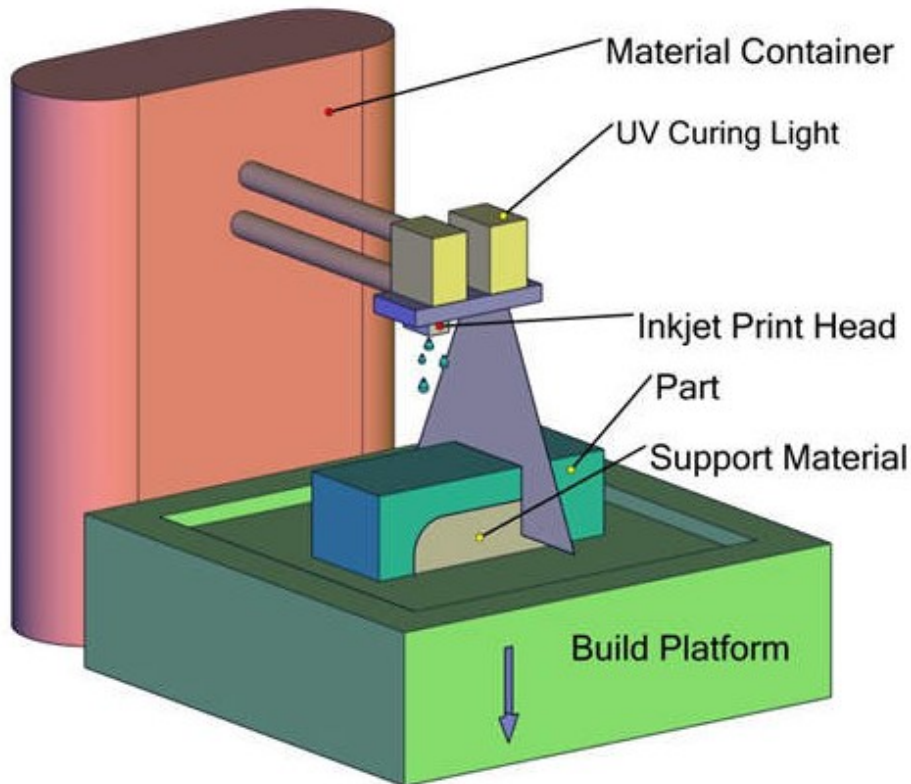


Kuva 19. SLS-tekniikan toiminta [Better for Business: FDM 3D Printing over SLS 3D Printing 2021].

#### 5.4 Materiaalin ruiskutus (Material Jetting)

Materiaali ruiskutuksen (kuva 20) tulostusprosessi alkaa hartsin lisäämisellä materiaalisäiliöön. Materiaaliruiskutuksessa nestemäinen valokovetteinen hartsi lämmitetään 30–60 celsiusasteiseksi, jotta hartsi saavuttaa optimaalisen viskositeetin tulostusta varten. Tulostuspää alkaa liikkua x-akselilla ympäri

rakennusalustaa valikoivasti ruiskuttaen satoja pieniä hartsipisaroita haluttuihin sijanteihin. UV-valon lähde, joka on kiinnitetty tulostuspäähän kovettaa ruiskutetun hartsin välittömästi. Kun koko kerros on valmis, rakennusalusta liikkuu kerroksen alemmas ja prosessi toistuu, kunnes kappale on valmis. [Gregurić 2019.]



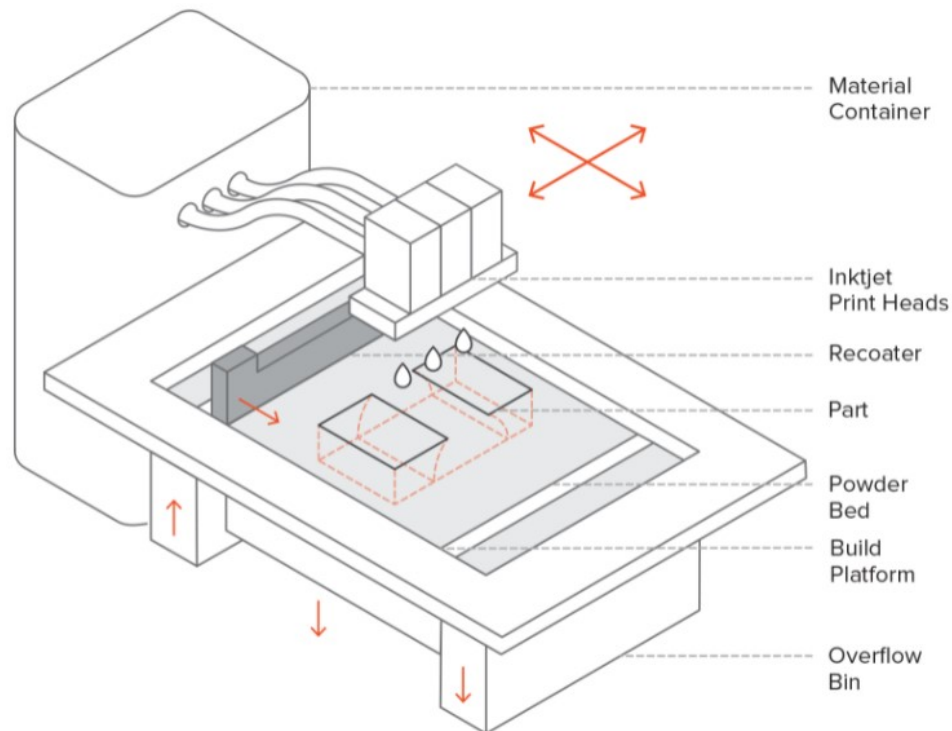
Kuva 20. Materiaalin ruiskutuksen tekniikan toiminta [Principle of 3d printing-material jetting (MJ) 2021].

### 5.5 Sidosaineruiskutus (Binder Jetting)

Sideaineruiskutuksen (kuva 21) tulostusprosessi alkaa ohuen pulverikerroksen levittämisestä rakennusalustan päälle. Mustesuihkusuuttimet kulkevat kerroksen yli ja selektiivisesti ruiskuttaa sideaineen pisaroita, jotka sitovat jauhehiukaset yhteen. Kunkin pisaran koko on halkaisijaltaan noin  $80\ \mu\text{m}$ , joten hyvä resoluutio on saavutettavissa. Kun kerros on valmis, rakennusalusta liikkuu kerroksen alemmas ja uusi pulverikerros levitetään päälle. Prosessi toistuu, kunnes tuloste on rakentunut kokonaan. Tulostuksen jälkeen tuloste kapseloidaan

jauheeseen ja jätetään kovettumaan sekä vahvistumaan. Tämän jälkeen tuloste poistetaan jauhesäiliöstä ja ylimääräinen jauhe puhdistetaan paineilmalla.

[Bournias-Varotsis 2021a.]

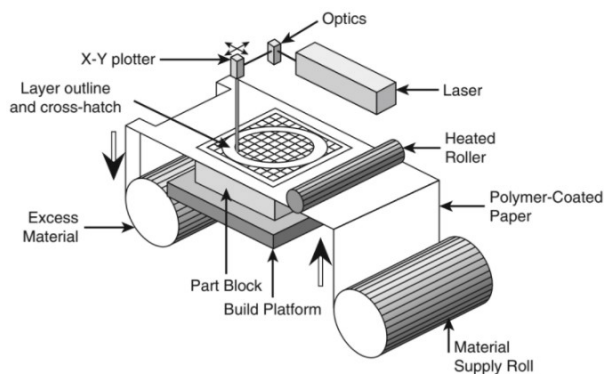


Kuva 21. Sidosaineruiskutuksen tekniikan toiminta [Bournias-Varotsis 2021a].

## 5.6 Kerroslaminointi (Sheet Lamination)

Kerroslaminointi menetelmät voidaan kategorisoida seitsemään eri tyyppiin. Jokainen kerroslaminointimenetelmä toimii marginaalisesti eri tavoin, mutta periaate on kaikissa sama niin kuin kuvassa 22. Kerroslaminoinnissa syötetään ohut materiaalilevy telalta tai asetetaan suoraan rakennusalustalle. UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing) ja SDL (Selective Deposition Lamination) menetelmissä kerrokset ensin yhdistetään toisiinsa ja sitten leikataan kerrokset oikeaan 3D-muotoon, kun taas CAM-LEM (Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials) menetelmässä ensiksi leikataan kerrokset oikeaan muotoon ja sen jälkeen liitetään kerrokset yhteen. Tätä prosessia jatketaan,

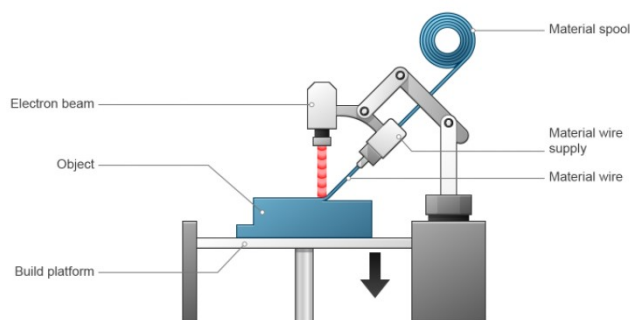
kunnes kaikki materiaalilevyt on leikattu ja liitetty yhteen muodostaen valmiin objektin. [Sheet Lamination 2021.]



Kuva 22. Kerroslaminoinnin tekniikan toiminta [Sheet Lamination 2021].

## 5.7 Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)

Suorakerrostustekniikka (kuva 23) toimii levittämällä materiaalia alustalle usean akselin varteen asennetun suuttimen kautta. Tulostusmateriaali, joka syötetään suuttimeen, toimitetaan joko lankana tai jauheena. Samanaikaisesti lämmönlähteellä, yleensä laserilla, plasmakaarella tai elektronisuihkulla sulatetaan materiaali rakennusalustalle. Tätä toimenpidettä suoritetaan toistuvasti, kunnes kaikki kerrokset ovat jähmettyneet ja näin ollen luoneet valmiin objektin. Prosessi on hyvin samankaltainen pursotustekniikan (FDM) kanssa, mutta on tarkoitettu vain teolliseen käyttöön johtuen koneen suuresta koosta, joka vaatii suljetun ja valvotun ympäristön toimiakseen. [3D Printing – Additive 2021.]



Kuva 23. Suorakerrostuksen tekniikan toiminta [3D Printing – Additive 2021].

Kotitalouskäyttöön erityisesti sopivat tulostustekniikat ovat materiaalin pursotus (FDM) ja allasvalopolymerisaation eri variaatiot (SLA, LCD, DLP), koska nämä ovat parhaat vaihtoehdot ottaen huomioon koneen koko, hinta, käytettävyys sekä käyttötarkoitus.

## 6 Materiaalit

3D-tulostuksessa käytetään laajalti eri materiaaleja, joista nestemäiset resiinit ja termoplastiset filamentit ovat kaksi eniten käytettyä materiaalia. Filamentteja käytetään pursotustekniikassa, ja resiinejä käytetään allasvalokovetteisissa tekniikoissa. Molemmilla materiaaleilla on omia ainutlaatuisia ominaisuuksia, hyötyjä sekä haittoja, riippuen toivotusta tuloksesta. [Dwamena 2021b.]

### 6.1 Filamentit

FDM-tulostuksessa käytettäviä filamentteja on yleisesti saatavilla standardoidusti halkaisijaltaan 1,75 mm ja 2,85 mm, joilla on tiukka  $\pm 0,1$  mm:n toleranssi [Horne & Hausman 2017: 182]. Filamentteja täytyy säilyttää viileässä ja kuivassa paikassa, koska ne ovat luonnostaan hygroskooppisia. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa kosteutta ympäröivästä ilmasta itseensä. Kosteutta on mahdotonta havaita materiaalissa paljain silmin, mutta kosteata filamenttia tulostaessa sen huomaa. Ennen pitkään filamenttiin imeytynyt vesi alkaa kiehua, jonka seurauksena tulosteeseen ilmestyy kuplia. On siis suositeltavaa pitää filamenttirulla tiiviisti kutistemuovissaan, kunnes on valmis käyttää sitä. Kun filamentti ei ole käytössä, yksi hyvä säilytyspaikka materiaalille on ilmatiivis muovilaatikko. [O'Connell 2020.]

#### 6.1.1 PLA (Polylactic Acid)

PLA-filamentti on yksi suosituimmista 3D-tulostus materiaaleista. Se on oletusmateriaali monissa pursotustekniikan omaavissa 3D-tulostimissa, koska sitä voidaan tulostaa alemmilla lämpötiloilla eikä se tarvitse erikseen lämmitettävää tasoa. PLA-filamenttia pidetään parhaimpana materiaalina, jota suositellaan

etenkin aloittelevalla 3D-tulostajalla. PLA-filamenttia on helppo tulostaa, se on halpaa ja sitä voidaan käyttää monenlaisiin sovelluksiin. Se on myös yksi ympäristöystävällisimmistä materiaaleista, sillä sen valmistuksessa on käytetty vilja-kasveja. PLA on biohajoavaa, ja siitä lähtee makeanarominen tuoksu tulostuksen aikana. [Horvath & Cameron 2018: 35.]

### 6.1.2 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

ABS-materiaali on vahvaa ja iskunkestävää, joten sillä voi tulostaa osia, jotka kestävät ylimääräistä käyttöä ja kulumista. LEGO-rakennuspalikat on valmistettu tästä materiaalista samasta syystä. ABS-filamenttia on hieman hankalampi työstää kuin tavallista PLA-filamenttia, koska ABS-filamenttia täytyy työstää korkeammassa lämpötilassa, ja tulostukseen tarvitaan erikseen lämmitetty tulosalusta. ABS:llä tulostaessa on suositeltavaa käyttää avointa tilaa, jossa on hyvä ilmanvaihto, sillä materiaalista irtoaa voimakas käry. ABS:llä on myös taipumus supistua huomattavasti jäähtyessään. [Horvath & Cameron 2018: 36–37.]

### 6.1.3 PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)

PETG-materiaali erottuu muista filamenttimateriaaleista hyvän monipuoleisuutensa ansiosta. PETG-materiaalissa yhdistyvät joustavuus, lujuus sekä iskun- ja korkeiden lämpötilojen kesto. PETG on joustavampaa ja kestävämpää kuin PLA sekä sitä helpompi työstää kuin ABS. Materiaali hyötyy hyvistä lämpöominaisuuksista, mikä mahdollistaa muovin jäähtymisen tehokkaasti lähes merkityksettömällä vääntymisellä. PETG-materiaali on myös läpinäkyvää, jonka takia sitä käytetään paljon esimerkiksi juomapulloissa. [Best 3D Printer Filament – The Ultimate Guide 2021.]

#### 6.1.4 TPE (Thermoplastic Elastomer)

Joustavat filamentit on valmistettu termoplastisista elastomeereistä (TPE), jotka ovat kumin ja kovan muovin sekoitus (kuva 24). Muovin kimmoisuusaste riippuu TPE:n tyypistä ja valmistajan käyttämästä kemiallisesta koostumuksesta. Jotkut filamentit voivat olla osittain joustavia, kuten autonrenkas, mutta toiset täysin joustavia kuten kuminauha. Joustavien filamenttien haittapuolena on sen haastavuus tulostaa onnistuneita tulosteita. [Flexible 2021.]



Kuva 24. TPE-materiaalista tehty tuloste [Flexible 2021].

#### 6.2 Resiinit

Resiineillä on laaja valikoima erilaisia kemiallisia konfiguraatioita: materiaalit voivat olla kovia tai pehmeitä, joustavia tai jäykkiä, lämmön- sekä iskunkestäviä. Eri resiinikoostumukset tarjoavat laajan valikoiman optisia, mekaanisia ja lämpöominaisuuksia, jotka vastaavat standardeiltaan teollisten kestumuvien ominaisuuksia. [FDM vs. SLA: Compare the Two Most Popular Types of 3D Printers 2021.] Resiinien suosio käyttäjien keskuudessa johtuu niiden erinomaisesta nopeudesta ja tarkkuudesta. Huonona puolena on, että resiinit ovat edelleen huomattavasti kalliimpia kuin FDM-filamentit. [Von Übel 2021.]



### 6.2.1 Vakioresiinit

Vakioresiinit tarjoavat erinomaista laatua kohtuulliseen hintaan. Materiaali on siileää, helposti maalattavaa, jälkikäsittely on mutkatonta sekä mahdollistaa korkeatasoiset yksityiskohdat. Vakioresiinit soveltuvat enimmäkseen visuaalisiin malleihin, joissa on rajalliset toiminnot. [Danis 2020.] Tämän tyyppisillä resineillä on erinomainen pintalaatu, ja sitä suositellaan varsinkin aloittelevalla 3D-tulostajalle. [What Types of SLA Resin Are There For 3D Printing? Best Brands & Types 2021].

### 6.2.2 Kovat resiinit

Kova resini on erinomainen vaihtoehto, kun halutaan tuottaa vahvoja ja toiminnallisia 3D-tulosteita, jotka kestävät helposti räsitystä. Sitä kutsutaan myös ABS:n kaltaiseksi, koska se muistuttaa ABS:n mekaanisia ominaisuuksia. Kova resini on ihanteellinen mekaanisten osien, kuten koneen kokoonpanokomponenttien ja muiden kulumista kestävien esineiden valmistukseen (kuva 25). Valmiin tulosteen irrottaminen rakennusalustasta voi olla hankalampaa kuin vakioresiinillä. [What Types of SLA Resin Are There For 3D Printing? Best Brands & Types 2021.]



Kuva 25. 3D-tulostettu nelikopteri, jossa on käytetty ABS:n kaltaista kovaa resiniä [Latouche 2021].

### 6.2.3 Joustavat resiinit

Joustavat resiinit ovat ainutlaatuisia materiaaleja, joilla on kumimaisia ominaisuuksia. Sen avulla käyttäjät voivat luoda kiinteitä osia, joilla on suuri

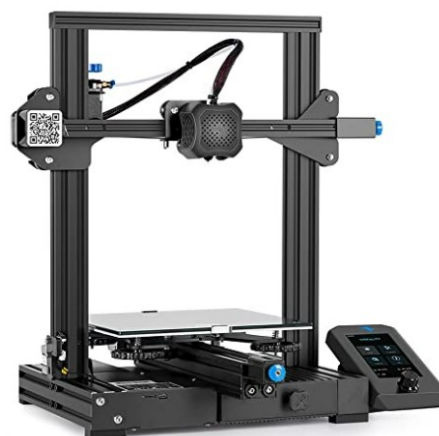
joustavuus. Materiaali kestää helposti taivutuksia ja puristuksia. Materiaalin huonoina puolina on, että sillä on hankala tulostaa, se vaatii hyvin sijoitettuja tukirakenteita ja kovan resiniin tavoin, tulosteelle ei kannata laittaa ohuita seinämiä. [What Types of SLA Resin Are There For 3D Printing? Best Brands & Types 2021.]

## 7 Sopiva 3D-tulostin kotikäyttöön

Insinööriyötä varten etsittiin ja vertailtiin hyviä arvosteluja saaneita budjettihinnan 3D-tulostimia kymmenestä eri verkkosivulähteestä. Näistä valittiin useimmiten esiintyvät ja parhaiten arvostelun saaneet 3D-tulostimet. Yksi suurin kriteeri tulostimien valintaan oli, että sen täytyy olla aloittelijaystävällinen eli helppokäyttöinen. Lähtökohtana oli, että ostajalla ei ole ennestään käyttökokemusta laitteista ja kyseessä on hänen ensimmäinen 3D-tulostin.

Vertailun parhaimmaksi ja suosituimmaksi osoittautui Creality Ender 3 V2 (kuva 26), joka on myös myydyimpiä 3D-tulostimia Amazon verkkokaupasta. Creality Ender 3 V2 on FDM-tulostin, joka maksaa alle 300 euroa. Suureen valmistajaan kuten Crealityyn voi luottaa siihen, että tarvittaessa saa hyvää asiakastukea. Creality:llä on myös suuri käyttäjäkanta, jotka aktiivisesti keskustelevat nettifoorumeilla 3D-tulostamisesta. [Mensley 2021.]

- kerroksen paksuus: 0,1–0,4 mm
- tulostustarkkuus:  $\pm 0,1$  mm
- rakennustilavuus: 220 x 220 x 250 mm
- näyttö: 4,3 tuuman monivärinen LCD-näyttö
- filamentin paksuus: 1,75 mm
- materiaalituki: PLA/TPU/PETG
- rungon mitat: 475 x 470 x 620 mm
- paino: 7,8 kg
- takuu: 1 vuosi



Kuva 26. Creality Ender 3 v2 tulostin [Ender-3 V2 3D Printer 2021].

Vertailun toiseksi FDM-tulostimeksi valittiin Monoprice MP Voxel (kuva 27). Monopricen valmistaja on kehittänyt useita erilaisia 3D-tulostimia, joissa keskitytään käytettävyyteen ja edullisuuteen. Monoprice MP Voxel on 400 euron FDM-tulostin, jossa on täysin suljettu käyttöympäristö. Tämä ominaisuus tekee siitä lapsiystävällisen ja hiljaisen, mikä on harvinaista tämän hintaluokan FDM-tulostimissa. Tulostin toimitetaan jälleenmyyjiltä täysin kalibroituna ja valmiina tulostukseen, mikä tekee siitä helppokäyttöisen. [Grames 2020.]

- kerroksen paksuus: 0,05–0,4 mm
- tulostustarkkuus:  $\pm 0,2$  mm
- rakennustilavuus: 150 x 150 x 150 mm
- näyttö: 2,8 tuuman kosketusnäyttö
- filamentin paksuus: 1,75 mm
- materiaalituki: PLA/ABS/puutäyte/kuparitäyte/terästäyte/pronssitäyte
- rungon mitat: 400 x 380 x 405 mm
- paino: 9 kg
- takuu: 1 vuosi



Kuva 27. Monoprice MP Voxel tulostin [Monoprice MP Voxel 3D Printer, Fully Enclosed, Easy Wi-Fi, Touchscreen, 8GB On-Board Memory, Polar Cloud Enabled 2021].

Parhaaksi resiinikäyttöiseksi 3D-tulostimeksi osoittautui Elegoo Mars 2 (kuva 28). Elegoo-brändi vahvisti paikkansa yhtenä parhaimpana budjettihinnan 3D-tulostin valmistajana heidän edeltävällä huippusuositulla Elegoo Mars tulostimella. Paranneltuun Elegoo Mars 2:een vaihdettiin kuuden tuuman yksivärinen (engl. monochrome, MC) LCD-näyttö, jossa on 2k-resoluutio. Siinä on nelinkertainen elinikä, ja se tulostaa tuplasti nopeammin kuin RGB LCD-näytöllä varustettu Elegoo Mars-tulostin. Tulostaminen MC LCD-näytöllä on kustannustehokkaampaa, vakaampaa sekä tarvitsee harvemmin huoltoa. Elegoo Mars 2:lla on hintaa noin 200 euroa. [Gehrke 2021.]

- kerroksen paksuus: 0,01–0,2 mm
- tulostusnopeus: 30–50 mm/h
- z-akselin tarkkuus: 0,00125 mm
- XY resoluutio: 0,05 mm
- rakennustilavuus: 129 x 80 x 150 mm
- näyttö: 3,5 tuuman kosketusnäyttö
- rungon mitat: 200 x 200 x 410 mm
- paino: 6,2 kg
- takuu: 1 vuosi tulostimelle ja 6 kk takuu LCD-näytölle



Kuva 28. Elegoo Mars 2 tulostin [Elegoo Mars 2 Mono LCD MSLA Resin 3D Printer 2021].

Vertailun toiseksi resiinikäyttöiseksi 3D-tulostimeksi valittiin Anycubic Photon Mono (kuva 29). Anycubic-yhtiö on erikoistunut budjettihinnan 3D-tulostimiin. Heidän filosofiaansa kuuluukin, että 3D-tulostimien tulee olla edullisia ja kaikkien saatavilla. [Anycubic 3D printers and accessories 2021.] Anycubic Photon Monossa käytetään myös kuuden tuuman MC LCD-näyttöä, jossa on 2k-resoluutio. Se on muiltakin teknisiltä tiedoilta hyvin samankaltainen kuin Elegoo Mars 2 tulostin. Anycubic Photon Mono maksaa noin 200 euroa, mutta se on keltainen.

- kerroksen paksuus: 0,01–0,15 mm
- tulostusnopeus: max 50 mm/h
- z-akselin tarkkuus: 0,01 mm
- XY resoluutio: 0,051 mm
- rakennustilavuus: 130 x 80 x 165 mm
- näyttö: 2,8 tuuman kosketusnäyttö
- rungon koko: 227 x 222 x 383 mm
- paino: 4,5 kg
- takuu: 1 vuosi tulostimelle ja 3kk takuu LCD-näytölle



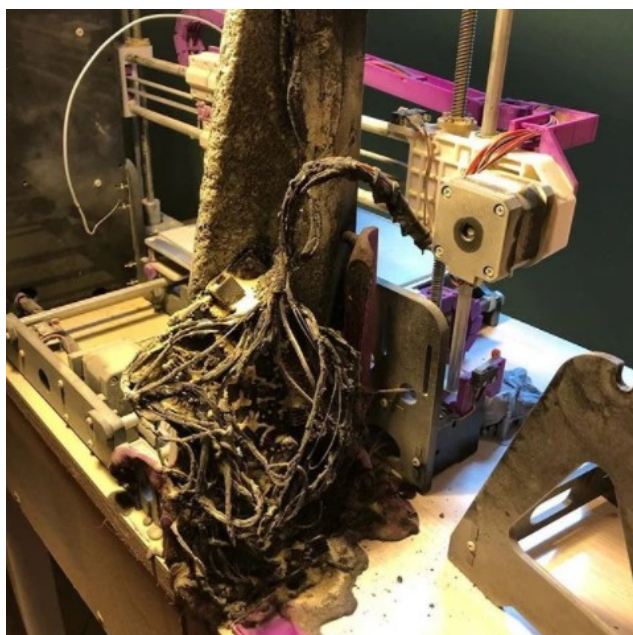
Kuva 29. Anycubic Photon Mono tulostin [Photon Mono 2021].

## 8 Turvallisuus

3D-tulostimista on tullut pienempiä ja edullisempia, ja ne ovat yleistyneet myös nuorempien käyttäjien keskuudessa. Tästä syystä 3D-tulostimia pidetään usein leluina, sillä niiden avulla voidaan tehdä leikkikaluja ja muita hupiprojekteja. 3D-tulostimet ovat aina valmistuslaitteita, joita pitää käsitellä kuin työstökoneita. [Goldsberry 2020.]

FDM-tulostimissa filamenttia pursottava suutinpää on tulostaessa erittäin kuuma, noin 220–250 °C [Hay 2021]. Sen koskettamista tulee välttää, koska pienestäkin kosketuksesta iholle voi aiheutua syviä palovammoja. Useat FDM-tulostimet ovat avoimia yksiköitä kuten Creality Ender 3 V2, minkä takia lemmitkit tai lapset voivat helposti päästä siihen käsiksi.

FDM-tulostimessa on monen elektronisen laitteen tavoin tulipaloriski. Yhtenä negatiivisena esimerkkinä on Anet A8-tulostin (kuva 30), joka oli hyvin suosittu malli halvan hintansa takia. Monet käyttäjät eripuolilla internettiä ovat jakaneet kuvia palaneista Anet A8-tulostimista. Yleisin juurisyy tulipaloon oli löystynyt termistori, joka antoi vääriä tulostuslämpötilan arvoja. [Lütkemeyer 2021.]



Kuva 30. Palanut Anet A8 tulostin [Lütkemeyer 2021].

Resiiniäkäyttöiset 3D-tulostimet ovat aina suojakuvuilla suljettuja koneita. Suojakupu estää kaikenlaiset kosketusmahdollisuudet tulostuksen aikana. Suojakupu myös vähentää voimakkaita hajuja, joita jotkut resiinit tuottavat. Resiiniä käsitellessä täytyy aina suojata itsensä, koska resiinit voivat aiheuttaa kosketusihottumaa, joka voi kehittyä allergiaksi. Halvin ja helpoin tapa suojata itseään on käyttämällä nitrilihanskoja ja suojalaseja. [Griffin 2020.]

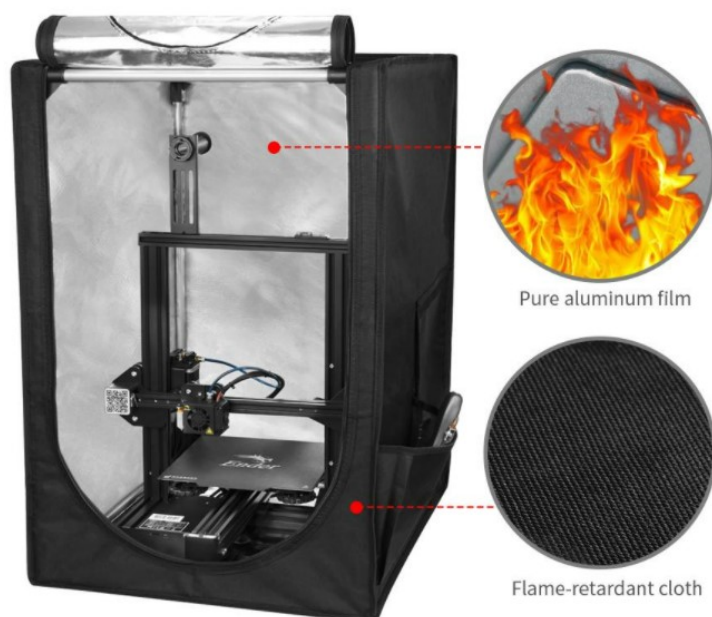
3D-tulostusprosessit emittoivat eli vapauttavat haitallisia altisteita, joista ei ole vielä tarpeeksi tietoa 3D-tulostimien sääntelystandardin luomiseksi [Pelley 2018]. Tutkimukset ovat osoittaneet, että 3D-tulostusprosessi vapauttaa kaasuja ja hiukkasia, jotka voivat aiheuttaa terveysriskejä käyttäjille. Nämä päästöt sisältävät VOC-yhdisteitä, joista osa on hengitettynä haitallisia ihmisen terveydelle. Hiukkaset ovat kooltaan alle 100 nanometriä, ja tutkijat ovat havainneet, että ne ovat riittävän pieniä kerrostuakseen syvemmälle hengityselimiin. [EPA Researchers Continue to Study the Emissions of 3D Printers 2021.] Esimerkkinä on olemassa tapaus, jossa 28-vuotias mies, joka oli parantunut lapsena astmasta. Hän hankki 10 FDM-tulostinta 85 m<sup>3</sup>:n kokoiseen työtilaan, ja 10 päivän työskentelyn jälkeen hänelle palautui astman oireet, jonka takia hän joutui tehdä muutoksia työtilaan sekä työtapaan. [Case report of asthma associated with 3D printing 2017.]

Suomen työterveyslaitos on tehnyt tutkimuksen, jossa tutkittiin muun muassa millä keinoilla voidaan alentaa pientulostamisesta aiheutuvia hiukkaspäästöjä. Tutkimuksessa havaittiin, että ainoastaan toimistohuoneen ilmanvaihto ei ole riittävä. Edes tulostimen yläpuolelle asennettu kohdepoisto ei ollut tarpeeksi voimakas torjumaan 3D-tulostimen aiheuttamia nanohiukkaspäästöjä. Tehokkain yksittäinen keino hiukkasten torjuntaan oli 3D-tulostimen sijoittaminen muovisen suojakotelon sisään. Vaikka kotelo ei ollut täysin ilmatiivis, se torjui syntyneitä päästöjä tehokkaasti. Kohdepoiston lisääminen koteloon torjui syntyneet päästöt lähes täysin. [Toivonen ym. 2016.]

Ideaalinen paikka 3D-tulostukselle on joko autotalli tai työpaja, josta voi jättää ikkunan tai oven auki ilmanvaihtoa varten ja tilan voi jättää tyhjiksi pitkiä ajoiksi

tulostimen ollessa käynnissä. Toinen vaihtoehto on erillinen huone, josta jättää ikkunan auki ja pitää oven kiinni. Mikäli 3D-tulostinta halutaan välttämättä pitää olohuoneessa, niin silloin on suositeltavaa käyttää erillistä ilmanpuhdistinta. [Miller 2021b.]

Useimmiten ei kannata poistua kotoa pesukoneen tai uunin ollessa päällä, mutta monet tekevät sitä silti. Tavallisissa kodinkoneissa ei ole yhtä usein vikoja, niin kuin 3D-tulostimissa. Yhden 3D-tulosteen tekemiseen voi kulua kymmeniä tunteja, joka houkuttaa tekijää pitää tulostinta päällä nukkuessa tai käydessä töissä. 3D-tulostimissa on monia elementtejä, jotka tekevät siitä vähemmän turvallisen kuin muut kodinkoneet. 3D-tulostimen vikaantuminen vaarallista tavalla on harvinaista, ja useimmiten vika johtaa vain huonolaatuisen lopputulostukseen. Yksi erinomainen tapa vähentää 3D-tulostimen tulipaloriskiä on hankkia siihen sopiva tulenkestävä suojakupu. Kuvassa 31 on suosittu Crealityn valmistama tulenkestävä suojakupu, joka samalla estää tehokkaasti pienhiukasten leviämisen. [Dwamena 2021a.]



Kuva 31. Crealityn valmistama tulenkestävä suojakupu FDM-tulostimia varten [3D Printer Enclosure: Safe, Quick and Easy installation 2021].

## 9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä 3D-tulostimen soveltuvuudesta kotitalouteen. Vaikka 3D-tulostustekniikka ulottuu 1980-luvulle, niin vasta viime vuosina se on löytänyt paikkaansa kotitalouksiin.

3D-tulostinta hankkiessa on asioita, joita kannattaa ottaa erityisesti huomioon. On järkevää harkita tarkkaan, minne sijoittaa 3D-tulostimen kotioiloissa. 3D-tulostuksesta vapautuu haitallisia altisteita, joista ei tiedetä vielä tarpeeksi. Esimerkiksi pitkän ajan vaikutuksesta on hyvin vähän tietoa. Koteloituun 3D-tulostin ratkaisuun kannattaa pyrkiä, koska sillä eliminoidaan suurin osa haitallisista altisteista. Suositelluimmat sijainnit 3D-tulostimelle ovat autotalli tai työpaja. On suositeltavaa, ettei 3D-tulostinta käytetä makuuhuoneessa tai olohuoneessa ilman ilmanraikastinta.

Kotitalouteen sopivat 3D-tulostustekniikat rajoittuvat materiaalin pursotukseen ja allasvalokovetukseen. Insinööriyössä vertailtiin suosituimpia ja hyvin arvosteluja saaneita budjettihinnan 3D-tulostimia. Kotioiloihin sopivaa ensimmäiseksi 3D-tulostimeksi suositellaan FDM-tulostinta, sillä se on aloittelijaystävällisin vaihtoehto. Resiiniikäyttöiset 3D-tulostimet tarvitsevat lisäksi oheislaitteita, jotka vievät enemmän tilaa. FDM-tulostimissa käytettävää filamenttimateriaalia kannattaa säilyttää kuivassa ja ilmatiiviissä laatikossa. Resiiniä täytyy säilyttää paikassa, jossa se on suojassa valolta.

3D-tulostimia käytetään edelleen enimmäkseen harrastepiireissä. Halvimmat 3D-tulostimet ovat todella edullisia, jonka ansiosta 3D-tulostuksen pariin on helppo päästä. Räjähdysmäistä ostovillitystä ei ole vielä kotitalouksiin tapahtunut. Se varmaankin vaatii ainakin sen, että 3D-tulostimien tulostusvarmuus saavutetaan 100 prosenttisesti. Useamman tunnin tulosteessa on ikävää, jos se on kesken kaiken epäonnistunut. Nykyisillä kotikäyttöön soveltuvilla 3D-tulostimilla pystytään tulostaa karkeasti penaalin kokoisia objekteja, joten tulevaisuuden kannalta olisi hyvä pystyä tulostaa isompiakin esineitä. Yksi iso tekijä on myös se, että materiaalit kehitetään turvallisemmaksi ja vähemmän haitallisemmaksi.



3D-tulostusteknologia kehittyy ja sitä innovoidaan jatkuvasti. Esimerkiksi vuonna 2021 3D-tulostettiin ensimmäiset asuinrakennukset Eurooppaan ja Yhdysvaltoihin. Tulevaisuudessa tulisi saada enemmän tilastotietoa kotitalouksissa käytetyistä 3D-tulostimista, niiden turvallisuudesta ja käytettävyydestä. Käytön ja tiedon kehittyessä tulostimista tulee turvallisempia ja käyttäjäystävällisempiä. Hypoteesina 3D-tulostimet luovat perustaa esimerkiksi varaosien hankinnalle, mikä edesauttaa kestävämmässä kehityksessä globaalia ilmastokriisiä vastaan.

## Lähteet

3D Printer Enclosure: Safe, Quick and Easy installation. 2021. Verkkoaineisto. Creality. <<https://www.creality3dofficial.com/products/3d-printer-enclosure-safe-quick-and-easy-installation>>. Luettu 20.12.2021.

3D Printing - Additive. 2021. Verkkoaineisto. 3DEXPERIENCE Marketplace | Make. <<https://make.3dexperience.3ds.com/processes/directed-energy-deposition>>. Luettu 21.11.2021.

5 Tips to Avoid Layer Delamination in 3D Printing. 2021. Verkkoaineisto. FacFox. <<https://facfox.com/docs/kb/5-tips-to-avoid-layer-delamination-in-3d-printing>>. Päivitetty 3.7.2020. Luettu 14.10.2021.

Additive manufacturing. 2020. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/news/detail/56908/additive-manufacturing>>. Luettu 13.10.2021.

Additive & Subtractive Manufacturing. 2021. Verkkoaineisto. Techso. <<https://techso.ca/en/additive-subtractive-manufacturing/>>. Luettu 13.10.2021.

All about vat photopolymerization. 2021. Verkkoaineisto. Fast Radius. <<https://www.fastradius.com/resources/vat-photopolymerization/>>. Luettu 14.11.2021.

Anycubic 3D printers and accessories. 2021. Verkkoaineisto. 3DJake. <<https://www.3djake.uk/anycubic-3d-printer-and-accessories>>. Luettu 16.12.2021.

Best 3D Printer Filament – The Ultimate Guide. 2021. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>>. Luettu 28.11.2021.

Best 3D Printing Technology – FFF vs FDM What is The Difference. 2021. Verkkoaineisto. Pick3DPrinter. <<https://pick3dprinter.com/fff-vs-fdm/>>. Luettu 23.11.2021.

Bethany. 2017. How CAD Has Evolved Since 1982. Verkkoaineisto. Scan2CAD. <<https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/>>. Luettu 3.11.2021.

Better for Business: FDM 3D Printing over SLS 3D Printing. 2021. Verkkoaineisto. CADimensions. <<https://www.cadimensions.com/blog/fdm-3d-printing-vs-sls-3d-printing/>>. Luettu 16.11.2021.

Bournias-Varotsis, Alkaios. 2021a. Introduction to binder jetting 3D printing. Verkkoaineisto. HUBS. <<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>>. Luettu 23.11.2021.

Bournias-Varotsis, Alkaios. 2021b. What is FDM 3D printing. Verkkoaineisto. HUBS. <<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/#work>>. Luettu 17.11.2021.

Case report of asthma associated with 3D printing. 2017. Verkkoaineisto. National Library of Medicine. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29016991/>>. Luettu 20.12.2021.

Cthornsberry. 2018. Pros and Cons of 3D Printing. Verkkoaineisto. 3Space. <<https://3space.com/blog/pros-and-cons-of-3d-printing/>>. Luettu 14.10.2021.

Danis, Alex. 2020. Which 3D Printing Resin Should You Use. Verkkoaineisto. Filaments.ca. <<https://filaments.ca/blogs/3d-printing/which-3d-printing-resin-should-you-use>>. Luettu 28.11.2021.

Dean, Al. 2010. HP signs deal with Stratasys: Let the 3D printing games commence. Verkkoaineisto. Develop3D. <<https://develop3d.com/develop3d-blog/hp-signs-deal-with-stratasys-let-the-3d-printing-games-commence/>>. Luettu 4.12.2021.

DLP vs LCD – 3D Printing Technologies Compared. 2021. Verkkoaineisto. Pick3DPrinter. <<https://pick3dprinter.com/dlp-vs-lcd-3d-printer/>>. Luettu 25.11.2021.

Dwamena, Michael. 2021a. 3D Printing When Not at Home: The Good, The Bad, The Ugly. Verkkoaineisto. 3D Printerly. <<https://3dprinterly.com/3d-printing-when-not-at-home-the-good-the-bad-the-ugly/>>. Luettu 20.12.2021.

Dwamena, Michael. 2021b. Resin Vs Filament – An In-Depth 3D Printing Material Comparison. Verkkoaineisto. 3D Printerly. <<https://3dprinterly.com/resin-vs-filament-material-comparison/>>. Luettu 25.11.2021.

Elegoo Mars 2 Mono LCD MSLA Resin 3D Printer. 2021. Verkkoaineisto. Elegoo. <<https://www.elegoo.com/products/elegoo-mars-2-mono-lcd-3d-printer>>. Luettu 16.12.2021.

Ender-3 V2 3D Printer. 2021. Verkkoaineisto. Creality. <<https://www.creality.com/goods-detail/ender-3-v2-3d-printer>>. Luettu 16.12.2021.

EPA Researchers Continue to Study the Emissions of 3D Printers. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.epa.gov/sciencematters/epa-researchers-continue-study-emissions-3d-printers>>. Päivitetty 8.7.2021. Luettu 20.12.2021.

FDM vs. SLA: Compare the Two Most Popular Types of 3D Printers. 2021. Verkkoaineisto. Formlabs. <<https://formlabs.com/eu/blog/fdm-vs-sla-compare-types-of-3d-printers/>>. Luettu 25.11.2021.

Flexible. 2021. Verkkoaineisto. Simplify3D. <<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/flexible/>>. Luettu 28.11.2021.

Form Wash + Form Cure. 2021. Verkkoaineisto. Formlabs. <<https://formlabs.com/post-processing/wash-cure/>>. Luettu 3.12.2021.

Gehrke, Florian. 2021. Elegoo Mars 2 Review: Green New Deal. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/elegoo-mars-2-review-3d-printer-specs/>>. Päivitetty 20.4.2021. Luettu 16.12.2021.

Ghose, Shuvom. 2018. How to 3D Print Jigs & Fixtures, Part 2: Designing for Print. Verkkoaineisto. GrabCAD. <<https://grabcad.com/tutorials/how-to-3d-print-jigs-fixtures-part-2-designing-for-print>>. Luettu 10.10.2021.

Goldsberry, Clare. 2020. Mitigating the Health Risks of 3D-Printing Emissions. Verkkoaineisto. Plastics Today. <<https://www.plasticstoday.com/3d-printing/mitigating-health-risks-3d-printing-emissions>>. Luettu 19.12.2021.

Grames, Emmett. 2020. Monoprice MP Voxel Review: Hands On. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/monoprice-mp-voxel-review-3d-printer-specs/>>. Päivitetty 14.5.2020. Luettu 16.12.2021.

Gregurić, Leo. 2019. What Is Material Jetting? – 3D Printing Simply Explained. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/2/what-is-material-jetting-3d-printing-simply-explained/>>. Luettu 16.11.2021.

Griffin, Melanie. 2020. SLA Printing: Is 3D Printer Resin Toxic?. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/2/sla-3d-printing-is-3d-printer-resin-toxic/>>. Luettu 19.12.2021.

Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. 2021. Verkkoaineisto. Formlabs. <<https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/>>. Luettu 16.11.2021.

Hawthorne, Mel. 2021. 3D Printing Basics: What Is MSLA 3D Printing. Verkkoaineisto. Technipages. <<https://www.technipages.com/3d-printing-basics-what-is-msla-3d-printing>>. Luettu 28.11.2021.

Hay, Zachary. 2021. Best 3D Printing Temperatures for PLA, TPU, ABS, & More. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/2/the-best-printing-temperature-for-different-filaments/>>. Päivitetty 14.3.2021. Luettu 19.12.2021.

Horne, Richard & Hausman, Kalani Kirk. 2017. 3D Printing For Dummies. 2nd ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Horvath, Joan & Cameron, Rich. 2018. Mastering 3D Printing in the Classroom, Library, and Lab. USA: Apress.

Lalwani, Chanda. 2020. LCD vs. DLP vs. SLA: Which 3D Printer is Best For You. Verkkoaineisto. Phrozen. <<https://phrozen3d.com/blogs/guides/sla-vs-dlp-vs-lcd-which-resin-3d-printer-is-the-best-for-you>>. Luettu 7.12.2021.

Latouche, Maeli. 2021. SLA 3D printing materials compared. Verkkoaineisto. HUBS. <<https://www.hubs.com/knowledge-base/sla-3d-printing-materials-compared/>>. Luettu 28.11.2021.

Lorincz, Jim. 2011. Masters of Manufacturing: Carl R. Deckard, PhD. Verkkoaineisto. Sme. <<https://www.sme.org/technologies/articles/2011/masters-of-manufacturing-carl-r.-deckard-phd/>>. Luettu 6.10.2021.

Lütkemeyer, Martin. 2021. 3D Printers Can Burn Down Your House! Fireproofing Guide. Verkkoaineisto. The 3D Printer Bee. <<https://the3dprinter-bee.com/3d-printer-fireproof/>>. Luettu 19.12.2021.

Mendoza, Hannah Rose. 2016. Addressing Planned Obsolescence with 3D Printing. Verkkoaineisto. 3DPrint. <<https://3dprint.com/156929/addressing-planned-obsolence/>>. Luettu 8.12.2021

Menetelmät. 2021. Verkkoaineisto. Savonia. <<https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tie-topankki/menetelmat>>. Luettu 8.11.2021.

Mensley, Matthew. 2021. Best 3D Printers of 2021 – Buyer’s Guide. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/best-3d-printer-reviews-top-3d-printers-home-3-d-printer-3d/>>. Päivitetty 4.12.2021. Luettu 16.12.2021.

Miller, Dylan. 2021a. Advantages and Disadvantages of 3D Printing. Verkkoaineisto. IO3DPRINT. <<https://io3dprint.com/advantages-disadvantages-of-3d-printing/>>. Luettu 14.10.2021.

Miller, Dylan. 2021b. Should You Worry About 3D Printer Fumes?. Verkkoaineisto. IO3DPRINT. <<https://io3dprint.com/should-you-worry-about-3d-printer-fumes/>>. Luettu 20.12.2021.

Monoprice MP Voxel 3D Printer, Fully Enclosed, Easy Wi-Fi, Touchscreen, 8GB On-Board Memory, Polar Cloud Enabled. 2021. Verkkoaineisto. Monoprice. <[https://www.monoprice.com/product?p\\_id=33820](https://www.monoprice.com/product?p_id=33820)>. Päivitetty 20.12.2021. Luettu 21.12.2021

Norman, Jeremy. 2021. Chuck Hull Invents Stereolithography or 3D Printing and Produces the First Commercial 3D Printer. Verkkoaineisto. <<https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3864>>. Päivitetty 28.11.2021. Luettu 5.10.2021.

O'Connell, Jackson. 2020. Hygroscopy (3D Printing): What It Is & How to Deal With It. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/2/hygroscopy-3d-printing-guide/>>. Luettu 28.11.2021.

Our story. 2021. Verkkoaineisto. 3D Systems. <<https://www.3dsystems.com/our-story>>. Luettu 5.10.2021.

Parts Consolidation with Additive Manufacturing- From Multiple to Singular. 2019. Verkkoaineisto. 3DIncredible. <<https://3dinccredible.com/parts-consolidation-with-additive-manufacturing-from-multiple-to-singular/>>. Päivitetty 2.3.2020. Luettu 10.10.2021.

Pearson, Aaron. 2021. The history of 3D printing. Verkkoaineisto. Stratasys. <<https://www.stratasys.com/explore/article/3d-printing-history>>. Luettu 6.10.2021.

Pelley, Janet. 2018. 3-D printer emissions raise concerns and prompt controls. Verkkoaineisto. C&EN. <<https://cen.acs.org/materials/3-d-printing/3-D-printer-emissions-raise/96/i13>>. Luettu 20.12.2021.

Photon Mono. 2021. Verkkoaineisto. Anycubic. <<https://www.anycubic.com/products/photon-mono-resin-3d-printer>>. Luettu 16.12.2021.

Pioneers of Printing: Chuck Hull and the Beginning of 3D Printing. 2020. Verkkoaineisto. Drupa. <<https://blog.drupa.com/en/chuck-hull-3d-printing-en/>>. Luettu 5.10.2021.

Principle of 3d printing-material jetting (MJ). 2019. Verkkoaineisto. Tanerxun. <<https://www.tanerxun.com/principle-of-3d-printing-mj/.html>>. Luettu 16.11.2021.

Sheet Lamination. 2021. Verkkoaineisto. Engineering Product Design. <<https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/sheet-lamination/>>. Luettu 18.11.2021.

SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers. 2021. Verkkoaineisto. Formlabs. <<https://formlabs.com/eu/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>>. Luettu 25.11.2021.

Taylor-Smith, Kerry. 2021. How is 3D Printing a Sustainable Manufacturing Method. Verkkoaineisto. Azom. <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20017>>. Luettu 11.11.2021.

The Complete History of 3D Printing: From 1980 to 2021. 2021. Verkkoaineisto. 3Dsourced. <<https://www.3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/>>. Luettu 5.10.2021.

The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. 2021. Verkkoaineisto. Sculpteo. <<https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>>. Luettu 5.10.2021.

Toivonen ym. 2016. Materiaalia lisäävän valmistuksen (3D-tulostus) kaasu- ja hiukkaspäästöt eri työvaiheissa. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131891/Materiaalia%20lis%C3%A4%C3%A4v%C3%A4n%20valmistuksen%20%283D-tulostus%29%20kaasu-%20ja%20hiukkasp%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t%20eri%20ty%C3%B6vaiheissa.pdf?sequence=1>>. Luettu 20.12.2021.

Von Übel, Max. 2021. 3D Printing Materials – The Ultimate Guide. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>>. Luettu 25.11.2021.

What are the advantages and disadvantages of 3D printing. 2021. Verkkoaineisto. TWI. <<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>>. Luettu 14.10.2021.

What If My 3D Model Is "Too Rough" To Print. 2021. Verkkoaineisto. Imaterialise. <<https://imaterialise.helpjuice.com/design-printing/what-if-my-3d-model-is-too-rough-to-print>>. Luettu 19.10.2021.

What Types of SLA Resin Are There For 3D Printing? Best Brands & Types. 2021. Verkkoaineisto. 3D Printerly. <<https://3dprinterly.com/what-types-of-resin-are-there-for-3d-printing-best-brands-types/>>. Luettu 28.11.2021.

When Was 3D Printing Invented. The History of 3D Printing. 2020. Verkkoaineisto. BCN3D. <<https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>>. Luettu 7.10.2021.