

Jani Löfgren

3D-tulostusmenetelmien käyttö auton osien valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

7.5.2015

Tekijä(t) Otsikko	Jani Löfgren 3D-tulostusmenetelmien käyttö auton osien valmistuksessa
Sivumäärä Aika	22 sivua 7.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Vesa Linja-aho, Lehtori
<p>Tavoitteena tässä insinööriyössä on tarkastella 3D-tulostusmenetelmiä ja niiden mahdollisuuksia valmistaa auton osia pienerissä tai kustomoituina. Työssä keskitytään kertomaan 3D-tulostusmenetelmistä ja materiaaleista, jotka soveltuvat parhaiten auton osien valmistukseen.</p> <p>Työn alussa käydään läpi 3D-tulostustekniikkaa ja eri valmistusmenetelmiä. Tarkasteluun on valittu neljä parhaiten auton osien valmistukseen soveltuvaksi arvioitua tulostusmenetelmää. Tämän jälkeen työssä tarkastellaan muutamia yleisimpiä valmistusmateriaaleja ja niiden soveltuvuutta auton osien valmistukseen sekä vertaillaan 3D-tulostusta perinteisiin valmistusmenetelmiin.</p> <p>Tämän jälkeen tutustutaan 3D-tulostusprosessiin aloittaen luomalla virtuaalinen 3D-malli kappaleesta CAD-mallinnusohjelmalla. Lopuksi malli valmistetaan valitulla 3D-tulostusmenetelmällä.</p> <p>Työn tuloksena saatiin annettua hyvä käsitys 3D-tulostusmenetelmien ja materiaalien soveltuvuudesta auton osien valmistukseen.</p>	
Avainsanat	3D-tulostusmenetelmä, 3D-tulostin, mallintaminen, auton osa

Author(s) Title	Jani Löfgren Use of 3D Printing to Build Car Parts
Number of Pages Date	22 pages 7 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The aim of this thesis was to explore different 3D printing methods and possibilities to manufacture car parts in small batches or custom car parts using 3D printing methods. The aim of this thesis was also to focus on analyzing the 3D printing methods and materials that are the most suitable to manufacture car parts.</p> <p>At the beginning of the thesis there is an overview of 3D printing technology and 3D printing materials. Four 3D printing methods were chosen to be analyzed that are estimated to be the most suitable for manufacturing car parts. After this a few of the most common materials and their suitability for manufacturing car parts were studied, also a comparison between 3D printing and traditional manufacturing methods was carried out.</p> <p>After this section the 3D printing process is explored starting from creating a virtual 3D model using CAD modelling software. Finally the model was printed with the 3D printing method of choice.</p> <p>As a result of this thesis a good understanding of the different 3D printing methods and materials that are suitable for manufacturing car parts was given.</p>	
Keywords	3D printing method, 3D printer, modeling, car parts

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Aiheen valinta	1
1.3	Tavoitteet ja työn toteutus	2
2	3D-tulostus	2
2.1	Valmistusmenetelmät	3
2.1.1	SLS-menetelmä	4
2.1.2	DMLS-menetelmä	5
2.1.3	FDM-menetelmä	6
2.1.4	SLA-menetelmä	7
2.2	Valmistusmateriaalit	8
2.2.1	Yleisesti materiaaleista	8
2.2.2	Muovit	9
2.2.3	Metallit	11
2.2.4	Muut materiaalit	12
3	Vertailua perinteisiin valmistusmenetelmiin	13
4	Osan valmistaminen	14
4.1	3D-mallin suunnittelu	15
4.2	3D-mallin tulostus	18
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Lyhenteet ja käsitteet

ABS	Akrylinitriilibutadieenistyreeni, tekninen muovi, jota voidaan käyttää 3D-tulostusmateriaalina.
CAD	Computer-aided Desing, tietokoneavusteista suunnittelua.
DIW	Direct Ink Writing, 3D-tulostusmenetelmä, jossa keraamista tahnaa purso-tetaan suuttimen kautta tasoiksi.
DLP	Digital Light Processing, 3D-tulostusmenetelmä, jossa kovetetaan hartsia mikropiililaitteella.
DMLS	Direct Metal Laser Sintering, 3D-tulostusmenetelmä, jossa kappaleet ra-kennetaan kerroksittain metallijauheesta laserin avulla.
EBM	Electron Beam Melting, 3D-tulostusmenetelmä, perustuu pitkälti DMLS-menetelmään, laserin sijasta käytetään elektronisädettä tyhjiössä.
FDM	Fused Deposition Modeling, 3D-tulostusmenetelmä, jossa muovia purso-tetaan kerroksittain ohuena nauhana.
LOM	Laminated Object Manufacturing, 3D-tulostusmenetelmä, jossa laminoi-daan kerroksittain materiaalia, johon on laserilla leikattu haluttu muoto.
Monomeeri	Polymeerin perusyksikkö. Reagoimalla toisten molekyylien kanssa mo-nomeeri pystyy muodostamaan joko molekyyliketjun tai polymeerin.
PA	Polyamidi, tekninen muovi, jota voidaan käyttää 3D-tulostusmateriaalina.
PLA	Polylaktidi, uusiutuvista raaka-aineista valmistettu termoplastinen polyes-teri, jota voidaan käyttää 3D-tulostusmateriaalina.
Sintraus	Prosessi, jossa jauhepartikkelit kylmähitsautuvat toisiinsa diffuusion vai-kutuksesta.

SLA	Stereolitografia, 3D-tulostusmenetelmä, jossa altaassa olevaa epoksihiyytelöä kovetetaan laserin avulla.
SLM	Selective Laser Melting, 3D-tulostusmenetelmä, jossa kappaleet rakennetaan kerroksittain metallijauheesta laserin avulla.
SLS	Selective Laser Sintering, 3D-tulostusmenetelmä, jossa kappaleet rakennetaan kerroksittain jauheesta laserin avulla.
TPU	Termoplastinen polyuretaani, kumimainen, joustava ja kestävä 3D-tulostusmateriaali.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

3D-tulostus on jo yli 30 vuotta vanha teknologia, joka on kuitenkin vasta viime vuosina tullut suurempaan tietoisuuteen. Sen on uskottu lähitulevaisuudessa mullistavan valmistusteollisuuden. Mahdollisuus luoda räätälöityjä tuotteita ja erikokoisia valmistuseriä helposti on herättänyt paljon mielenkiintoa. 3D-tulostusta on kuitenkin käytetty teollisuudessa prototyyppien valmistukseen jo kauan. Silti vasta viime vuosina laitteet ja materiaalit ovat kehittyneet sellaiselle tasolle, että tulostettuja esineitä voidaan käyttää jopa sellaisenaan. [1.]

3D-tulostimien kehitys otti suuren edistysaskeleen SLS (Selective Laser Sintering) -menetelmää koskevien patenttien rautessa keväällä 2014. Kyseistä tulostustekniikkaa käytetään ammattitason laitteissa, ja se mahdollistaa erittäin korkealaatuisen tulostusjäljen. Patenttien raukeaminen mahdollistaa tekniikan kehityksen ja kilpailun, joka tulee todennäköisesti johtamaan laadun parantumiseen ja hinnan halpenemiseen. Kotikäyttöön tarkoitettujen FDM (Fused Deposition Modeling) -menetelmää käyttävien laitteiden kohdalla hinnat ovat jo laskeneet. Kotikäyttöön tarkoitettuja laitteita saa halvimmillaan noin 280 eurolla. [2.]

Tulevaisuudessa tullaan varmasti näkemään tarkempia ja halvempia 3D-tulostimia niin ammatti- kuin kotikäyttöön.

1.2 Aiheen valinta

3D-tulostus on tekniikkana kiinnostanut itseäni jo pidemmän aikaa – etenkin sen tarjoama mahdollisuus valmistaa kätevästi itse mallintamiani osia. Museoikäisen harrasteauton omistajalle kyseinen mahdollisuus valmistaa osia on tärkeää, kun uusia osia ei ole juuri saatavilla.

Varsinkin muoviset osat vanhoissa autoissa ovat hauraita ja helposti hajoavia. Olen saanut itsekin korjata useampaan kertaan hajonneita muoviosia. Nyt vastaan tuli kuitenkin tilanne, jossa tarvittavaa osaa ei ollut edes olemassa. Tämän johdosta päätin

tutustua 3D-tulostukseen ja kuinka sitä voitaisiin hyödyntää auton osien valmistuksessa. Myös hajonneita osia olisi helppo mallintaa ja tulostaa ehjä osa tilalle.

1.3 Tavoitteet ja työn toteutus

Tavoitteena tässä insinööriyössä on tarkastella 3D-tulostusmenetelmiä ja niiden mahdollisuuksia valmistaa auton osia pienerissä tai kustomoituina. Työssä keskitytään kertomaan 3D-tulostus-menetelmistä ja materiaaleista, jotka soveltuvat parhaiten auton osien valmistukseen.

Työn alussa käydään läpi 3D-tulostustekniikkaa ja eri valmistusmenetelmiä. Tarkasteluun valittiin neljä parhaiten auton osien valmistukseen soveltuvaksi arvioitua menetelmää. Tämän jälkeen työssä tarkastellaan muutamia yleisimpiä valmistusmateriaaleja ja niiden soveltuvuutta auton osien valmistukseen sekä vertaillaan 3D-tulostusta perinteisiin valmistusmenetelmiin.

Tämän jälkeen tutustutaan 3D-tulostusprosessiin aloittaen luomalla virtuaalinen 3D-malli kappaleesta CAD-mallinnusohjelmalla. Malli valmistetaan tämän jälkeen valitulla 3D-tulostusmenetelmällä.

Lopuksi tarkastellaan saatuja tuloksia ja tavoitteiden onnistumista.

2 3D-tulostus

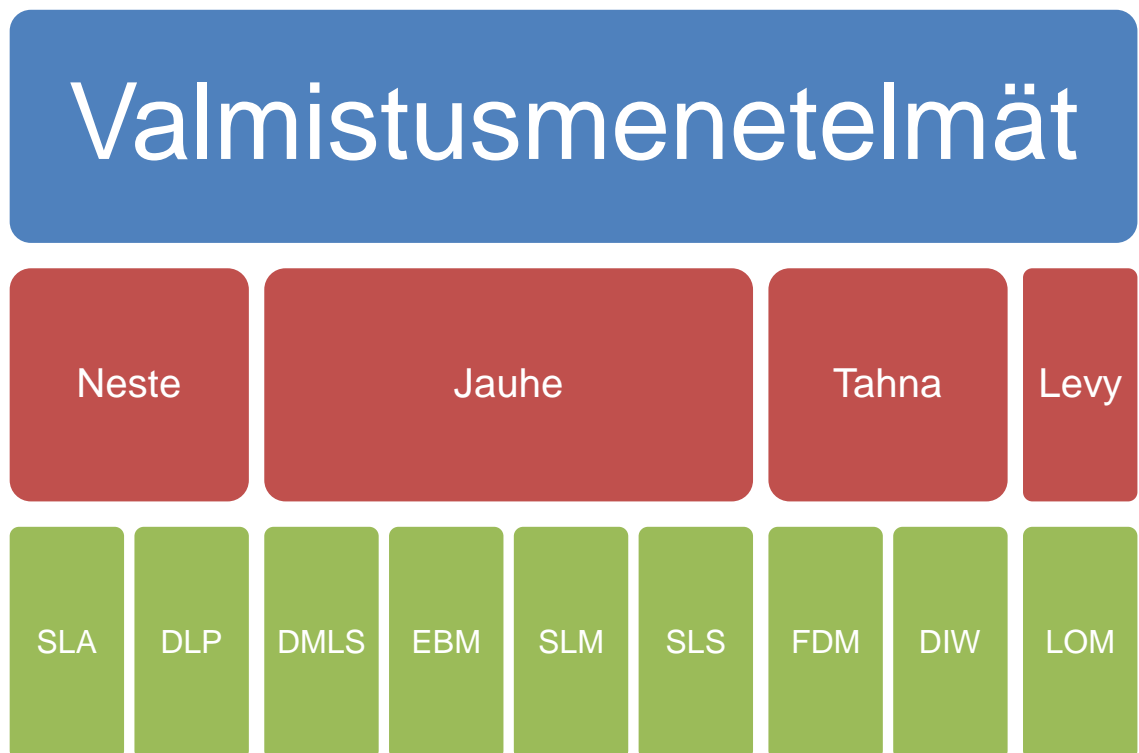
3D-tulostus on teknologia, joka mahdollistaa oikeiden kappaleiden valmistuksen virtuaalisesta 3D-mallista. Tämä tehdään viipaloimalla virtuaalinen 3D-malli kaksiulotteisiksi tasoiksi kerros kerrokselta. Nämä tasot tulostetaan päällekkäin määrätyllä tason paksuudella kunnes 3D-malli on valmis. [3.]

3D-tulostuksen alkuna voidaan pitää nykyaikaisen mustesuihkutulostimen tuloa markkinoille vuonna 1976. Vuoteen 1984 mennessä mustesuihkutulostuksen konseptin kehitys mahdollisti musteen sijaan tulostamisen myös muilla materiaaleilla. Vuosikymmenet tämän jälkeen monet teollisuuden alat ovat kehittäneet 3D-tulostusmenetelmiä. [4.]

Nykyisin 3D-tulostuksena tunnettu teknologia on aiemmin tunnettu pikavalmistuksena. Teknologiaa onkin käytetty prototyyppien valmistukseen jo 1980-luvulta saakka. Teknologia mahdollistaa virtuaalisten mallien nopean valmistamisen synnyttäen hyvin vähän hukkamateriaalia sekä sallii useiden eri variaatioiden ja monimutkaisten mallien valmistamisen vaivattomasti. [5.]

2.1 Valmistusmenetelmät

3D-tulostusmenetelmiä on useita, ne voidaan jaotella neljään eri ryhmään lähtöaineen tyypin mukaan kuvan 1 osoittamalla tavalla. Toimintaperiaate on kaikissa menetelmissä lähestulkoon samanlainen. Laitteissa on aina alusta, jolle 3D-malli tulostetaan kerros kerrokselta. Kaikki 3D-tulostusmenetelmät ovat materiaalia lisääviä valmistusmenetelmiä.

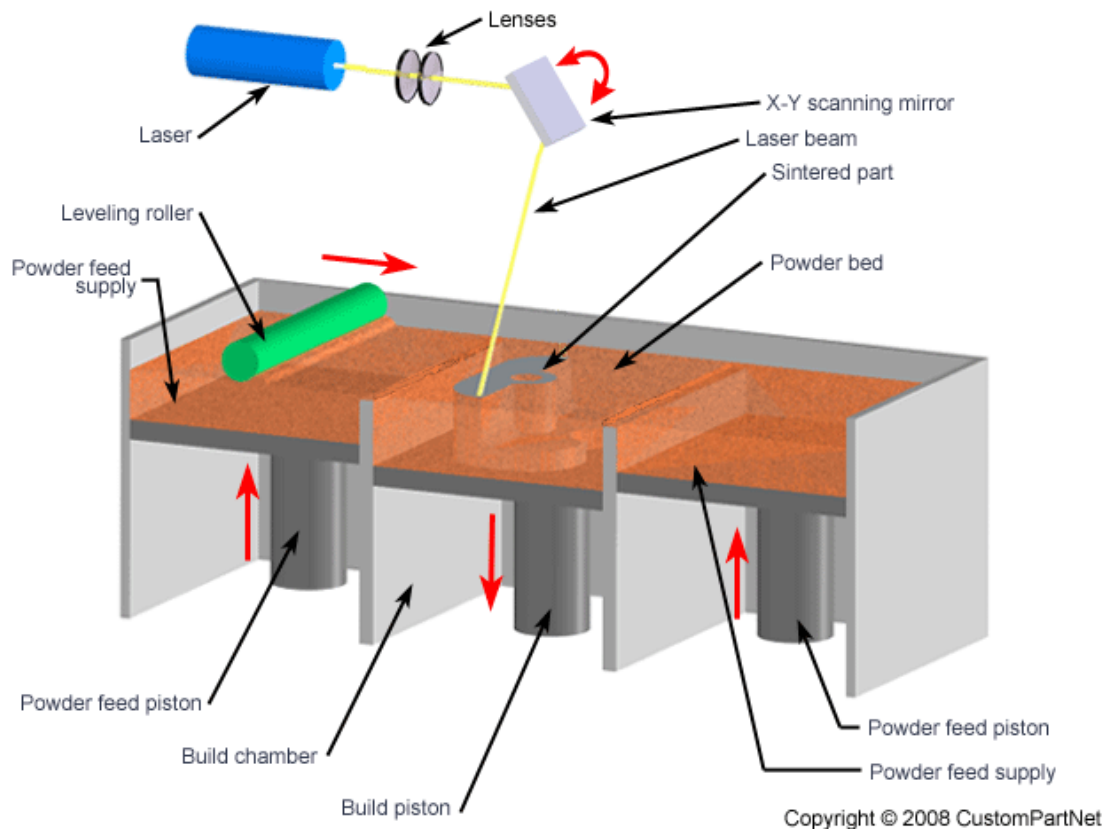


Kuva 1. Osa valmistusmenetelmistä lähtöaineen tyypin mukaan lajiteltuna [23].

Tässä osiossa tutustutaan neljään valmistusmenetelmään, joiden uskon soveltuvan parhaiten auton osien valmistukseen.

2.1.1 SLS-menetelmä

SLS (Selective Laser Sintering) -menetelmässä eli lasersintrauksessa tulostin levittää hienoa termoplastista muovijauhetta tai metallijauhetta tasolle ja sintraa sen kerroksittain tehokkaalla laserilla. Jokaisen sintratun kerroksen jälkeen tulostustasoa liikutetaan alaspäin valitun kerrospaksuuden verran. Tämän jälkeen rulla lisää jauhetta tulostustasolle samalla tasoittaen jauheen kuvan 2 osoittamalla tavalla. Uusi kerros jauhetta on tämän jälkeen valmiina sintrattavaksi. Jauhetta pidetään kohotetussa lämpötilassa, jotta se sulautuu helpommin altistuessaan lasersäteelle. Tätä prosessia toistetaan, kunnes tulostettava kappale on valmis. Kappale valmistuu jauheen sisälle, joten se ei tarvitse erillisiä tukirakenteita. Tämä mahdollistaakin monimutkaisten ja aikaisemmin mahdottomien geometrioiden valmistamisen. Valmis kappale vaatii hyvin vähän jälkikäsittelyä, kun se on poistettu ja puhdistettu ylimääräisestä jauheesta. [6.]

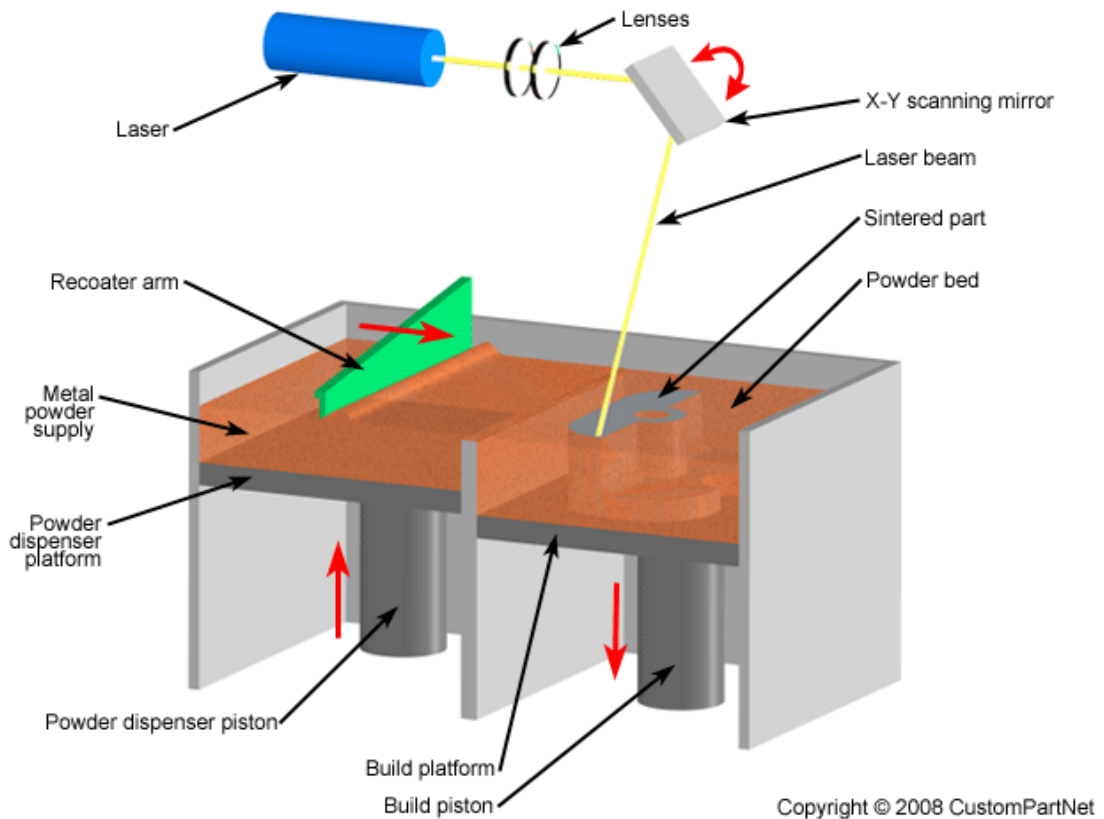


Kuva 2. Havainnekuva SLS-menetelmän toimintaperiaatteesta [6].

Valmistusmateriaaleina SLS-menetelmässä voidaan käyttää muovijauheita, metallijauheita, komposiittijauheita sekä valuhiekkaa. Muovimateriaaleista varsinkin polyamidi (PA) soveltuu hyvin auton osiin hyvän mekaanisen kestävyuden johdosta. [6.]

2.1.2 DMLS-menetelmä

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) -menetelmä (kuva 3) on ensimmäinen kaupallinen menetelmä, jolla voidaan valmistaa metalliosia yhdellä prosessilla. Hienojakoinen metallijauhe, jossa ei ole sideainetta tai juoksutetta sulatetaan korkeatehoisella lasersäteellä. Tulostettujen kappaleiden metallin tiheys voi olla jopa 95 % ja kappaleen ominaisuudet vastaavat alkuperäistä materiaalia. Tulostus tapahtuu lähes samalla tavalla kuin SLS-menetelmässä; suurimpana erona on materiaalin sulattaminen kokonaan ja näin ollen materiaalin ominaisuudet ovat erilaiset. DMLS-menetelmässä käytetään tukimateriaalia, mikäli valmistettavan kappaleen massa ylittää metallijauheen kantokyvyn. [7.]

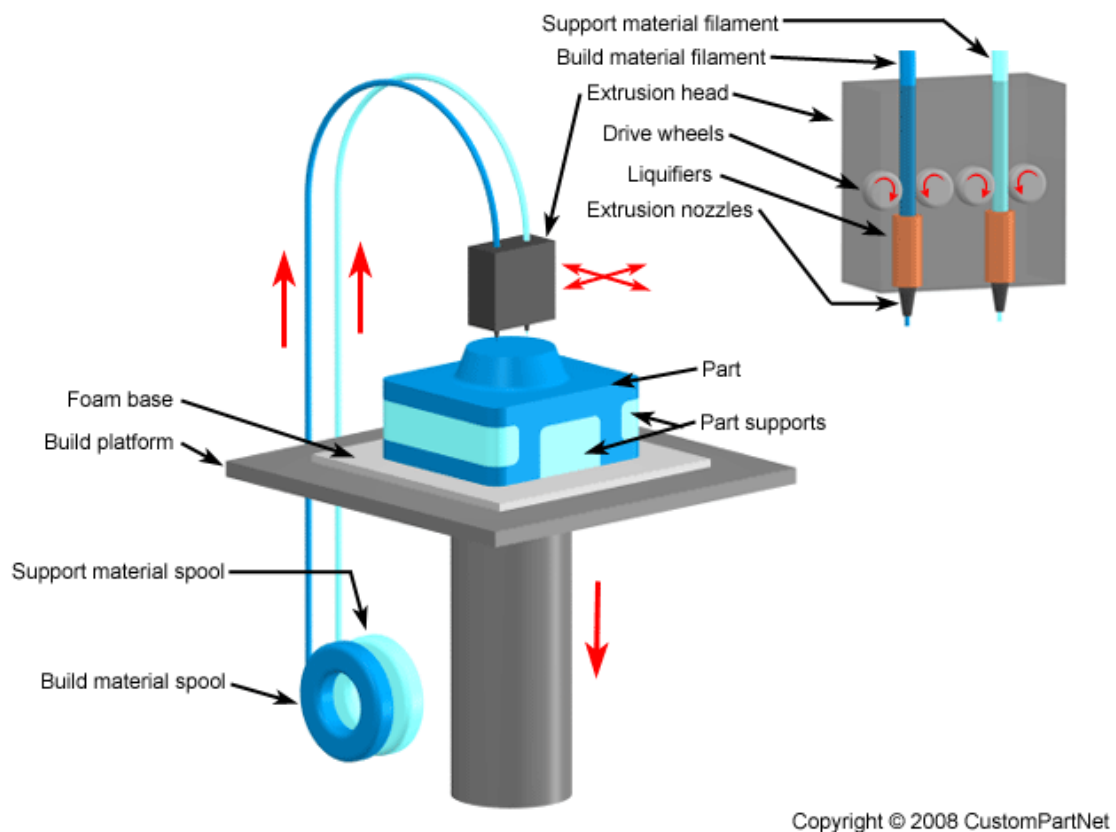


Kuva 3. Havainnekuva DMLS-menetelmän toimintaperiaatteesta [7].

Valmistusmateriaaleina DMLS-menetelmässä voidaan käyttää rautamalleja kuten ruostumatonta terästä ja työkaluterästä sekä ei-rautamalleja kuten alumiinia ja titania. Valmiit kappaleet ovat hyvin jäykkiä rakenteeltaan, kestävät kuumuutta eivätkä ole murtumisherkkiä. Auton osien valmistukseen DMLS-menetelmä sopiikin tämän takia hyvin. [7.]

2.1.3 FDM-menetelmä

FDM (Fused Deposition Modeling) -menetelmässä termoplastista muovimateriaalia pursotetaan kuumennetun suuttimen läpi tulostusalustalle kerros kerrokselta. Suuttimen lämpötila ylittää materiaalin sulamispisteen, joten materiaali tulee sulana nauhana ulos suuttimesta tulostusalustalle. Tulostusalustalla materiaali jähmettyy saman tien ja muodostaa siteen alemman materiaalitasoin kanssa. Suuttimen koko määrittää tulosteen tarkkuuden. Tulostimessa voi olla kaksi erillistä suutinta kuten kuvassa 4. Toisesta suuttimesta syötetään tulostusmateriaali ja toisesta tukimateriaali. FDM-menetelmässä tulostettavaa kappaletta ei ympäröi jauhe, joten tukimateriaalia tarvitaan monimutkaisia kappaleita tulostaessa epämuodostumien välttämiseksi. Tukimateriaalia on yleensä liukenevaa, joten kappale saadaan puhdistettua helposti. [8; 9.]

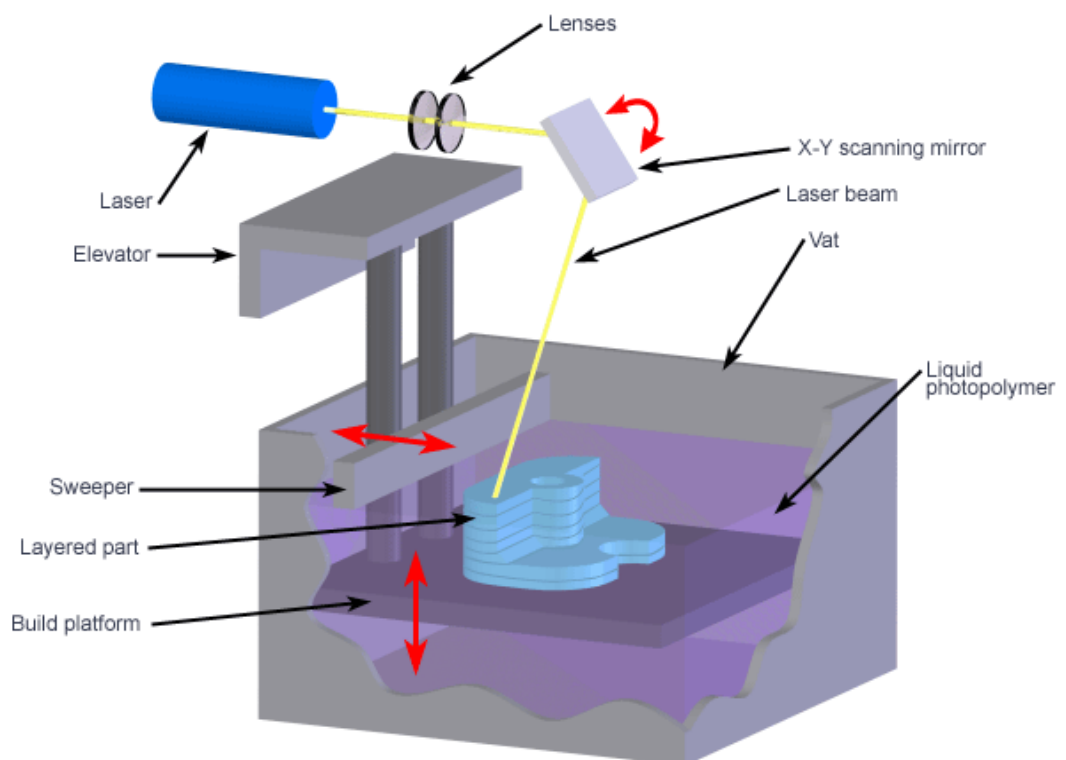


Kuva 4. Havainnekuva FDM-menetelmän toimintaperiaatteesta [8].

FDM-menetelmää käyttävät tulostimet ovat yleisimpiä kotikäyttöön tarkoitettuja tulostimia, sillä ne ovat hinnaltaan kuluttajaystävällisiä. Kotikäyttöön tarkoitettujen laitteiden tulostuslaatu jää kuitenkin huonommaksi kuin esimerkiksi SLS-menetelmää käyttämällä.

2.1.4 SLA-menetelmä

SLA (Stereolithography) -menetelmässä eli stereolitografiassa (kuva 5) altaassa olevaa epoksihajaista valokovetetta kovetetaan UV-laservalolla tarvittavista kohdista kerros kerrokselta. Kerroksen valmistuttua kappaletta lasketaan kerrospaksuuden verran alaspäin, jolloin kappale peittyy uudelleen valokoveteeseen. Tätä prosessia toistetaan kunnes tulostettava kappale on valmis. Tämän jälkeen kappale pestään ja jälkikovetetaan UV-kaapissa. Tässäkin menetelmässä tukimateriaalin käyttö on tarpeellista monimutkaisia kappaleita valmistessa. Tukimateriaali on samaa epoksihajaista valokovetetta, joka poistetaan kappaleesta mekaanisesti. [10.]



Copyright © 2008 CustomPartNet

Kuva 5. Havainnekuva SLA-menetelmän toimintaperiaatteesta [10].

SLA-menetelmän etuihin kuuluu sen nopeus ja erinomainen tarkkuus XY-tasossa. Valmistusmateriaalin korkea hinta kuitenkin rajoittaa paljon millaisia osia tällä menetelmällä on kannattavaa valmistaa.

2.2 Valmistusmateriaalit

Tässä luvussa tutustutaan yleisimpiin 3D-tulostuksessa käytettyihin materiaalivaihtoehtoihin ja pohditaan niiden soveltuvuutta auton osien valmistukseen.

Aluksi tutustutaan kolmeen muovimateriaaliin. Muovimateriaalien 3D-tulostusta on kehitelty vuosia ja muovimateriaalit ovatkin nykyisin eniten käytettyjä materiaaleja 3D-mallien tulostuksessa. [11.] Suurin osa kotikäyttöisistä 3D-tulostimista käyttää FDM-menetelmää, joka käyttää muovimateriaaleja (taulukko 1).

2.2.1 Yleisesti materiaaleista

Metallien hyödyntäminen 3D-tulostuksessa mahdollistaa aiempaa kestävämpien ja samalla kuitenkin kevyempien osien valmistuksen. 3D-tulostuksella voidaan luoda melkein mitä tahansa muotoja ja rakenteita, myös monimutkaisia onkaloita. Metalliset osat kestävät jopa tuhannen asteen lämpötiloja. [11.] 3D-tulostimella tuotetut metallikappaleet eivät tarvitse myöskään kalliita valumuotteja, joten hankalia valmistusvaiheita jää pois.

Kaikki materiaalit eivät sovellu jokaiselle tulostusmenetelmälle. Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on listattu seuraavaksi esiteltäviä valmistusmateriaaleja ja niiden soveltuvuutta aiemmin esitetyille 3D-tulostusmenetelmille. Vihreällä on merkitty ne materiaalit, jotka soveltuvat kyseiselle 3D-tulostusmenetelmälle.

Taulukko 1. Eri 3D-tulostusmenetelmille soveltuvia materiaaleja.

	SLS	DMLS	FDM	SLA
ABS				
PLA				
PA				
Titaani				
Teräs				
TPU				
Epoksi				

2.2.2 Muovit

ABS eli akryliniiriilbutadieenistyreeni on iskunkestävä muovilaatu. Se on jäykkää mutta kevyttä ja hinnaltaan varsin edullista. ABS-muovia käytetään laajalti autoteollisuudessa. Monet sisustan muoviosat ja korin ulkoiset muoviosat on tehty ABS-muovista. [12.] ABS-muovia on saatavilla useina väri vaihtoehtoina (kuva 6). 3D-tulostettu ABS-muovinen kappale vastaa 80-prosenttisesti ominaisuuksiltaan ruiskuvalettua kappaletta. [13.]



Kuva 6. Erivärisiä ABS-muovimateriaaleja kelalla FDM-tulostimelle [15].

PLA eli polylaktidi on uusiutuvista raaka-aineista valmistettu biohajoava termoplastinen polyesteri. PLA-muovi on ekologinen vaihtoehto tulostusmateriaaliksi jos halutaan vähentää ympäristön kuormitusta. Polylaktidi on erittäin kestävä ja soveltuu siten hyvin valmistusmateriaaliksi. PLA-muoveja on myös saatavilla useina väri vaihtoehtoina. [12.] Yhä useampi autovalmistaja käyttää muoviosissaan PLA-muovia, joko sellaisenaan tai sekoitettuna toiseen muovilaatuun [14].

PA eli polyamidi on tekninen muovi, joka on vahvaa ja hieman joustavaa. Polyamidista valmistetun kappaleen pinta on hiekkamainen ja huokoinen (kuva 7). [13.] Polyamideja on useita eri lajeja. Ne erotellaan nimen perään lisättävällä numerolla, joka kertoo lähtömonomeerien hiiliatomien lukumäärän. Esimerkiksi 3D-tulostuksessa yleinen PA12-materiaali koostuu yhdestä lähtömonomeeristä, jossa on 12 hiiliatomia. [18.]

PA12-materiaali kemiallinen kestävyys on hyvä, mutta materiaalin veden absorptio on melko suuri. Kosteuden imeytyminen ja turpoaminen ovatkin eniten polyamidien käyttöä rajoittavia ominaisuuksia. Kosteuden imeytyminen tosin parantaa aineen iskusitkeyttä. [18.]

PA12-materiaalia on saatavana vain valkoisena. Valmis kappale voidaan kuitenkin värjätä jälkikäteen. [13.]

Nykyaikaisessa autossa voi esimerkiksi imusarja, moottorikotelot ja kytkimet olla valmistettu ruiskuvalamalla eri lajien polyamideista [18].



Kuva 7. SLS-menetelmällä tulostettu PA12-kappale ennen ja jälkeen kiillotuksen [16].

2.2.3 Metallit

Titaania pidetään vahvimpana ja kestävimpanä 3D-valmistusmateriaalina. Sitä käytetään titaanijauheena DMLS-menetelmässä valmistusmateriaalina. 3D-tulostettu kappale ei näytä samalta kuin koneistettu kiiltävä titaani vaan se on mattapintainen ja hieman karhea (kuva 8). Ominaisuuksiltaan se vastaa kuitenkin koneistettua kappaletta. 3D-tulostettu kappale voidaan kiillottaa, jolloin pinta saadaan vastaamaan koneistettua. Titaanista voidaan valmistaa myös hyvin tarkkoja kappaleita (kuva 8). [13.]



Kuva 8. DMLS-menetelmällä valmistettu kiillottamaton titaaninen kappale [13].

Ruostumaton teräs valmistusmateriaalina on halvin 3D-tulostettava metallimateriaali. Materiaali on hyvin vahvaa ja se soveltuu myös erittäin suurien kappaleiden valmistukseen. [13.]

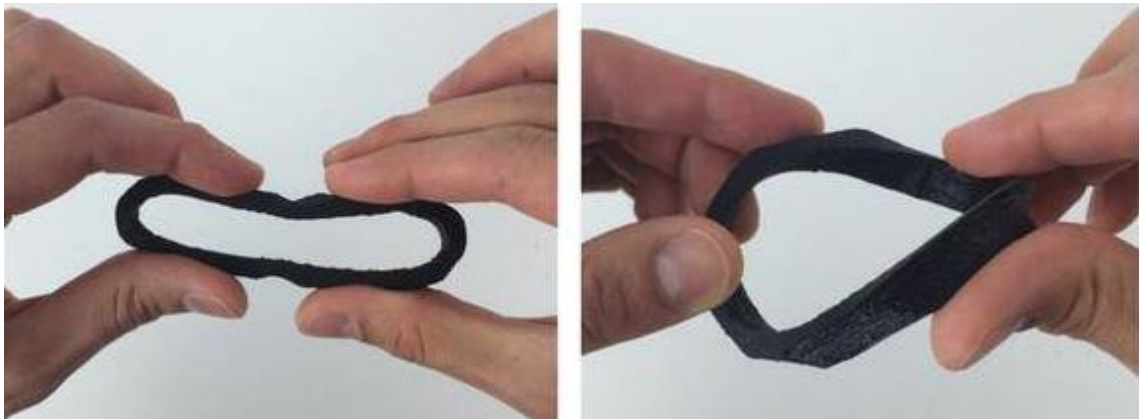


Kuva 9. DMLS-menetelmällä ruostumattomasta teräksestä valmistettu kappale [19].

2.2.4 Muut materiaalit

TPU eli termoplastinen polyuretaani on luonnonvalkoinen ominaisuuksiltaan kumimainen materiaali. Tällä materiaalilla 3D-tulostettu kappale on vahva, joustava ja kestävä. [13.]

Autoteollisuudessa termoplastista polyuretaania käytetään esimerkiksi vaihdekepin nupeissa, ovenkahvoissa, polkimissa ja ovien vaimennuksessa. [20.]



Kuva 10. Termoplastisesta polyuretaanista valmistettu kappale [17].

Epoksihartsin valmistusmateriaalina on vahva, kova, jäykkä ja luonnostaan veden kestävä. Se on ideaali kappaleille joilta vaaditaan hyvää sileää ja laadusta pintaa. Kappale vaatii tukimateriaalia tulostuksen aikana, joten kappaleiden suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota. Epoksihartsilla on mahdollista tulostaa värillisiä kappaleita ja myös läpikuultavien kappaleiden (kuva 11) valmistus onnistuu. [13.]



Kuva 11. Läpikuultavasta epoksihartsista SLA-tekniikalla valmistettuja kappaleita [13].

3 Vertailua perinteisiin valmistusmenetelmiin

Perinteisinä valmistusmenetelminä pidetään materiaalia poistavia ja muovaavia valmistusmenetelmiä kuten moniakselista jyrsintää, sorvaamista ja valamista. 3D-tulostus on taas materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä. Materiaalia poistavilla menetelmillä tulee ottaa huomioon geometriset rajoitteet. Materiaalia lisäävällä menetelmällä kyseistä rajoitusta ei ole, koska materiaalia lisätään kerroksittain. [21.]

Tämä mahdollistaa tuotteiden helpon kustomoinnin ja räätälöinnin tarpeen mukaan. 3D-tulosteita kun voidaan käyttää sellaisenaan, jää välistä pois monia tuotannon vaiheita.

3D-tulostuksen etuina voidaan pitää seuraavia:

- Monimutkaisia muotoja ja rakenteita sisältävien kappaleiden valmistaminen on mahdollista.
- Kappaleen kustannuksiin vaikuttaa ainoastaan materiaalin määrä, ei kappaleen monimutkaisuus.
- Kappaleen valmistuksessa 3D-tulostusmenetelmällä hukkaan menevän raaka-aineen määrä on olematon.
- Kappaleista saadaan kevyempiä.
- Pienten ja kustomoitujen valmistuserien valmistaminen on vaivatonta ja nopeaa.
- Metallikappaleet eivät tarvitse valumuotteja.

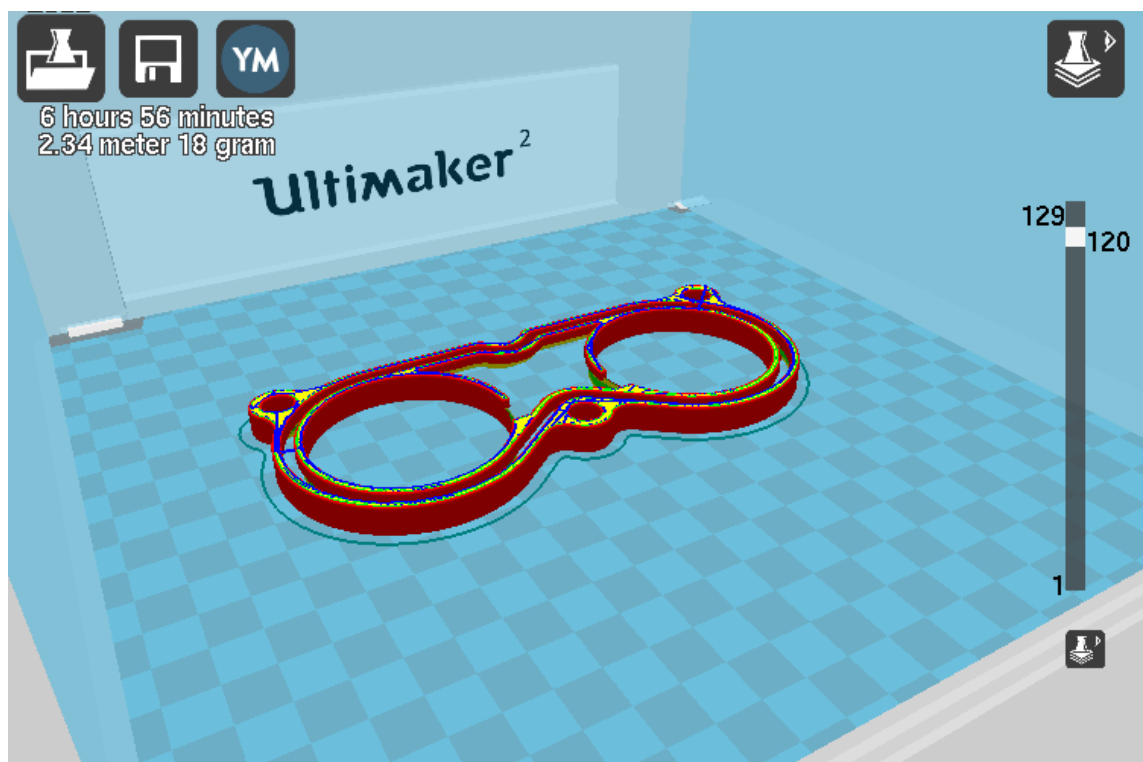
3D-tulostuksen heikkouksina voidaan pitää seuraavia:

- Suurten tuotantoerien valmistusnopeus on hitaampaa kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä.
- Pienten toleranssien osat vaativat jälkikäteen koneistamista.
- Edullisten laitteiden tuottama laatu on tarkkuuden ja kestävyuden suhteen huonompaa kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä.
- Teollisuuskäyttöön tarkoitettujen laitteiden hinnat ovat korkeat.

4 Osan valmistaminen

Tässä osiossa tarkastellaan, kuinka idea saadaan valmiiksi kappaleeksi. Prosessi etenee pääpiirteissään seuraavalla tavalla:

- Syntyy idea valmistettavasta kappaleesta.
- Kappale mallinnetaan käyttäen 3D-mallinnukseen soveltuvaa ohjelmaa, kuten CAD-ohjelmaa tai 3D-skannerilla skannataan olemassa oleva osa 3D-malliksi.
- 3D-mallista luodaan STL-tiedosto, jossa määritellään 3D-mallin geometria. Mallin pinnat esitetään tasokolmioiden avulla, joten tasopinnoista tulee absoluuttisen tarkat.
- STL-tiedosto ladataan 3D-tulostusohjelmaan (kuva 12), joka pilkkoo mallin 2D-tasoiksi ja luo jokaisesta tasosta G-koodin. G-koodilla tulostimelle kerrotaan työstöradat ja tulostusparametrit.
- 3D-malli tulostetaan käyttäen valittua 3D-tulostusmenetelmää.
- Tulostusmenetelmästä riippuen tulostetulle kappaleelle tehdään tarvittavat viimeistelytoimenpiteet.



Kuva 12. Cura-ohjelmassa avatun STL-tiedoston yhden tason työstöradat.

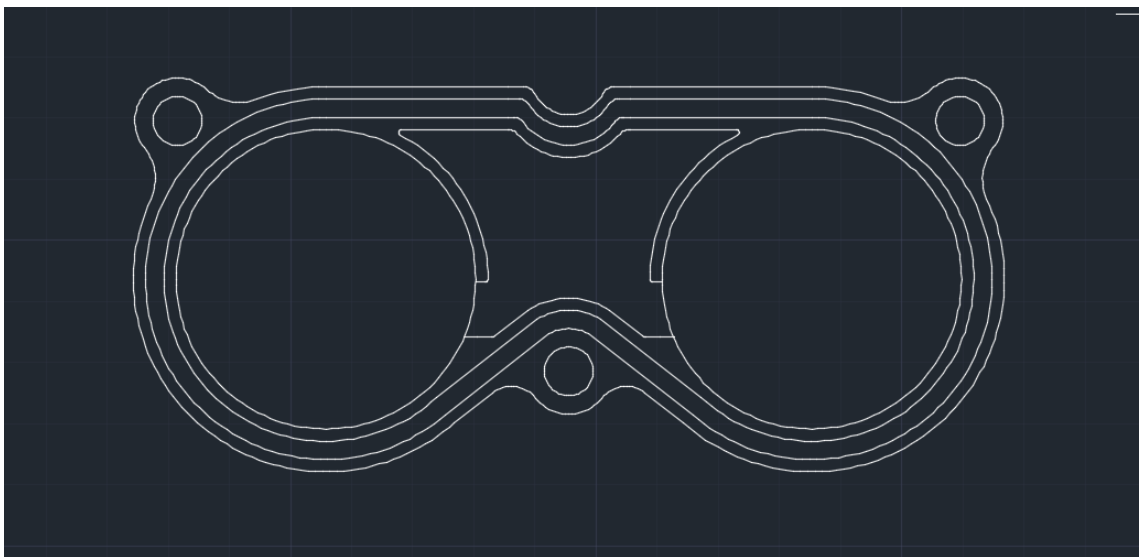
4.1 3D-mallin suunnittelu

3D-tulostettavaa osaa suunnitellessa tulee ottaa huomioon joitain asioita. Valmistettavan kappaleen minimiseinämäpaksuuden tulee olla noin 0,7–3 mm materiaalista riippuen. Ohuemmista rakenteista tulee niin hauraita, etteivät ne välttämättä selviäisi jälkikäsittelyvaiheesta. Isot ohuet pinta-alat voivat vääntyä jäähtyessään, joten niitä kannattaa välttää. Liikkuvien osien väliin täytyy myös jättää riittävästi välystä toiminnan varmistamiseksi. [22.]

Ennen suunnittelun aloittamista olisi hyvä tietää käytettävä 3D-tulostusmenetelmä sekä materiaali. Tällöin malli voidaan suunnitella tietäen valitun tulostusmenetelmän ja valmistusmateriaalin rajoittavat tekijät. Valitsin käytettäväksi SLS-menetelmän sekä PA2200-materiaalin.

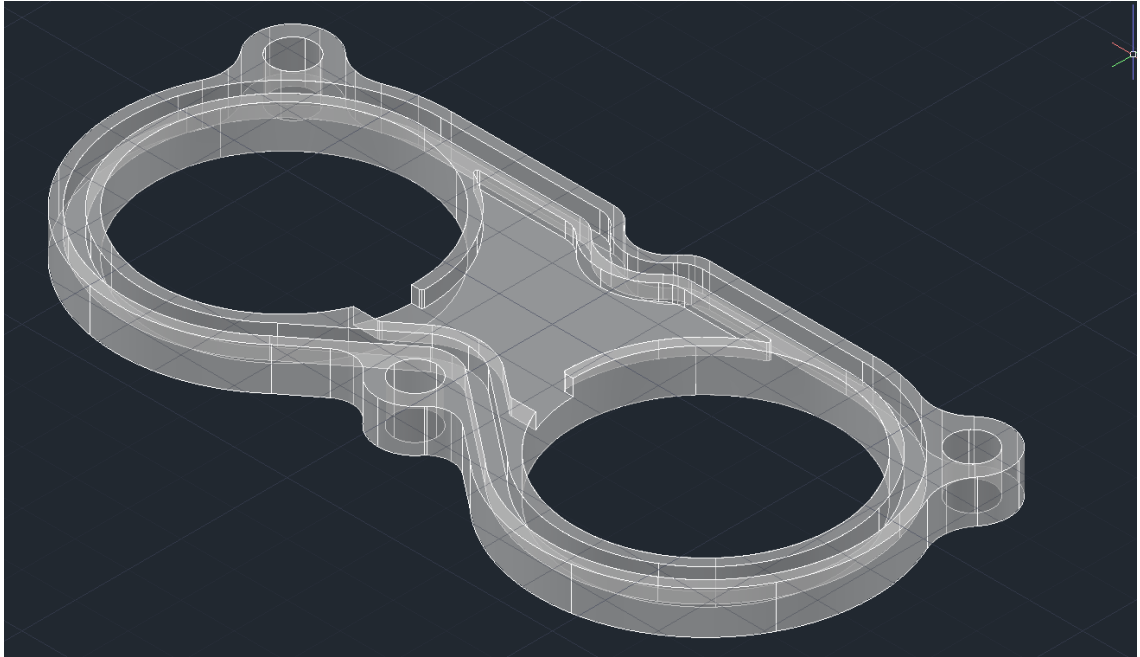
Tarkoitukseni on asentaa autoon moottoripyörän läppärungot. Niihin kiinni tuleva suodatinkotelo imutorvineen ei enää kuitenkaan soveltunut autokäyttöön, joten ne oli suunniteltava. Kappaleet on jaettu kahteen osaan, suodatinlaippaan ja imutorviin. 3D-mallien suunnittelussa on käytetty AutoCAD 2015 -mallinnusohjelmaa.

Mallinnus aloitettiin tekemällä suodatinlaipasta 2D-malli (kuva 13) käyttäen mittoja alkuperäisen suodatinkotelon laipoista. Näin voidaan olla varmoja, että kappale tulee sopimaan täydellisesti läppärunkoihin.



Kuva 13. 2D-malli laipasta AutoCAD 2015 -ohjelmassa.

Tämän jälkeen 2D-mallista tehtiin kolmiulotteinen käyttäen AutoCAD-ohjelman 3D-mallinnustyökaluja. Kuvassa 14 nähdään valmis 3D-malli.



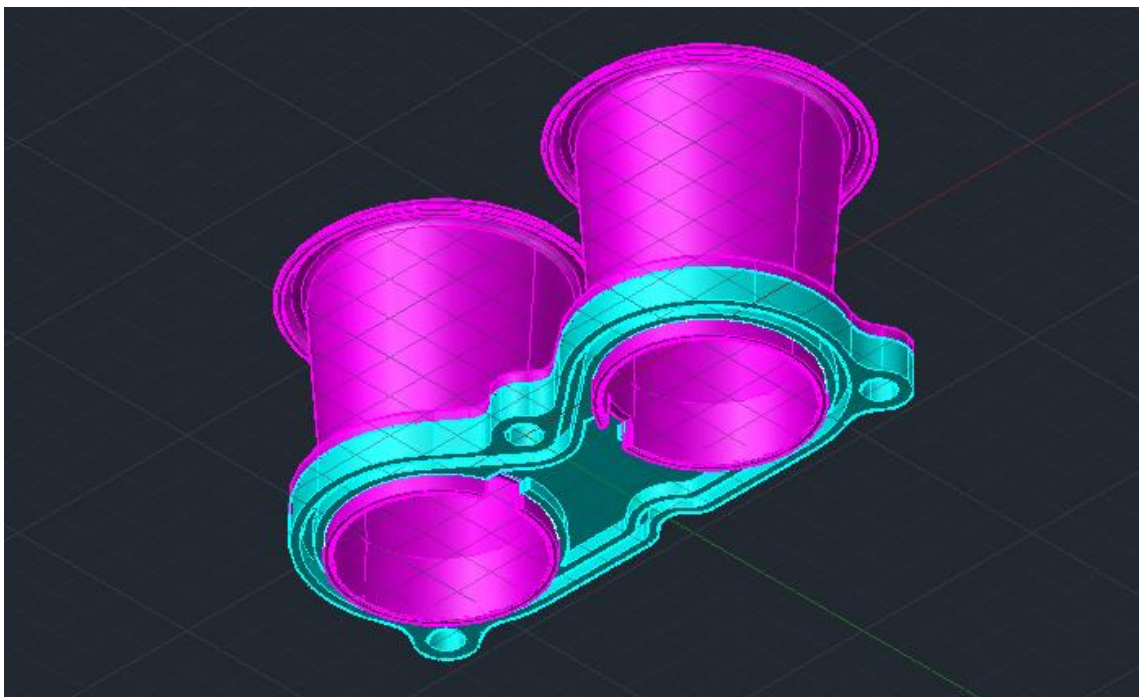
Kuva 14. 3D-malli läppärungon suodatinlaipasta AutoCAD 2015 -ohjelmassa.

Toisena kappaleena mallinnettiin imutorvet läppärungoille (kuva 15). Imutorvien tehtävänä on kiihdyttää ja yhdensuuntaistaa ilman virtausta. Imutorvien pituutta muuttamalla voidaan vaikuttaa moottorin käytökseen. Tämän vuoksi imutorvet mallinnettiin omaan laippaansa, jotta ne voidaan tarvittaessa vaihtaa helposti. 3D-mallista on helppo muuttaa imutorvien pituutta. Kuvassa 16 näkyy kuinka imutorvet tulee suodatinlaipan päälle.

Molemmat 3D-mallit lopuksi tallennettiin STL-tiedostomuotoon käyttäen AutoCAD 2015 -ohjelman 3D-tulostustoimintoa.



Kuva 15. 3D-malli läppärungon imutorvista AutoCAD 2015 -ohjelmassa.



Kuva 16. Molemmat 3D-mallit sovitettuna yhteen AutoCAD 2015 -ohjelmassa.

4.2 3D-mallin tulostus

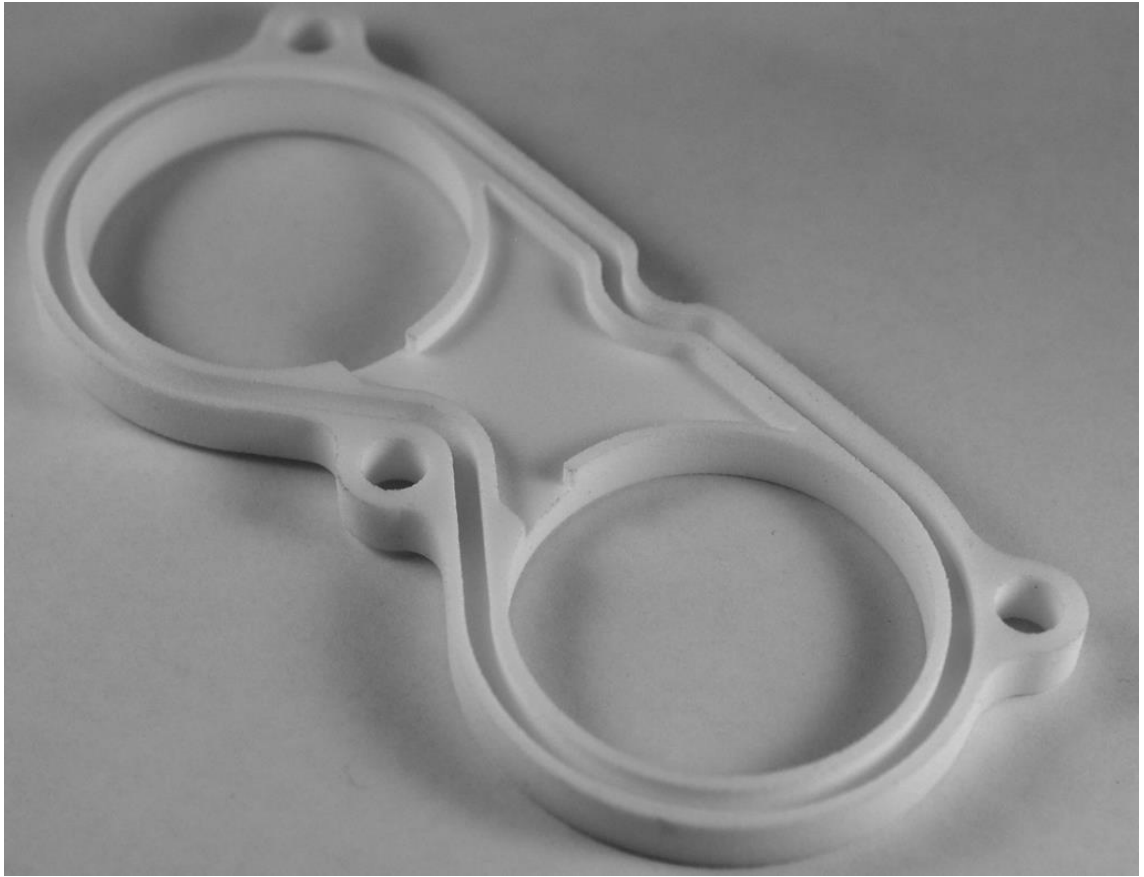
3D-mallinnetut kappaleet tulevat auton moottoritilaan lähelle moottoria, joten niiden on kestettävä kuumuutta, tärinää ja erilaisia kemikaaleja. Materiaaliksi valikoitui PA2200 sen ominaisuuksien täyttäessä edellä mainitut vaatimukset. PA2200 on PA12-materiaalin hienojauhomainen pohja-aine. Verrattuna PA12-materiaaliin sillä on korkeampi kiteisyysaste sekä sulamispiste. PA2200-materiaali omaa hyvän mekaanisen kestävyuden ja sitä voidaan käyttää lyhytaikaisesti jopa 160 asteessa ilman mekaanista jännitystä. Materiaalin tarkemmat ominaisuudet on listattuna taulukossa 2. [22.]

Koska omaa 3D-tulostinta ei ollut, niin oli turvauduttava 3D-tulostuspalveluun. Valitussa tulostuspalvelussa käytössä oli SLS-menetelmää käyttävä ammattitason EOS P 396 -tulostin. Vaihtoehtoisesti PA-materiaalia olisi voitu tulostaa FDM-menetelmällä. Lasersintraamalla valmistettu kappale on kuitenkin tarkkuudeltaan ja kestävyydeltään parempi.

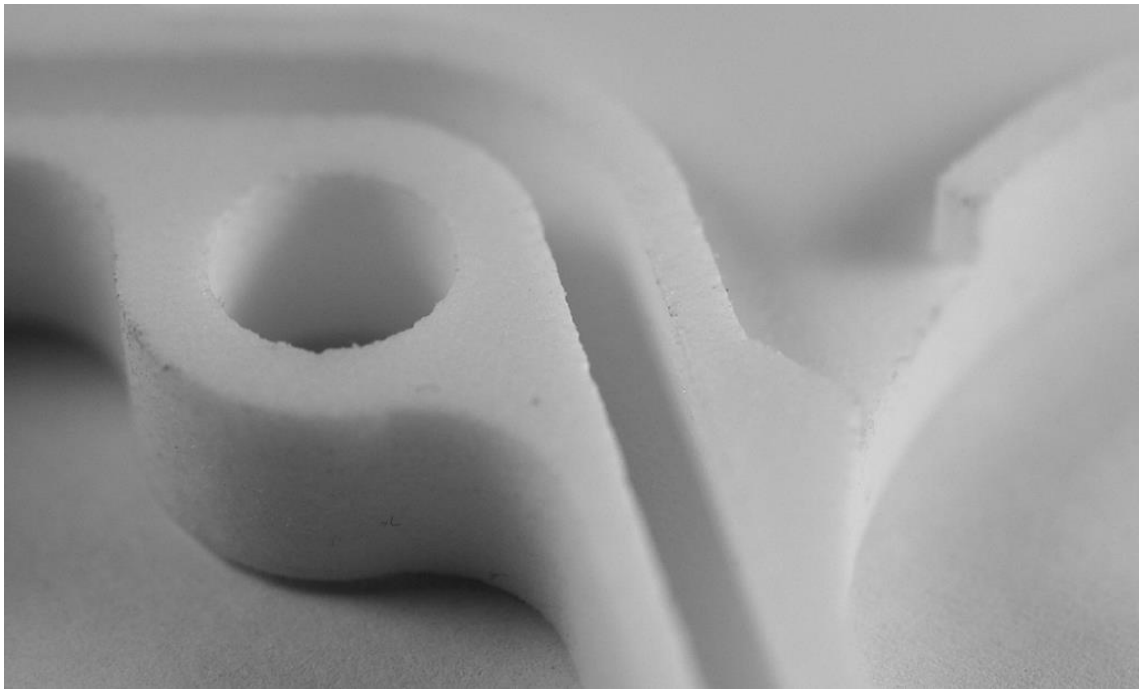
Valmistetuista kappaleista (kuva 17) tulikin juuri sellaiset kuin oli odotettavissa. Tiedossa oli SLS-menetelmällä valmistettujen osien olevan tarkkoja ja pinnaltaan hieman karheita, kuten kuvassa 18 näkyy. Tulostetut kappaleet vastaavat mitoiltaan 3D-malleja, joten niitä voidaan käyttää sellaisenaan.

Taulukko 2. PA2200-materiaalista lasersintraamalla valmistettujen kappaleiden mekaaniset ominaisuudet [22].

Mekaaniset ominaisuudet	Mittausmenetelmä	Lukuarvo
Tiheys [g/cm ³]	EOS-menetelmä	0,90 - 0,95
Vetolujuus [MPa]	DIN EN ISO 527	45 ± 3
Murtovenymä [%]	DIN EN ISO 528	20 ± 5
Kuulapuristuskovuus [MPa]	DIN EN ISO 2039	77,6 ± 2
Vicat-pehmenemislämpötila [°C]		
B/50	DIN EN ISO 306	163
A/50		181
Syttymislämpötila [°C]	DIN 51794	> 350



Kuva 17. SLS-menetelmällä valmistettu läppärungon suodatinlaippa.



Kuva 18. Lähikuva SLS-menetelmällä valmistetusta kappaleesta.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin 3D-tulostusmenetelmien käyttöä auton osien valmistuksessa. Työssä tarkasteltiin neljää 3D-tulostusmenetelmää, joiden ajattelin soveltuvan parhaiten auton osien valmistukseen. Tämän jälkeen tutustuttiin valmistusmateriaaleihin. Valitsin tarkasteltavaksi muovimateriaaleja, metallimateriaaleja sekä muutaman muun materiaalin. Tavoitteena oli saada hyvä näkemys 3D-tulostusmenetelmistä ja valmistusmateriaaleista, joita voitaisiin hyödyntää auton osien valmistuksessa. Lopuksi luotiin 3D-malli auton osasta, joka tulostettiin valitulla tulostusmenetelmällä.

Tuloksena työstä saatiin hyvä käsitys eri 3D-tulostusmenetelmistä ja valmistusmateriaaleista. Pehdyin työn aikana perusteellisesti eri tulostusmenetelmiin ja materiaaleihin. Insinööriyöhön valittiin sellaisia 3D-tulostusmenetelmiä ja valmistusmateriaaleja, jotka nähtiin parhaiten soveltuvaksi auton osien valmistukseen. Työstä jätettiin pois monia 3D-tulostusmenetelmiä ja valmistusmateriaaleja, joiden lähempi tarkastelu nähtiin tarpeettomana tutkiessa 3D-tulostuksen soveltuvuutta auton osien valmistukseen. Opittua teoriaa hyödyntämällä pystyttiin valmistamaan 3D-mallit kahdesta auton osasta, jotka lopuksi tulostettiin. Aiempaa kokemusta 3D-mallien laatimisesta CAD-mallinnusohjelmalla ei ollut. Onnistuin kuitenkin tekemään mallit oikeilla mitoilla pienellä harjoittelulla.

Kappaleet tulostettiin käyttäen SLS-menetelmää ja PA2200-materiaalia. Valmiit kappaleet onnistuivat hyvin ja soveltuvat sellaisenaan käyttötarkoituksiinsa. Vertailun vuoksi kappaleet olisi voitu tulostaa useammalla eri 3D-tulostusmenetelmällä, mutta tiukka aikataulu ei sitä tällä kertaa mahdollistanut. Saman kappaleen tulostus useammalla eri tulostusmenetelmällä ja tulostettujen kappaleiden vertailu olisi ollut hyvä lisä tähän insinööriyöhön. Valmistettuja osia ei myöskään päästy kokeilemaan käytännössä, joten niiden todellisesta kestävydestä ei pystytty raportoimaan tässä insinööriyössä.

3D-tulostus ei vielä tällä hetkellä sovellu auton osien sarjatuotantoon, mutta kustomoitujen osien sekä pienten erien valmistamiseen se soveltuu paremmin kuin hyvin. 3D-tulostettujen ja perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettujen osien kestävydessä kun ei ole parhaimmillaan mitään eroa. Insinööriyötä tehdessä olen saanut paljon tietoa 3D-tulostuksesta ja CAD-mallinnuksesta, joten tulen varmasti jatkossakin käyttämään 3D-tulostusta osien valmistukseen.

Lähteet

- 1 Many 3D Printing Patents Are Expiring Soon: Here's A Round Up & Overview of Them. Verkkodokumentti. 3D Printing Industry. <<http://3dprintingindustry.com/2013/12/29/many-3d-printing-patents-expiring-soon-heres-round-overview/>>. Luettu 18.3.2015.
- 2 3D printing will explode in 2014, thanks to the expiration of key patents. Verkkodokumentti. Quartz. <<http://qz.com/106483/3d-printing-will-explode-in-2014-thanks-to-the-expiration-of-key-patents/>>. Luettu 25.3.2015.
- 3 3D Printing process. Verkkodokumentti. Create it REAL. <<http://www.createitreal.com/index.php/technology/process>>. Luettu 27.3.2015.
- 4 A BRIEF HISTORY OF 3D PRINTING. Verkkodokumentti. <http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf>. Luettu 3.4.2015.
- 5 Muuttaako 3D-tulostus maailman? Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/tekniikka/a1363933593081>>. Luettu 4.4.2015.
- 6 Selective Laser Sintering. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>>. Luettu 17.4.2015.
- 7 Direct Metal Laser Sintering. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>>. Luettu 17.4.2015.
- 8 Fused Deposition Modeling. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>. Luettu 17.4.2015.
- 9 Miksi Stratasys FDM? Verkkodokumentti. AIPWorks. <http://www.aipworks.fi/stratasys_fdm>. Luettu 20.4.2015.
- 10 Stereolithography. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>>. Luettu 17.4.2015.
- 11 Metallien 3d-tulostus tulee – valmistuksen uusi aikakausi. Verkkodokumentti. <<http://www.tivi.fi/Arkisto/2013-10-17/Metallien-3d-tulostus-tulee-%E2%80%93-valmistuksen-uusi-aikakausi-3079721.html>>. Luettu 22.4.2015.
- 12 3D-tulostin materiaalit. Verkkodokumentti. We3D.fi. <<http://www.we3d.fi/materiaalit.html>>. Luettu 22.4.2015.

- 13 Materials. Verkkodokumentti. i.materialise. <<http://i.materialise.com/materials/>>. Luettu 22.4.2015.
- 14 Automotive giants turn to bioplastics worldwide. Verkkodokumentti. Plastic News. <<http://www.plasticsnews.com/article/20120731/NEWS/307319980/automotive-giants-turn-to-bioplastics-worldwide>>. Luettu 22.4.2015.
- 15 Introducing MakerBot ABS Kilogram Spools!. Verkkodokumentti. Makerbot. <<http://www.makerbot.com/blog/2011/03/18/introducing-makerbot-abs-kilogram-spools/>>. Luettu 22.4.2015.
- 16 Strong & Flexible Plastic Material Information. Verkkodokumentti. Shapeways. <<http://www.shapeways.com/materials/strong-and-flexible-plastic>>. Luettu 22.4.2015.
- 17 Sculptify's 3D Printer. Verkkodokumentti. 3DPrint. <<http://3dprint.com/3940/sculptify-3d-printer/>>. Luettu 22.4.2015.
- 18 Tekniset muovit. Verkkodokumentti. Muovimuotoilu. <<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/33/63/>>. Luettu 22.4.2015.
- 19 DMLS 3D Printing. Verkkodokumentti. <<http://www.cncmachinedprototypes.com/sale-3564739-stainless-steel-dmls-3d-printing-metal-aeroplane-parts-with-alloy-finish.html>>. Luettu 22.4.2015.
- 20 Automotive. Verkkodokumentti. Bayer MaterialScience. <<http://www.tpu.bayer.com/en/Applications/Automotive-Thermoplastic-Polyurethanes.aspx>>. Luettu 22.4.2015.
- 21 FIRPA. Verkkodokumentti. <<http://www.firpa.fi/html/suomi.html>>. Luettu 22.4.2015.
- 22 3D-tulostus. Verkkodokumentti. Materflow. <<http://www.materflow.com/fi/tekniikka>>. Luettu 26.4.2015.
- 23 3D printing. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing>. Luettu 7.5.2015.