

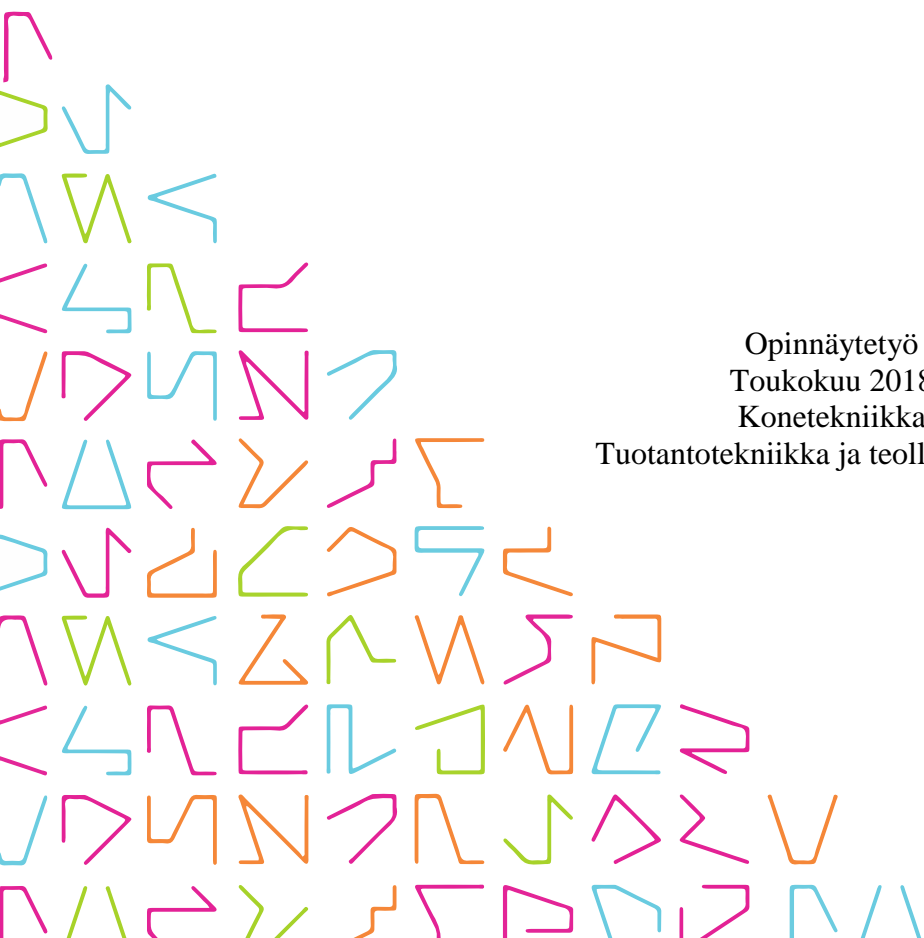


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

AUTODESK INVENTOR JA LISÄOHJELMAT 3D-TULOSTAMISEEN

Matti Juvonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Konetekniikka
Tuotantotekniikka ja teollisuustalous



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka ja teollisuustalous

JUVONEN, MATTI:

AutoDesk Inventor ja lisäohjelmat 3D-tulostamiseen

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2018

Tampereen ammattikorkeakoulu haki konetekniikan koulutuksessa olevaa opiskelijaa tekemään opinnäytetyötä 3D-tulostamisesta. Opinnäytetyössä selvitetään AutoDesk Inventor -suunnitteluohjelman sopivuutta suunnittelutyökaluksi 3D-tulostettaville tuotteille. Inventorin lisäksi työssä selvitetään myös AutoDeskin MeshMixer sekä Tinkercad useilla menetelmillä. Opinnäytetyössä suunniteltiin kolme kappaletta, joista tehdään orgaanisia, verkkomaisia tai muuten 3D-tulostetun näköisiä. Tarkoituksena oli hyödyntää juuri 3D-tulostuksen mahdollisuuksia kappaleita valmistettaessa. Opinnäytetyö tehtiin samanlaisesti kahden muun konetekniikan opiskelijan kanssa. He käyttivät muita suunnitteluohjelmia omissa töissään samankaltaisiin kappaleihin. Opinnäytetyön tavoitteena ovat onnistuneet mallinnukset sekä 3D-tulostus.

3D-tulostaminen on materiaalia lisäävä menetelmä, ja sen käyttö on lisääntynyt harrastajien ja populaarikulttuurin viittauksien lisäksi myös koulutuksissa. On tärkeää ymmärtää 3D-tulostamisen potentiaali ja mahdollisuudet sekä menetelmät kappaleiden tekemiseen. Opinnäytetyössä käydään läpi yleisiä tulostusmenetelmiä ja tulostusmateriaaleja kappaleiden suunnittelun ja esittelyn lisäksi. Suunnittelutyön periaatteet ovat vahvasti mukana kappaleiden suunnittelussa, joten muutakin 3D-tulostamiseen ja kappaleiden piirtämiseen liittyvää tietoa on dokumentoitu.

Suunnitteluohjelmat sisältävät erilaisia työkaluja, ja niiden kattava hallitseminen vaatii eri määrät käyttökokemusta. Opinnäytetyössä pohditaan tuloksien, saatujen mallien ja ammattilaisten antaman tiedon kautta ohjelmien parhaita käyttötarkoituksia. Inventorissa on eniten työkaluja, mutta myös oppimiskäyrä on korkein. MeshMixer soveltuu parhaiten pintamallien tekemiseen. Tinkercadille löytyy paljon julkisia kappaleita, joista voi löytää inspiaraatiota tai muunneltavia geometrioita.

Asiasanat: 3D-tulostaminen, AutoDesk Inventor, Meshmixer, Tinkercad, orgaaninen, verkko, suunnitteluohjelma, suunnittelutyökalu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering and Industrial Finance

JUVONEN, MATTI:

AutoDesk Inventor and Add-on Software for 3D-printing

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 0 pages
May 2018

This thesis was made to study the potential of AutoDesk Inventor as a designing software for 3D-printed products. In addition to Inventor, AutoDesk products such as MeshMixer and Tinkercad were studied and the best uses for them were examined in numerous ways. In this thesis, three objects were designed to look either organic, latticed or 3D-printed in general. The purpose was to make use of advantages that 3D-printing offers in manufacturing of objects. This study took place concurrently with two similar studies. Two other students from mechanical engineering studied their own designing programs for their own theses using similar objects. Objectives of this thesis are successful design and 3D-printing.

3D-printing is an additive manufacturing technology that has grown in popularity in various training programs and among hobbyists. The potential and possibilities of 3D-printing are important to realize and in that regard, understanding the technology of making objects is important. This thesis documents the most common methods of 3D-printing and common printing materials, and presents the objects designed in this thesis. Principles of designing lay a solid groundwork for drawing objects, therefore understanding related technologies and basic information about 3D-printing and computer aided design are also documented in this thesis.

Different design software have differing tools and mastering these programs require different amounts of user experience. This thesis deals with the best possible use for each designing software, based on an observation of the completed objects and information available from users. Inventor has the best selection of tools, but is hard to master. Mesh-Mixer is useful as a surface pattern tool for imported designs. Tinkercad has a public design library that can be used to find inspiration and changeable geometries.

Key words: 3D-printing, AutoDesk Inventor, Meshmixer, Tinkercad, organic, lattice, designing software, designing tool

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	3D-TULOSTAMINEN	9
2.1	Standardit ja niiden merkitys 3D-tulostamisessa.....	9
2.2	3D-tulostamismenetelmät	10
2.2.1	Fused Deposition Modeling (FDM).....	11
2.2.2	Stereolithography (SLA).....	11
2.2.3	Digital Light Processing (DLP)	12
2.2.4	Selective Laser Sintering (SLS).....	13
2.2.5	Selective Laser Melting (SLM).....	15
2.2.6	Electron Beam Melting (EBM).....	16
2.2.7	Laminated Object Manufacturing (LOM).....	17
2.2.8	Binder Jetting (BJ)	18
2.2.9	Material Jetting (MJ).....	18
2.3	3D-tulostamisen potentiaali	19
2.4	Työssä käytettävät materiaalit	20
2.4.1	Kestomuovit	20
2.4.2	Metallit	23
2.5	Muut materiaalit 3D-tulostamiseen.....	25
2.6	Käytävissä olevat 3D-tulostimet kappaleisiin.....	26
2.7	Skannaus	29
3	TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT SUUNNITTELUOHJELMAT	30
3.1	AutoDesk Inventor.....	30
3.1.1	Parametrinen mallinnus.....	31
3.1.2	Piirteiden luominen	32
3.1.3	Tuotetietojen hallinta	32
3.2	MeshMixer.....	33
3.3	Tinkercad	34
4	OPINNÄYTETYÖN KAPPALEET	35
4.1	Mallinnuksien tavoitteet	35
4.1.1	FEM mallintamisen apuna	37
4.1.2	Topologinen optimointi.....	37
4.2	Mallinnettava kappale 1, Orgaaninen malli	39
4.2.1	MeshMixer	48
4.2.2	Tinkercad.....	52
4.3	Mallinnettava kappale 2, Verkkorakenne	53
4.3.1	MeshMixer	57

4.3.2 Tinkercad.....	59
4.4 Mallinnettava kappale 3.....	63
4.4.1 MeshMixer.....	69
4.4.2 Tinkercad.....	70
5 POHDINTA JA KEHITETTÄVÄÄ.....	72
LÄHTEET.....	75

ERITYISSANASTO

numeerinen	numeroilla laskettava, ilmaistava tai käsiteltävä asia
AM	materiaalia lisäävä menetelmä, additive manufacturing
CNC	tietokoneistettu numeerinen ohjaus
standardi	virallinen määritelmä oikeasta tavasta tehdä asia
anisotropia	suunnasta riippuva, anisotrooppisen materiaalin ominaisuudet muuttuvat havainnointisuunnan mukaan
metallurgia	epäorgaanisten materiaalien valmistus- ja jalostusmenetelmä
sertifiointi	toiminnan laillistaminen, todistaminen
integrointi	yhtenäisen kokonaisuuden luominen
filamentti	lankamainen kuitu
tukirakenne	tulostettavasta materiaalista tehtävä tarpeellinen tukeva rakenne
harts	amorfina aine, hartsista voidaan tehdä muovia
UV	Ultraviolettisäteily, sähkömagneettista säteilyä
fotopolymeeri	valotusmenetelmä
puolijohdesiru	puolimetallista valmistettu siru, johtaa sähköä metallia huommin mutta eristeitä paremmin
kuvapiste	pikseli
sintraus	materiaalin sulamispistettä alemmassa lämpötilassa tehtävä kuumennus kiinteäksi kappaleeksi
suurtyhjiö	laboratoriolaitteilla saavutettava tila
implantti	ihmisruumiissa biologista toimintoa korvaava siirännäinen
tietokonetomografia	halutulta alueelta saadaan poikkileikkauskuvia röntgensäteiden avulla
suunnitteluviestintä	tavoitteena oikean tiedon kulkeutuminen oikeille henkilöille oikeaan aikaan
stressianalyysi	tuotteen tai kappaleen fysikaalisten ilmiöiden altistumisalueiden tutkiminen
optimointitekniikka	tuotteen parantaminen sen vaatimukset ja käyttökohde huomioon ottaen
konfigurointi	asentaminen tai virittäminen
toroidi	toruksen tai donitsin muotoinen kappale/käämi

mahdoton kappale

mahdotonta kappaletta ei voi purkaa rikkomatta kappaletta, tai sen kokoaminen samanlaisena ei ole mahdollista. Ominaista 3D tulostamiseen. Mahdottoman kuvion tapainen

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on 3D-tulostettavat kappaleet AutoDesk Inventorilla. Inventor on suunnitteluohjelma ja sen lisäksi opinnäytetyössä perehdytään AutoDeskin MeshMixer ja Tinkercad -suunnitteluohjelmiin. 3D-tulostaminen menetelmänä on riippuvainen suunnitteluohjelmasta, jolla tulostettava kappale suunnitellaan ja mallinnetaan. Alun perin suunnittelu ja mallinnus -ohjelmia ei kehitetty 3D-tulostamista varten, 3D-tulostamisen lisääntyessä ja kasvattaessa suositaan tuki suunnitteluohjelmiin on yleensä lisätty joko työkalujen, tai erillisten lisäohjelmien avulla. Opinnäytetyössä selvitetään edellä mainittujen suunnitteluohjelmien potentiaalia ja soveltuvuutta 3D-tulostettavien kappaleiden tekemiseen.

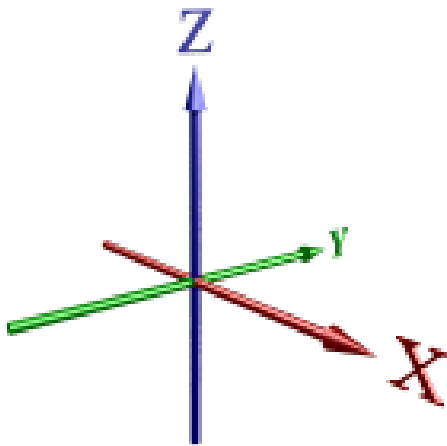
Opinnäytetyön teoria osassa käydään läpi 3D-tulostamisen standardien merkitys, yleisimmät menetelmät, materiaalit sekä tulostamiseen liittyvää tekniikkaa. 3D-tulostamisen yleistyessä on tärkeää ymmärtää menetelmän käyttökohteet ja tulevaisuuden potentiaali.

Opinnäytetyön toisessa osassa esitellään kappaleiden mallintamiseen käytettävät suunnittelu ja mallinnus -ohjelmat sekä kappaleiden mallintamisen periaatteita. 3D-tulostettavat kappaleet täytyy usein suunnitella tulostusmenetelmää miettien, sekä materiaalien heikkouksien ja mallinnusohjelman ominaisuuksien ollessa suunnittelijan tiedossa.

Opinnäytetyön viimeisessä osuudessa esitetään mallinnettavat kappaleet ja samojen kappaleiden muutokset eri ohjelmien työkalujen vaikutuksesta. Mallinnusohjelmia vertaillaan saatujen kappaleiden perusteella, kappaleita arvioidaan visuaalisuuden lisäksi myös mittojen ja kappaleen kestämisen kautta. Tämän opinnäytetyön tuloksena saadaan mallinnusohjelmien parhaita käyttökohteita ja sovelluksia, joihin niitä tulisi pyrkiä käyttämään.

2 3D-TULOSTAMINEN

3D-tulostaminen on menetelmä, jossa tuotetaan fyysinen kappale digitaalisesta tiedosta. Tämä mahdollistetaan tulostettavalla materiaalilla, joka lopulta muodostaa kappaleen. 3D-tulostaminen on materiaalia lisäävä menetelmä (AM), jossa materiaali lisätään peräkkäisinä kerroksina muodostamaan kappale (Chua, Wong & Yeong 2017, 2). 3D-tulostimet ovat numeerisesti tietokoneohjattavia (CNC), kuten tulostimet yleisesti ovat. Tavallisilla 2D-tulostimilla voidaan tulostaa pituus (X) ja leveys (Y) -akseleiden suuntaan, mutta 3D-tulostin lisää tähän korkeus akselin (Z) (kuva 1), jolla mahdollistetaan kolmas ulottuvuus (Budmen & Rotolo 2013, 19.)



KUVA 1. Akselit kuvaavat liikkumasuuntia kolmessa ulottuvuudessa (Eusebeia 2010)

2.1 Standardit ja niiden merkitys 3D-tulostamisessa

Standardit ovat virallisia dokumentteja, joita kansainväliset standardisoimisjärjestöt, kuten International Organization for Standardization (ISO), American Society for Testing and Materials (ASTM) ja German Institute for Standardization (DIN) asettavat. Standardien avulla organisaatioiden välinen yhteistyö, menetelmän turvallisuus ja menetelmään vaikuttavat teollisuuden prosessit kehittyvät ja ovat mahdollisia (Chua, Wong & Yeong 2017, 32.)

Standardien puute AM-menetelmissä hidasti 3D-tulostamisen hyödyntämistä teollisuudessa. Teollisuudessa käytettäville koneistamismenetelmille on omat standardinsa, joita ei voi suoraan hyödyntää 3D-tulostamisessa, sillä kappaleiden valmistaminen kerros kerrokselta tekee kappaleesta anisotrooppisen. AM-menetelmällä tuotettu kappaleen rakenne on mikrorakenteeltaan sekä mekaanisilta ominaisuuksiltaan erilainen verrattuna esimerkiksi metallurgialla tuotetun kappaleen ominaisuuksiin. AM-menetelmillä on eroja myös keskenään, joten rakenne-eroja tulee viimeistään kappaleiden viimeistelyssä. Teollisuuden alat tarvitsevat standardeja, sillä tuotteet ja yrityksen toiminta täytyy sertifioida (Chua, Wong & Yeong 2017, 32.)

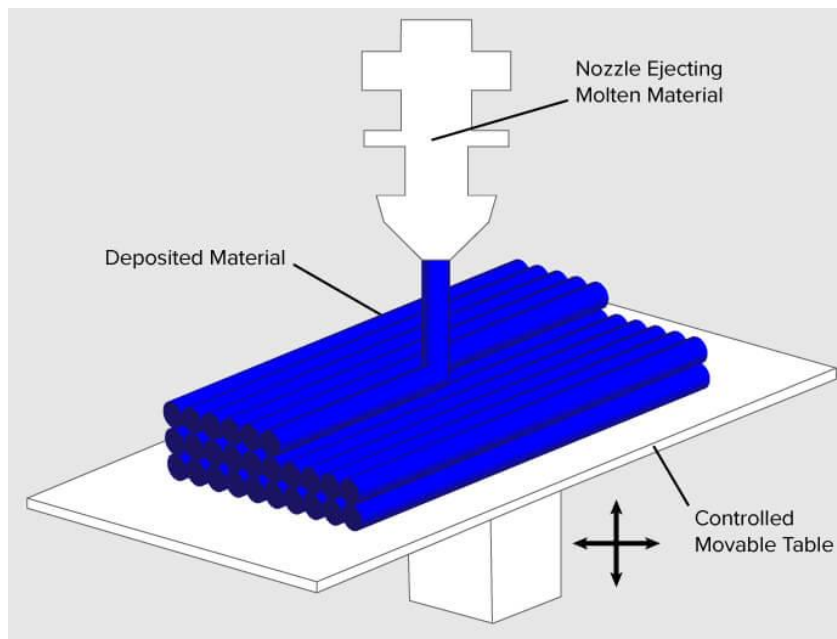
Alat, kuten autoilu-, ilmailu- ja lääketeollisuus tarvitsevat erittäin tarkat standardit. Standardien lisäksi tuotteiden sertifiointi ja tuotteiden vertailu muilla menetelmillä tuotettuihin kappaleisiin täytyy mahdollistaa. Yritykset testaavat omia tuotteitaan, ja varmistavat tuotteiden täyttävän asiakkaan vaatimukset, mutta ilman kattavia standardeja parhaiden menetelmien ja luotettavien testien suorittaminen on hankalaa. Standardien asetusten jälkeen AM-menetelmien käyttöönotto teollisuuden aloilla on lisääntynyt. Standardit mahdollistavat luotettavuuden ja yhteensopivuuden kansainvälisessä toiminnassa. 3D-tulostamisen tehokas hyödyntäminen usein lisää yritysten liikevaihtoa, joten AM-menetelmiä integroidaan yrityksiensä tuotantoprosesseihin. (Chua, Wong & Yeong 2017, 33–34.)

2.2 3D-tulostamismenetelmät

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi yhdeksän suosituinta tulostamismenetelmää. Tulostamismenetelmiä kehitetään jatkuvasti ja joitakin nykyisistä menetelmistä voidaan muokata vain hieman erilaiseksi. Jos yritys pystyy kehittämään täysin oman 3D-tulostimensa, jolle ei löydy suoraa kilpailua, on menestys taattua. Tuotteiden valmistamiseen kuluu materiaalia, materiaalin muokkaaminen oikeanlaiseksi vie aikaa, ja siinä menee yleensä aina materiaalia hukkaan (Bothmann 2014, 9). 3D-tulostaminen ratkaisee hukkamateriaalin ongelman, sillä hukkamateriaalia ei käytännössä tule, tai se on niin vähäistä, että se ei vaikuta kriittisesti kustannuksiin. 3D-tulostamismenetelmillä myös hankalat rakenteet ja erikoiset muodot on mahdollista valmistaa.

2.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

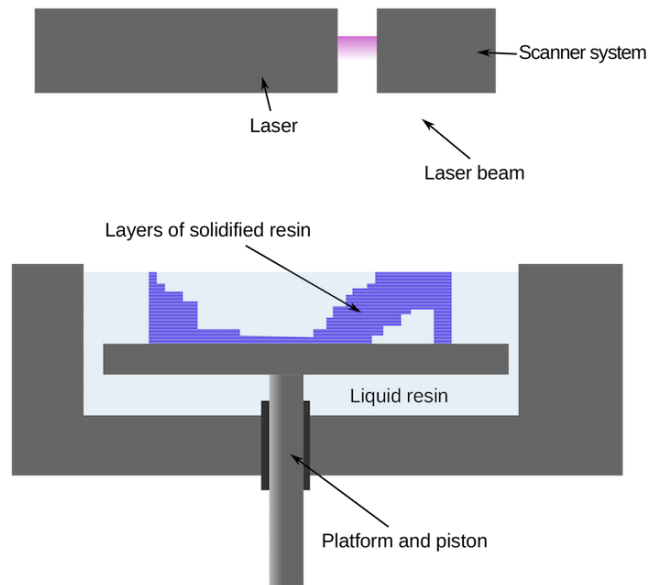
Fused Deposition Modeling (FDM) eli pursotus on yleisin 3D-tulostusmenetelmä (kuva 2). Kestomuovista filamenttia kuumennetaan ja pursotetaan puristuspään läpi X ja Y-akseleiden mukaan. Tulostin säätelee korkeutta eli Z-akselia. Tulostettavat kappaleet tarvitsevat usein tukirakenteita. Tämä tulostin on kustannustehokas väline prototyyppeihin, sillä tulostus on nopeaa (all3dp 2017.) Tulostin on suosittu malli harrastajilla sekä pienyrityksillä ja koulutustiloissa (Bothmann 2014, 12).



KUVA 2. Pursotustekniikan toimintaperiaate (3Dprinting 2017)

2.2.2 Stereolithography (SLA)

Stereolithography (SLA) eli stereolitografia patentoitiin vuonna 1983 Chuck Hullin toimesta. Tulostuksessa altistetaan kerros valolle herkkää nestemäistä hartsia UV-säteelle, jolloin hartsi kovettuu ja kiinteytyy (kuva 3). Tulostettavat kappaleet saattavat tarvita tukirakenteita. Tulosteet täytyy liuottaa ja jossain tapauksissa viimeistellä UV-uunissa. Tulosteiden jälki on yksityiskohtaista ja pinta sileä. Menetelmä on suosittu koruissa sekä hammaslääketieteessä (all3dp 2017.)

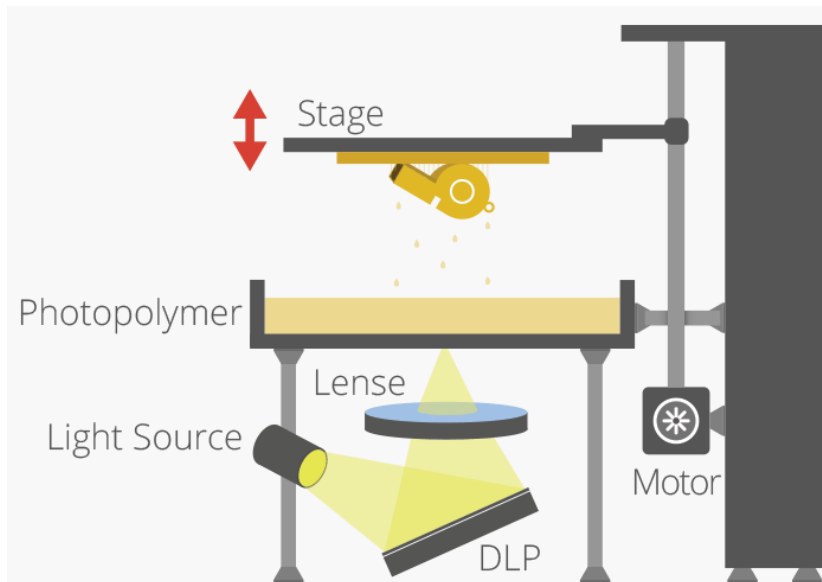


KUVA 3. Kuvassa stereolitografian toimintaperiaate (3Dinsider 2018)

2.2.3 Digital Light Processing (DLP)

Digital Light Processing (DLP) eli digitaalisen valon projektointi muistuttaa paljolti stereolitografiaa. Molemmilla menetelmillä hyödynnetään nestemäisiä fotopolymeerejä, mutta DLP:llä nestemäinen hartsi kovetetaan kiinteäksi projektorilla. DLP-tekniikka keksittiin vuonna 1987 (all3dp 2017.)

DLP käyttää tietokoneohjattua mikropeiliverkkoa (kuva 4), joka on sijoitettu puolijohdesirulle. Nämä pienet peilit kallistuvat edestakaisin ja heijastavat valoa luoden kirkkaan kuvapisteen. Toiselle puolelle kallistettaessa kuvapiste on pimeä. Teknologia on käytössä elokuvaprojektoreissa ja matkapuhelimissa 3D-tulostamisen lisäksi. Tämän menetelmän etu on nopeus, sillä kappaleen tasot muodostuvat nopeasti (all3dp 2017; 3Dprintingindustry 2017.)

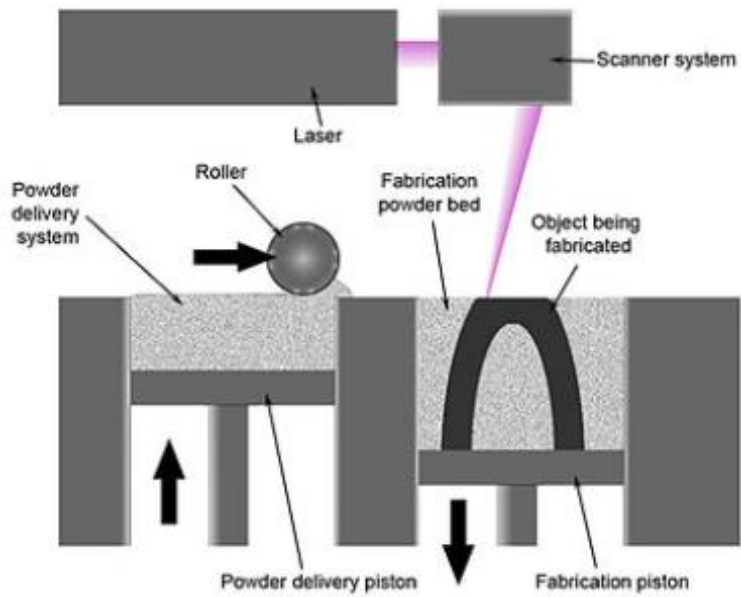


KUVA 4. DLP-tekniikan toimintaperiaate 3D-tulostamisessa (3dprintingindustry 2017)

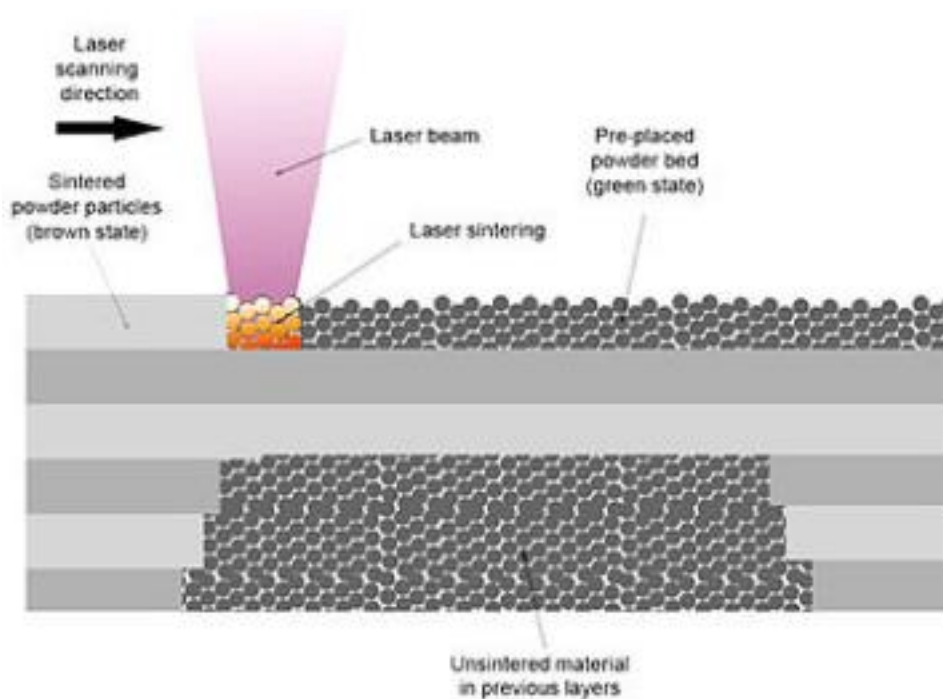
2.2.4 Selective Laser Sintering (SLS)

Selective Laser Sintering (SLS) eli sintraus on menetelmänä SLA:aan kaltainen, tärkeimpänä erona menetelmillä on jauhemainen rakennusmateriaali nestemäisen hartsin sijaan (kuva 5). Laser sulauttaa jauhemateriaalia kiinteäksi rakenteeksi kerros kerrokselta (kuva 6). Sintrauksessa jauhe sulaa vain osittain. Kappaleen pitää jäähtyä, ennen sen poistamista tulostimesta (all3dp 2017.)

Sintrausta käytetään paljon tuotekehityksessä ja prototyypeissä. Kappaleita voi valmistaa useista eri materiaaleista, kuten lasista, nailonista, keraamista, hopeasta, teräksestä ja alumiinista (3Dprintingindustry 2017.) Tulostin vaatii suuritehoisia lasereita, joten hintaluokka on keski- tai korkeampi (Bothmann 2014, 11).



KUVA 5. Jauhetta tuodaan laserin liikealueelle, johon kappale muodostuu (3Dinsider 2018)



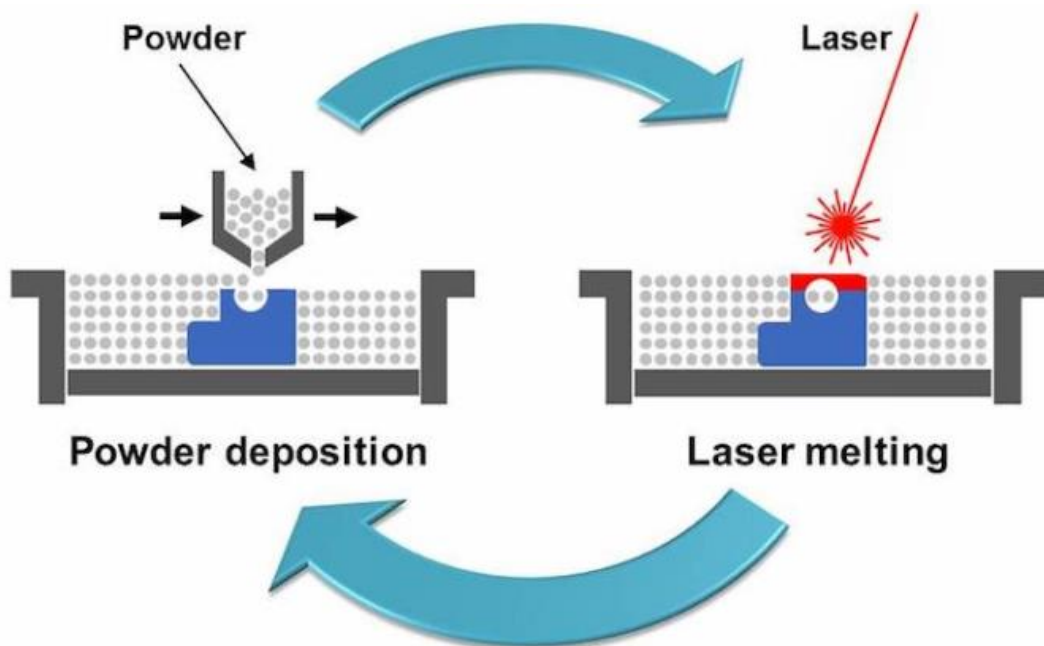
KUVA 6. Jauhe sulautuu kiinteäksi materiaaliksi laserin vaikutuksesta (3Dinsider 2018)

2.2.5 Selective Laser Melting (SLM)

Selective Laser Melting (SLM) eli lasersulatus keksittiin vuonna 1995. Menetelmässä käytetään tehokkaita lasereita kappaleiden valmistamiseen. Tulostusprosessin aikana lasersäde sulattaa ja yhdistää useat metallijauheet yhteen. Erona SLS:ään on jauheen täysi sulaminen, jolloin rakoja on vähemmän ja tuote on kestävämpi (3Dinsider 2018; all3dp 2017.)

Lasersäteen osuessa kerrokseen jauhemateriaalia, jauheen hiukkaset yhdistyvät ja hitsautuvat yhteen. Tulostetun kerroksen ollessa valmis, tulostustasoa lasketaan yhden kerroksen paksuuden verran ja tulostusalue päällystetään jauheella. Laser jatkaa kappaleen valmistusta kappaleen geometrian mukaan ja nämä vaiheet toistetaan, kunnes kappale on valmis (kuva 7). Sulamaton jauhe poistetaan käsin tulostuksen jälkeen (3Dinsider 2018.)

Menetelmä soveltuu monimutkaisiin muotoihin, rakenteisiin sekä ohueen seinään. Kappaleista voi tehdä tarkkoja ja kestäviä, mutta silti kevyitä. Menetelmä on suosittu ilmailuteollisuudessa sekä lääketieteellisillä aloilla. Menetelmän tekniikka on kallista, joten SLM:ää käytetään harvoin harrastusmielessä (3Dinsider 2018; all3dp 2017.)

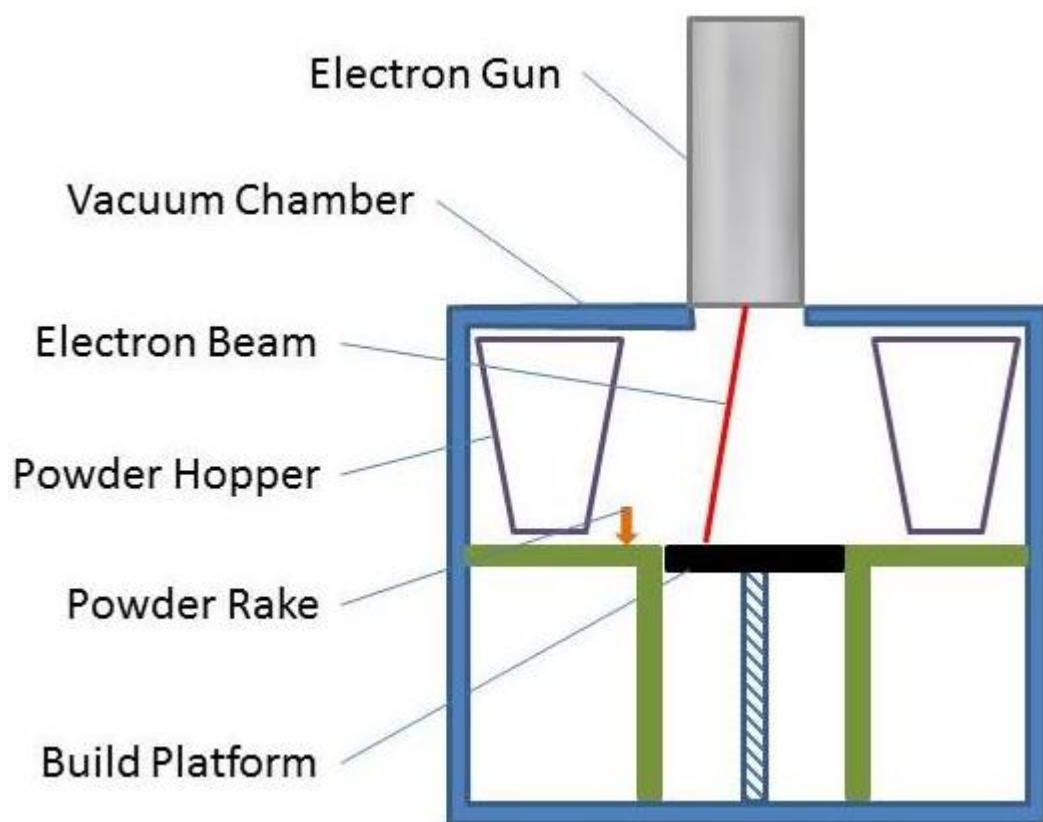


KUVA 7. Kappaleen valmistumisen prosessi SLM-menetelmällä (3Dinsider 2018)

2.2.6 Electron Beam Melting (EBM)

Electron Beam Melting (EBM) on menetelmä, jossa elektronisädettä ohjataan tietokoneen avulla. Sulatus tapahtuu suurtyhjiössä kammion sisällä (kuva 8). Metallijauhe sulatetaan korkeissa lämpötiloissa, lämpötila voi olla jopa 1000°C:ta (all3dp 2017.)

Menetelmällä valmistetaan ilmailuteollisuuden osia sekä lääketieteellisiä implantteja. Menetelmä on erittäin kallis ja hidas, mutta kappaleista tulee täysin tiheitä (all3dp 2017.)

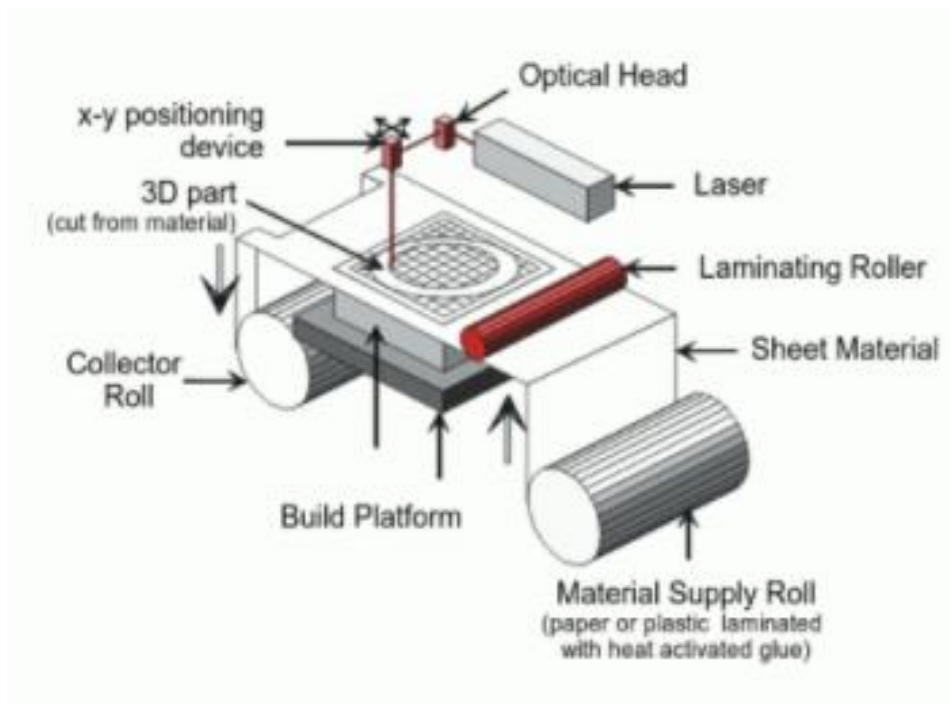


KUVA 8. EBM-menetelmän toimintaperiaate (3Dinsider 2018)

2.2.7 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Laminated Object Manufacturing (LOM) on menetelmä, jossa liimapinnoitetut laminaatit yhdistetään toisiinsa kuumuuden ja paineen vaikutuksesta (kuva 9). Muoto saadaan leikattua laminaateista tietokoneohjatulla laserilla tai terällä. Jälkikäsittelyä käytetään usein koneistusta ja porausta (3Dinsider 2018; all3dp 2017.)

Menetelmä on edullinen ja kappaleet valmistuvat nopeasti. LOMia käytetään paljon prototyypeissä ja suurikokoisissa osissa. Taiteilijat sekä arkkitehdit suosivat tätä tulostusmenetelmää. Valmistuskustannukset pysyvät alhaisina, sillä tulostusmateriaali on edullista, usein paperia, muovia tai metallia (3Dinsider 2018; all3dp 2017.)

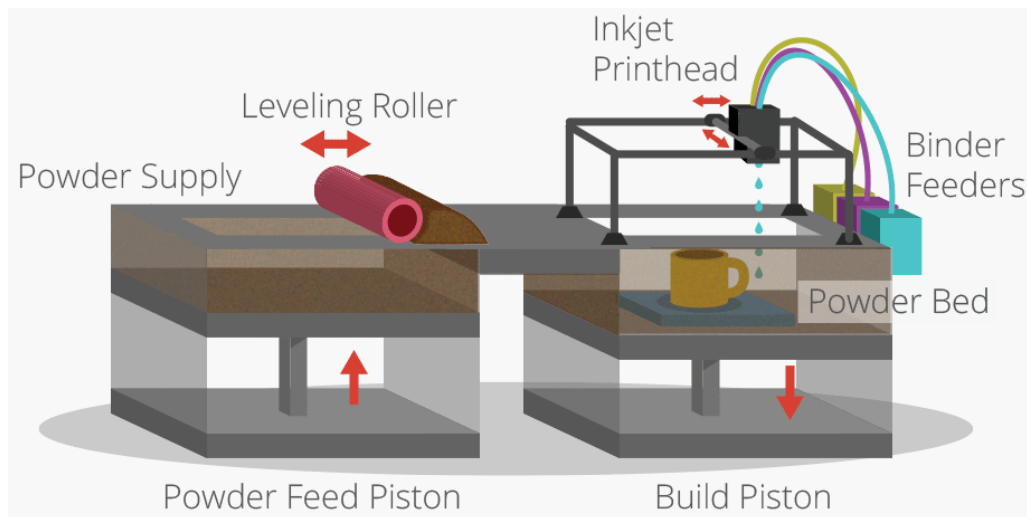


KUVA 9. Menetelmässä valmis osa leikataan pois laminaateista (scanandmake 2018)

2.2.8 Binder Jetting (BJ)

Binder Jetting on materiaalia lisäävä prosessi. Tulostimessa käytetään kahta erilaista materiaalia, jauhepohjaista materiaalia (usein kipsi) ja liima-ainetta. Liima-aine yhdistää jauhekerrokset levyiksi. Sideaine pursotetaan nestemäisenä tulostuspäästä ja jauhelevy lasjetaan liimapinnan päälle (kuva 10). Jauhepohjaiseksi materiaaliksi sopii keraami, metalli, hiekka tai muovi (3dprintingindustry 2017; all3dp 2017.)

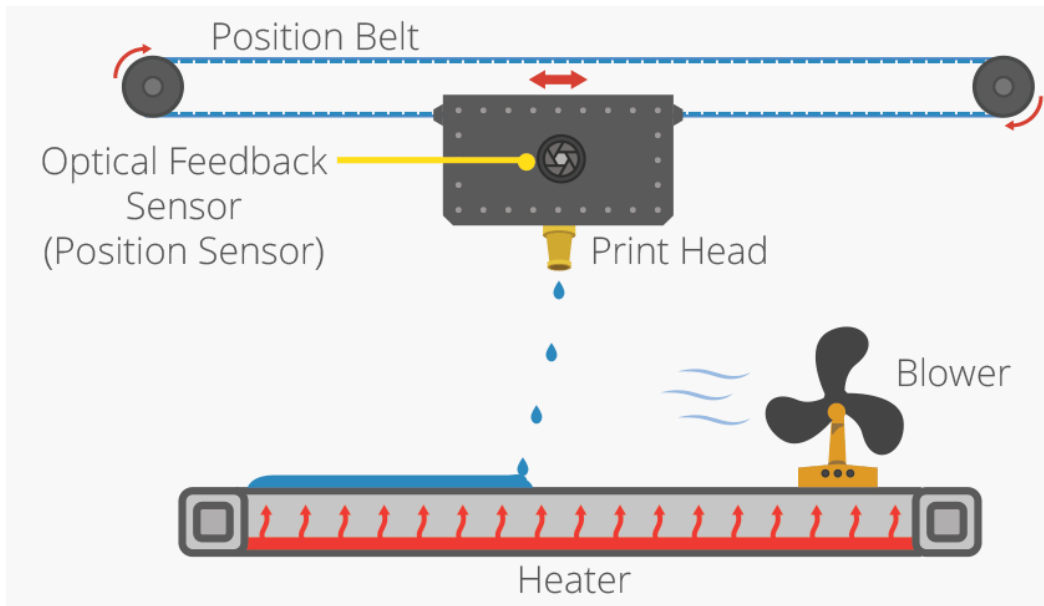
Sideaine mahdollistaa useiden värien käytön, sillä siihen voi lisätä väripigmentejä. Yleisimmät ovat syaani, magenta, keltainen, musta ja valkoinen. Laatu ei kuitenkaan ole erityisen yksityiskohtainen tai vahva (3dprintingindustry 2017; all3dp 2017.)



KUVA 10. Kuvassa Binder Jetting menetelmän toiminta (3dprintingindustry 2017)

2.2.9 Material Jetting (MJ)

Material Jetting tunnetaan myös vaha-valuna. Se on menetelmä, jossa sulaa vaha kerrostetaan tulostusalustalle useasta suuttimesta (kuva 11). Kuumennetun materiaalin kiinnittyessä alustaan, se kovettuu ja kiinteytyy. Tukimateriaalina käytetään alemman sulamispisteen vaha. Tulostuksen ollessa valmis, tukimateriaali poistetaan kappaleesta lämpimän kylvyn avulla, jossa tukimateriaali sulaa pois. Kipsattu vaha on erittäin haurasta ja vaatii huolellista käsittelyä. Vaha pehmenee 60°C:ssa ja sulaa 80°C:ssa. Ajan myötä vaha usein heikkenee (3dprintingindustry 2017; all3dp 2017.)



KUVA 11. Material Jetting menetelmän toimintaperiaate (3dprintingindustry 2017)

2.3 3D-tulostamisen potentiaali

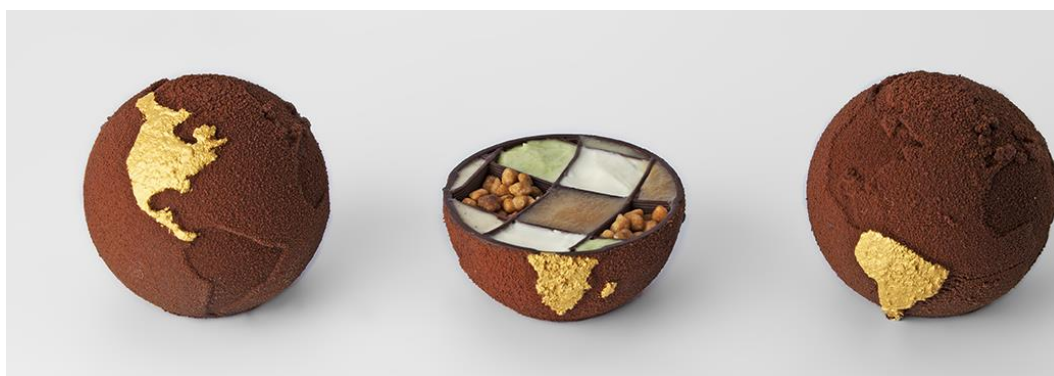
Tavallisemmat tulostimet mahdollistavat harrastelun, sekä pienempien yritysten laitehankinnat, sillä niiden hintaluokka lähtee usein tuhannesta eurosta. 3D-tulostaminen on kuitenkin liian hankalaa yleiseen käyttöön. Tulostimet vaativat huoltoa, tulostusajat ovat pitkiä ja tulostaminen vaatii kokemukseen ja kiinnostukseen perustuvaa osaamista.

Kiinnostus 3D-tulostamiseen on tasaisessa kasvussa. Viittaukset 3D-tulostamiseen ovat lisääntyneet viime vuosina, viittauksia löytyy muun muassa TV-sarjoista, kuten ”The Big Bang Theory”, ”Futurama” ja ”Simpsons” (CGTrader 2014). Vuonna 2012 Wired Magazine esitteli syyskuun numerossaan 3D-tulostamisen potentiaalin muuttaa maailmaa (Budmen & Rotolo 2017, 20). Nykyään pystymme tulostamaan muovin ja metallin lisäksi ruokaa ja synteettisiä kehon osia. Tekniikan kehittyessä ja tulostimien tullessa halvemmiksi 3D-tulostin voi hyvinkin vakiintua yhdeksi kodin elektroniikkavälineistä. Tähän on kuitenkin vielä matkaa, sillä tulostimien lisäksi tulostettavat materiaalit ovat kalliita.

3D-tulostamista käytetään autoteollisuudessa, jossa nopeasti rakennettavat osien prototyytit ja konseptit ovat tärkeä työkalu. 3D-tulostusta käytetään myös lentotekniikassa,

jopa NASAn applikaatioissa. NASA visioi koneesta, joka pystyy rakentamaan kaiken tarpeellisen avaruudessa (Budmen & Rotolo 2017, 24–25.)

Tulevaisuudessa 3D-tulostaminen voi olla hyvinkin arkipäivää, aivan kuten Internet. Tulostinta ei välttämättä löydy jokaisen kotoa, mutta se voidaan yhdistää pakolliseen elektroniikkaan. Kuvittele esimerkiksi jääkaappi, joka pystyy tulostamaan haluamasi ruoan valmiiksi kylmään tilaan. Kyseinen jääkaappi ohjelmoidaan tekemään sinulle ruokaa yöaikaan ja aamupalasi on valmis, kun heräät. Ruokaintoilijat pitävät varmasti visuaalisesti näyttävistä herkkupaloista, ja kaikkea ruokaa ei tarvitse valmistaa itse (kuva 12). Tulostusta voisi hallita halutessaan puhelimellaan, jos yllättäviä menoja tulee vastaan.



KUVA 12. Tanskalaisen tuotekehitysyrityksen tulostettuja suklaapalloja (Popsop 2015)

2.4 Työssä käytettävät materiaalit

Opinnäytetyössä mallinnettavat kappaleet suunnitellaan tulostettaviksi joko muovista tai metallista. Kummastakin materiaalista löytyy useita eri vaihtoehtoja. Materiaaleilla on omat vahvuudet, heikkoudet ja rajoituksensa, jotka täytyy ottaa huomioon kappaleita suunniteltaessa.

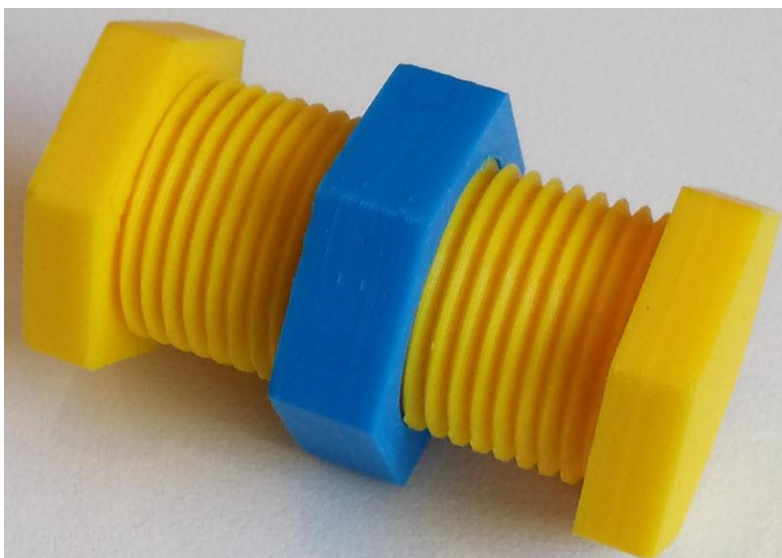
2.4.1 Kestomuovit

Kestomuovit ovat yleisin suuttimesta pursotettava materiaali. Useiden väri vaihtoehtojen lisäksi kappaleista voi tehdä läpinäkyviä tai pimeässä hohtavia. Tulostusmateriaalin värin vaihtaminen kappaleen tulostamisen aikana on yleinen tapa parantaa kappaleen viehättä-

vyyttä (kuva 13). Tulostusmateriaalin vaihtamisella voi olla myös etuja tulostuksen onnistumisen suhteen (Hausman & Horne 2014, 65.) Kuvassa 14 pultin tulostaminen on keskeytetty, mutteri on tulostettu pultin kierteille ja pultin tulostaminen on suoritettu loppuun. Mutteri ei pääse kiertämään pultista irti, joten materiaalia vaihtamalla on saatu niin sanottu ”mahdoton kappale”. Materiaalin vaihtaminen voi kuitenkin aiheuttaa omat ongelmansa, jos väri vaihtoehto täytyy hakea toisesta tulostusmuovista. Materiaalien sulamislämpötilat voivat vaihdella, ne eivät ole yhtä kestäviä tai pinnanlaadultaan samanlaisia.



KUVA 13. Monivärisiä 3D-tulosteita (3ders 2015)



KUVA 14. Kuvan mutteria ei saa pois pultista (techpowerup 2015)

Polylactic acid (PLA) eli Polylaktidi on biohajoavaa, siten ympäristöystävällistä tulostusmateriaalia. Polylaktidia valmistetaan sokereista, joita saadaan tapiokasta, maissitärkkelyksestä sekä sokerijuurikkaasta. Polylaktidi sulaa 160°C:ssa ja kiinnittyy parhaiten 180°C:ssa. Polylaktidi on haurasta verrattuna muihin kesto- muoveihin, sitä käytetään eniten maailman köyhimmillä alueilla, jotka kuitenkin mahdollistavat materiaalin valmistamisen paikallisesti (Hausman & Horne 2014, 65.)

Acrylonitrile Butadiene styrene (ABS) eli akrylinitriilibutadieenistyreeni on kesto- muovi, jota käytetään paljon teollisuudessa. Materiaalin sulaminen tapahtuu 150°C:ssa ja tehokkain kiinnittyminen 220°C–225°C:ssa. Materiaalilla on taipumus alhaiseen kitkaan, joten sitä on helppo pursottaa suuttimesta. Materiaali hieman kutistuu jäähtyessään, joten lämmitetty tulostusalusta takaa paremmat tulokset. Lämmitys vähentää kutistumista ja kappaleen vääristymistä (Hausman & Horne 2014, 66.)

Polycarbonate (PC) eli polykarbonaatti on käytössä CD ja DVD -levyissä, sekä auto- ja ilmailuteollisuudessa. Materiaali on iskunkestävää ja naarmuuntumisen kestävä. Korkea vahvuus ja kesto vaativat myös korkeamman lämpötilan kappaleen sulamiseen, 260°C:ta vähintään. Kaikki tulostimet eivät pysty tähän. Polykarbonaatista tuotteen tulostamalla ei kuitenkaan pysty muodostamaan kaikkea yhtä hyvin, kuin samasta materiaalista muilla menetelmillä on mahdollista valmistaa. Esimerkiksi luodinkestävä lasi, johon jää pieniä mikroskooppisia rakoja, jos sen valmistaa tulostamalla. UV-valolle altistuminen haurastuttaa ja tekee polykarbonaatti-tulosteesta läpikuultamattoman (Hausman & Horne 2014, 67.)

Polyamide eli nailon, on varsin joustavaa ja tulosteen kerrokset kiinnittyvät hyvin toisiinsa. Nailon kestää asetonia, jota esimerkiksi ABS ja PLA ei kestä. Nailonin onnistunut pursotus vaatii 240°C–270°C:een lämpötilan suuttimeen. Nailonia käytetäänkin paljon kuppien ja vaasien tekemiseen, sillä hyvän kerrostumisen ansiosta tuotteet pysyvät vesi- tiiviinä tulostepinnasta (Hausman & Horne 2014, 67.)

Polyvinyl alcohol (PVA) eli polyvinyylialkoholi, on vedessä liukeneva ja siten varsin suosittu materiaali tukirakenteena. Tukirakenteiden poistaminen tulosteista voi olla hankalaa ja vaikuttaa pinnanlaatuun, joihinkin tukirakenteisiin ei välttämättä pääse edes työkalun avulla. Tukirakenteen lisäksi materiaalia käytetään elektroniikan virtapiireissä,

jotka on mahdollista tulostaa valmistettavaan objektiin. Tulosteet pitää kuitenkin eristää ilman kosteudesta. PVA pursotetaan 180°C–200°C:ssa (Hausman & Horne 2014, 67.)

High-impact polystyrene (HIPS) on myös suosittu tukimateriaali. Muilta ominaisuuksiltaan se muistuttaa ABS-muovia, mutta HIPS hajoaa limoneenin vaikutuksesta. Limoneeniä on esimerkiksi sitruhedelmissä, varsinkin sitruunan kuoressa. Materiaalia käytetään eniten pakkausmateriaaleissa (Hausman & Horne 2014, 68.)

High-density polyethylene (HDPE) on materiaali, jota käytetään lähinnä kierrätettävissä tuotteissa, kuten pullot. Kiinnostus materiaalin käyttämiseen 3D-tulostamisessa on lisääntymässä, sillä se on yksi edullisimmista polymeereistä ja sitä on helppo kierrättää. Materiaali ei kuitenkaan tartu hyvin muihin tulostettaviin materiaaleihin, se kuitenkin kiinnittyy hyvin itseensä, joten kompromisseja kierrätyksen suhteen ei tarvitse tehdä (Hausman & Horne 2014, 68.)

2.4.2 Metallit

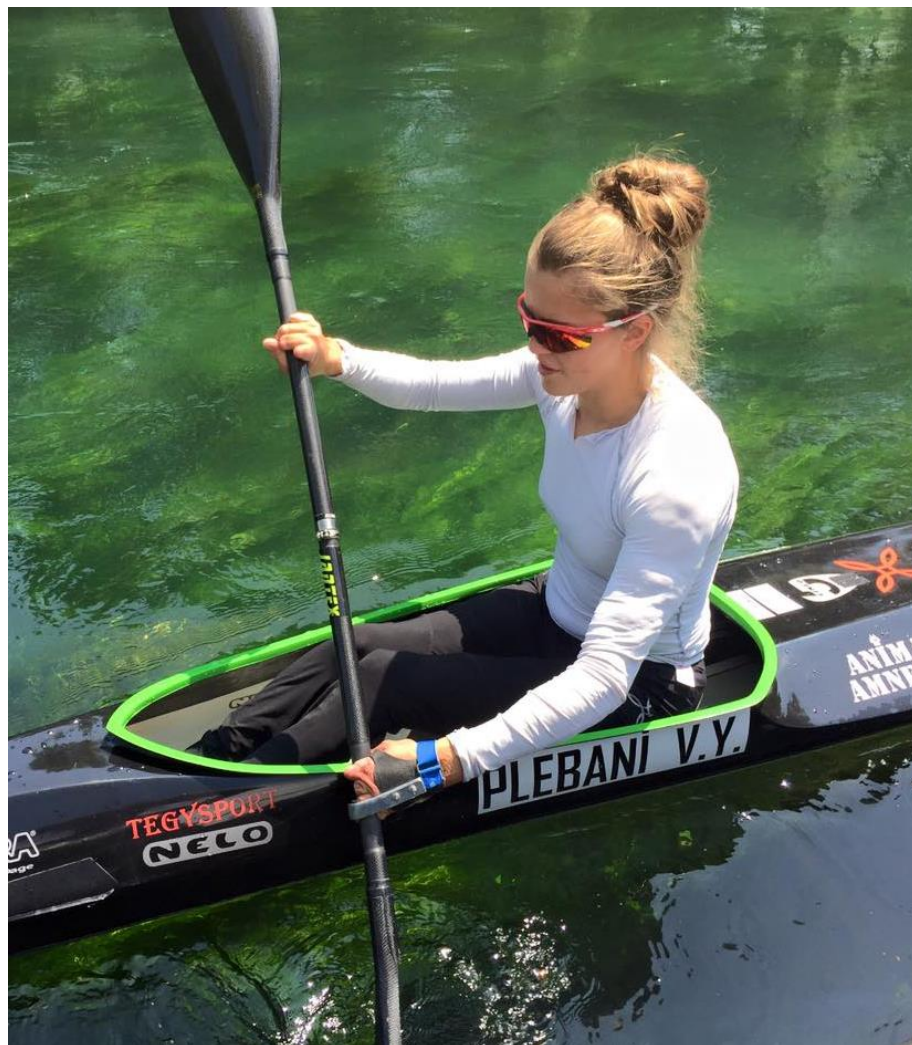
Metalleja käytetään, kun tarvitaan muovia kestävämpää materiaalia. Metalleille löytyy paljon käyttökohteita ilmailu-, auto- ja lääketieteellisyydessä. Metallit kestävät hyvin lämpöä, ja painoonsa nähden hyvin kulutusta autojen ja lentokoneiden osissa (Hausman & Horne 2014, 73).

Volframi ja titaani jauhemuodossa soveltuvat SLS-, SLM-, ja EBM -menetelmiin. Ruostumattomasta teräksestä tai kobolttikromista voidaan tehdä työkaluja konepajoille. Komponenteista saadaan pienemmillä materiaalikustannuksilla kevyempiä pitämällä osien lujuudet samoina, tai parempina. Kobolttikromista voidaan tehdä myös osia hampaisiin. Pronssista, hopeasta ja kullasta voi tehdä erilaisia koruja ja sormuksia (amfinland 2018.)

Käytännön toimivuus tulostetuille metalliosille voidaan todeta kuvasta 15 ja kuvasta 16. Kuvassa 15 Fabrizio Passetilla on vedenkestävä jalkaproteesi. Kuvassa 16 Veronica Yoko Plebanilla on vasemmassa kädessään vedenkestävä käsiproteesi (wasproject 2016.)



KUVA 15. Fabrizio Pasetti surffaamassa tulostetulla jalkaproteesilla (wasproject 2016)



KUVA 16. Veronica Yoko Plebani testaamassa melomiseen soveltuvaa proteesia (wasproject 2016)

Kyseiset henkilöt ovat italialaisia paralympiaurheilijoita. Kumpikin urheilu vaatii proteesilta luotettavuutta ja kovista oloista selviytymistä. Proteesit on tulostettu lääketieteeseen erikoistuvan 3D-tulostamisyhtiön toimesta (wasproject 2016.)

2.5 Muut materiaalit 3D-tulostamiseen

Muovien ja metallien lisäksi tulostusmateriaalina voi käyttää hiekkaa, sokeria, suolaa sekä komposiittimateriaalia. Hiekasta on mahdollista valmistaa lasia, käyttäen vain auringon valoa hiekanjyvien sulattamiseen (kuva 17). Sokerista tai suolasta voi tulostaa pienten yksityiskohtien omaavia tulosteita (kuva 18). Komposiittimateriaalin jälki vaikuttaa luonnonomaiselta, ikään kuin puusta tehdyltä (Hausman & Horne 2014, 73.)



KUVA 17. Sintrausta tai sulattamista hyödyntämällä voi tehdä lasia hiekasta (industrytap 2017)



KUVA 18. Sokerista voi tehdä tarkkoja muotoja, sokeria kuumentamalla väriin voi vaikuttaa (gigazine 2014)

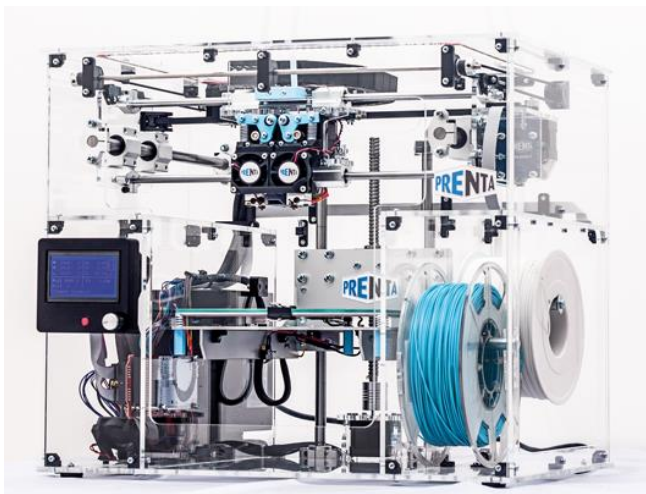
2.6 Käytettävissä olevat 3D-tulostimet kappaleisiin

Ultimaker2 (kuva 19) ja Ultimaker2+ ovat monitoimisia 3D-tulostimia. Ultimakerin arvostettuja ominaisuuksia on tarkkuus, helppokäyttöisyys, nopeus, ohjelmat ja käyttäjien hyvä yhteisöllisyys. Heikkoja ominaisuuksia ovat turhan kovat käyttökustannukset ja toisen pursotuspään puuttuminen. Tulostusmateriaalina käytetään PLA tai ABS. Tulostamisalustan pystyy lämmittämään (3dhubs 2018.)



KUVA 19. Tyypillinen Ultimaker2 (3dhubs 2018)

Prentan duo (kuva 20), Duon tulostusalusta on lämmitettävä lasilevy, jonka tulostusala on noin 20 x 20 x 20cm. Duossa on kaksi pursotinta, jolloin kaksiväriset tuotteet sekä hankalien kappaleiden tukimateriaalin pursotus onnistuvat. Tulostusmateriaaleiksi käyvät muovitulosteiden lisäksi esimerkiksi hiili- ja puukuitufilamentit (Prenta 2015.)



KUVA 20. Prentan suunnittelema Duo-tulostin (Prenta 2015)

Stratasyn Objet350 Connex3 (kuva 21) mahdollistaa jopa 46 väriä tulostettuun kappaleeseen. Tulostimella onnistuu erilaiset väri- ja materiaaliyhdistelmät. Objet350:llä on mahdollista tehdä erittäin hyviä prototyyppejä, sillä yhteen kappaleeseen voi yhdistellä erilaisia materiaaleja muovista komposiitteihin. Tulostin käyttää Material Jetting-tekniikkaa (3dnatives 2018.)



KUVA 21. Objet350 Connex3 on tyylikäs 3D-tulostin (3dnatives 2018)

Stratasyn Dimension Elite (kuva 22) on erittäin tarkka ja luotettava 3D-tulostin, jossa on kaksi pursotuspäätä ja tulosteiden laatu ja rakenne ovat huippuluokkaa. Tulostettavat kappaleet ovat kestäviä, johtuen pitkälti Stratasyn omasta ABS-kestomuovi tulostusmateriaalista. 3D-tulostin ei tästä syystä tue muiden valmistajien materiaaleja, joten kustannukset nousevat materiaalin rajaamisen takia. Käyttö- ja materiaalikustannuksista huolimatta Dimension Elite 3D-tulostin on eräs luotettavimmista tulostimista (3dhubs 2018.)



KUVA 22. Stratasys Dimension Elite on luotettava 3D-tulostin (3dhubs 2018)

Selective Laser Melting System, SLM 125HL soveltuu tehokkaaseen tutkimukseen nopeiden tuloksien ansiosta. Tulosteiden korkea laatu on kaksipuolisten pinnoitteiden ansiosta, joka on patentoitu menetelmä. Prosessikaasujen tehokas suodatus, menetelmän turvallisuus sekä kaasun kiertokulun sulavuus alentavat kaasujen kulutusta. 3D-tulostin on kustomoitavissa asiakkaan tarpeisiin käytettävistä materiaaleista riippuen (linkindustry 2017.)



KUVA 23. SLM-tulostin on suuri 3D-tulostin (linkindustry 2017)

2.7 Skannaus

Skannaus tai 3D-skannaus on oikein suoritettuna tarkka menetelmä taltioida objektin fyysiset mittasuhteet tietokoneelle alkuperäistä objektia tarkasti jäljitellen. Usein tietokoneelle tallennettu tiedosto muodostuu objektin ulkomuotoa mukaillen, oikeassa ohjelmassa avattuna (3dscanco 2018.)

Skannaaminen on mahdollinen vaihtoehto, kun olemassa olevasta kappaleesta tarvitaan kopio tai tietokoneella muunneltu kopio. Kappaleissa voi olla muotoja, joita on vaikea toteuttaa piirtämisohjelmalla, esimerkiksi taideteokset. Skannaamalla kappale ja tulostamalla kopio 3D-tulostimella, olisi mahdollista jakaa fyysisistä mallia vaarantamatta alkuperäistä esinettä (Hausman & Horne 2014, 88.)

Optinen skannaus skannaa kappaleen ulkoiset muodot, ultraääni kuvauksella tai tietokonetomografia-skannauksella voidaan tehdä tarkat jäljitelmät sisäisistä rakennelmista. Varsinkin tietokonetomografiasta saatavalla datalla on käyttösä muillakin tieteen aloilla. Dataa voidaan hyödyntää muinaisjäänteiden uudelleen rakentamisessa digitaalisesti (Hausman & Horne 2014, 90.)

Optisella skannaamisella on omat huonot puolensa. Kappaleet, joissa on yksityiskohtaisia muotoja, on helpompi skannata. Skannaamista vaikeuttaa heijastavat pinnat. Suurien kappaleiden skannaamista voidaan helpottaa kiinnittämällä kohteeseen skannattavia pisteitä, varsinkin niiden, joista puuttuu yksityiskohtaisia muotoja (Hausman & Horne 2014, 90.)

3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT SUUNNITTELUSOHJELMAT

Suunnitteluohjelmat yhdessä 3D-tulostustekniikan kanssa kehittyvät nopeasti ja muuttavat uusien asioiden suunnittelua. 3D-tulostimet ovat riippuvaisia suunnitteluohjelmasta, suunnitteluohjelmat on alun perin kehitetty kuitenkin muita valmistustapoja varten (Lipton & Kurman 2013, 91.) Suunnitteluohjelmissa on otettu 3D-tulostaminen realistisena valmistusmenetelmänä huomioon vasta viime vuosina. Nykyään ohjelmissa on parempi tuki 3D-tulostamiseen tai lisäohjelmia vain tulostamista varten.

Kaksi erilaista pääasiallista suunnitteluohjelmaa 3D-tulostamiseen ovat ”solid modeling” eli kiinteä mallinnus ja ”surface modeling” eli pinnan mallinnus. Solid modeling -ohjelmia käyttävät pääasiassa insinöörit ja teollisuuden suunnittelijat. Ne tarjoavat kirjaston valmiita kappaleita sisältäen kuutioita, palloja, akseleita ja muita samankaltaisia kappaleita, joita voi vapaasti muokata (Lipton & Kurman 2013, 92.)

Surface modeling -ohjelmia käyttävät pääasiassa animaattorit, ohjelmoijat ja grafiikan kanssa tekemisissä olevat ihmiset. Nämä ohjelmat soveltuvat paremmin esimerkiksi lastenohjelmien tai sarjakuvien hahmojen mallintamiseen tai fiktiivisen maailman rakentamiseen (Lipton & Kurman 2013, 92.)

3.1 AutoDesk Inventor

AutoDesk Inventor on solid modeling -suunnitteluohjelma, jonka AutoDesk on kehittänyt digitaalisiin 3D-mallinnuksiin ja prototyypeihin. Ohjelma on muutakin, kuin mallinnusohjelma, sillä onnistuu muun muassa suunnittelu, suunnitteluviestintä, työkalujen luominen ja tuotesimulaatio. Ohjelmiston avulla käyttäjät voivat tehdä tarkkoja 3D-malleja tuotteiden suunnittelussa, visualisoinnissa ja simuloinnissa ennen niiden valmistamista fyysisiksi tuotteiksi (Technopedia 2018.)

Ohjelmisto sisältää integroidun liikkeiden simuloinnin, ja kokoonpanon stressianalyysin. Stressianalyysillä mallinnettava kappale voidaan altistaa erilaisille voimille ja kuormille, seurauksena nähdään kuormien vaikutus kappaleeseen. Näiden avulla käyttäjä voi testata

ajovarauksia, dynaamisia komponentteja, kitkakuormia ja dynaamista simulaatiota tuotteiden reaali maailman vaatimuksissa. Simulaatiotyökalujen avulla käyttäjät voivat suunnitella autoja tai auton osia, optimoida tuotteen lujuuden ja painon, löytää suurien stressikertymien alueet, löytää värinän vaikutusalueet ja vähentää moottoreiden energian kulu- tusta (Technopedia 2018.)

AutoDesk Inventorin elementtien analysointiominaisuuden avulla käyttäjät voivat vali- doida komponenttisuunnittelun testaamalla kyseisen osan suorituskykyä kuormituksen alaisena. Optimointitekniikka ja parametriset tutkimukset auttavat käyttäjää suunnittele- maan parametrejä jännitysalueille ja verrata erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja. 3D-mallin voi päivittää näiden optimoitujen parametrien perusteella (Technopedia 2018.)

3.1.1 Parametrinen mallinnus

Tuotteiden suunnittelun aikana täytyy varautua äkillisiin muutoksiin. Joskus kappaletta täytyy suurentaa tai pienentää kauttaaltaan, joskus vain yhden sivun pituuden muuttami- nen on tarpeellista. Parametrisessa mallintamisessa kappaleen eri mittojen välille voi muodostaa relaatioita, jolloin toisen muuttuessa toinenkin sopeutuu muutokseen. Relaati- oita on erilaisia useisiin käyttötarkoituksiin, linjat voivat olla symmetrisiä, reiät voivat aina olla tietyistä pyöreästä muodosta mitattuna keskellä kyseisen pyöreän muodon muo- dostamaa kuvitteellista ympyrää eli ne ovat samankeskisiä tai aina yhdensuuntaisia, jol- loin molemmilla on sama kulma, vaikka vain toisen kulmaa vaihtaisi (Hietikko 2007, 25.)

Suurin osa mekaniikkasuunnittelusta tehdään parametrisellä piirremallinnuksella. Tuote- suunnitteluprosessissa tapahtuu käytännössä aina muutoksia, ja muutoksia voi tapahtua myös useiden kuukausien tai vuosien kuluttua esimerkiksi kuvien korjauspyyntöjen vai- kutuksesta. Muutoksien huomioiminen on hankalaa, jos se täytyy tehdä täysin manuaali- sesti (Hietikko 2007, 25.)

3.1.2 Piirteiden luominen

Kappaleiden mallintaminen aloitetaan tavanomaisesti kahta akselia hyödyntäen, kappaleesta piirretään siis sivu, pohja tai jokin muu 2D-malli. Tätä 2D-mallia on helppo käännellä ja muokata. 2D-malli täydennetään, esimerkiksi neliölle annetaan pituuden ja leveyden lisäksi korkeus, jolloin siitä saadaan kolmiulotteinen kuutio. Suurin osa mallintamisesta on 2D-mallien muokkaamista, ennen kuin niistä tehdään 3D-malleja.

3.1.3 Tuotetietojen hallinta

Uusien tuotteiden kehitys, tai varsinkin tuoteperheen tekeminen aloitetaan yleensä valmista mallia hyödyntäen. Tuotekehityksessä onkin rakenteiden uudelleenkäyttäminen vähäisen vaivan, edullisuuden ja ajankäytön säästämisen takia suosittua. Tuotetiedon hallinnasta käytetään yleisesti kahta termiä, PDM (Product Data Management) eli tuotetiedon hallinta sekä PLM (Product Lifecycle Management) eli tuotteen elinkaaren hallinta.

PDM-järjestelmän tarkoituksena on hallita tuotteeseen liittyvää tietoa. Tämä sisältää muun muassa tuotteen geometriat, piirustukset, projektisuunnitelman, kokoonpano-ohjeet, tuotanto-ohjelmat, FEM-analyysin tulokset ja osaluettelot. PDM-järjestelmään kuuluu yleensä viisi perustoimintoa. Data vault eli tietovarasto, joka sisältää dokumentit. Työnkulun ja prosessin hallinta, joka auttaa työvaiheiden oikea-aikaisessa toteuttamisessa sekä prosessien etenemisessä yrityksen tavoitteiden mukaan. Tuoterakenteen hallinta, joka sisältää osaluettelot, konfiguraatiot ja asiakkaan tilaamat optiot. Osien hallinta, joka sisältää standardiosien tiedot sekä valmistettavien osien uudelleenkäyttötiedot. Lopuksi projektin hallinta, joka sisältää resurssit, aikataulut ja projektin seurannan (Hietikko 2007, 119–120.)

PLM-järjestelmän tarkoituksena on integroida tietoja, prosesseja, liiketoimintajärjestelmiä ja ihmisiä. Ohjelmiston avulla voi hallita tietoja koko tuotteen elinkaaren ajan ideasta, suunnittelusta, valmistuksesta, huollosta ja tuotteen oikeanmukaisesta hävittämisestä. PLM rakentaa johdonmukaisen tietorakenteen yhdistämällä järjestelmiä. Tietorakenne mahdollistaa yhtenäisenä tiiminä työskentelyn jopa globaalille yritykselle tuotteiden suunnittelussa, tuottamisessa ja huoltamisessa (plm.automation.siemens 2018.)

PLM-järjestelmä auttaa optimoimaan suhteet tuotteen elinkaaren aikana eri organisaatioiden välillä, varmistaa oikean tiedon päätyminen oikeille ihmisille oikeaan aikaan ja maksimoi tuotot toistettavien prosessien kautta (plm.automation.siemens 2018.)

3.2 MeshMixer

AutoDeskin MeshMixer on tehokas ilmaistyökalu 3D-tulostamisen avuksi. Se on tarkoitettu korjaamaan, liittämään ja verkottamaan kappaletta (kuva 24). Työkalulle on saatavilla ilmainen ja kattava käyttöohje. MeshMixeria käytetään puhdistamaan skannausmallit, sillä voi puhdistaa ja parannella myös piirrettyjä kappaleita. Parannuksiin lukeutuu paremmat reiät, seinien paksuudet ja tukirakenteet niin, etteivät muodot romahda 3D-tulostamisen aikana. Kattava lista ominaisuuksista löytyy MeshMixerin nettisivuilta. (meshmixer 2017.)

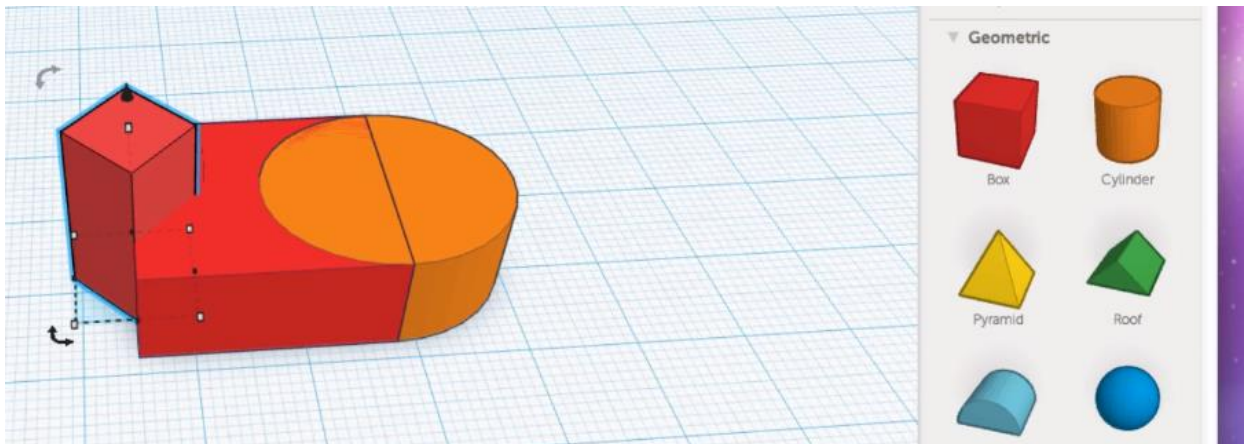


KUVA 24. Kuvan ruuvimeisselit on muokattu MeshMixerillä hieman erilaisiksi (meshmixer 2017)

3.3 Tinkercad

AutoDeskin TInkercad on suosittu mallinnustyökalu yksinkertaisten mallien luomiseen ja valmiiden mallien muokkaamiseen. Työkalu on ilmainen 3D-suunnitteluohjelma, jota voi käyttää myös selaimessa lataamatta ohjelmistoa koneelle. Työkalu sisältää oppitunteja, joten sen opettelu on helppoa.

Perusmallit, kuten nimilaput, huonekalut, talot, maljakot, avaimenperät ja kupit on helppo toteuttaa työkalulla. Ohjelmaa käytetään valitsemalla, vetämällä ja asettamalla muotoja ruudulle, mallin niistä saa yhdistelemällä ja manipuloimalla lisää muotoja 3D-malliksi (kuva 25). Voit tehdä kappaleestasi julkisen, jolloin muut käyttäjät voivat muokata ja käyttää sitä, voit myös selata ja käyttää muiden julkisia kappaleita (thingiverse 2018).



KUVA 25. Kuvan kappale on tehty vetämällä valmiita muotoja ruudulle (thingiverse 2018)

4 OPINNÄYTETYÖN KAPPALEET

Mallinnettavat kappaleet toteutetaan orgaanisena mallina, verkkomaisena mallina ja toroidina tai muuna hankalana mallina. Kappaleet toteutetaan samankaltaisina kahden muun opinnäytetyön perehtyvän muihin mallinnusohjelmiin. Niklas Peltonen käyttää mallinnusohjelmaa Solidworks-CAD ja Tommi Sotka käyttää mallinnusohjelmaa NX-CAD. Työt tutkivat samojen tai samankaltaisten kappaleiden mallinnusta eri mallinnusohjelmilla.

4.1 Mallinnuksien tavoitteet

Mallinnuksessa tavoitteina on löytää parhaat työkalut ja tavat toteuttaa kappaleet 3D-tulostamiseen. Tukirakenteet minimoidaan tai kappaleet yritetään mallintaa täysin ilman tukirakenteita, tukirakenteet voidaan yrittää myös sisällyttää rakenteeseen. Kappaleista on tarkoitus saada 3D-tulostetun näköisiä, jolloin ne ovat hankalia toteuttaa muilla koneistusmenetelmillä. Kappaleissa harjoitetaan erilaisia orgaanisia muotoja ja niihin soveltuvia työkaluja.

Esimerkkikappaleeksi valittiin kaikille tuttu paperilävistin. Orgaaninen malli sekä verkkomainen malli piirretään kuvien 26 ja 27 mukaisen paperilävistimen mustan lävistimen mukaan. Kolmas kappale on toroidi tai muu eräänlainen mahdoton kappale.

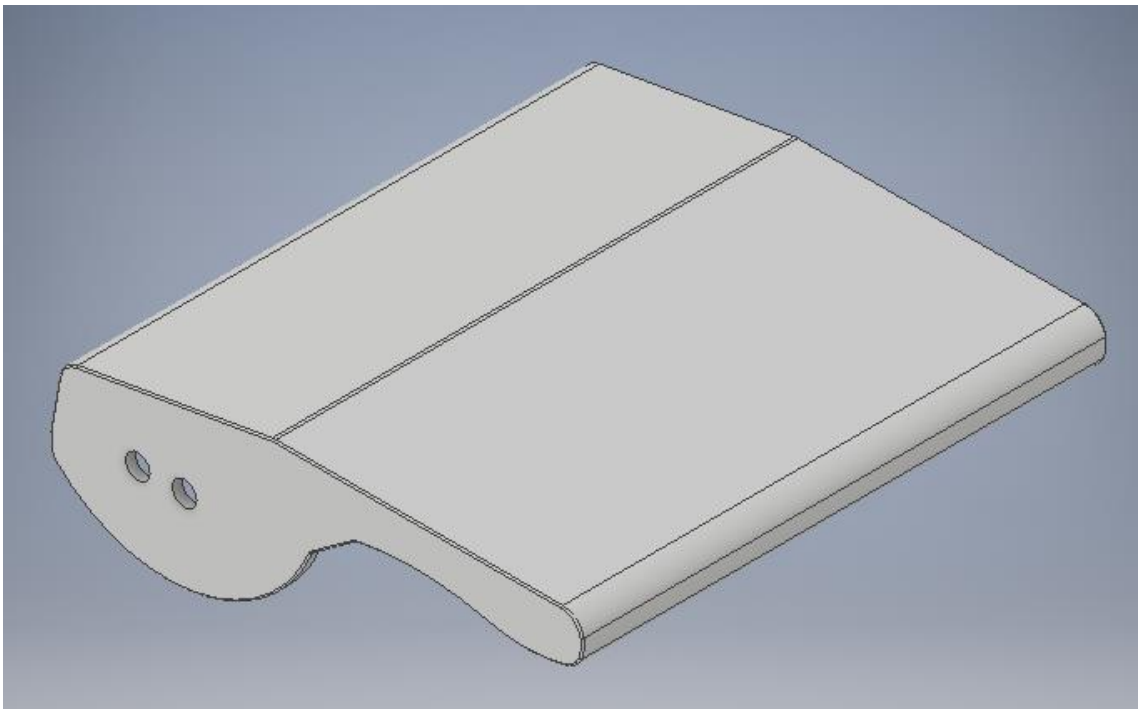


KUVA 26. Paperilävistin yläviistosta

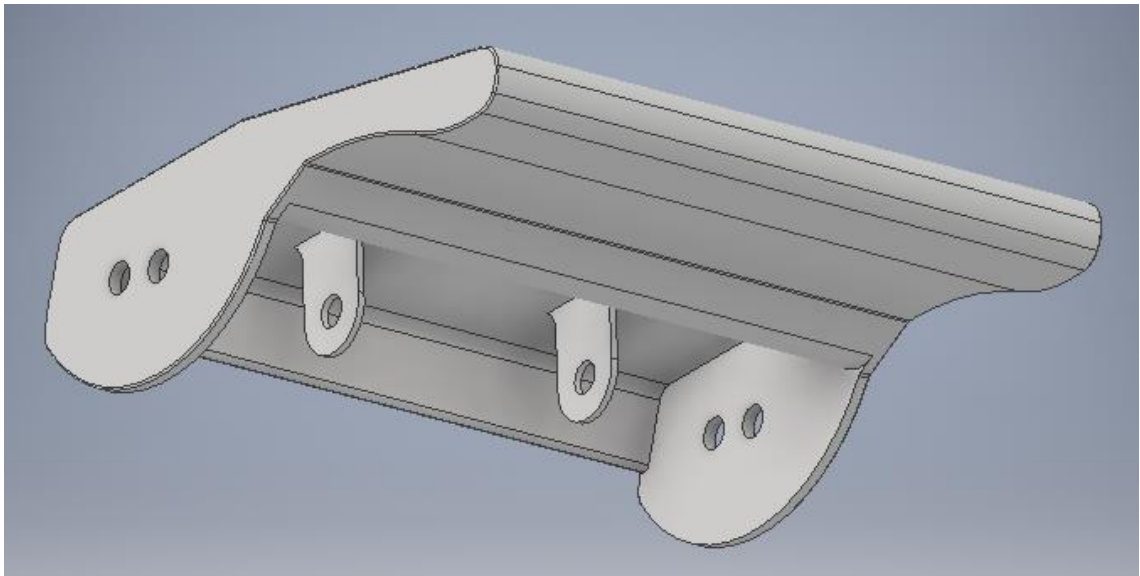


KUVA 27. Paperilävistin alaviistosta

AutoDesk Inventorilla mallinnettu lävistimen runko kuvissa 28 ja 29 toimii perustana orgaanisten- ja verkkomaistenmuotojen toteuttamiseen. Lävistimen geometriaa muutellaan soveltuvaksi 3D-tulostamiseen. Ennen orgaanisten muotojen tekemistä lävistimen rakenne kannattaa optimoida, jolloin turhan ja tarpeellisen materiaalin sijainnit varmistuvat.



KUVA 28. Mallinnettu lävistin yläviistosta



KUVA 29. Mallinnettu lävistin alaviistosta

4.1.1 FEM mallintamisen apuna

Fysikaalisia ilmiöitä on useita, kuten rakenteen tai nesteen käyttäytyminen, lämmönsiirtyminen, aaltoilun eteneminen ja biologisten solujen kasvaminen. Tämänkaltaisia ilmiöitä voidaan tarkastella käyttäen PDE:tä (Partial Differential Equations), joista 3D-tulostamiseen hyvin soveltuva on FEM (Finite Element Method) (Simscale 2018.) FEM on numeerisesti toimiva työkalu fysikaalisten asioiden tarkasteluun (Comsol 2018).

FEM-työkalua käytetään paljon mekaanisten sovelluksien mallintamisessa ja työkalun potentiaali on korkea. FEA (Finite Element Analysis) on FEMistä saatavan numeerisen datan perusteella tehty analyysi. Tämän analyysin avulla voidaan vähentää prototyyppien tekemistä ja saavuttaa tuotteiden nopeampi suunnittelu ja kehitys (Simscale 2018.)

4.1.2 Topologinen optimointi

Topologinen optimointi on kappaleen tai kokoonpanon rakenteiden optimointia. Kappaleen käyttötarkoitusta varten rakenteesta voidaan lukita tiettyjä muotoja tai kohtia, joihin optimointi ei saa koskea. Nämä muodot ovat tavallisesti kohtia, jotka ovat pakollisia kappaleen liikkumisen tai kuormituksen kestämissä mahdollistamiseksi. Kuormitukset ja

käyttötarkoitus tulee olla tiedossa toimivan optimoinnin suorittamiseksi. Optimoinnille annetaan vapaus muuttella kappaleen muita muotoja ja poistaa vähemmän tarpeellisista paikoista materiaalia, reunaehtojen hallitessa kokonaisuutta. Jokin liikerata täytyy olla mahdollista suorittaa maksimijännityksen alaisena esimerkiksi. Lopputuloksena on karkea malli tuotteesta, jota voidaan muotoilla optimoinnin rakennetta noudattaen. Topologinen optimointi on vahvasti käytössä 3D-tulostettavissa kappaleissa (rdvelho 2017.)

Kappaleiden suunnittelussa erilaiset optimointimenetelmät keventävät kappaletta, pitämällä lujuusominaisuudet tarpeellisissa rajoissa. Materiaalin jakauma topologisessa optimoinnissa tuottaa taloudellista säästöä materiaalikuluihin. Lävistimessä rajoitteena voidaan käyttää rakenteen sallittuja siirtymiä ja jännityksiä, näitä rajoja ei saa ylittää. Optimointi suoritetaan yleensä elementtimenetelmää hyväksi käyttäen. Optimoiduista rakenteista tulee yleensä monimutkaisia, eikä niitä voi valmistaa perinteisillä valmistusmenetelmillä. Topologisen optimoinnin kiinnostavuus on lisääntynyt materiaalia lisäävien menetelmien lisääntyneen käytön ansiosta. Esimerkiksi autoteollisuus on käyttänyt topologista optimointi jo vuosia ja ilmailuteollisuudessa siihen on osoitettu suurta kiinnostusta (tamkjournal 2016.)

ANSYS-simulaatio ja suunnitteluohjelman avulla saadut karkeat mallit kuvissa 30 ja 31 antavat suuntaa muodoille. Kuvassa 30 kappaleen materiaali on tarpeellista sen käytölle, joten sitä ei tulisi poistaa tai muotoilla liikaa erilaiseksi. Kuvassa 31 kappale on selkeämmin hahmoteltavissa, lopullinen kappale tulisi muotoilla näiden kuvien perusteella.



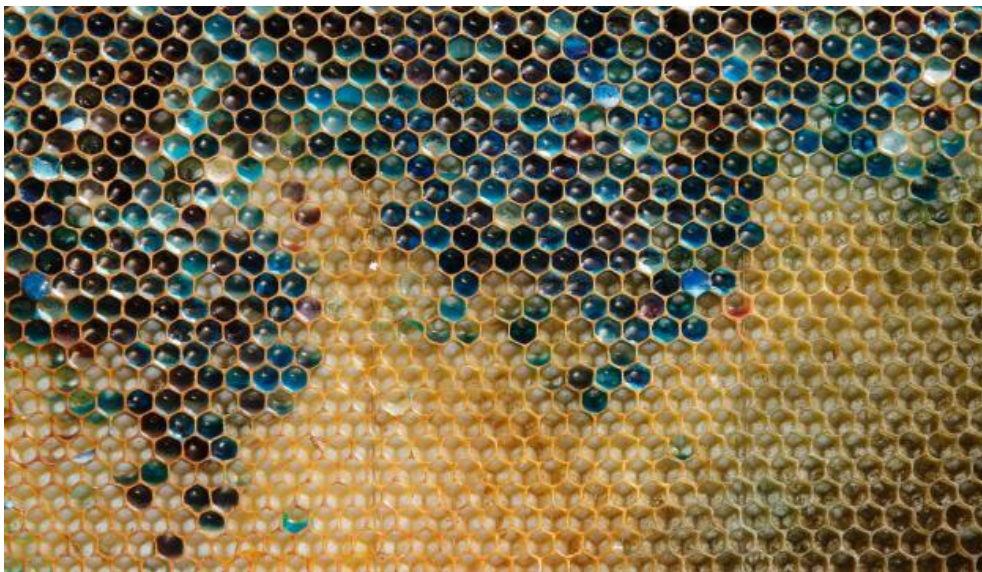
KUVA 30. Keep-mallissa tarpeellinen materiaali on jätetty poistamatta



KUVA 31. Remove-mallista on poistettu turha materiaali ja kappale muistuttaa lävistimen kantta

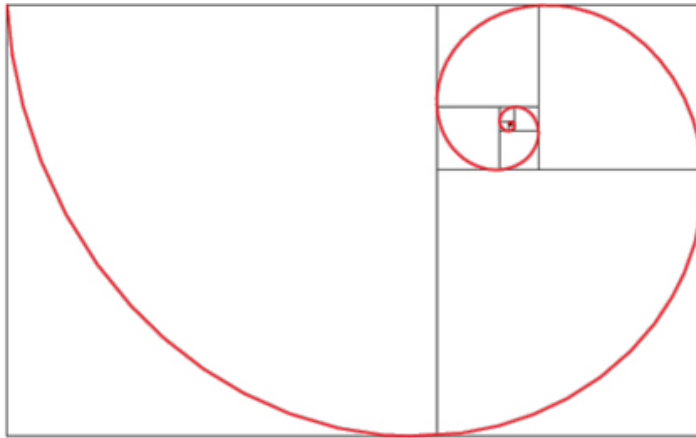
4.2 Mallinnettava kappale 1, Orgaaninen malli

Orgaanisia muotoja löytyy luonnosta ja elämästä. Orgaanisuus 3D-tulostamisessa yhdistetään usein biomimiikkaan. Biomimiikassa hyödynnetään luonnossa esiintyviä kaavoja ja menetelmiä innovointiin, ymmärtäen niiden tuottamat hyödyt (biomimicry 2018.) Kuvan 32 mehiläistenpesä on symmetrinen ja toimiva ratkaisu ravinnon valmistamiseen pienestä tilastaan huolimatta (theguardian 2015).



KUVA 32. Mehiläistenpesässä ylläpidetään ruokavaroja ja lisääntyy (theguardian 2015)

Fibonacciin lukujono (kuva 33) esiintyy kuvan 34 kasvin terälehdissä vihjaten luonnon noudattavan matemaattisia lakeja ja ajatuksia. Fibonacciin lukujonossa lasketaan kahden edellisen luvun arvo yhteen, jolloin saadaan seuraava lukuarvo. Tätä lukuarvoa käytetään edellisen kanssa laskemaan seuraava lukuarvo tarvittavan monta kertaa. Numeroarvot kasvavat, kuten kuvan 33 terälehdetkin. Fibonacciin lukujonossa esiintyy aina samat numeroarvot, jokin näistä lukuarvoista usein löytyy myös kasvien terälehtien määrästä (collective-evolution 2016.)



KUVA 33. Fibonacciin lukujono geometrisesti esitettynä (eluova 2013)



KUVA 34. Kasvin terälehdet noudattavat Fibonacciin lukujonoa (collective-evolution 2016)

Orgaanisia malleja voi hyödyntää 3D-tulostetuissa arkipäivän esineissä. Kuvan 35 tuolin rakenne pysyy muodossaan paksujen ulkoreunusten ansiosta. Tuolin materiaali on nylonia, yhdestä materiaalista tehty tuote on helpompi kierrättää tuotteesta luovuttaessa (inhabitat 2015.)

Kuvan 36 korkokengät ovat valmistettu samaa ajatusta noudattaen. Niiden täytyy kestää käyttäjän paino ja kulutus mutta rakenteen täytyy miellyttää käyttäjää. Biomimiikan innoittamia tuotteita valmistetaan usein biohajoavista aineista, jolloin ne ovat parempia luonnolle (infinitespider 2015.)



KUVA 35. Biomimiikan innoittama tuoli (inhabitat 2015)

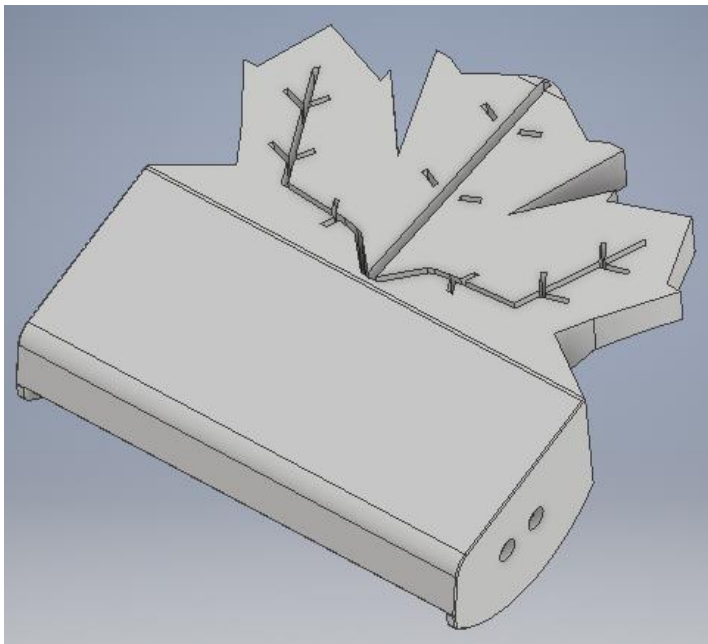


KUVA 36. Korkokengät ovat suosittu 3D-tulostettava vaate (infinitespider 2014)

Lävistin muotoillaan mukailemaan puun lehteä. Lävistimen geometriaan otan mallia vaahterapuun lehdestä (kuva 37). Lehden muoto ja visuaalisuus ovat hankalia toteuttaa siten, että kappaleen muoto pysyy kuvan 30 FEM-mallin mukaisena. Kuvassa 38 reikien tekeminen heikentää lujuutta, ja niitä pitäisi tehdä enemmän, jotta malli kuvaisi paremmin vaahteranlehteä.

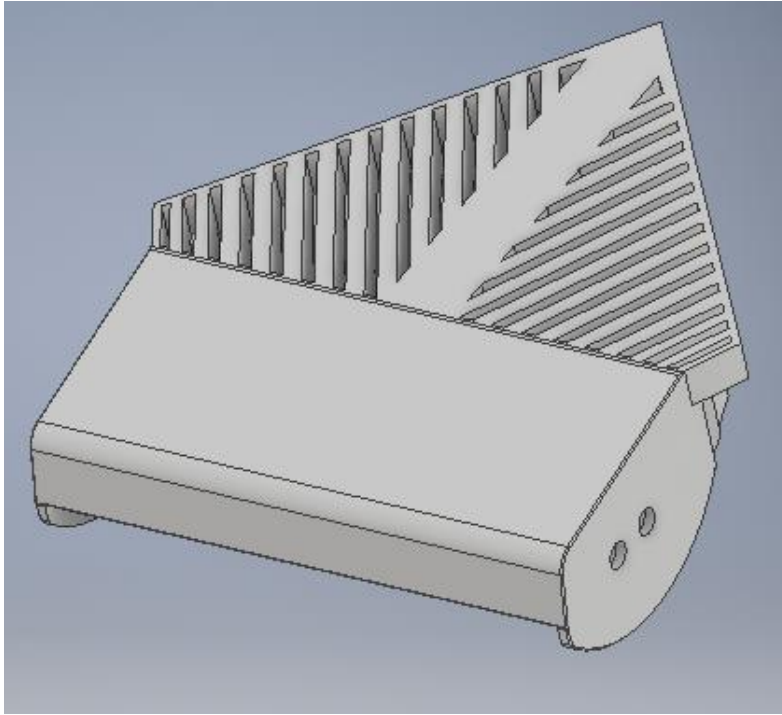


KUVA 37. Vaahteranlehti orgaanisena mallina

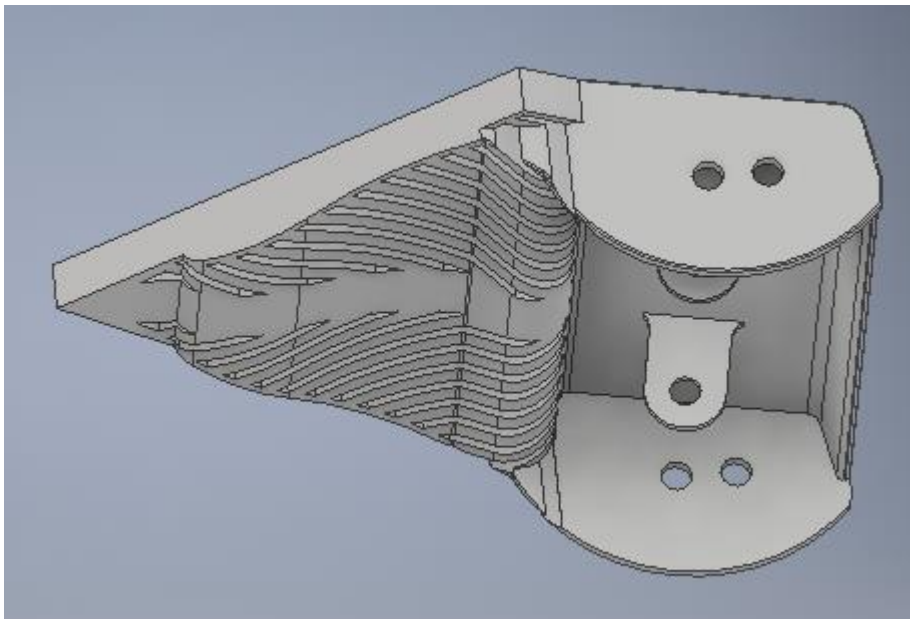


KUVA 38. Jäljitelmä vaahteranlehdestä

Kuvien 39 ja 40 ratkaisussa on enemmän reikiä, lisäksi lävistimen keskiosa on jätetty yhteneväksi, sillä juuri siihen käyttövoima kohdistuu. Materiaalia säästyy runsaasti reikien ansiosta. Mallista ei kuitenkaan välttämättä ymmärrä sen olevan orgaaninen, varsinkin lehti. Lehden muoto on myös vaihdettu vaahterapuun lehdestä.

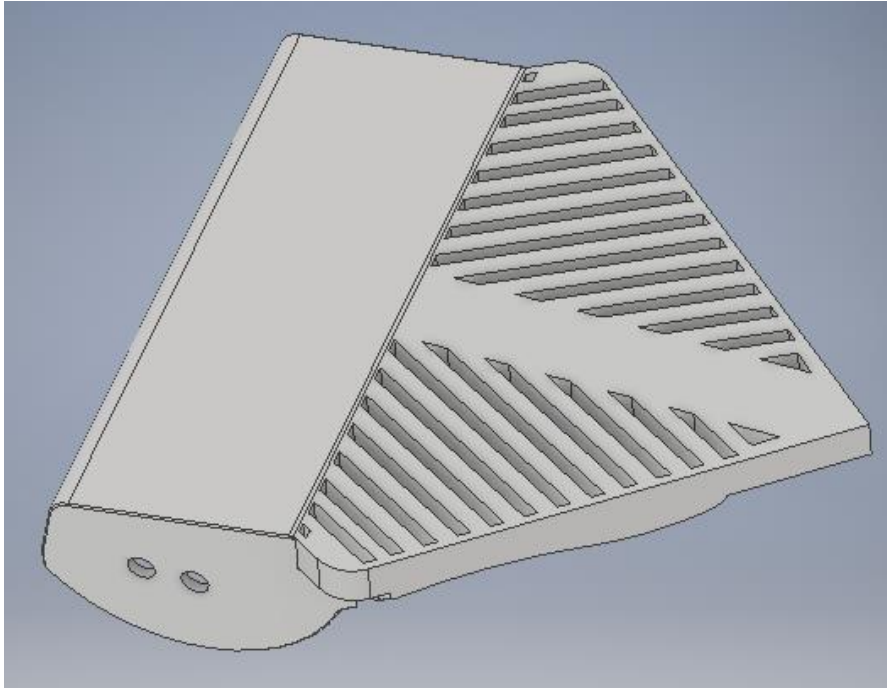


KUVA 39. Orgaaninen malli ylhäältä



KUVA 40. Orgaanisen mallin muodot alhaalta

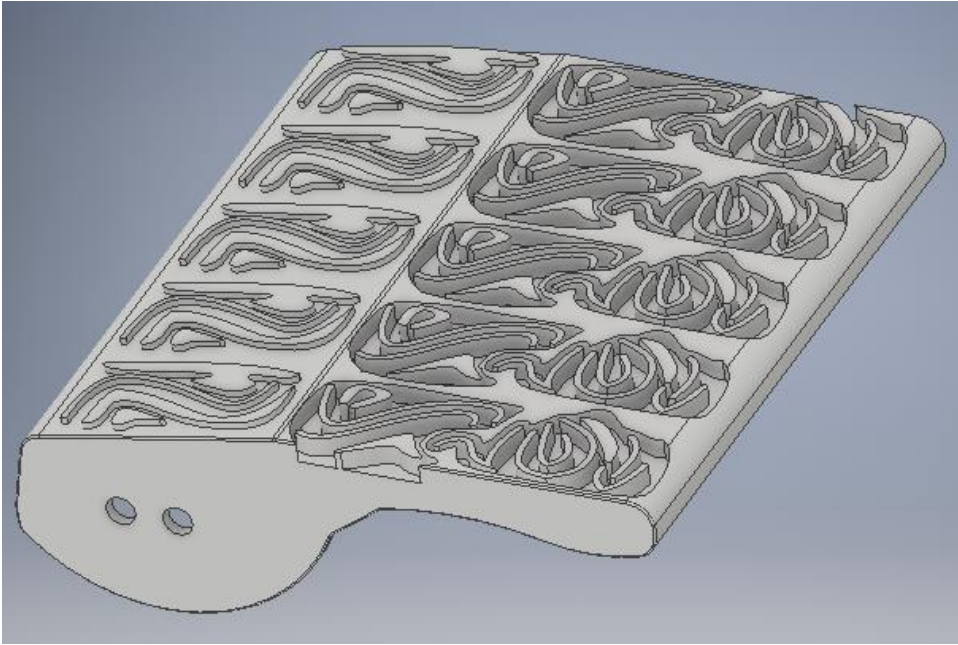
Orgaanista mallia voi myös pyöristää reunoista, jolloin orgaanisuus välittyy paremmin (kuva 41). Kappale ei kuitenkaan muistuta tarpeeksi puun lehteä.



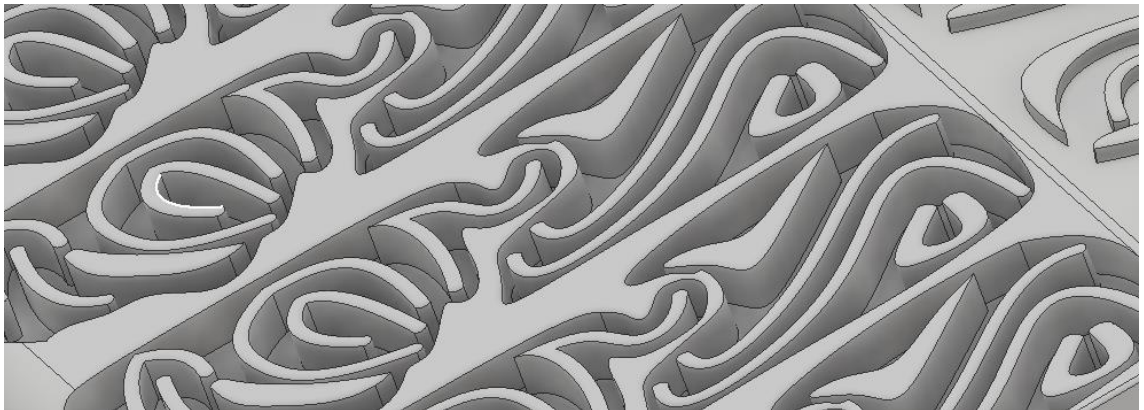
KUVA 41. Pyöristetty orgaaninen malli

Orgaaniseen malliin käytettiin Inventorin perustyökaluja. Kappaleen rakenne voidaan piirtää 2D-malliksi ja pursottaa oikeaan paksuuteen. Kappaleeseen mallinnetaan haluttu muoto, jota voidaan käyttää kopio-työkalulla useamman kerran. Kaikki kopioidut muodot voidaan peilata kerralla toiselle puolelle lävistimen kantta, jolloin rakenne on symmetrinen. Biomimiikkaa muistuttavaa mallia on liian hankala tehdä perustyökaluilla. Pienten muotojen tekeminen manuaalisesti on hidasta, vaikka käyttäisi kopiointia ja peilausta.

Lävistimeen voi kopioida yhden muodon lisäksi muoto-kokoelman (kuva 42), jonka voi asettaa valitsemansa etäisyyden päähän haluamaansa syvyyteen. Lävistimessä esiintyvä upotus voi vaatia tukimateriaalia, tulostusasennosta riippuen. Reikien tekemiseen ei usein tarvitse tukimateriaalia, mutta ne heikentävät kappaletta enemmän. Upotuksia voi tehdä reikiä enemmän, mutta sitä kautta myös tukimateriaalin tarve lisääntyy. Kuvan 43 rakenteelliset muodot ovat mielestäni parhaat perustyökaluilla tehdyt orgaaniset muodot. Orgaaniset muodot eivät kuitenkaan kuvaa mitään.

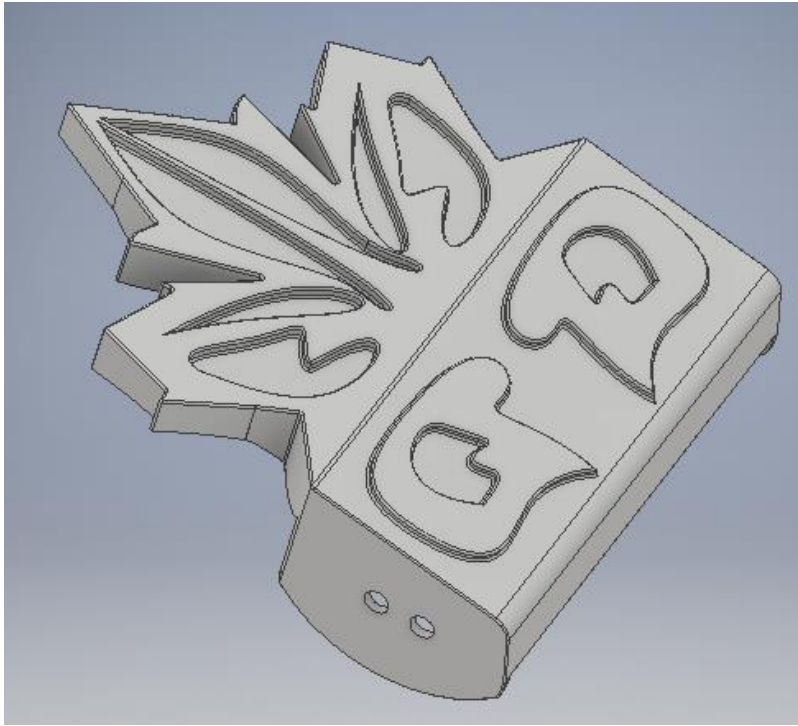


KUVA 42. Lävistimen takaosaan on lisätty orgaanisia muotoja

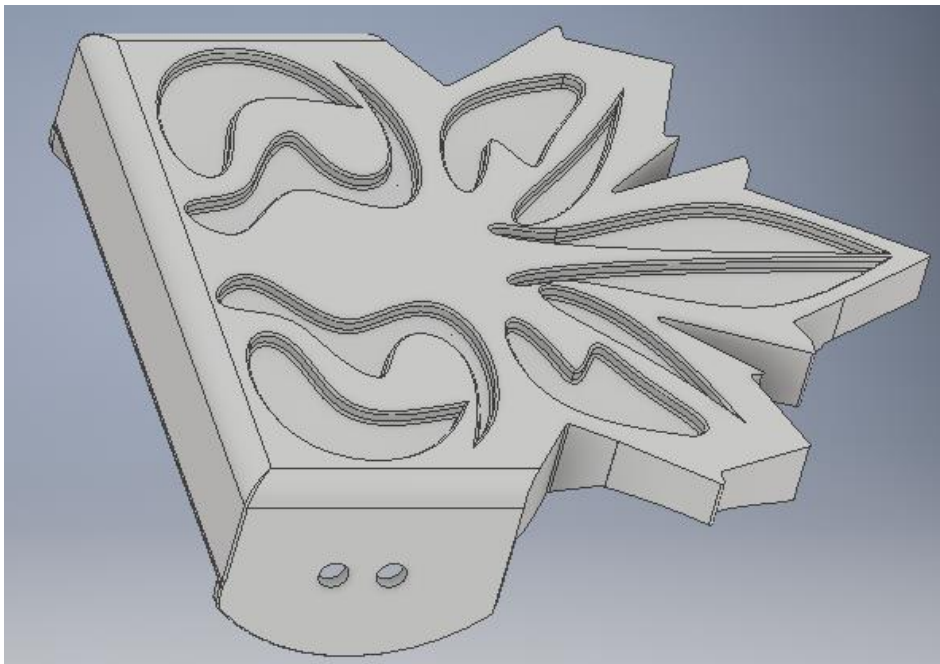


KUVA 43. Orgaaniset muodot nousevat upotuksesta

Kuvan 38 rakennetta pidennettiin kuvassa 44 ja siihen mallinnettiin isoja upotuksia kuvaamaan vaahterapuun lehteä. Upotuksista on helpompi poistaa mahdollinen tukimateriaali, sillä muodot ovat yksinkertaisia. Kuvan 45 mallissa takaosa on suorassa linjassa etuosan kanssa, jolloin tukimateriaalia tarvitaan vähemmän. Takaosan muotoja on myös muuteltu vertailun kannalta.

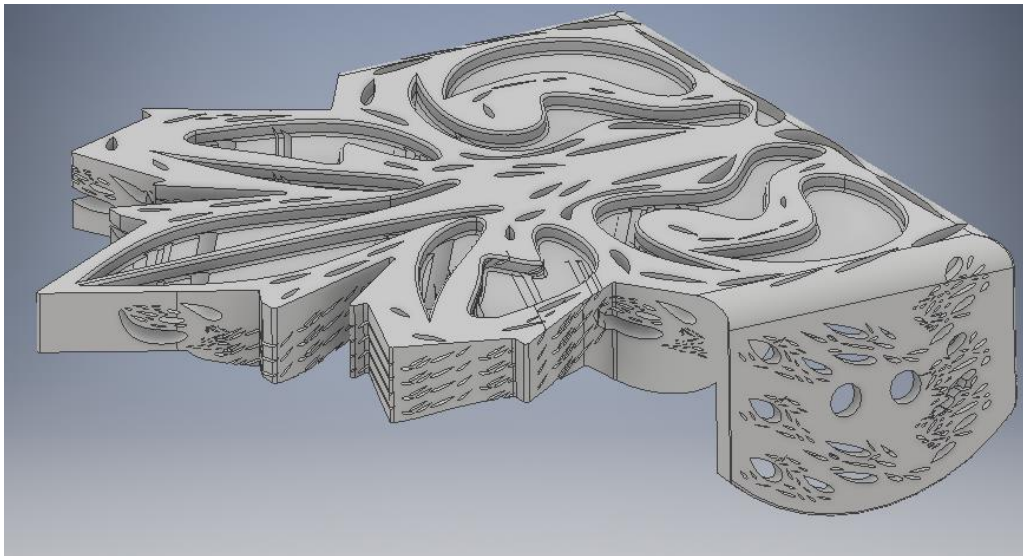


KUVA 44. Vaahteranlehti yksinkertaisilla muodoilla

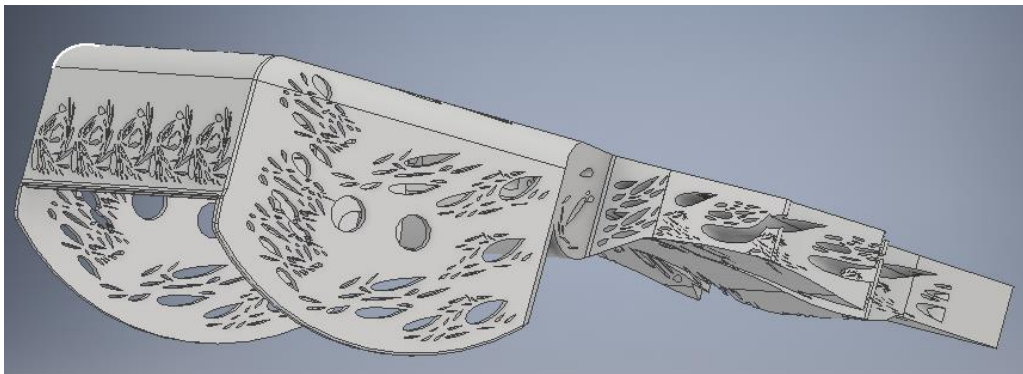


KUVA 45. Vaahteranlehti vähäisellä tukimateriaali-tarpeella

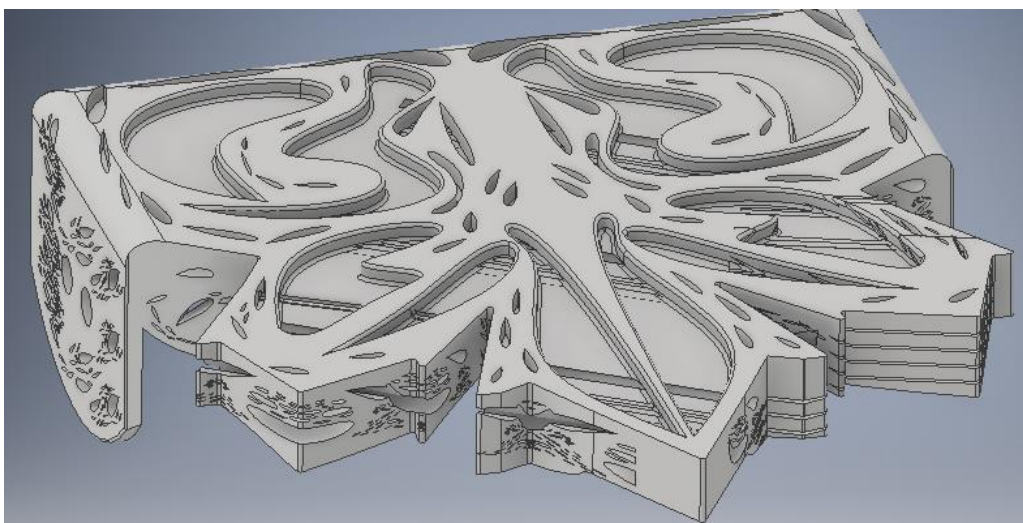
Kuvien 46, 47 ja 48 rakenteeseen tehtiin biomimiikkaa muistuttavaa kuviointia perustyökaluilla. Toiset kuviot ovat symmetrisiä, osa täysin sattumanvaraisesti siirretty kappaleen rakenteeseen. Kriittisiä alueita on kuitenkin vältetty heikentämästä liikaa.



KUVA 46. Kuvan lävistimen lehtiosan reunamuodot eroavat kuvan 47 reunamuodoista



KUVA 47. Reunamuodot eivät ole symmetrisiä, lävistimen takaosan reiät kuitenkin ovat

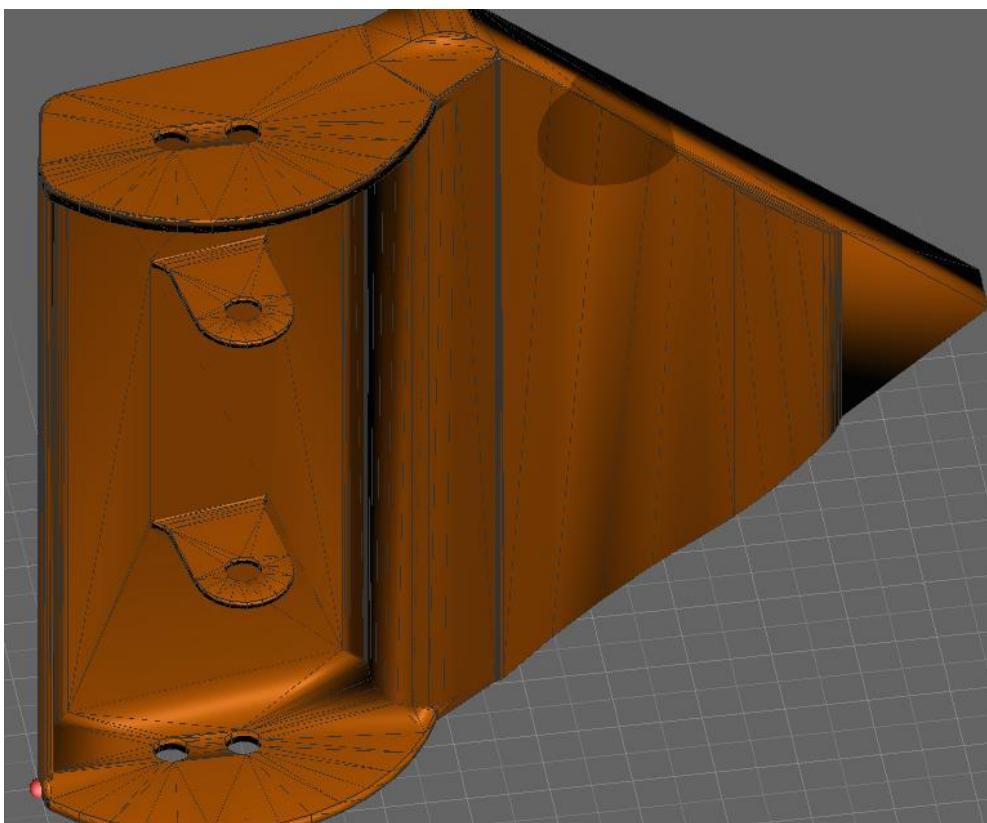


KUVA 48. Päältä kappaleen muodot ovat lähes symmetrisiä

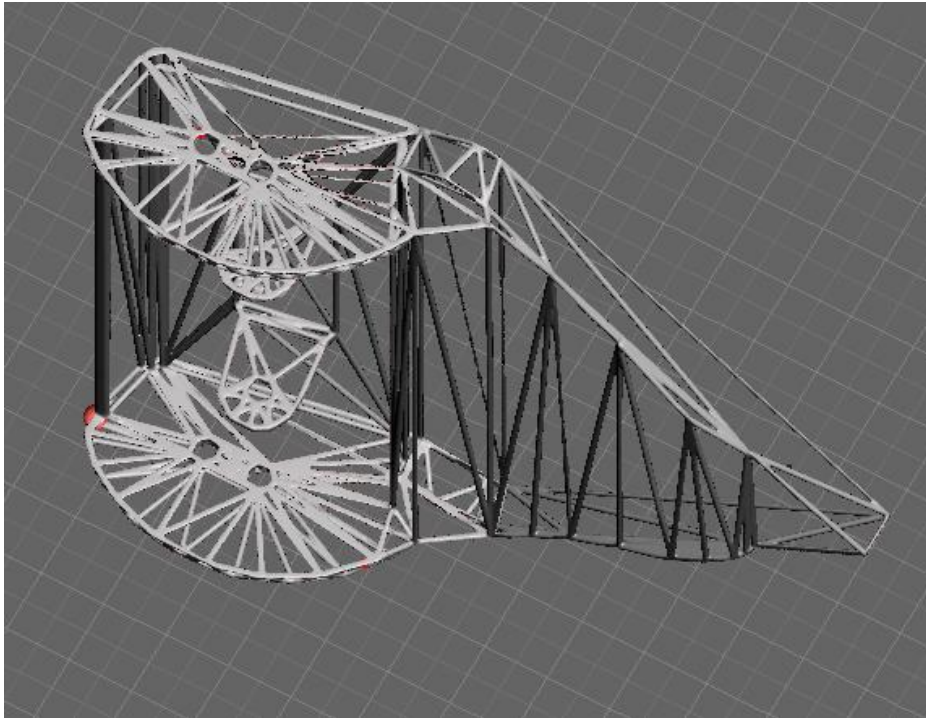
4.2.1 MeshMixer

Siirsin Meshmixeriin erilaisia versioita Inventorilla piirtämistäni kappaleista ja lähdin muokkaamaan niitä. Meshmixerillä voi vähentää kappaleen polygonien määrää (kuva 49), jotka esiintyvät kuvassa oransseina kolmioina. Polygonit muodostuvat jo kappaleen mallinnusvaiheessa, joten erilaisilla piirtämistekniikoilla voi vaikuttaa pintamallien vaikutukseen. Kolmioiden kohdalle voi tehdä pintamallin, joka vaikuttaa koko kappaleen visuaalisuuteen (kuva 50). Pintamalli voi noudattaa polygonien suuntaa ja määrää, tai olla täysin niistä riippumaton.

Pintamalli-työkalu on hieman harhaanjohtava, sillä lopputulosta on hankala hahmottaa etukäteen. Pintamallin kohdistaminen tietylle alueelle ei ole välttämättä mahdollista, joten sen hallitseminen on hankalaa. Pintamalli tulee myös kappaleen kohtiin, jotka jättäisit mielellään vaikutusalueen ulkopuolelle. Suurin osa pintamalleista myös poistaa kappaleen materiaalin sieltä, missä ei ole polygoneja (kuva 50).

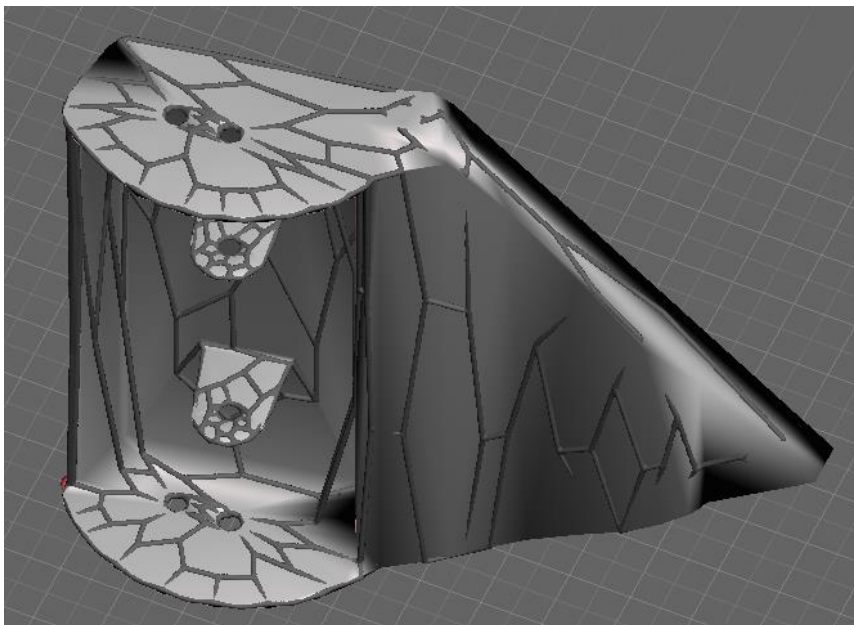


KUVA 49. Kuvan viivat muodostavat kolmioita, jotka tunnetaan polygoneina



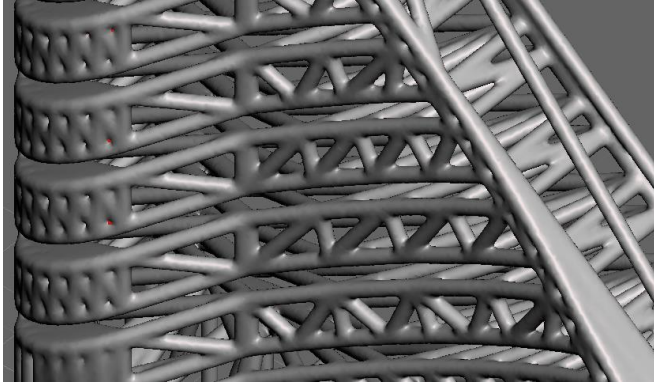
KUVA 50. Pintamalli tehty noudattaen polygonien sijainteja

Kappaleen voi jättää myös eheäksi ja lisätä pintaan muotoja (kuva 51). Tällöin kappaleen orgaaniset muodot vaikuttavat verisuonien kaltaisilta kalvoilta, joiden paksuutta voi muokata. Paksuus kuitenkin muokkautuu useampaan kohtaan kerrallaan, joten liian paksujen muotojen tekeminen tukkii kappaleen tarpeelliset reiät.

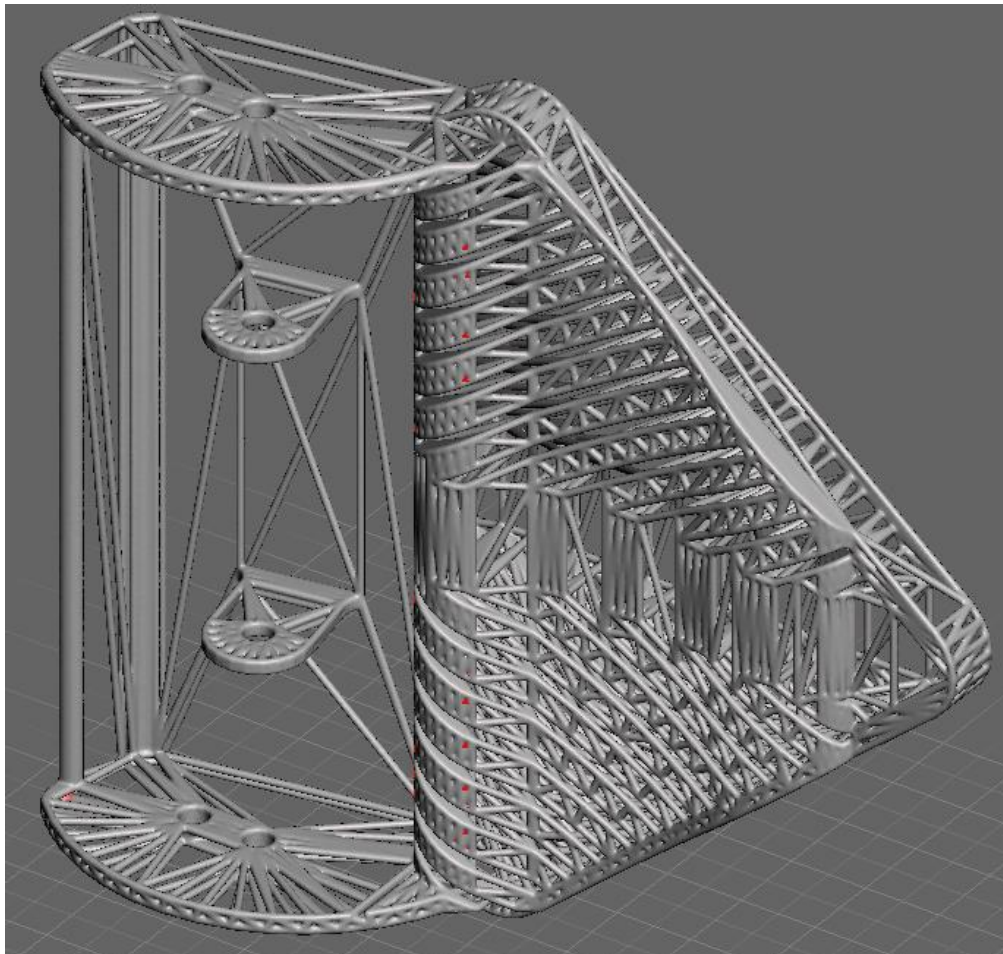


KUVA 51. Eheäksi jätetty kappale erilaisella pintamallilla

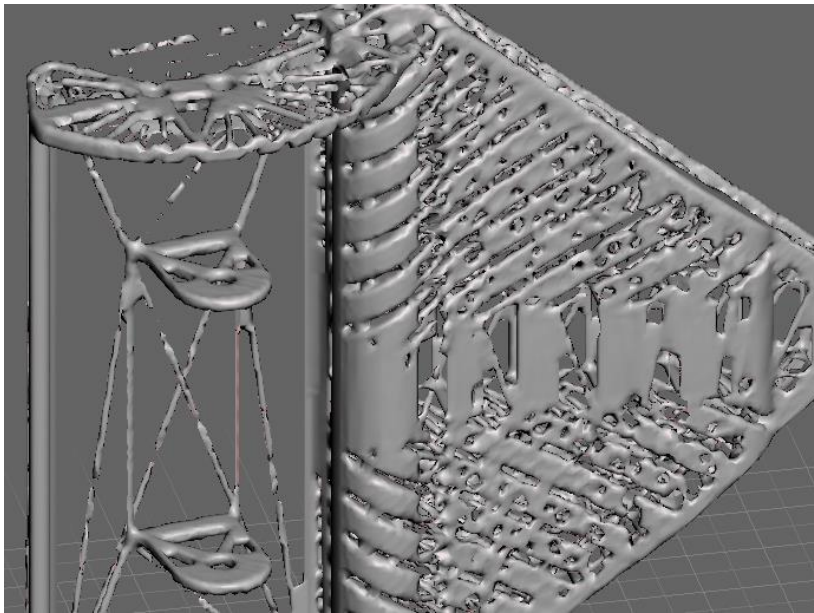
Pintamalli-työkalun parametrejä muokkaamalla kappaleesta voi tehdä todella yksityiskohtaisen, mutta mallin tekeminen vielä tulostettavaksi solidiksi vaikuttaa jälkepäin kappaleen onnistumiseen (kuva 54). Kuvien 52 ja 53 pintamalli on erittäin hieno ja yksityiskohtainen, se on saatu lisäämällä kuvan 49 kappaleen polygoneihin pintamalli. Kappale hajoaisi käytössä, joten se olisi vain näyttökappale pintamallien mahdollisuudesta.



KUVA 52. Pintamalli läheltä

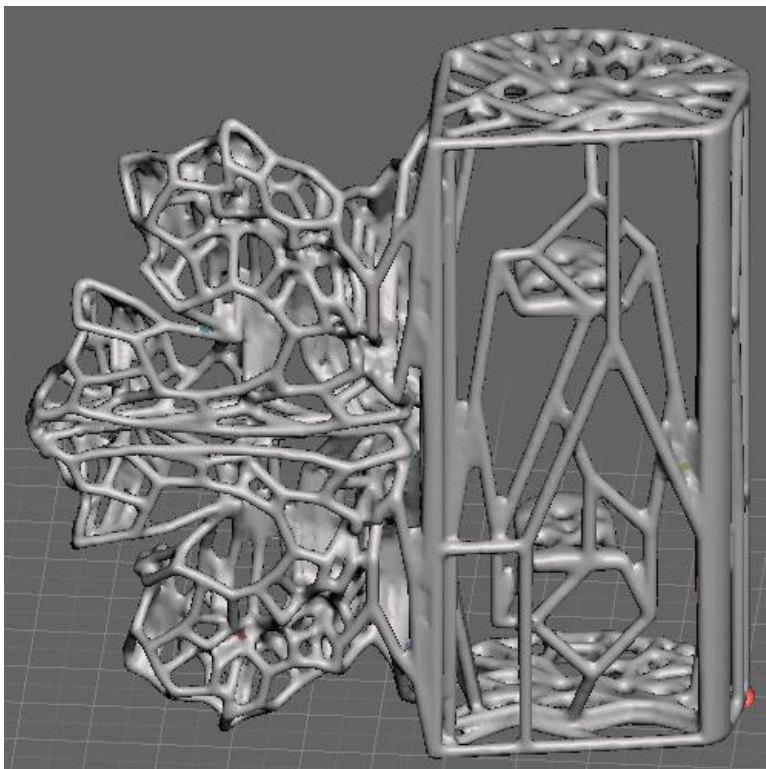


KUVA 53. Kuvan 49 kappaleeseen on lisätty pintamalli polygonien mukaisesti



KUVA 54. Solidin tekeminen pintamallista voi hajottaa kappaleen

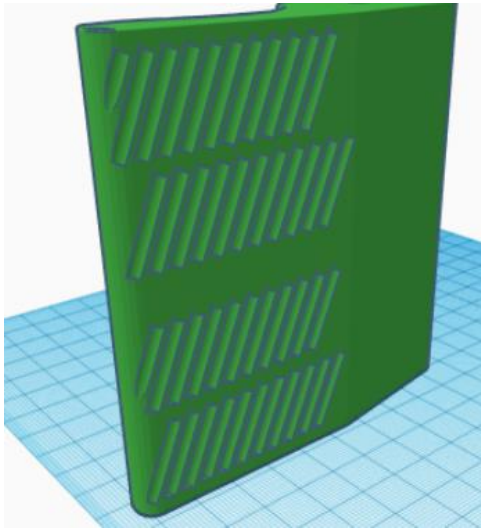
Kuvan 37 vaahteranehti-mallista sai hienon pintamallin (kuva 55), jonka solidi-malli ei hajonnut. Polygonien määrää kannattaa vähentää Meshmiserissä, jos pintamallit eivät onnistu, sillä liian monimutkaiset pintamuodot eivät onnistuisi kuitenkaan tulostaessa. Vähentämällä polygoneja solidin tekeminen helpottuu.



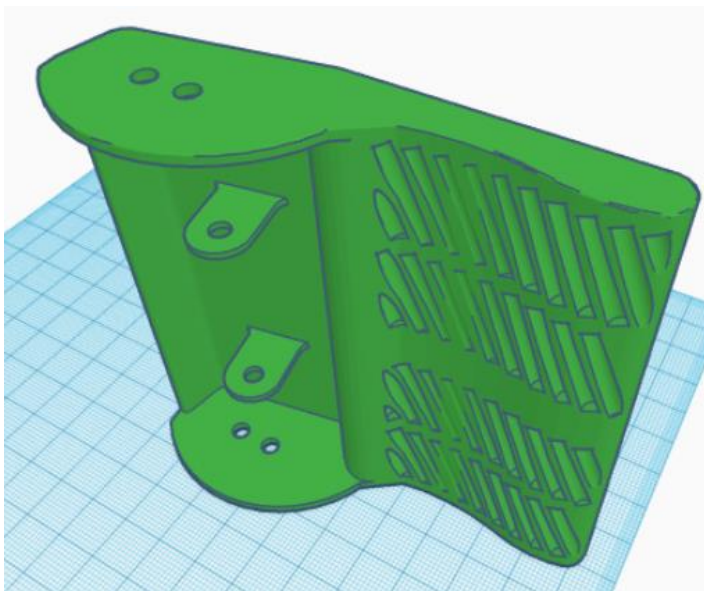
KUVA 55. Vaahteranehti-mallista tehty orgaaninen pintamalli

4.2.2 Tinkercad

Tinkercad on perustyökaluiltaan Inventorin kaltainen. Suurempien muotojen kopioiminen on nopeampaa, kuin pienempien. Kuvien 56 ja 57 kappaleen kuvio on tehty sylinterityökalulla, jota on kopioitu ja se ottaa materiaalia pois. Satunnaisemman kuvion tekeminen on Tinkercadissa työlästä, kuten Inventorissa.



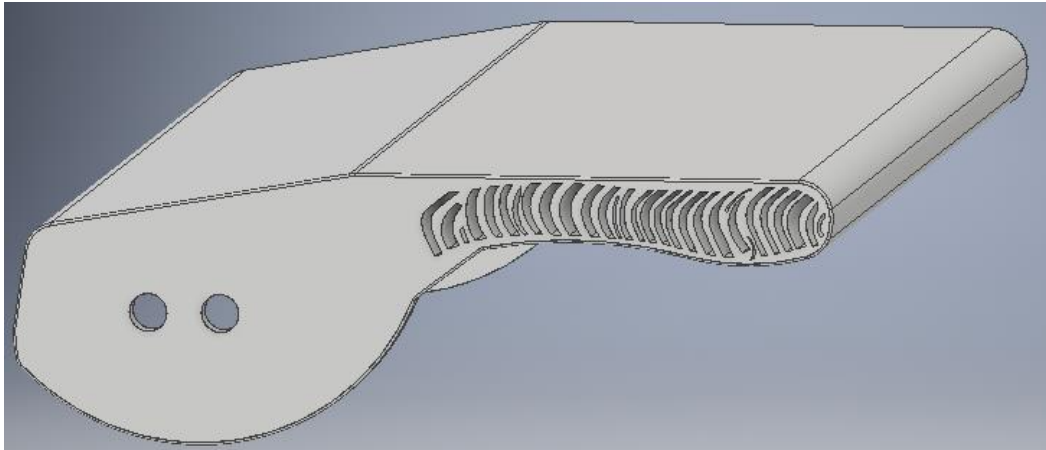
KUVA 56. Pintamalla lävistimen päällä



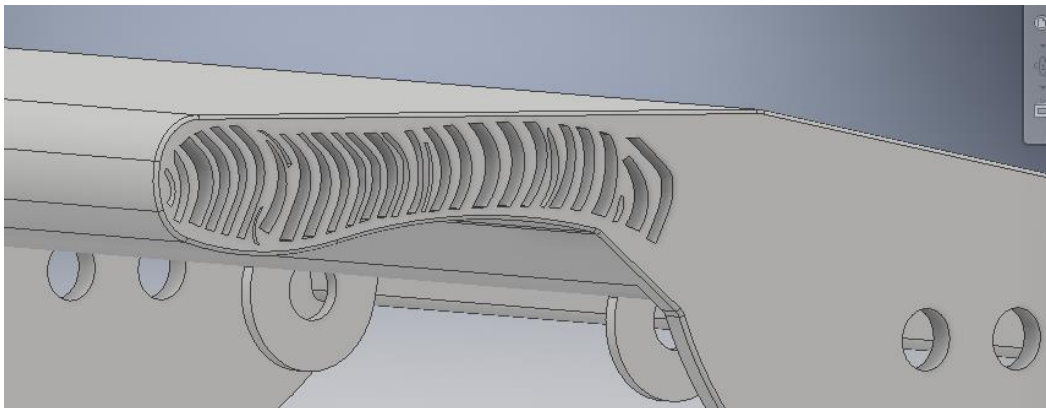
KUVA 57. Saman kappaleen pintamalla lävistimen alapuolelta

4.3 Mallinnettava kappale 2, Verkkorakenne

Verkkomaisen mallin tekemisessä voi ajatella sienin lakin alaosa tai kirjan sivujen kerrostumista, verkkoaitaa tai kalaverkkoa. Toimivuutta ajatellen kappaleen voisi ajatella olevan lähes onttu sisältä, tuettuna paksujen reunojen avulla. Kuvien 58 ja 59 kappaleen rei'istä oli tarkoituksena saada satunnaisen näköiset ja erikokoisia.

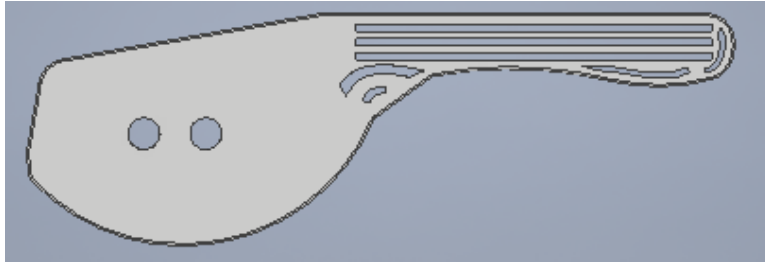


KUVA 58. Lävistimen satunnainen verkkomainen rakenne

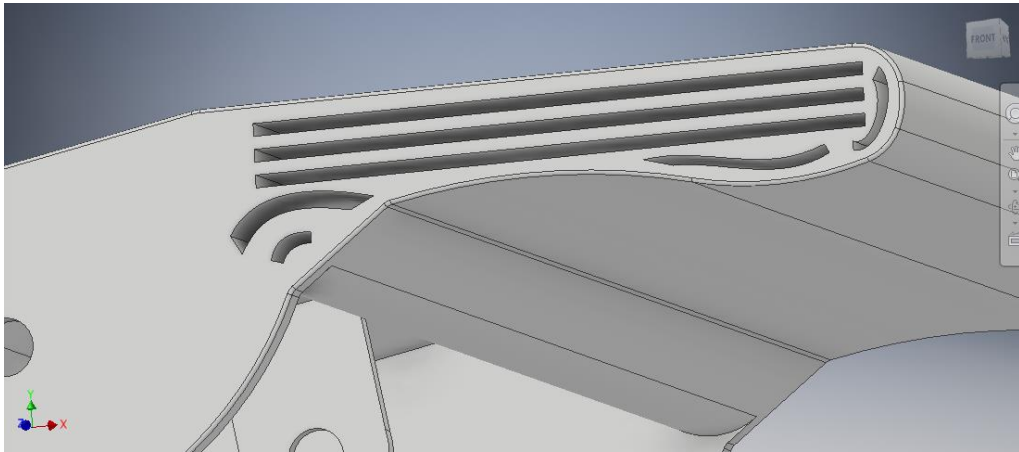


KUVA 59. Lävistimen verkkorakenne läheltä

Satunnaisuus ja eriävät kaarevat muodot häiritsevät liikaa. Kuvissa 60 ja 61 on vähemmän verkkomaista rakennetta. Se on tehty käyttövaatimusten mukaan. Reikiä voisi helposti pienentää ja lisätä, mutta tukimateriaalin poistamisesta tulee silloin hankalampaa. Rakenteen reiät eivät ole symmetrisiä, mutta selkeästi miellyttävämmän näköisiä. Verkkomuodot tehtiin perustyökaluilla.

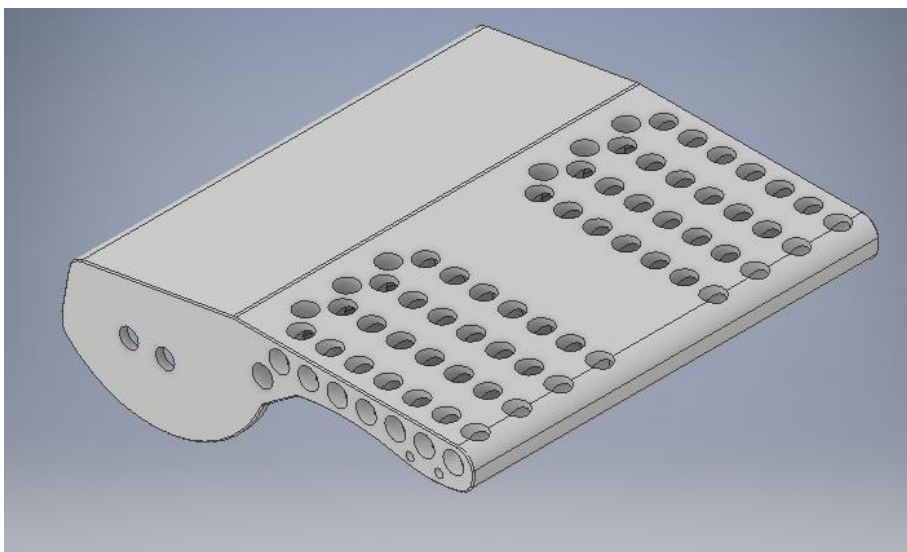


KUVA 60. Rakenne sivulta

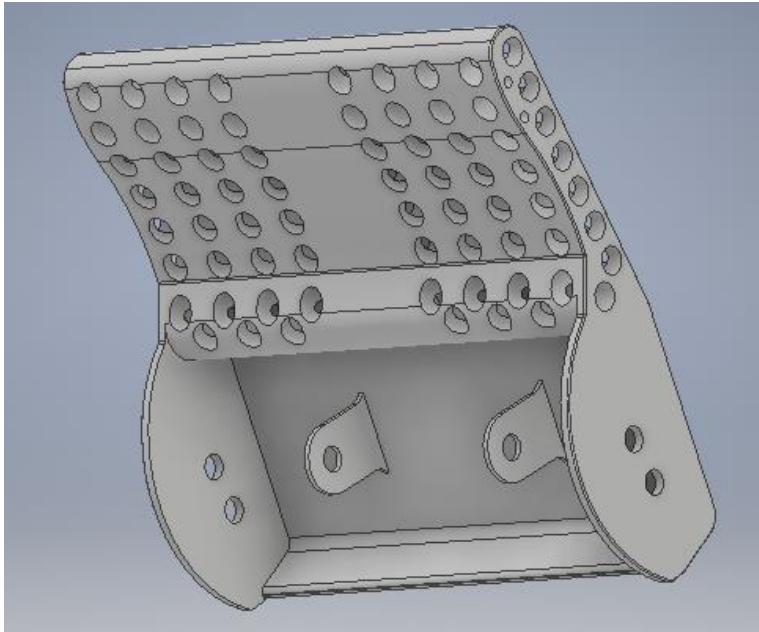


KUVA 61. Rakenne viistosta

Saman muodon kopioiminen on järkevää, ympyrämuotoa käytetään reikien mallina. Lävistimen keskikohtaan jätettiin materiaalia, jotta se varmasti kestäisi kohdistuvan voiman hajoamatta. Kuvien 62 ja 63 rakenne on täysin symmetrinen.

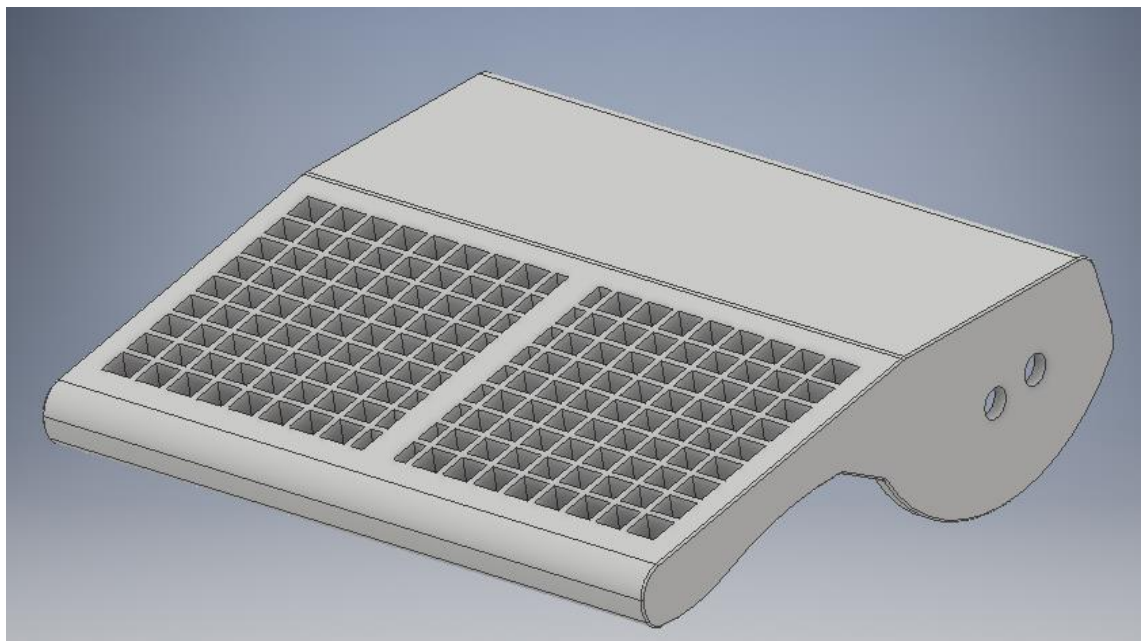


KUVA 62. Symmetrinen reikämuoto ylhäältä



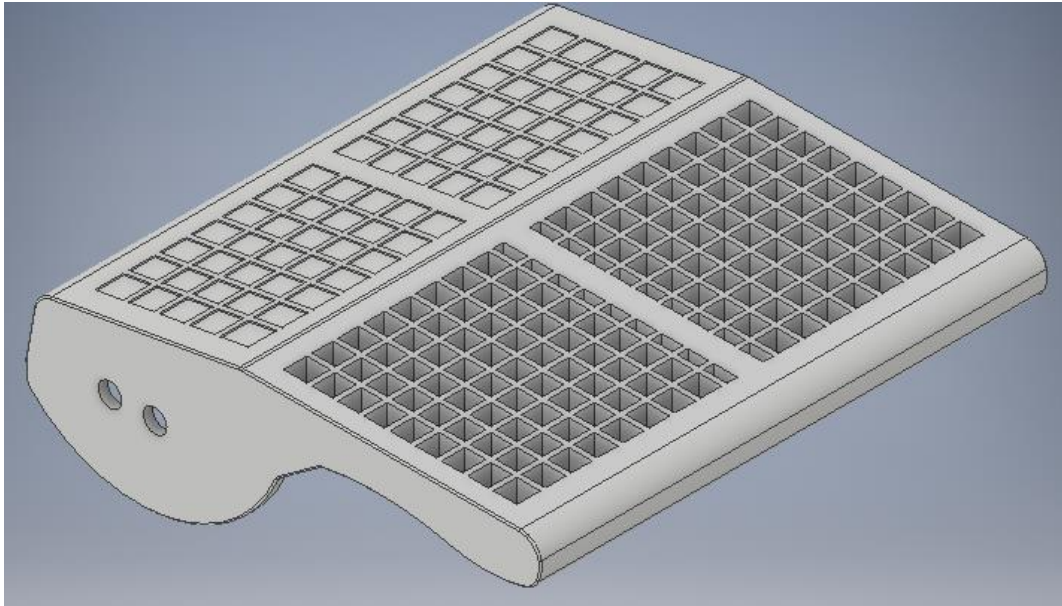
KUVA 63. Symmetrinen reikämuoto alhaalta

Inventorin grill-työkalulla tehdään reikäkuviota valitun geometrian mukaan. Kuvassa 64 grill-työkalulla asetetut ehdot, kuten reikämuotojen syvyys ja seinän paksuus vaikuttavat muodostuneeseen rakenteeseen. Työkalulla voi jättää rakennetta ennalleen, tai mallintaa uutta rakennetta reikien tilalle.



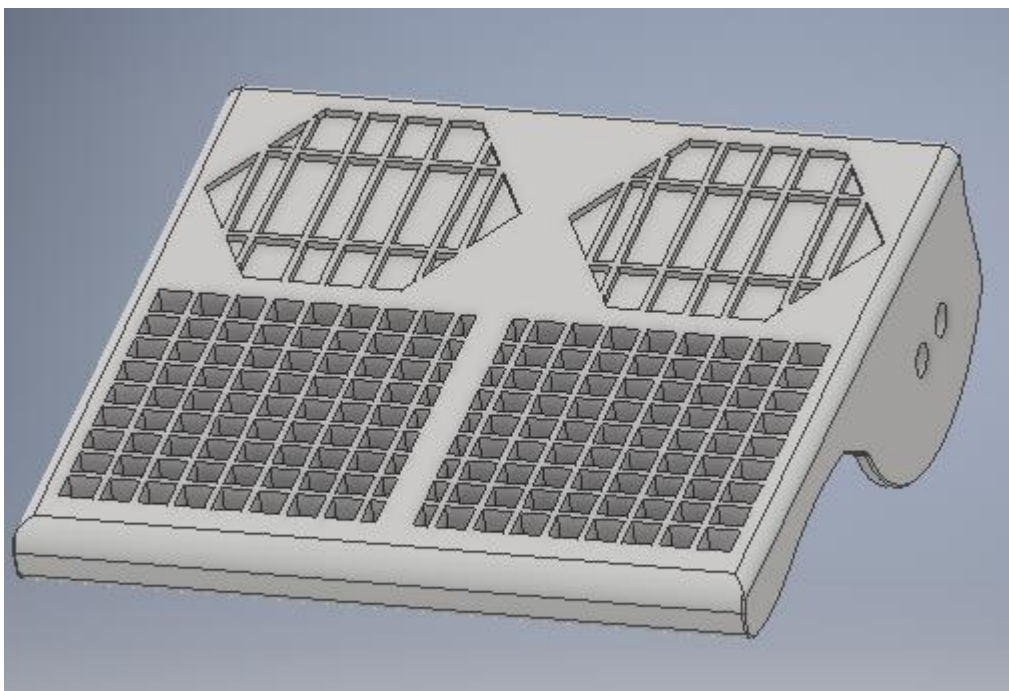
KUVA 64. Grill-työkalulla tehtyä verkkomuotoa

Grill-työkalua hyödynnetään lävistimen takaosaan kuvassa 65. Kappale on mielenkiintoisen näköinen, eikä takaosan rakennemuutos heikennä kappaletta kriittisesti.



KUVA 65. Grill-työkalulla ei ole pakko muodostaa reikää

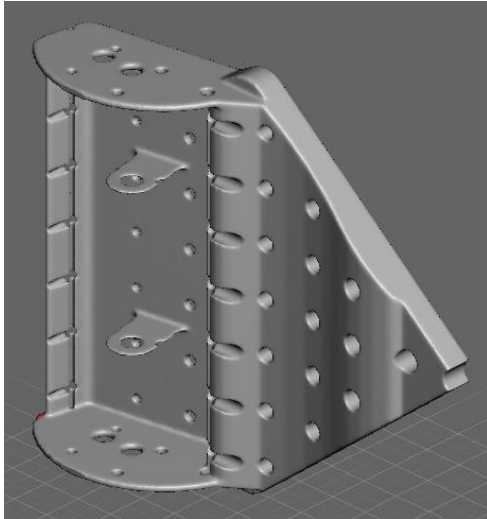
Kuvassa 66 grill-työkalulla muodostetaan satunnaisempaa kuviota. Työkalu löytyy Plastic parts -valikosta. Grill-työkalulla muodostettu rakenne voidaan kopioida ja peilata vapaasti. Lävistimen etuosa ja takaosa ovat vaakatasossa kuvassa 66.



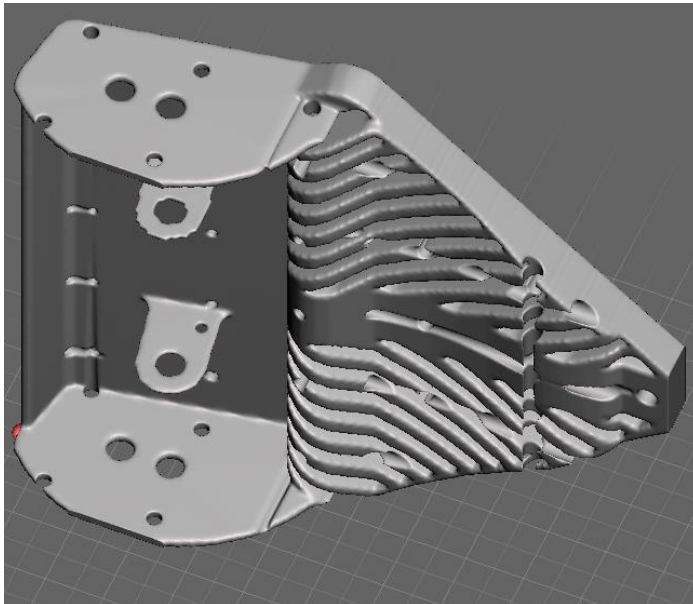
KUVA 66. Peilattu grill-työkalulla tehty muoto

4.3.1 MeshMixer

Meshmixerin verkkorakenne työkalu on käytännössä reikätyökalu. Reikämallien tekeminen liian tiheästi rikkoo kappaleen muodon, eikä siitä voi tehdä tulostettavaa mallia. Kyseinen pintamalli ei sovellu parhaiten kappaleen muotoihin, sillä vähäiset reiät eivät näytä tarpeeksi hienolta. Kuvien 67 ja 68 mallit ovat kuitenkin käytössä toimivia ratkaisuja. Ne ovat myös helppoja tulosteita.

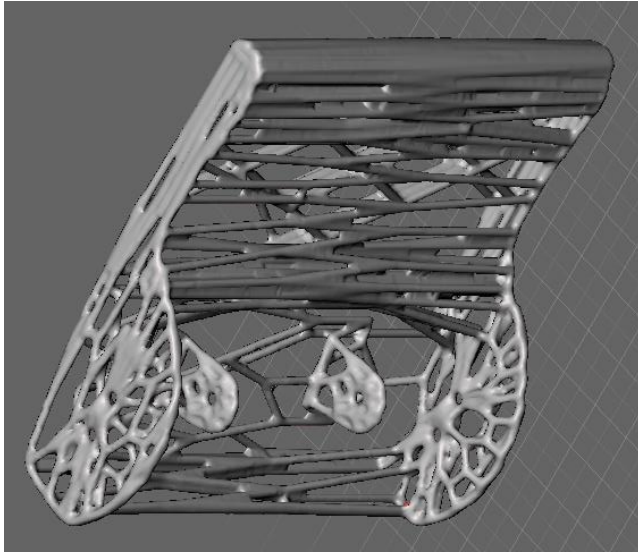


KUVA 67. Verkkomalli Meshmixerissä



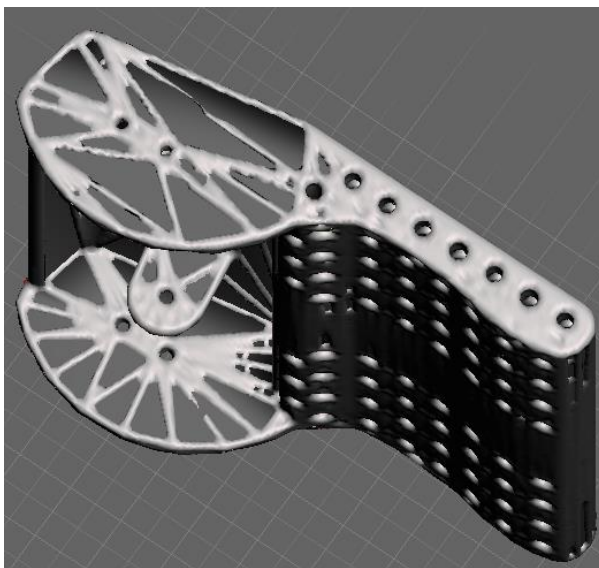
KUVA 68. Solidi verkkomalli Meshmixerissä

Erilaisia pintamalleja kokeilemalla voi saada aikaan verkkomaista rakennetta (kuva 69), vaikka pintamallin nimi ei olisikaan verkkoon liittyvä. Suurin osa pintamalleista noudattaa kappaleen polygonien suuntaa ja määrää, joten verkkomalli onnistuu muillakin pintamalleilla. Kaikista orgaanisimmat mallit eivät välttämättä kestä käyttöä, sillä alkuperäinen kappale häviää pintamallin alta.



KUVA 69. Verkkomainen rakenne polygonien mukaan

Pintamallia voi tehdä myös jo valmiiksi rei'itettyyn malliin, jolloin tulos voi muistuttaa orgaanista verkkorakennetta. Kuvan 70 kappale on käyttöön tarkoitettu malli, mutta sen kiinnitysreikiä täytyy työstää isommiksi tulostamisen jälkeen.



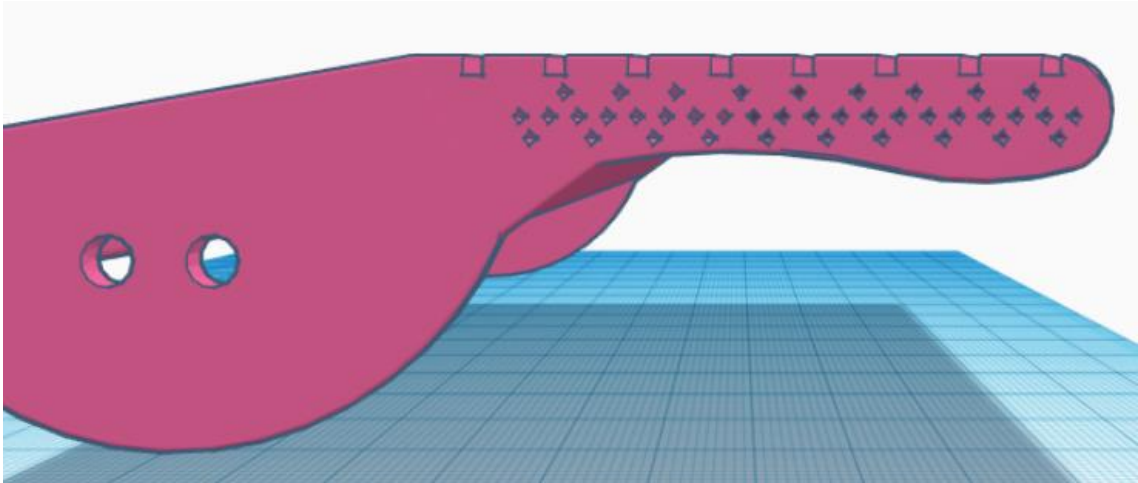
KUVA 70. Pintamalli rei'itettyssä kappaleessa

4.3.2 Tinkercad

Selaimessa toimiva Tinkercad on yksinkertainen ja helppo työkalu kappaleiden tekemiseen ja muokkaamiseen (kuva 71). Yleinen tapa työkalun käyttöön on tehdä yksi muoto tai reikä, ja kopioida kyseinen muoto useita kertoja, kukin yhtä kauas edellisestä muodosta (kuva 72). Kuvan 72 timanttireikä-kuvio on tehty yhdestä vinoneliö-kappaleesta, joka on kopioitu useita kertoja peräkkäin. Kappaleiden muokkaaminen muistuttaa enemmän Inventoria, kuin Meshmixeriä. Työkalut ovat samankaltaisia, mutta rajoitteet tulevat vastaan työkalujen käytön monipuolisuudessa. Mitoittaminen on hankalaa, ja suosittelenkin Tinkercadia lähinnä viimehetken muokkauksiin.

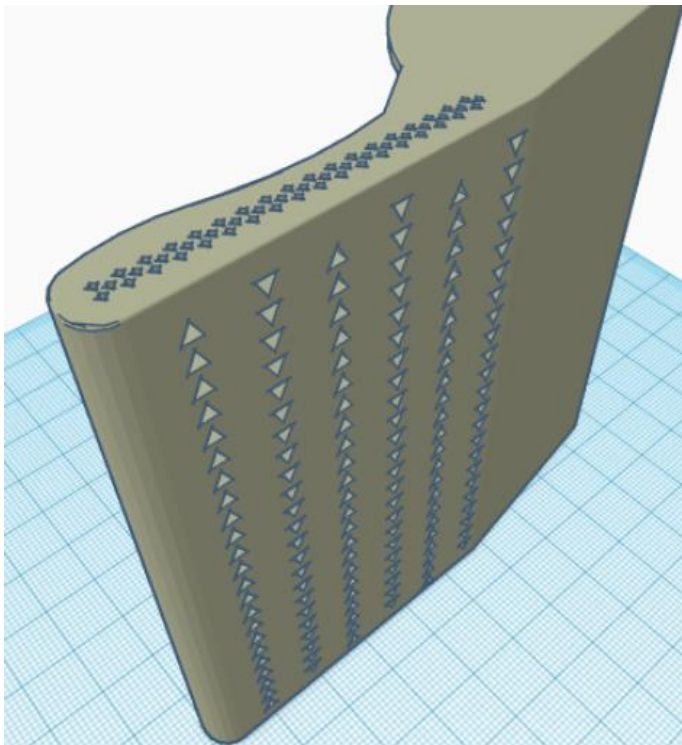


KUVA 71. Toistuvaa raitaa lävistimen kannessa



KUVA 72. Timanttikuviota lävistimen kyljessä

Manuaalinen verkottaminen tai muotojen tekeminen on vaivatonta rajoituksistaan huolimatta. Se vie kuitenkin aikaa, jos sillä haluaa täyttää koko kappaleen. Kuvan 73 mukaiseen kappaleen muokkaamiseen Tinkercad soveltuu hyvin ja Inventoria nopeammin.

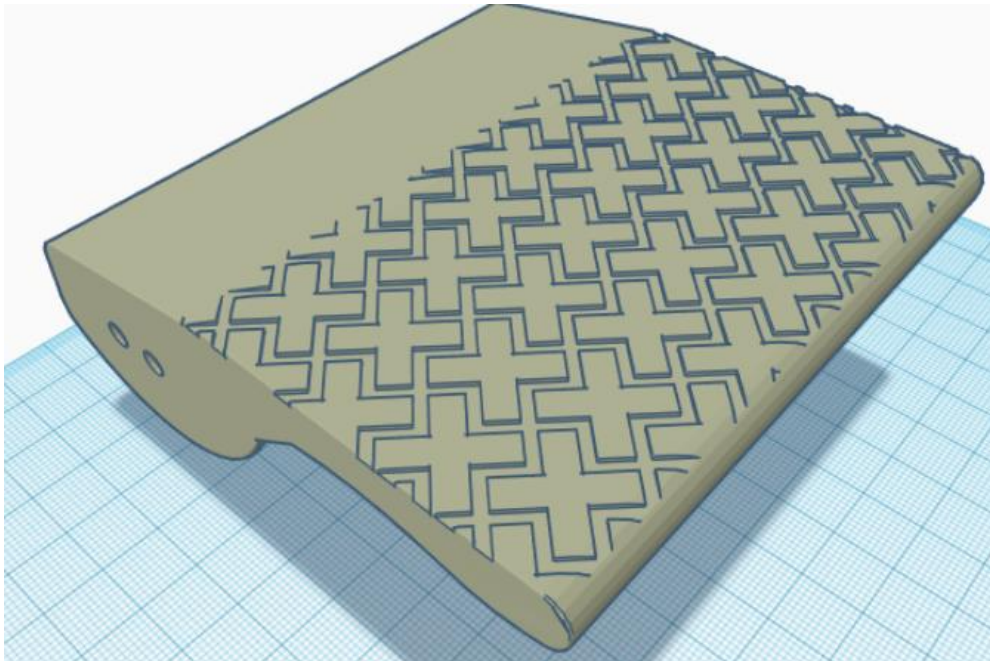


KUVA 73. Yhdestä kolmiosta saatavaa mallia kopio-työkalulla

Tinkercadin julkisesta kirjastosta voi ladata kappaleita. Kuvan 74 verkkoaita-muoto on asetettu muodostamaan samankaltainen kuvio kuvan 75 lävistimeen. Julkinen kirjasto on varsin kätevä työkalu ja inspiraation lähde.

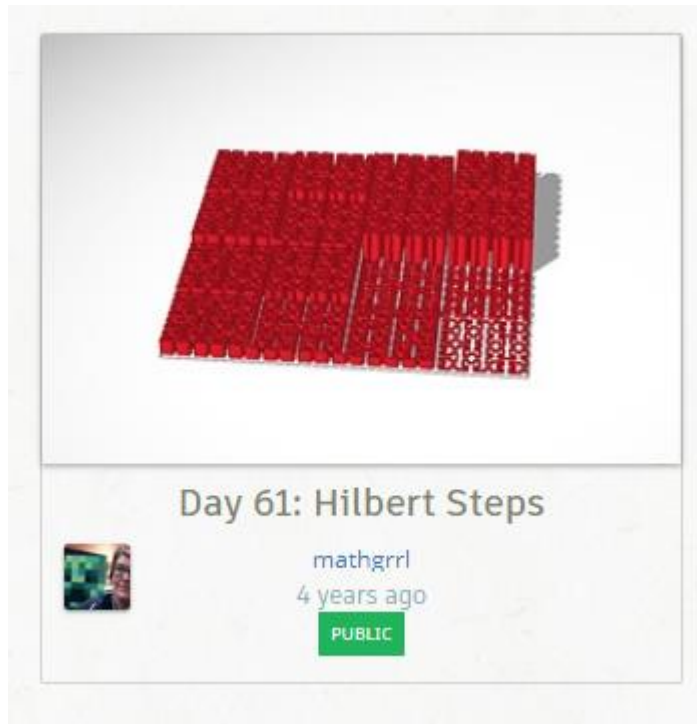


KUVA 74. Julkinen kappale verkkoaidasta

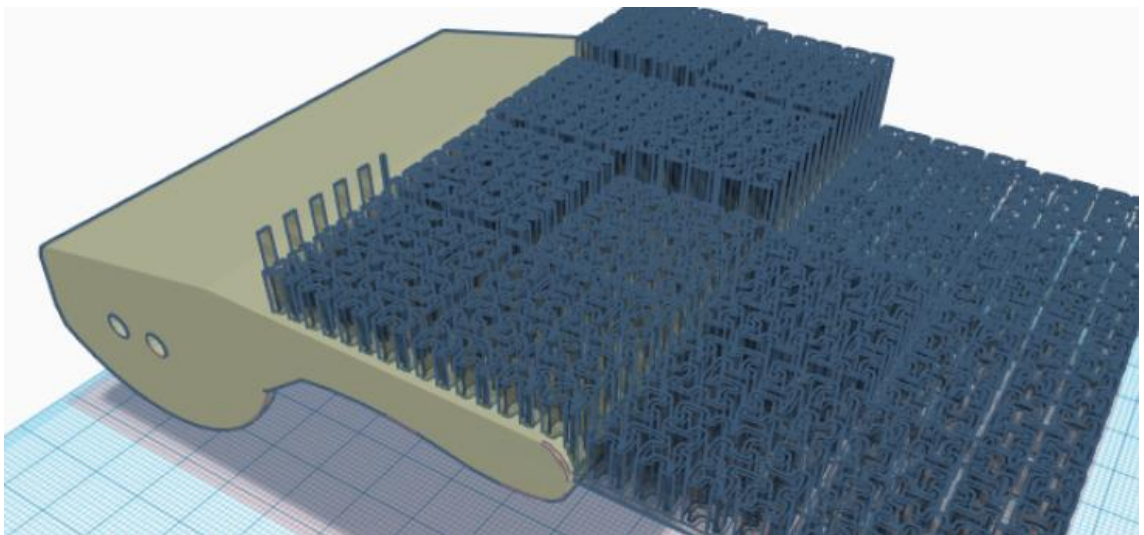


KUVA 75. Verkkoaidan muodostama kuvio

Kuvan 76 kappale on käännetty ja asetettu muodostamaan rakenteensa mukaista reikää kuvan 77 lävistimeen. Kappaleen rakennetta voi pienentää tai laajentaa, mutta kuviointi menee pienentämisestä pilalle. Ylimenevä reikäkuviointi ei aiheuta lävistimessä haittoja.

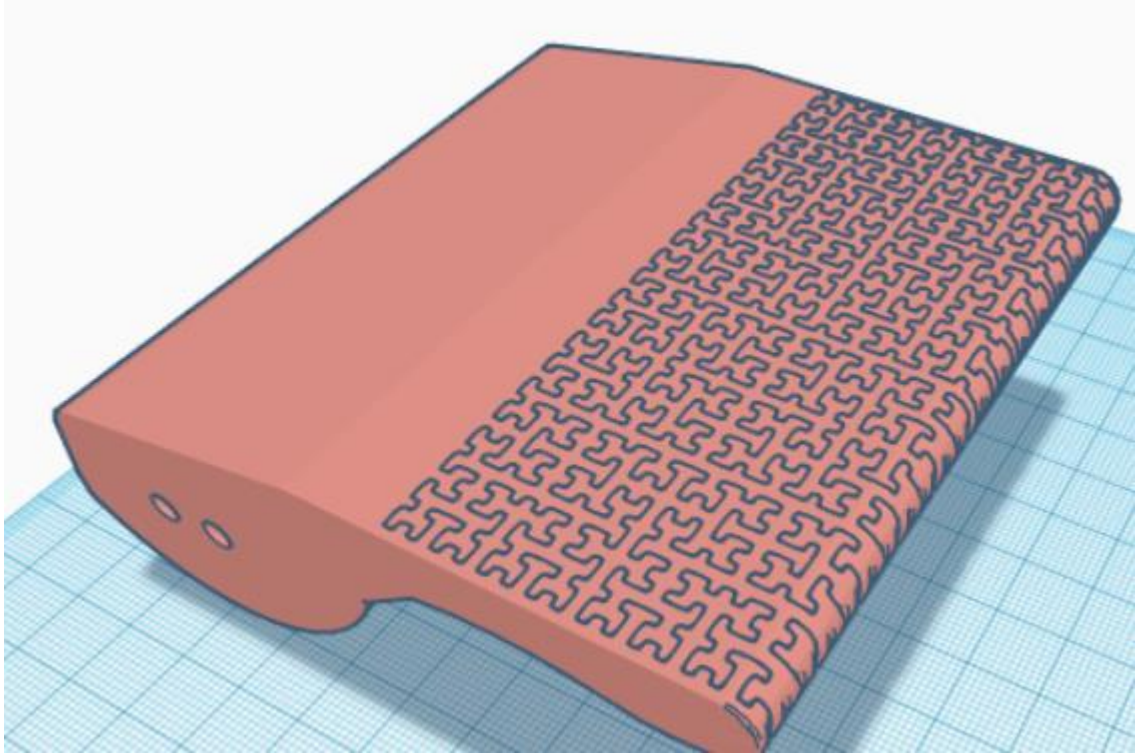


KUVA 76. Hilbertin-asteleet kappale



KUVA 77. Hilbertin-asteleet muodostamassa reikäkuviota

Kuvan 78 reikämuodon tekemisessä säästyi paljon aikaa, kun hyödynnettiin toista valmistusta kappaletta. Tällä menetelmällä rajoitetaan tekemään ainoastaan käytettävissä olevia muotoja, mutta ajansäästö tuottaa mittavaa hyötyä.



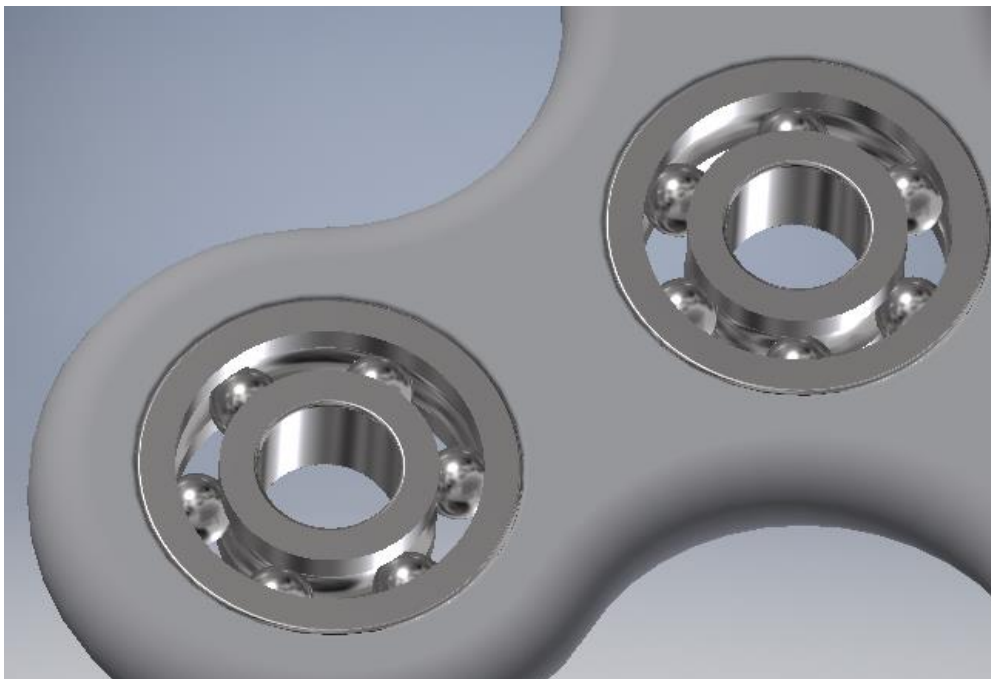
KUVA 78. Lävistimen muoto on muodostettu ladatulla mallilla

4.4 Mallinnettava kappale 3

Fidger spinner on laakerin avulla pyörivä hyrrä. Hyrrän mallintaminen aloitetaan pyörivästä osasta eli rungosta. Rungon voi mallintaa haluamallaan tavalla, kuitenkin käytettävien laakereiden täytyy sopia niille tarkoitettuihin reikiin. Kuvien 79 ja 80 reiät ovat 22 millimetriä halkaisijoiltaan. Inventorin design-valikosta työkalua ”bearing” hyödyntämällä tehtyihin reikiin valitaan laakerit. Bearing-työkalu hakee standardien mukaiset laakerit kyseiselle reiälle rakenteen valitun paksuuden mukaan.

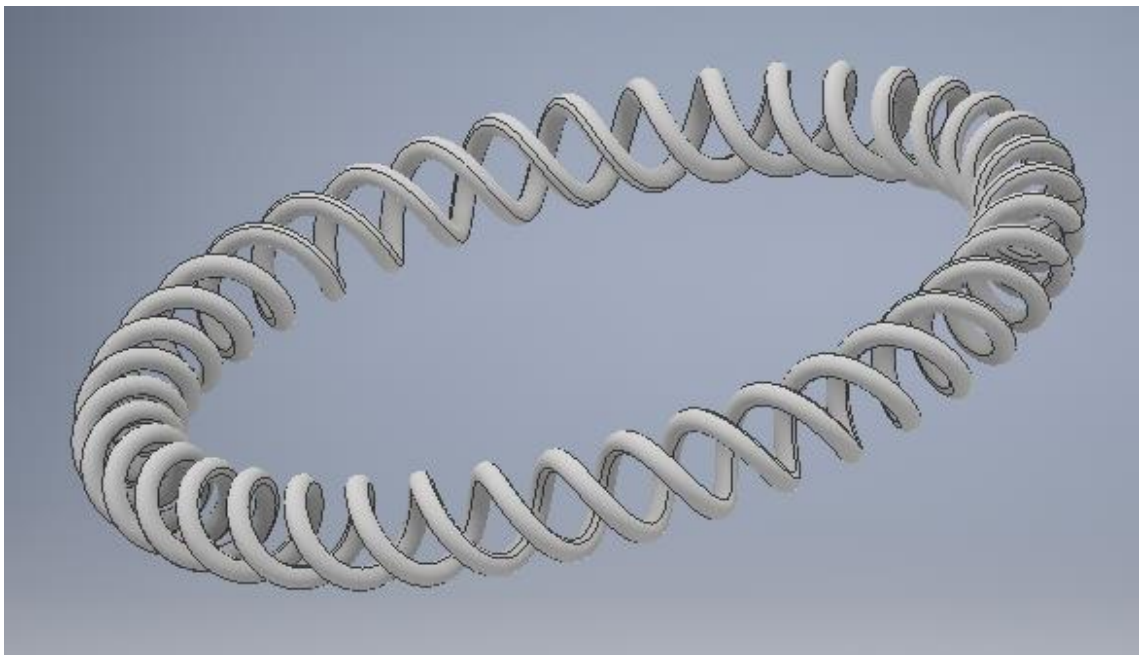


KUVA 79. Fidget spinneristä ei selviä perustyökaluilla



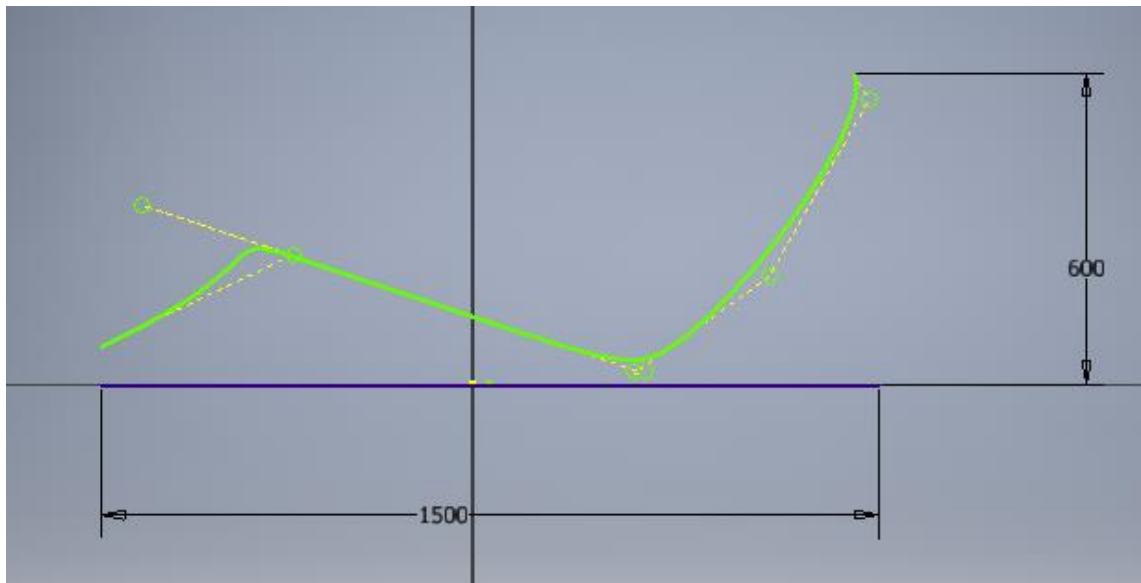
KUVA 80. Fidget spinnerien laakeritietoja voi etsiä internetistä

Kelttiläisessä solmussa (kuva 81) mallinnetaan kaksi spiraalia-muotoa samalla keskipisteellä. Piirtämällä ympyrän mallinnuspohjan keskipisteelle säästetään aikaa, sillä keskipistettä voi käyttää hyödyksi pyöreissä malleissa. Ympyrään mallinnetaan piste, ja project geometry -työkalulla varmistetaan mahdollisuus piirtää suora linja 180-asteen kulmassa ympyrän linjasta. Suora linja muodostaa myöhemmin spiraalin muodon. Spiraalin muoto tehdään linjan etäisyyden pituiseksi, spiraali menee piirretyn ympyrän linjan ympäri useita kertoja valitusta kulmasta riippuen. Työkaluna käytetään sweep-työkalua. Spiraali kopioidaan ja laitetaan menemään eri kulmassa ympyrän linjan ympäri, näin saadaan kaksi spiraalia rakenteeksi.

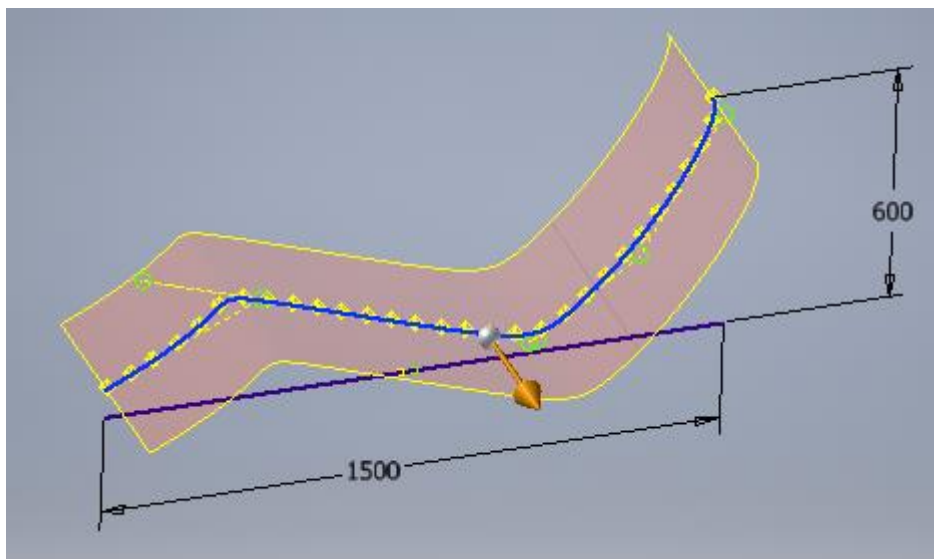


KUVA 81. Kelttiläisten solmujen inspiroima malli

Tuolin (kuva 82) muotoilussa käytetään Inventorin xy plane -tasoa. Tuoli muotoillaan spline-työkalulla sivusuunnasta alemman apuviivan kanssa. Kaarevan viivan päähän voidaan laittaa piste ja rectangular pattern -työkalulla kopioida piste tasaisilla väleillä koko kaariviivan mitalle. Woodwork-lisäosalla pisteiden kohtaan voisi tehdä erilaisia puisia lautoja. Woodwork-lisäosaa ei ollut saatavilla opinnäytetyötä tehdessä. Tuolin leveys määritellään käyttämällä extrude-työkalua kaarevan viivaan (kuva 83). Rakenne muunnetaan soveltuvaksi free form -työkalulle käyttämällä convert to freeform -työkalua. Rakennetta muokataan free form -työkalulla, jolloin esimerkiksi selkänojaa voi muokata helposti hiiren vedoilla (kuva 84).

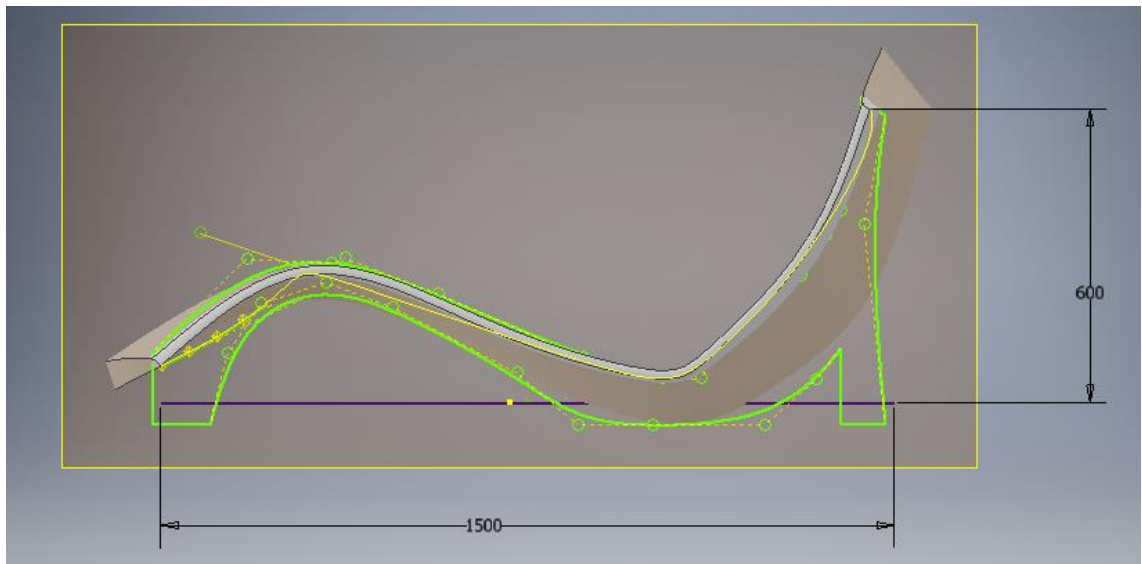


KUVA 82. Tuolin voi tehdä spline-työkalulla



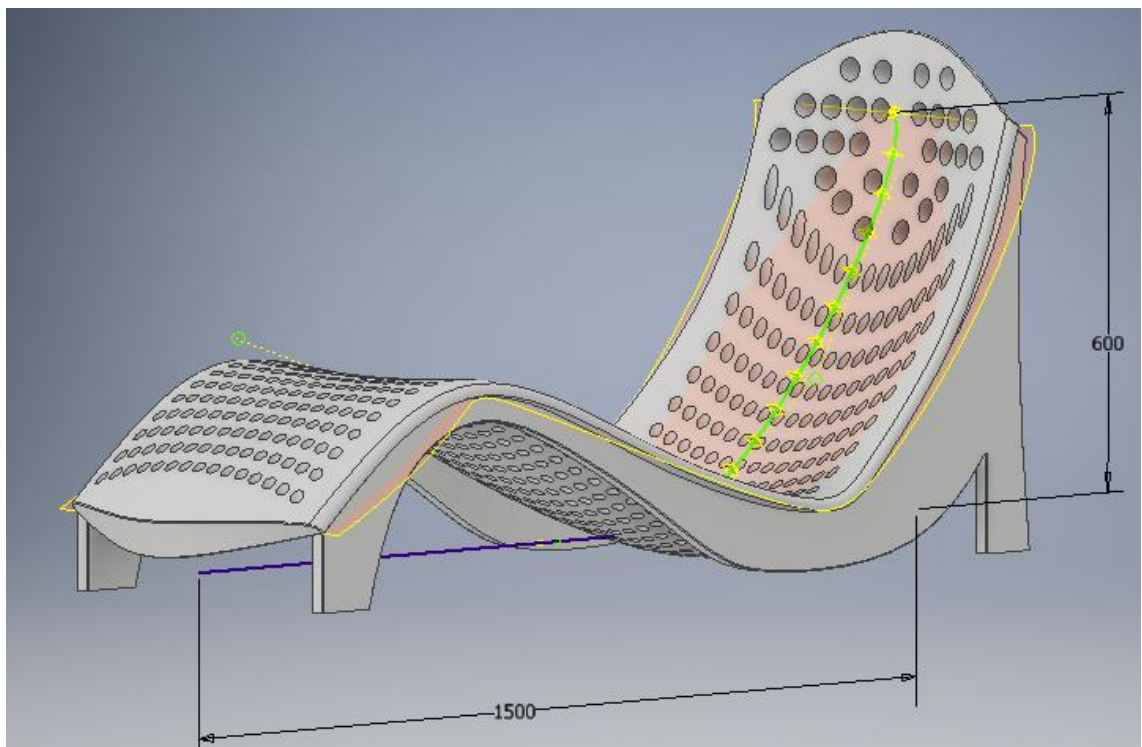
KUVA 83. Tuolille määritellään leveys, leveyttä voi muokata free form -työkalulla jälkeenpäin

Tuolin reunaan mallinnetaan sivuprofiili jalkatuesta (kuva 84). Sivuprofiili kannattaa mallintaa tuolin materiaalin sisään, jolloin sitä pursottaessa rakenteet yhdistyvät yhteiseksi rakenteeksi ilman rakoja. Pursotettu rakenne voidaan peilata tuolin toiselle puolelle symmetrisen kappaleen varmistamiseksi (kuva 85).

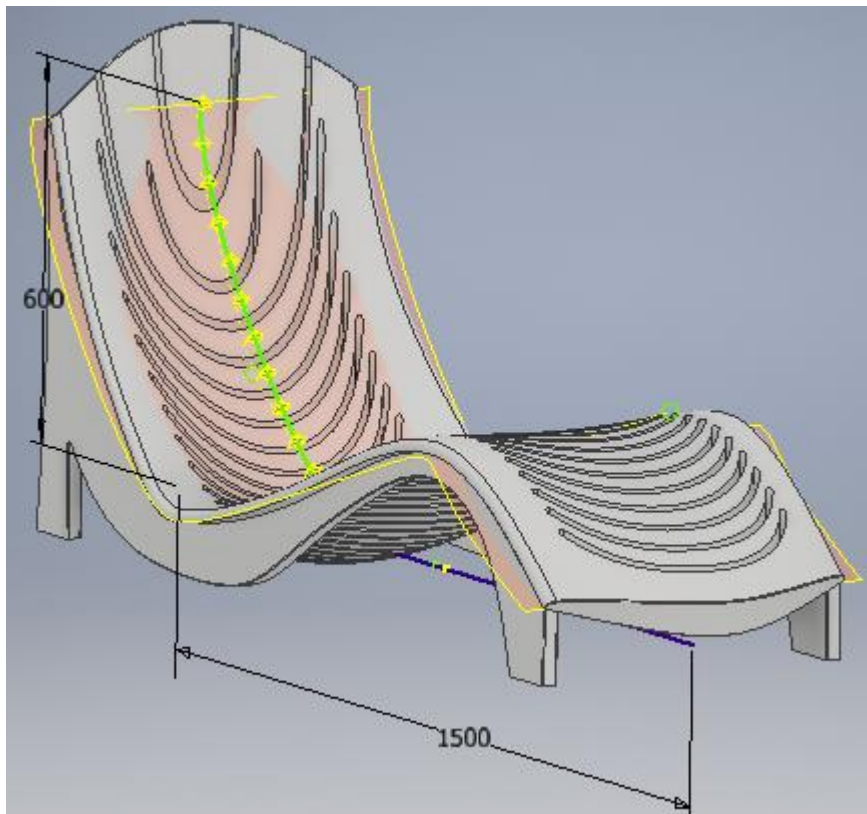


KUVA 84. Jalkatuki muotoillaan vain toiselle puolelle

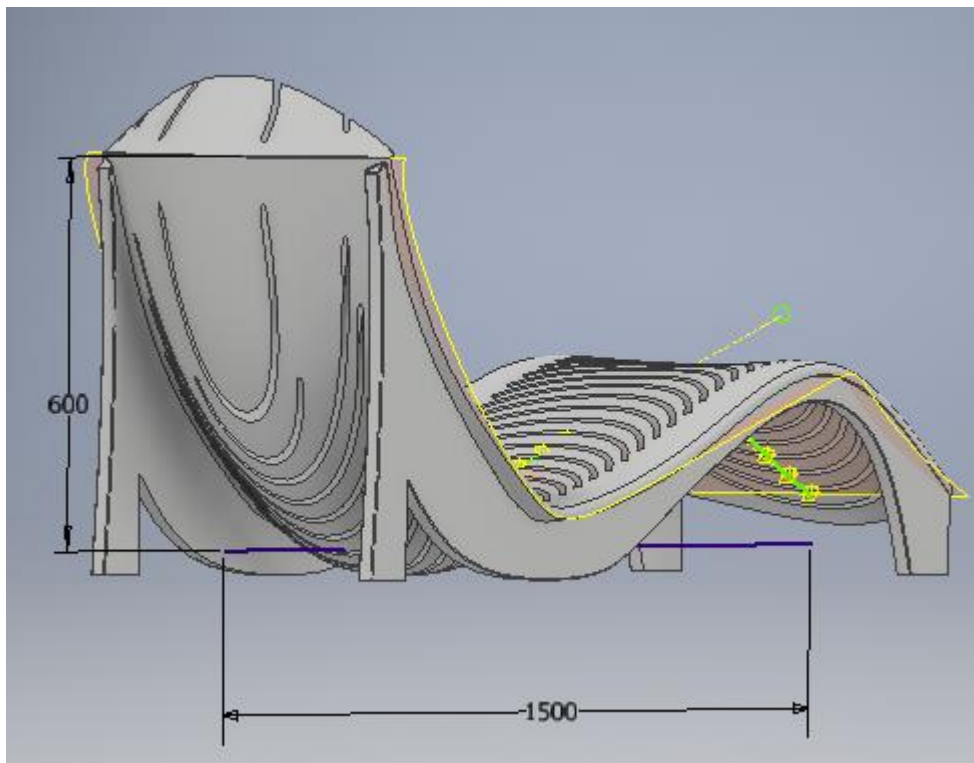
Tuolin kuviointi tehdään sketseillä, sketseihin mallinnetaan 2D-muoto ja usein se pursetaan 3D-muodoksi jälkeinpäin. Sketsit sisältävät kuvan 85 ympyräreiät ja reiät projektoidaan tuoliin kohtisuoraan tuolin edestä ja yläpuolelta. Kuvien 86 ja 87 tuolissa käytetään kaarevaa-aukkoa ympyräreikien sijaan.



KUVA 85. Ympyräreiät tuolin kuvioina



KUVA 86. Kaarevat aukot tuolin kuvioina

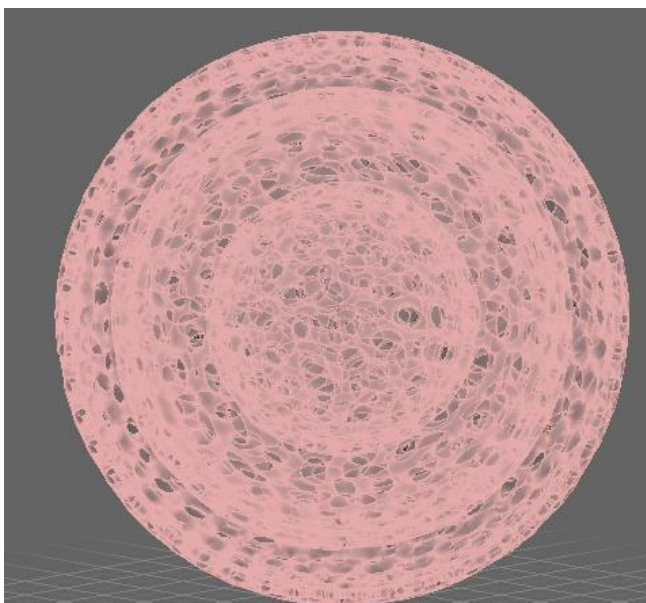


KUVA 87. Aukot eivät saa rikkoa selkänöjan rakennetta

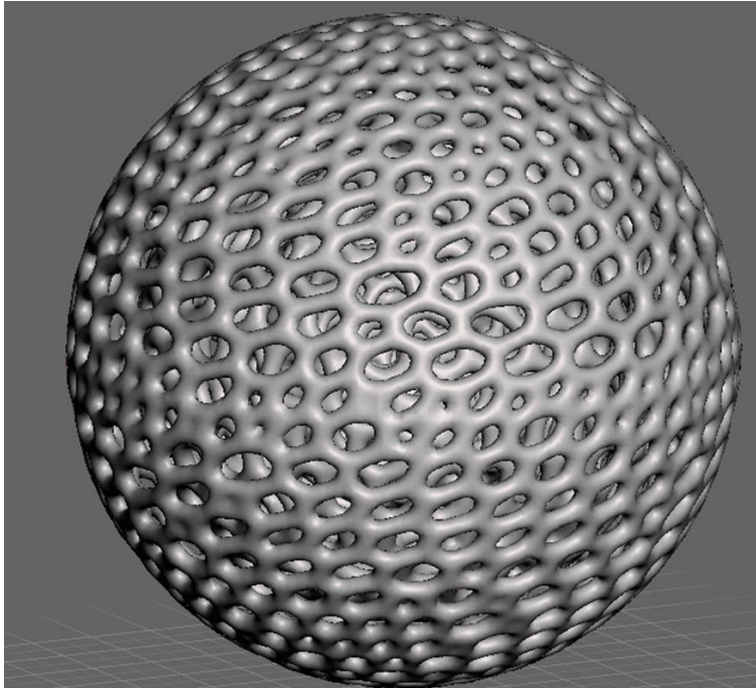
Inventorissa on paljon muitakin mallinnustyökaluja. Woodwork-lisäosalla voi mallintaa realistisen näköisiä huonekaluja, tai vaikka kokonaisen keittiön. Inventoriin voi importata kuvan, jonka päälle voi mallintaa kuvioita. Kuvan muotoa voi mukaila helposti päälle piirtämällä. Freeform- ja perustyökaluja yhdistämällä voi mallintaa esimerkiksi auton rungon. Plastic design -työkalulla voi muodostaa ritilöitä ja tuulettimia. Sculpt-työkalulla voi lisätä mallinnukseen halutun muotoisen geometrian, esimerkiksi kahvat pyöreään vaasiin. Roller chains -työkalulla voi mallintaa ketjua. Design accelerator -työkalulla voi mallintaa tarvittavat komponentit vaadittavien parametrien perusteella.

4.4.1 MeshMixer

MeshMixer sisältää hyvin rajatun valikoiman mallintamistyökaluja ja valmiita muotoja. Kuvan 88 rakenne muodostuu kolmesta ontosta pallosta, joiden ulkoreuna on orgaanisen näköistä verkkomateriaalia. Pallot muodostetaan meshmix-valikosta löytyvällä pallomuodolla. Pallomuoto tehdään ontoksi pintamallinnuksella, edit-valikosta löytyvällä make pattern -työkalulla. Pintamallinnuksen jälkeen alkuperäistä palloa voidaan pienentää ja siihen muodostaa sama malli isomman pallon sisällä. Palloja voi tehdä haluamansa määrän, eikä palloja saa pois rikkomatta rakennetta. Kuvan 89 rakenne on hankala tai mahdoton valmistaa tavanomaisilla koneistusmenetelmillä, mutta ominaista 3D-tulostamiseen.



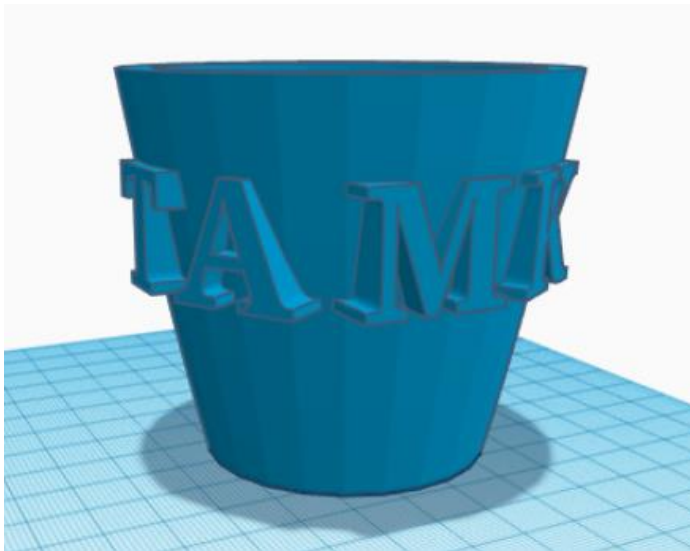
KUVA 88. Tarkastelussa pallojen pintakuviot



KUVA 89. Pallojen pintakuviot solid-työkalun jälkeen

4.4.2 Tinkercad

Tinkercad mahdollistaa kaikenlaisten geometrinen rakenteiden yhdistämisen. Geometriset rakenteet ovat silti kankea muodostaa, elleivät perinteiset matematiikan kuviot, kuten suorakulma, ympyrä ja kolmio esimerkiksi ole riittäviä. Kuvien 90 ja 91 kahvikuppi on muodostettu leikkaamalla paraboloidista osa irti ja suurentamalla jäljelle jäänyt muoto muistuttamaan kahvikuppia. Kuvioiden lisäksi tekstin liittäminen kappaleeseen on mahdollista. Kupin kahva on muodostettu toruksesta. Kahvikupin rakenne on kopioitu, pienennetty ja muodostettu rakenteeseen aukko nestettä varten. Reiän tekeminen kupin keskelle poistaa myös kirjaimien ja toruksen geometrian kupin sisältä, jolloin sisäpinta on tasainen.



KUVA 90. Nailonista tulostettava kuppi olisi varmasti vesitiivis



KUVA 91. Torus-muoto vaatii tukimateriaalia tulostuksessa

5 POHDINTA JA KEHITETTÄVÄÄ

Mallinnuksen haasteet johtuivat suunnittelun ristiriitaisuudesta. Tukimateriaalien välttäminen on hankalaa, kun tarkoituksena on tehdä mahdollisimman monipuolisia muotoja rakenteisiin. Kappaleesta läpimeneviin reikäkuvioihin ei välttämättä tarvitse tukimateriaalia, mutta kyseiset muodot eivät tue kappaletta. Rakenteiden pintojen mallit eivät itsessään palvele mekaanista tai toiminnallista tarkoitusta, ne tuovat ainoastaan visuaalisen ilmeen. Visuaalista ilmettä on uhrattava liiallisten rakenteellisten heikkouksien välttämiseksi, kappaleiden täytyy säilyttää toiminnallisuus todellisissa olosuhteissa.

Kappaleita suunniteltaessa ei vielä tiedetty mahdollista tulostusmenetelmää. Tulostusmenetelmä ja materiaalit tarjoavat paljon vapauksia tukimateriaalin suhteen. Mallinnettavat kappaleet olisi kuitenkin mahdollista tulostaa useammalla menetelmällä ainakin teoriassa. Tulostamisvaiheeseen ei päästy, sillä kappaleiden vertailu vaatisi useamman kappaleen tulostamisen mieluiten eri menetelmillä. Eri menetelmillä tulostettaessa sama kappale, voitaisiin vertailla kappaleen mallintamisen onnistumista. Lisäksi voitaisiin todentaa 3D-tulostusmenetelmien vahvuudet ja heikkoudet. Tulosteiden perusteella tehtäisiin tarvittavat korjaukset ja uudet tulosteet todentamaan tulostetun kappaleen kehittyminen parempaan suuntaan. Vertailuun lisättäisiin vielä kahden muun opinnäytetyön tulosteet ja työhön lisättäisiin kattavat vertailut mallinnettavana olevien kappaleiden väliltä. Tähän kaikkeen ei valitettavasti riittänyt aika. Yhden tulostuksen tekeminen ei olisi riittänyt tai vaikuttanut riittävästi.

Inventor on suunniteltu kappaleiden mallintamiseen hahmotelmien ja mitta-arvojen avulla. Inventor sisältää monipuoliset työkalut mekaaniseen suunnitteluun ja mallintamiseen. Nämä ovat arvostettuja ominaisuuksia 3D-tulostamisessa. 3D-tulostuksiin halutaan kuitenkin joskus muita kappaleita. Kappaleet voivat olla ihmismäisiä patsaita tai eläimiä, joita on kankea tehdä Inventorilla. Inventorin freefrom-työkalu ei välttämättä ole paras käytettävissä oleva työkalu näihin kappaleisiin.

Saman rakenteen käyttäminen useassa tiedostossa on yleistä. Inventorilla on mahdollista tehdä itse mallinnetusta rakenteesta osa, jolloin yhtä rakennetta muutettaessa kaikki tiedostot saavat päivitysmahdollisuuden. Näin jokaista tiedostoa ei tarvitse muokata manu-

aalisesti. Kyseiselle ominaisuudelle ei välttämättä löydy käytännön hyötyä 3D-tulostamisessa. Kappale tulisi testata testitulostamisella, ennen kuin sen rakennetta hyödynnetään muissa kappaleissa. Työkalu on parempi teollisuuden tuotannossa, kuten useammat Inventorin työkalut.

Kaikkea ei välttämättä tarvitse mallintaa itse, sillä Inventor sisältää standardoitujen osien kirjaston. Kirjastosta voi hakea soveltuvia osia mallinnukseen. Kirjasto on kuitenkin liian hankalakäyttöinen kilpailijoiden tarjoamiin ratkaisuihin. Osat eivät myöskään välttämättä ole samaa materiaalia rakenteen rungon kanssa, jolloin osa tulostamiskeinoista ei sovellu kappaleen 3D-tulostamiseen. Hankalana voidaan pitää myös Inventorin hahmotelmien muokkaamista. Hahmotelmat avautuvat 2D-kuvaksi, jota muokataan, kappaleen paksuus on kuitenkin eri työkalussa. 3D-mallinnuksien muokkaaminen ei aina onnistu yhdestä paikasta. Inventorilta on myös pitkään puuttunut hinnoittelutyökalu materiaalikuluille.

Inventor onkin parhaillaan teollisuuden mallinnusohjelmana, jota käytetään kappaleiden ja kokoonpanojen suunnittelutyökaluna. Inventor on yleensä kilpailijoitaan edullisempi ja varsin kattava työkaluiltaan, johon on mahdollista integroida tarvittavat lisäosat. Perustyökaluiltaan Inventor voi kuitenkin olla turhan kankea 3D-tulostamiseen. Tämä aiheuttaa ylimääräistä ajankulua ja vaivannäköä kappaleista riippuen.

Meshmixeriä käytetään yleensä vähentämään polygonien määrää ja muodostamaan pintamalli. Polygonien määrän vähentäminen nopeuttaa 3D-tulostamisprosessia ja pintamalli voi olla hidasta tehdä muilla työkaluilla. Varsinainen kappaleen mallintaminen on todella hankalaa, jos kappaleen rakenne on yhtään monimutkainen. Meshmixerillä onnistuu lähinnä ympyrä- ja neliömuodot. Suosittelen Meshmixeriä polygonien määrän hallitsemiseen ja näyttäviin pintamalleihin.

Tinkercadia käytetään yksinkertaisten muotojen tekemiseen, joiden mittatiedoilla ei ole suurta merkitystä. Tinkercad soveltuu parhaiten muotoon, jota kopioidaan useita kertoja yhtenäiseksi rakenteeksi. Rakenteiden tekemiseen käytetään valmiita geometrioita, joten mitään ei varsinaisesti piirretä itse. Geometrioiden kokoja ja käyttötarkoitusta muokkamalla tehdään suurin osa mallinnuksesta. Tinkercadin julkinen kirjasto mahdollistaa 3D-tulostamisen myös täysin valmiina olevista kappaleista.

Jatkokehitystä ajatellen AutoDeskin Fusion 360 -mallinnusohjelman lisääminen opinnäytetyöhön Meshmixerin ja Tinkercadin lisäksi olisi tarpeellista. Fusion 360 on MeshMixerin lisäksi hyvä ohjelma 3D-tulostettaviin kappaleisiin, sillä Fusion 360 sisältää orgaaniseen mallinnukseen soveltuvia työkaluja.

Kattavien tulostuksien ja mallinuksien kehitystoimenpiteiden lisääminen opinnäytetyöhön kertoisi konkreettisista tuloksista. Eräänlaisten prototyypitulostuksien tekeminen vie aikaa ja näihin kuluu kuitenkin paljon tulostusmateriaalia. Useamman tulostamisen tekeminen ilman tuotantotarkoitusta tai käyttötarkoitusta 3D-tulostetuille kappaleille merkitsee kohtalaisia rahallisia tappioita.

LÄHTEET

- 3Ders.org. 2015. The Diamond single nozzle hot end for perfect multi-color 3D printing launches on Kickstarter. Luettu 4.2.2018. <http://www.3ders.org/articles/20150402-the-diamond-single-nozzle-hotend-for-perfect-multi-color-3d-printing-launches-on-kickstarter.html>
- 3dhubs.com. 2018. Ultimaker 2. Luettu 3.4.2018. <https://www.3dhubs.com/3d-printers/ultimaker-2>
- 3Dinsider.com. 2018. The 9 different types of 3D printer´s. Luettu 3.2. <http://3dinsider.com/3d-printer-types/>
- 3dnatives.com. 2018. 3D printer: Objet350 Connex3. Luettu 3.4.2018. <https://www.3dnatives.com/en/3D-compare/imprimante/objet350-connex3>
- 3Dprinting.com. 2017. What is 3D printing? Luettu 3.2.2018. <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- 3dprintingindustry.com. 2017. The Free Beginner´s Guide. Luettu 3.2.2018. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#04-processes>
- 3dscanco.com. 2018. 3D Scanning Technical Information. Luettu 3.4.2018. <https://www.3dscanco.com/3d-scanning-technical-information/>
- amfinland.fi. 2018. Tuotteet. Luettu 4.2.2018. <http://amfinland.fi/>
- all3dp.com. Locker, A. 2017. 9 basic types of 3D printer´s – printing technology guide. Luettu 3.2.2018. <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- biomimicry.org. 2018. What is biomimicry? Luettu 4.4.2018. <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>
- Bothmann, O. 2014. 3D-printer´s a beginner´s guide. 1. painos. England: Special Interest Model Books Ltd.
- Budmen, I. & Rotolo, A. 2013. The book on 3D printing. 1. painos. Omakustanne: Budmen – Rotolo
- CGTrader. 2014. 3D printing in popular culture: a new character is born. Luettu 3.2.2018. <https://www.cgtrader.com/blog/3d-printing-in-popular-culture-a-new-character-is-born>
- Chua, C. K., Wong, C. H. & Yeong, W. Y. 2017. Standards, quality control, and measurement sciences in 3D printing and additive manufacturing. 1.painos. United States: 50 Hampshire Street, 5th Floor, Cambridge, MA 02139, United States

collective-evolution. 2016. Is software the result of our inadvertent biomimicry? Luettu 4.4.2018. <http://www.collective-evolution.com/2016/05/23/is-software-the-result-of-our-inadvertent-biomimicry/>

Comsol. 2018. The finite element method. Luettu 5.3.2018. <https://www.comsol.com/multiphysics/finite-element-method>

eluova.fi. 2013. Tunnetko Fibonaccin lukujonon? Luettu 4.4.2018. <http://www.collective-evolution.com/2016/05/23/is-software-the-result-of-our-inadvertent-biomimicry/>

Eusebeia. 2010. 4D Visualization. Luettu 3.2.2018. <http://eusebeia.dyndns.org/4d/vis/01-intro>

gigazine.com. 2014. Many too artistic sugar confectionery made with 3D printers. Luettu 3.4.2018. https://gigazine.net/gsc_news/en/20140819-3d-printed-sugar

Hausman, K. & Horne, R. 2014. 3D printing for dummies. 1. painos. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Hietikko, E. 2007. Autodesk inventor. 1. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

industrytap.com. 2017. 3D Printing: Solar Sinter Makes Objects from Glass. Luettu 3.4.2018. <http://www.industrytap.com/3d-printing-solar-sinter-makes-objects-glass/43793>

infinitiespider.com. 2014. Biomimicry and 3D Printing: Emerging Technologies Together. Luettu 4.4.2018. <http://infinitiespider.com/biomimicry-3d-printing/>

inhabitat.com. 2015. Lilian van Daal creates a Biomimicry-inspired, 3D-printed chair. Luettu 4.4.2018. <https://inhabitat.com/lilian-van-daal-creates-a-biomimicry-inspired-3d-printed-chair/>

Linkindustry.com. 2017. SLM@125HL. Luettu 3.4.2018. <http://www.linkindustry.com/index.php/3d-printers-footer/slm-125hl.html>

Lipson, H. & Kurman, M. 2013. Fabricated the new world of 3D printing. 1. painos. Indianapolis: John Wiley & Sons Inc.

meshmixer.com. 2017. Autodesk Meshmixer free software for making awesome stuff. Luettu 20.2.2018. <http://www.meshmixer.com/>

plm.automation.siemens.com. 2018. Product Lifecycle Management (PLM) Software. Luettu 20.2.2018. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/product-lifecycle-management-plm-software/12506>

Popsop.com. 2015. How technology changes the future of food: 5 trends to watch. Luettu 4.2.2018. <http://popsop.com/2015/05/how-technology-changes-the-future-of-food-5-trends-to-watch/>

Prenta.fi. 2015. Prentan suunnittelema ja Suomessa valmistettava kahden suuttimen tulostin! Luettu 3.4.2018. <http://www.prenta.fi/laitteet-palvelut/3d-tulostimet/prenta-duo>

Rdvelho.com. 2017. Topologian optimoinnin hyödyntäminen. Luettu 5.3.2018. <https://rdvelho.com/fi/blogi/topologian-optimoinnin-hy%C3%B6dynt%C3%A4minen>

Scanandmake. 2018. Additive manufacturing. Luettu 3.2.2018. <https://scanandmake.com/additive-manufacturing>

Simscale. 2018. Finite Element Method — What Is It? FEM and FEA Explained. Luettu 5.3.2018. <https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>

tamkjournal.tamk.fi. 2016. 3D-tulostuksesta boostia liiketoimintaan. Luettu 4.4.2018. <http://tamkjournal.tamk.fi/3d-tulostuksesta-boostia-liiketoimintaan-2/>

Techpowerup.com. 2015. 3D printed stuff. Luettu 3.4.2018. <https://www.techpowerup.com/forums/threads/3-d-printed-stuff.208994/>

Technopedia.com. 2018. Autodesk Inventor. Luettu 19.2.2018. <https://www.technopedia.com/definition/24055/autodesk-inventor>

theguardian. 2015. Biomimicry: using nature's designs to transform agriculture. Luettu 4.4.2018. <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/oct/30/biomimicry-institute-sxsw-eco-agriculture-bioinspired>

thingiverse.com. 2018. Tinkercad. Luettu 20.2.2018. <https://www.thingiverse.com/jumpstart/tinkercad>

wasproject.it. 2016. Looking for medal's due to 3D printing. Luettu 18.2.2018. <http://www.wasproject.it/w/en/looking-for-medals-due-to-3d-printing/>