



Miika Mäkelä

# 3D-tulostamisen hyödyntäminen ajoneuvoteollisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

2.5.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Miika Mäkelä  
Otsikko: 3D-tulostamisen hyödyntäminen ajoneuvoteollisuudessa  
Sivumäärä: 32 sivua  
Aika: 2.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu  
Ohjaajat: Laboratorioinsinööri Teemu Laine

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia 3D-tulostamisen hyödyntämistä ajoneuvoteollisuudessa. Työssä tarkastellaan 3D-tulostamisen eri menetelmiä, kustannustehokkuutta, ympäristövaikutuksia sekä tulevaisuudennäkymiä. Työn aikana tulostettiin myös itse muutamia kappaleita, jotta voitiin nähdä käytännön esimerkkejä siitä, miten tulostamista on mahdollista hyödyntää.

Opinnäytetyössä esitellään pääpiirteittäin muutamia ajoneuvoteollisuuden kannalta keskeisiä tulostusmenetelmiä. Menetelmiä on käytössä jo useita erilaisia, ja jokaisella niistä on erilainen materiaalivalikoima ja näin ollen myös erilainen käyttötarkoitus. 3D-tulostaminen on vielä melko tuore teknologia, mutta sen mahdollisuuksia on tutkittu jo hyvin laajasti ajoneuvoteollisuudessa. Työssä haluttiin erityisesti tarkastella, mihin 3D-tulostamista käytetään tällä hetkellä ajoneuvoteollisuudessa. Työssä tarkastellaan myös 3D-tulostamisen ympäristövaikutuksia sekä kustannustehokkuutta ja kulueriä.

Voitiin todeta, että eniten tulostamista hyödynnetään pienten ja yksinkertaisten varaosien, mallikohtaisten työkalujen sekä prototyyppien valmistuksessa. 3D-tulostamisen ympäristövaikutuksista esille nousivat tulostuksen aikana syntyvät haitalliset nanohiukkaset, orgaaniset yhdisteet ja hukkalämpö. Kustannustehokkuudesta ja kulueristä kävi ilmi, että 3D-tulostamisen kuluerät koostuvat useista kokonaisuuksista, kuten materiaali-, henkilöstö- ja laitteistokuluista.

Työn aikana syntyi myös muutamia omia tulosteita. Ensimmäisenä tulostettiin erään ajoneuvon imujärjestelmä käyttäen FDM-tulostusmenetelmää, toisena tulosteena tehtiin erikoistyyppinen öljynsuodattimelle samaa menetelmää käyttäen ja viimeisenä hyödynnettiin metallitulostusta valmistamalla vesipumpun siipipyörä. Tulostuskokeilujen perusteella selvisi suurten tai yksittäisten kappaleiden tulostamisen olevan vielä melko kallista verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin. Erityisesti metallitulostuksessa kustannukset nousevat huomattavasti materiaalin ja laitteiston korkeiden hintojen vuoksi.

Avainsanat: 3D-tulostaminen, 3D-mallinnus, ajoneuvosuunnittelu, ajoneuvoteollisuus

## Abstract

Author: Miika Mäkelä  
Title: Utilizing 3D Printing in the Automotive Industry  
Number of Pages: 32 pages  
Date: 5 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Automotive Engineering  
Professional Major: Automotive Design Engineering  
Supervisors: Teemu Laine, Laboratory Engineer

---

The objective of this thesis was to research the possibilities of 3D-printing in the automotive industry. This includes research about different 3D-printing technologies, cost efficiency, environmental effects, and future perspectives. During this thesis a few parts were 3D printed as practical examples.

This thesis outlines a few different 3D-printing methods that are important for the automotive industry. There are already several kinds of printing technologies in use and each of them has a variety of materials with a different use. 3D printing is a fairly new technology, but its possibilities have been researched extensively in the automotive industry. This thesis focused on what 3D printing system is currently used in the automotive industry. In conclusion, it was noted that 3D printing is mostly used to print small and simple spare parts, model specific tools and prototypes.

Environmental effects and cost effectiveness were also viewed as a part of this thesis. The environmental impacts of 3D printing highlighted the harmful nanoparticles, volatile organic compounds and waste heat that are generated during the printing process. The costs of 3D printing are also discussed. These costs consisted of several items, such as material, personnel and equipment costs.

This thesis also includes designing and manufacturing a few self-made parts. The first part was an intake system that was 3D printed to a certain car using FDM-printing method, the second print was a special tool for an oil filter, and it was printed using the same method, and for the last part a metal printer was used to manufacture a water pump impeller. Based on these experiments, it seems that printing large or single pieces is still quite expensive compared to traditional manufacturing methods. Especially in metal printing, the costs increase significantly due to the high prices of material and equipment.

Keywords: 3D-printing, 3D-modeling, automotive design, automotive industry

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mitä on 3D-tulostaminen?	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Valmistusmenetelmät	2
2.2.1	FDM-menetelmä	3
2.2.2	SLA-menetelmä	4
2.2.3	SLS-menetelmä	4
2.2.4	DMLS- ja SLM-menetelmä	5
2.2.5	MBJ-menetelmä	6
3	3D-tulostaminen ajoneuvoteollisuudessa	7
3.1	Prototyyppien valmistaminen	8
3.2	Varaosien 3D-tulostus	8
3.3	Työkalujen valmistaminen tulostamalla	10
4	Kustannustehokkuus	11
5	Ympäristövaikutukset	13
5.1	Energiankulutus	13
5.2	Hukkalämpö	14
5.3	Päästöt	14
6	Omien kappaleiden tulostaminen	16
6.1	Ajoneuvon imujärjestelmä	16
6.2	Erikoistyyökalu	20
6.3	Vesipumpun siipipyörä	21

7	3D-tulostamisen tulevaisuus ajoneuvoteollisuudessa	23
7.1	Rungon ja alustan osat	24
7.2	Moottorin osat	26
7.3	Sähköautokonversiot	28
7.4	Akustojen tulostaminen	29
7.5	Tulevaisuuden haasteet	30
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

## Lyhenteet

CAD:	<i>Computed-aided design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
FDM:	<i>Fused Deposition Modeling</i> . Tulostusmenetelmä, jossa materiaalina käytetään muovimateriaalia.
PLA:	Polylaktidi.
ABS:	Akryylinitriilibutadienistyreeni.
PET:	Polyetyleenitereftalaatti.
PETG:	Polyetyleenitereftalaattiglykoli.
TPU:	Termoplastinen polyuretaani.
ASA:	Akryylinitriilistyroliakrylaatti.
SLA:	<i>Stereolithography</i> . Tulostusmenetelmä, jossa materiaalina käytetään nestemäistä hartsia ja sen kovettamiseen UV-laseria.
SLS:	<i>Selective Laser Sintering</i> . Tulostusmenetelmä, jossa jauheen muodossa oleva muovi, keramiikka tai lasi sintrataan haluttuun muotoon käyttäen laseria.
DMLS:	<i>Direct metal laser sintering</i> . Tulostusmenetelmä, jossa jauheen muodossa oleva metalliseos sintrataan haluttuun muotoon käyttäen laseria.
MBJ:	<i>Metal Binder Jetting</i> . Tulostusmenetelmä, jossa jauheena olevan materiaalin eri kerrokset sitoutetaan toisiinsa sidosaineella.

- CNC: *Computer Numerical Control*. Numeerinen ohjaus.
- VOC: *Volatile Organic Compound*. Ilmaan haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
- UPF: *Ultra Fine Particle*. Nanohiukkaset, joiden koko on alle 1 mikrometri.
- BAAM: *Big Area Additive Manufacturing*. Suuren pinta-alan kappaleiden 3D-tulostamista.
- SSB: *Solid State Battery*. Akkuteknologia, jossa elektrodit ja elektrolyytti ovat kiinteitä.

## 1 Johdanto

Erilaiset valmistusteknologiat ovat kehittyneet viime vuosina erittäin nopeaa vauhtia. Yksi näistä kehityksen askelista on 3D-tulostaminen ja sen hyödyntäminen mahdollisimman monipuolisesti eri teollisuuden aloilla. Lähes kaikkea, mitä ennen voitiin valmistaa koneistamalla tai valamalla, voidaan nykyään luoda 3D-tulostimilla. Eri tulostusmateriaalejakin on saatavilla jo laaja valikoima, mikä mahdollistaa esimerkiksi ajoneuvojen eri komponenttien valmistamisen tulostamalla.

Tässä insinöörityössä kuvataan, mihin kaikkeen 3D-tulostamista voidaan hyödyntää sekä nykypäivän että tulevaisuuden ajoneuvoteollisuudessa. 3D-tulostaminen on kuitenkin verrattain melko uusi teknologia, joten sen käyttämiseen ja hyödyntämiseen liittyy useita eri tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon. Työssä tarkastellaan myös 3D-tulostamisessa käytettäviä materiaaleja sekä niihin liittyviä asioita, kuten kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Kustannustekijät ovatkin yksi suurimmista esteistä, joiden takia kaikkea ei kannata valmistaa tulostamalla vaan edelleen tullaan hyödyntämään muitakin valmistustekniikoita. Tulostamista hyödynnetään nykyään jo jonkin verran helpoimmissa tulostuskohteissa, kuten esimerkiksi ajoneuvon muoviosissa. Myös monimutkaisempia kappaleita, kuten moottorin liikkuvia komponentteja, on ollut mahdollista tulostaa.

Työn kuluessa mallinnettiin ja tulostettiin itse muutamia kappaleita ja pohdittiin edellä mainittuja valmistukseen vaikuttavia tekijöitä kuten kustannuksia ja tulostamisen kannattavuutta verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin.



## 2 3D-tulostaminen valmistusmenetelmänä

### 2.1 Yleistä

Additiivinen valmistus eli 3D-tulostus on kolmiulotteisen kappaleen valmistamista kerros kerrokselta. Tässä valmistusmenetelmässä jokin kappale on voitu mallintaa CAD-ohjelmaa käyttäen tai jo olemassa oleva kappale on skannattu digitaaliseen muotoon 3D-skannerilla. [1] Additiivinen tarkoittaa siis sitä, että valmistuksessa ei tarvita kiinteässä muodossa olevaa raakakappaletta, josta lopullinen tuote valmistetaan, vaan kappale luodaan tyhjästä eli siihen lisätään materiaalia kerros kerrallaan. Nämä kerrokset sulautuvat yhteen ja luovat kolmiulotteisen kappaleen. Suurimpana erona perinteisiin valmistusmenetelmiin, kuten koneistukseen ja valamiseen, ovat laitteiden matalat käyttökustannukset sekä mahdollisuus valmistaa geometrisesti monimutkaisia kappaleita. Materiaalejakin on valittavissa useisiin eri käyttötarkoituksiin, mutta yleisimmin käytetään erilaisia muovilaatuja niiden edullisuuden vuoksi. [2]

### 2.2 Valmistusmenetelmät

Arkikielessä 3D-tulostaminen tarkoittaa yleensä kappaleen tulostamista käyttäen erilaisia muovilaatuja. 3D-tulostuksessa on kuitenkin käytössä useita erilaisia valmistusmenetelmiä ja -teknologioita. Näissä menetelmissä on eroja niin kustannusten, materiaalin, tulostusnopeuden, kestävyys ja pinnanlaadun osilta. Kun kappaletta lähdetään suunnittelemaan, täytyy ensin miettiä, mitä ominaisuuksia lopulliselta tuotteelta vaaditaan ja kuinka matalat tai korkeat valmistuskustannukset halutaan. Oikea valmistusmenetelmä voidaan valita, kun tietyt muuttujat on selvitetty. Toimintaperiaatteeltaan eri menetelmät ovat hyvin samanlaisia, mutta eroina ovat materiaalit ja lopullisen tuotteen käyttötarkoitus. [3] Seuraavissa luvuissa keskitytään tarkastelemaan muutamia suosituimpia menetelmiä ja erityisesti niitä, joita hyödynnetään ajoneuvoteollisuudessa.

### 2.2.1 FDM-menetelmä

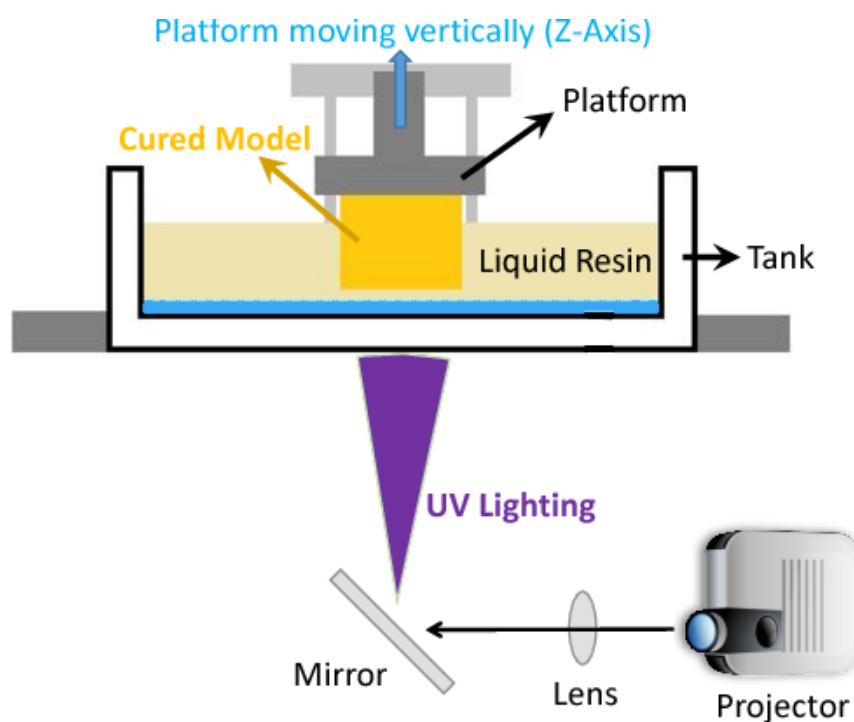
FDM- eli fused deposition modeling -tulostusmenetelmä on yleisin ja kustannustehokkain. Tässä menetelmässä käytetään materiaaleina termoplastisia filamentteja, kuten PLA, ABS, ASA, PET, PETG ja TPU. FDM-tulostuksen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen: sähkömoottori syöttää filamenttia kuumaan tulosuspäähän, joka sulattaa filamentin ja syöttää sen suuttimesta tulostusalustalle. Materiaali jäähtyy nopeasti ja muuttuu takaisin kiinteäksi. [4] Asetusten ollessa optimaaliset on tämän menetelmän lopputuotteen pinnanlaatu yleensä erittäin hyvä, minkä vuoksi se sopii hyvin esimerkiksi ajoneuvon sisustan tai korin osien prototyyppien valmistukseen. [5] Tulostettava korin osa voi olla esimerkiksi kuvassa 1 esitetty moottoripyörän sivupeilin kuori.



Kuva 1. FDM-menetelmällä valmistettu moottoripyörän sivupeilin kuori [5].

### 2.2.2 SLA-menetelmä

SLA-tulostusmenetelmä perustuu nestemäisen hartsin jäähdyttämiseen peilien ja UV-laserin avulla. Tulostusalusta asettuu lähelle nestemäistä hartsia, minkä jälkeen hartsia kovetetaan tietyssä järjestyksessä käyttäen ultraviolettiaseria. Sama prosessi toistuu jokaisen kerroksen jälkeen, ja tulostusalusta nousee aina yhden tulostuskerroksen verran ylöspäin, jotta seuraava kerros voidaan kovettaa. Tulosteen ollessa valmis objekti täytyy se vielä jälkikäsitellä UV-valolla. Jälkikäsitteily tehdään, jotta lopulliselle tuotteelle voidaan saavuttaa korkeampi materiaalivahvuus. [6] Kuva 2 havainnollistaa, mitä peruskomponentteja SLA-tulostimeen kuuluu.



Kuva 2. SLA-menetelmän peruskomponentit [6].

### 2.2.3 SLS-menetelmä

SLS- eli selective laser sintering -menetelmässä käytetään materiaalina jauheen muodossa olevaa muovia, lasia tai keramiikkaa. Tulostusprosessissa tulostuskammioon syötetään ohut kerros hienoa jauhetta, joka lämmitetään tiettyyn lämpötilaan. Lämpötilan tulee olla hieman alle materiaalin sulamislämpötilan, jotta

laserilla voidaan helposti sulattaa tiettyjä kohtia. Tämä sulatusprosessi aiheuttaa materiaalin sulautumista toisiinsa ja materiaalin jäähtyessä se jälleen kiinteytyy. Kun tulostus on valmis, täytyy kappaleen jäähtyä tulostuskammiossa, ennen kuin se kannattaa irrottaa. Yksi suurista eduista lasersintrauksessa on tukirakenteiden tarpeettomuus. Kappaleen ympärille jäävä sulattamaton jauhemateriaali tukee kiinteän kappaleen rakennetta. [7] Tämä tekee mahdolliseksi tulostaa esimerkiksi suuria mekaanisia kappaleita tai monimutkaisia kappaleita, joissa käytetään niin sanottua ristikkorakennetta. [8] Kyseinen rakenne on erittäin käyttökelpoinen juuri ajoneuvosuunnittelussa, kun suunnitellaan osia, joiden tulee olla kevyitä mutta kuitenkin rakenteeltaan vahvoja. Tällainen kappale voi olla esimerkiksi polttomoottorin imusarja (kuva 3).



Kuva 3. SLS-menetelmällä tulostettu imusarja [9].

#### 2.2.4 DMLS- ja SLM-menetelmä

DMLS-menetelmä on samantyyppinen kuin SLS, mutta erona ovat prosessissa käytetyt materiaalit, jotka tässä tapauksessa ovat erilaisia metalliseoksia. DMLS-menetelmä toimii siis samalla tavalla kuin SLS, eli materiaali lämmitetään lähelle sulamispistettä, ja näin materiaali sulautuu yhteen molekyylitasolla. [10] SLM- eli selective laser melting -prosessissa materiaalina käytetään puhtaita metalleja, kuten titaania. Tässä tulostusprosessissa metallia ei kuitenkaan lämmitetä lähelle

sulamispistettä vaan materiaali sulatetaan kiinteästä jauheesta nestemäiseen muotoon. Tämän seurauksena syntyy homogeeninen tuote, jolla on vain yksi sulamispiste. Käytettäessä seostettuja metalleja voi sulamispisteitä olla useita. [4]

Koska tässä menetelmässä käytetään metalleja, on kappaleelle tulostettava myös tukirakenteita. Korkeiden lämpötilojen vuoksi saattaa lopullisessa kappaleessa esiintyä ei-toivottuja muodonmuutoksia, jos tukirakenteita ei käytetä. [4] Materiaalina metalli soveltuu erinomaisesti esimerkiksi ajoneuvojen alustan tai moottorin osien (kuva 4) valmistukseen sen vahvuuden ja korkean lämmönkestön vuoksi.



Kuva 4. Audin SLM-menetelmällä valmistamia vesiputkia [11].

#### 2.2.5 MBJ-menetelmä

MBJ-menetelmä eli metal binder jetting on eri menetelmistä mahdollisesti paras teollisuuskäyttöön ja massatuotantoon. Tässä menetelmässä käytetään eri kerrosten välissä sidosainetta, joka sitouttaa kerrokset toisiinsa. Prosessissa ensin ruiskutetaan tulostusalustalle sidosaine halutun kappaleen muotoon ja tämän päälle lasketaan jauheena oleva metalliaines. Samaa prosessia toistetaan niin

kauan, kunnes kappale on valmis. Tulostuksen jälkeen kappale ei kuitenkaan ole valmis käyttöön, vaan se vaatii jälkikäsittelyä, jotta pinnanlaatu saadaan tasaisemmaksi. Jälkikäsittelyssä kappaleesta liuotetaan pois kerrosten välinen sidosaine ja tämän jälkeen se vielä kuumennetaan uunissa korkeassa lämpötilassa, jotta kerrokset sulautuvat yhteen. Suurimpina etuina tässä menetelmässä on materiaalivalikoiman laajuus ja volyymi, jolla kappaleita voidaan valmistaa. [12]

### 3 3D-tulostaminen ajoneuvoteollisuudessa

Tulostusteknologioita on jo monenlaisia, ja jokaiselle on oma käyttötarkoituksensa. Mihin näitä siis voidaan hyödyntää ajoneuvoteollisuudessa? 3D-tulostaminen on ollut ajoneuvoteollisuudessa käytössä jo muutamia vuosia, ja se onkin tällä hetkellä yksi tärkeimmistä työkaluista uusien autojen ja työtapojen sekä valmistusprosessien kehityksessä. Esimerkkinä 3D-tulostuksen hyödyntämisestä tuotantoprosessissa on kuvassa 5 3D-tulostettu peukalotuki BMW:n tuotantolinjojen työntekijöille. Tuotannossa huomattiin työntekijöille aiheutuvan rasitusvammoja läpivientikumien asennuksessa, joten tehtävää varten kehitettiin tuki, joka voitiin valmistaa helposti ja kustannustehokkaasti tulostamalla. [13]



Kuva 5. BMW:n kehittämä peukalotuki tuotantolinjan työntekijöille [13].

### 3.1 Prototyyppien valmistaminen

Yksi merkittävimmistä 3D-tulostamisen sovelluskohteista on prototyyppien valmistus. Kuten aiemmin tässä työssä on jo mainittu, on materiaalejakin käytössä useita kymmeniä, mikä osaltaan mahdollistaa lähes minkä tahansa prototyypin valmistamisen, oli kyseessä sitten sisustan verhoilu tai moottorin imusarja. 3D-tulostamisen myötä prototyyppejä esimerkiksi valutuotteista on mahdollista valmistaa ilman kalliita muotteja. Tämä tarkoittaa todella merkittäviä säästöjä tuotteen suunnittelun kannalta niin kustannuksissa kuin myös ajassa. [13] Vuoden 2015 Wohlersin raportin mukaan ajoneuvoteollisuuden osuus kaikesta 3D-tulostukseen käytettävistä varoista oli 16,1 %. Suuri osa 3D-tulostuksen resursseista käytetään prototyyppeihin, mutta tulevaisuudessa pyritään painottamaan tulostamisen mahdollisuuksia myös tuotannossa. [5]

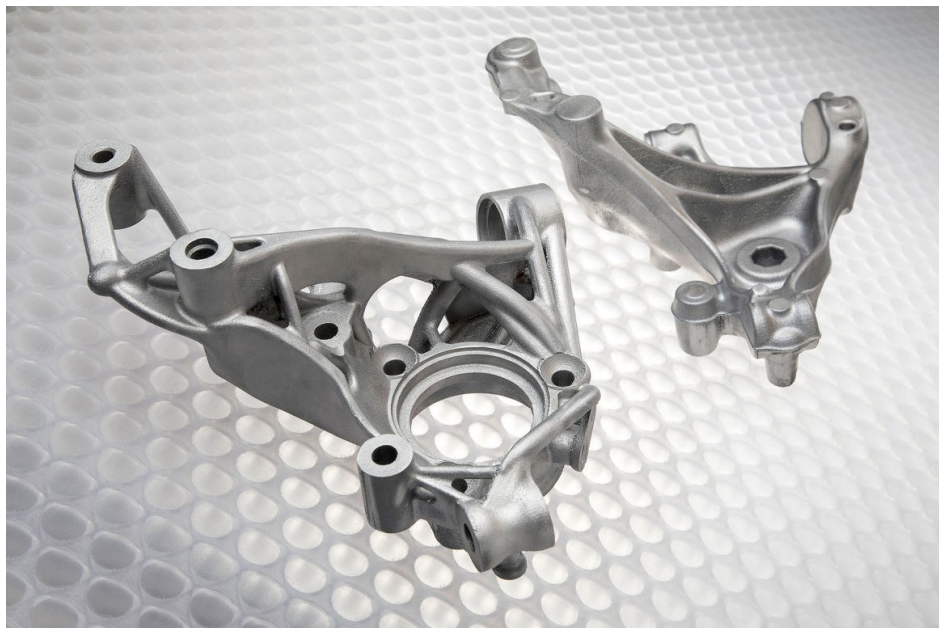
#### 3.1 Varaosien 3D-tulostus

3D-tulostamisessa rajoitteena on vain mielikuvitus. Käytännössä voidaan siis tulostaa kappaleita, jotka perinteisin menetelmin olisi mahdotonta valmistaa tai joiden valmistus olisi erittäin kallista. Yksi suurista markkina-alueista 3D-tulostukselle on vanhojen autojen varaosien valmistus, sillä suurimpaan osaan vanhoista harrasteajoneuvoista ei enää valmisteta tarvittavia alkuperäisiä osia. [13]

Daimler ja Mercedes-Benz Trucks ovat jo vuosien ajan käyttäneet 3D-tulostamista hyödyksi rekkojen, bussien sekä klassikkoautojen varaosien valmistuksessa. Toiminta on nykypäivänä myös laajentunut varaosien valmistukseen asiakkaan tilauksesta. Asiakkailla on mahdollisuus tilata erilaisia muoviosia kuten ilmaputkia, johtosuojia, kansia sekä telineitä ja kiinnikkeitä. Kehitys- ja tutkimustyötä tehdään jatkuvasti, jotta tulostettavien osien valikoimaa saadaan laajennettua. Tämän seurauksena saavutetaan erityisesti säästöjä niiden osien osalta, joilla on pieni kysyntä, sillä näiden valmistamiseen vaadittavia kalliita työkaluja ei enää tarvittaisi. [14] Myös Ford, BMW sekä Audi ovat jo vuosien ajan hyödyntäneet 3D-tulostamista tuotannossa sekä varaosien valmistuksessa. Esimerkiksi Fordin valmistamassa Shelby Mustangissa on käytetty 3D-tulostettuja jarruputkien kiinnikkeitä. [15]

Yksi merkittävistä kulueristä yrityksille on osien varastointi. Tietynlaisten osien tulostaminen on usein erittäin nopeaa, joten osia voitaisiin valmistaa vain kysynnän perusteella. Tämä tarkoittaisi yrityksille suurta säästöä varastotilojen kannalta, sillä suuri osa varaosista olisi digitaalisessa muodossa. Useita osia voitaisiin myös valmistaa täysin alkuperäisiä osia vastaavaksi, sillä materiaalivalikoima on jo erittäin laaja. [16] Jotkin yritykset voisivat myös tulostamalla valmistaa osia paikan päällä, ja näin tiettyjen osien valmistusprosessi nopeutuisi huomattavasti.

Kuvassa 6 on esitettyä Audin valmistama moottorin kannatin. Oikealla puolella on perinteinen ruiskuvalumenetelmällä tuotettu kannatin ja vasemmalla 3D-tulostettu malli. Kuten kuvasta voidaan nähdä, on 3D-tulostamalla mahdollista valmistaa geometrisesti erittäin monimutkaisia kappaleita. Audin mukaan valmistusmateriaaleina voidaan käyttää erilaisia hitsattavia metalleja, kuten terästä, alumiinia tai titaania. [17]



Kuva 6. Audin kehittämä 3D-tulostettu moottorinkannatin [17].



### 3.3 Työkalujen valmistaminen tulostamalla

Työkalut ovat yksi suurimmista kuluista ajoneuvoteollisuudessa. Niiden valmistamista 3D-tulostamalla on onnistunut esimerkiksi Volkswagen hyödyntämään omien tuotantolinjojensa työkalutarpeisiin. Volkswagen autoeuropa aloitti yhteistyön 3D-tulostimien valmistajan Ultimakerin kanssa, jotta tuotantolinjoilla tarvittavien työkalujen valmistus- ja suunnittelukustannuksia saataisiin pienennettyä. Kolmansien osapuolien valmistamien työkalujen saatavuus oli hidasta ja kustannukset liian korkeita, joten ratkaisuna oli hankkia omia 3D-tulostimia, joilla voitiin nopeasti ja kustannustehokkaasti tuottaa erilaisia työkaluja työntekijöiden avuksi. [18]

Yhteistyö Ultimakerin kanssa mahdollisti työkalujen valmistamisen tehtaalla, joka nosti omavalmisteisten työkalujen osuuden 93 %:iin. Kahden vuoden aikana kustannussäästöt nousivat 70 %:sta 95 %:iin. Myös ajallisesti omavalmisteiset työkalut nopeuttavat tuotantolinjoilta valmistuvien autojen tuotantoa. Ulkoistetun yrityksen aika kuvan 7 työkalun valmistamiselle voi olla jopa 35 päivää ja hinta noin 400 €, kun taas paikan päällä valmistettuna aikaa kuluu noin 4 päivää ja hinta on 10 €. Valmistusaikaa on siis saatu vähennettyä noin 95 % ja kustannussäästöjä vuonna 2017 saatiin 325 000 €. [18]



Kuva 7. Merkkien asennukseen valmistettu 3D-tulostettu ohjain [18].

## 4 Kustannustehokkuus

3D-tulostuksen ottamisessa osaksi yrityksen tuotantomenetelmiä täytyy pohtia useita eri tekijöitä kannattavuuden osalta. Ensimmäinen tärkeä kysymys on käytötarkoitus: mitä halutaan tulostaa ja kuinka paljon? Kuten tässä työssä on jo aiemmin mainittu, on prototyyppien valmistaminen tulostamalla eräs hyödyllisimmistä sovellutuksista. Tuotteen prototyyppivaiheessa on helppo kehittää tuotetta eteenpäin ja poistaa mahdolliset virheet ennen lopullista tuotantoon siirtämistä. Tässä tapauksessa 3D-tulostus on verrattain nopeaa sekä edullista, mutta tulostamiseen liittyy paljon muitakin tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon, kuten suunnittelu-, työ- ja materiaalikustannukset. [19]

3D-tulostettu kappale vaatii aina digitaalisen kolmiulotteisen mallin. Tämän mallin suunnitteluun ja luomiseen kuluu aikaa jopa enemmän kuin itse kappaleen tulostamiseen. Jos siis tarkoituksena on luoda vain yksi kappale jotakin tuotetta, on sen suunnittelu mahdollisesti suurin kulu, joka nostaa lopullisen tuotteen hintaa merkittävästi. Jos tuotetta valmistetaan sarjatuotannossa, saadaan lopullisen tuotteen hintaa laskettua, vaikka suunnitteluun olisikin mennyt paljon aikaa. Eräs toinen huomioon otettava kustannustekijä on tulostimien valvontaan ja ylläpitoon kuluvat resurssit sekä mahdollisesti tulostetun tuotteen viimeistelyyn tarvittava työ. Materiaalikustannuksetkin saattavat nousta korkeiksi riippuen tulostusmenetelmästä. [19] Taulukossa 1 on esitettyä teollisuudessa havaitut 3D-tulostamiseen liittyvät suorat ja epäsuorat kulut.

Vuonna 2014 tutkittiin paikallisen tulostamisen kustannustehokkuutta verrattuna perinteiseen jakelupohjaiseen valmistusmenetelmään, jossa osat tuotetaan eri paikoissa ja lopullinen tuote kasataan yhdessä paikassa. Tutkimuksen aiheena oli F-18 hävittäjän ilmajäähdytyskanavat. Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että kaikki kustannustehokkuuteen vaikuttavat tekijät huomioon ottaen on yksittäisen osan valmistaminen tulostusmenetelmiä käyttäen kalliimpaa. Suurimmat yksittäiset kulut olivat tulostuslaitteiston hankinta sekä tulostamiseen vaadittavan henkilöstön kulut. Tulostamisesta on kuitenkin mahdollista saada kannattavaa, kun prosessissa tarvittavaa henkilöstöä voidaan vähentää automaation avulla tai kun

tulostetut kappaleet ovat sen kaltaisia, että perinteisin menetelmin niiden valmistaminen on vaikeaa tai lähes mahdotonta. [20, s. 25–26.]

Taulukko 1. 3D-tulostuksen suorat ja epäsuorat kulut teollisuudessa [21].

<b>Suorat kulut</b>		
Tulostuslaitteisto	Materiaalit	Työ
- Tämän suuruuteen vaikuttavat ostohinta, energian käyttö, tulostusaika, epäonnistumisprosentti.	- Materiaalikustannuksiin vaikuttavat käytetyt materiaalit ja kappaleiden ainemäärä.	- Työkustannukset koostuvat tulostimen valmistelusta ja kappaleen mahdollisesta jälkikäsittelystä.
<b>Epäsuorat kulut</b>		
Monen eri tekijän summa. Kuten laitteiston huoltokulut, arvon alenema, tuotannon yleiset kulut sekä henkilöstökulut.		

## 5 Ympäristövaikutukset

Nykypäivänä kaikenlaisessa teollisuudessa tulee miettiä, minkälaisia ympäristövaikutuksia jonkin tuotteen valmistuksella on. Tuotteen suunnittelu- ja valmistusprosessissa on useita eri tekijöitä, joilla on vaikutuksia ympäristöön, kuten energiankulutus, prosessissa syntyvät sivutuotteet sekä prosessissa mahdollisesti tarvittavat kemikaalit. [22] 3D-tulostuksessa on pääosin viisi eri tekijää, jotka vaikuttavat ympäristöön:

1. Raakamateriaalia tarvitaan huomattavasti vähemmän.
2. Ympäristölle haitallisia kemikaaleja ei käytetä enää niin paljon, kun valamisen ja CNC-koneistuksen tarve vähenee.
3. Kappaleet voidaan suunnitella energiatehokkaammiksi.
4. Valmistettavien tuotteiden painoa saadaan vähennettyä 3D-tulostuksen avulla, mikä vaikuttaa suoraan ajoneuvojen painoon ja näin ollen niiden tuottamaan hiilijalanjälkeen.
5. Tuotteet voidaan valmistaa lähempänä käyttökohdetta tai jälleenmyyjää, mikä vähentää tarvetta käyttää logistisia palveluja. [23]

### 5.1 Energiankulutus

Eri valmistusprosesseissa energiankulutus on yksi tärkeimmistä tekijöistä, jota pyritään vähentämään mahdollisimman paljon ilman, että vaikutetaan merkittävästi tuotteen lopulliseen laatuun. 3D-tulostuksessa suurin energiankulutukseen vaikuttava tekijä on valmistukseen kuluva aika. Tämä aika määräytyy suurelta osin tulostettavan kappaleen korkeuden ja ainemäärän perusteella. Eräässä tutkimuksessa tutkittiin SLS-menetelmän energiankulutusta laskemalla neljän eri komponentin vaikutusta energiankulutukseen. Tutkimuksessa selvisi, että suurimmat kuluttajat olivat tulostuskammion lämmitys, tulostuspäätä ja -alustaa liikkuttavat askelmoottorit, laser sekä rullaohjaimet. Tutkimuksen perusteella näiden

tekijöiden energiankulutusta voitaisiin vähentää käyttämällä hukkalämpö hyödyksi ja hankkimalla energiatehokkaampia komponentteja. Mutta jos itse tulostuslaitteistoon ei kiinnitetä huomiota, voidaan energiatehokkuutta kasvattaa muokkaamalla tulostuksen parametrejä, jotta tulostukseen kuluva aika pienenee huomattavasti. Näitä parametrejä ovat esimerkiksi seinämävahvuus, täyttöprosentti sekä kerrosten paksuus. [23]

Tulostusprosessissa käytettävä sähköenergia muuttuu osittain lämpöenergiaksi sekä liike-energiaksi. Osa energiasta kuitenkin muuntuu hukkalämmöksi. Sivutuotteena tulostuksessa syntyy myös mahdollisista kappaleen tukirakenteista jonkin verran hukkaan menevää jätettä. Riippuen materiaalista tämä hukkaan menevä osuus voidaan kuitenkin kierrättää ja käyttää uudelleen. [23] 3D-tulostaminen mahdollistaa kuitenkin sellaisten kappaleiden luomisen, joka tuottaa vähemmän hukkamateriaalia kuin esimerkiksi jyrsiminen. Tulostimella voidaan luoda suoraan onttoja rakenteita, kuten jäähdytyskanavia tai erilaisia uria ja reikiä. Tämä osaltaan myös vähentää energiankulutusta. [25]

## 5.2 Hukkalämpö

3D-tulostuksessa tarvitaan paljon energiaa materiaalin sulattamiseen sekä tulostusalustan sekä mahdollisen tulostuskammion lämmittämiseen. Suuri osa tästä lämpöenergiasta päästetään ympäristöön, jolloin on kyse hukkalämmöstä. Tämän hukkalämmön hyödyntäminen olisi yksi keino, jolla tulostuksen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa. [27] Prosessissa syntyvää hukkalämpöä voitaisiin käyttää esimerkiksi erilaisten tilojen lämmittämiseen. Tilanteessa, jossa hukkalämpöä syntyy todella paljon, on mahdollista jopa lämmittää kokonaisia asuinrakennuksia tai -alueita. Eri teollisuuden aloilla 3D-tulostaminen ei kuitenkaan vielä ole siinä vaiheessa, että hukkalämpöä olisi jollain tavalla hyödynnetty.

## 5.3 Päästöt

Tulostamisen aiheuttamat päästöt ovat yksi tärkeimmistä tekijöistä, joita tulee pohtia kyseisen teknologian yleistyessä niin teollisuudessa kuin myös kuluttajien käytössä. 3D-tulostuksessa puhutaan VOC:stä (volatile organic compound) sekä

UFP:stä (ultrafine particles), joista molemmat ovat ympäristölle ja sen eliöille haitallisia. VOC- ja UPF-partikkelit muodostuvat 3D-tulostuksessa muovin sulatuksen aikana. Kun puhutaan FDM-menetelmästä eli kun materiaalina käytetään muovia, menee kappaleen tulostukseen useita tunteja. Päästöjen määrään vaikuttaa eniten tulostukseen kuluva aika, sillä normaalissa ruiskuvalutekniikassa valmis kappale valmistuu sekunneissa eikä ilmaan ehdi tulemaan niin paljon partikkeleita. Näitä partikkelipäästöjä on mahdollista ehkäistä asianmukaisilla tulostusympäristöillä ja esimerkiksi laitteistojen ilmanvaihtoon lisättävillä suodattimilla. [24]

3D-tulostuksella on vaikutusta myös suoraan esimerkiksi ajoneuvojen päästöihin sekä muihin laitteisiin, joissa energiankulutus on suoraan suhteessa painoon. 3D-tulostuksen mahdollisuus valmistaa kappaleita, joissa on monimutkaisia rakenteita, mahdollistaa sellaisten tuotteiden suunnittelun, joissa voidaan käyttää vähemmän materiaalia kuin normaalisti. [26] Alla olevassa kuvassa 8 on esitettyinä kappale, joka on optimoitu mahdollisimman kevyeksi kuitenkin säilyttäen alkupe-  
räisen vahvuutensa.



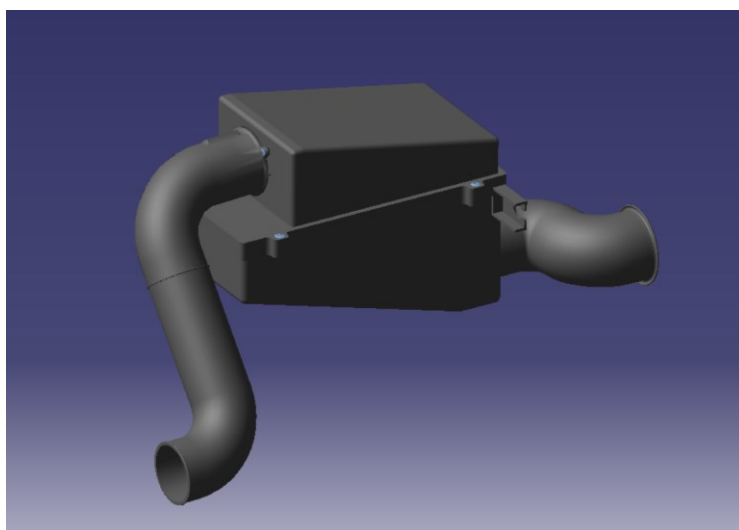
Kuva 8. Topologisesti optimoitu kappale, jolla saavutetaan kevyempi lopputuote [26].

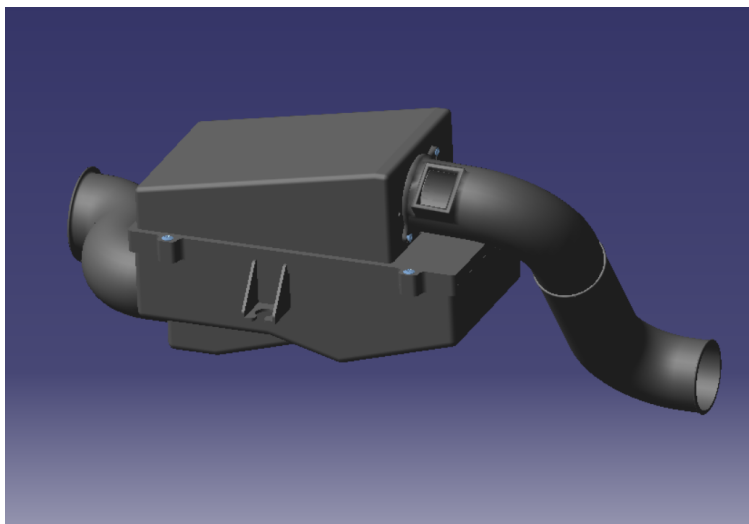
## 6 Omien kappaleiden tulostaminen

Tässä osiossa kuvataan, miten 3D-tulostuksessa päästään tuoteideasta lopulliseen tuotteeseen. Tarkoituksena oli tulostaa muutamia erilaisia kappaleita käyttäen FDM-tulostinta sekä MBJ-tulostinta. Omien tulosteiden kautta päästiin näkemään, minkälaisissa sovellutuksissa 3D-tulostus voisi olla kannattavaa. Tulostuksissa pyrittiin huomioimaan, kuinka kauan tulostuksiin menee aikaa ja mikä on lopullisen tuotteen hinta materiaalin osalta. Tulostetut kappaleet olivat ajoneuvon imujärjestelmä, öljynsuodatinavain sekä vesipumpun siipipyörä.

### 6.1 Ajoneuvon imujärjestelmä

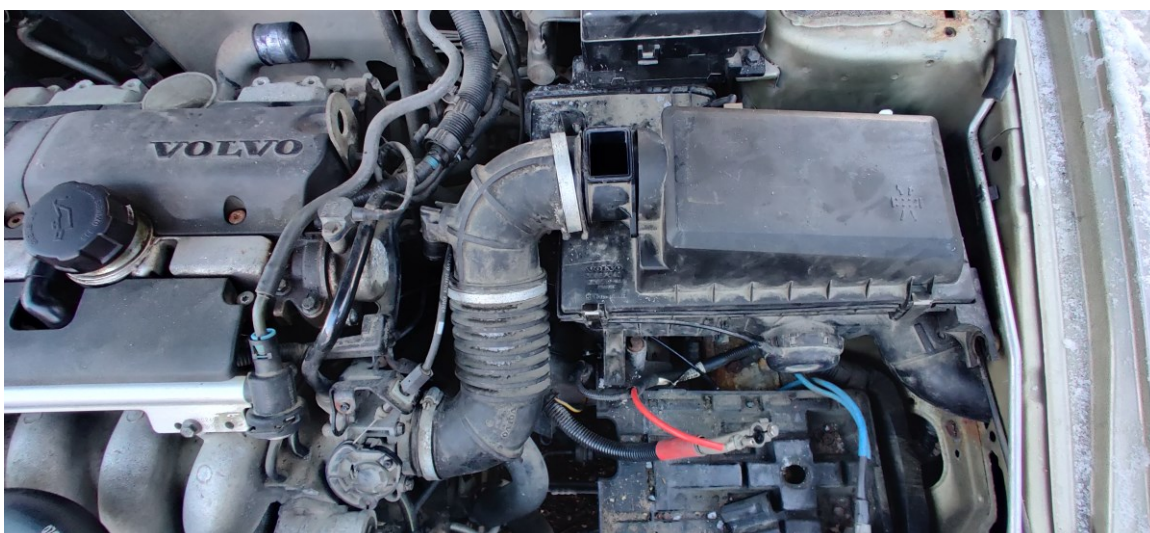
Ensimmäisenä mallinnettiin ja tulostettiin erään ajoneuvon imujärjestelmä. Tarkoitus oli parantaa imujärjestelmää ilmansuodattimelta kaasuläpälle asti suunnitteleamalla, mallintamalla ja 3D-tulostamalla imujärjestelmästä yksinkertaistettu versio (kuvat 9 ja 10). Tämä tarkoittaa käytännössä tähän tarkoitukseen turhien ominaisuuksien poisjättämistä, eli 3D-tulostetussa tuotteessa ei ole imuilman lämmitykseen vaadittavia osia eikä imuäänen vaimentajaa. Alkuperäiset komponentit on valmistettu pääosin kovasta muovista, ja kaasuläpälle menevä imuputki on joustavaa kumia. Yksinkertaistettu versio tulostettiin käyttäen PLA-muovia sen edullisen hinnan vuoksi. Kyseinen muovilaatu ei tietenkään kestä moottoritilassa esiintyviä korkeita lämpötiloja, mutta tulostuksen tarkoitus olikin pääosin tarkastella tulostusaikaa, kustannuksia, kestävyyttä sekä painoa.





Kuvat 9. ja 10. 3D-mallinnus imujärjestelmästä.

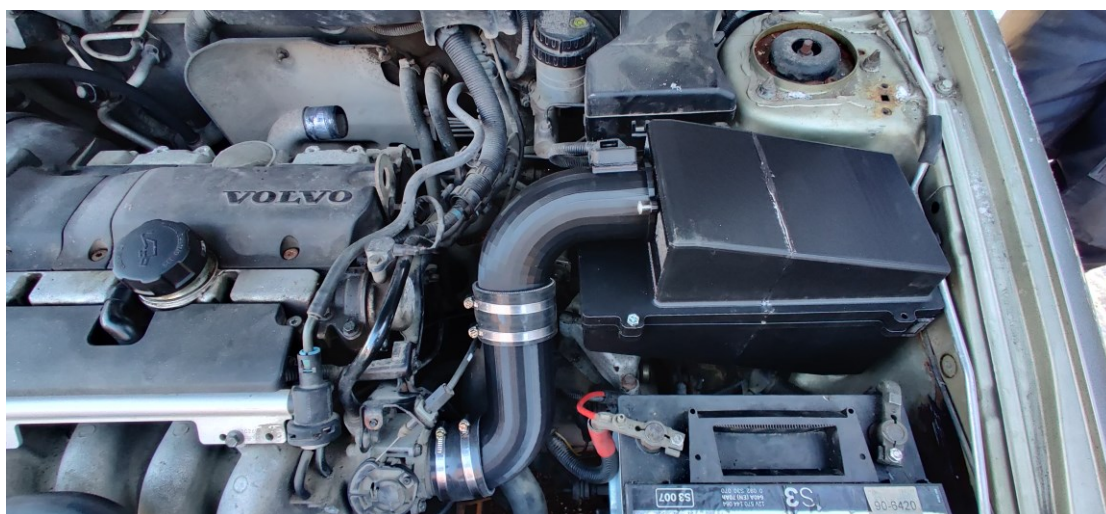
Putkien liitokset kaasuläppään ja toisiinsa on toteutettu yksinkertaisesti silikonilet-kulla ja letkunkiristimillä. Kaasuläpälle menevän putken halkaisija on pidetty sa-mana, mutta suodattimelle tulevan putken halkaisijaa on kasvatettu noin 20 mm ilmavirtauksen parantamiseksi. Ilmansuodatinkotelon geometriaa on hieman yk-sinkertaistettu tulostusajan optimoimiseksi sekä materiaalin säästämisen vuoksi. Jotta voidaan nähdä ero 3D-tulostetun ja alkuperäisen imujärjestelmän välillä, on kuvassa 11 esitettyä alkuperäinen ilmansuodatinkotelo sekä imuputket.



Kuva 11. Alkuperäinen ilmansuodatinkotelo imuputkistoiineen.



Alla olevassa kuvassa 12 on FDM-tulostimella valmistettu ilmansuodatinkotelo sekä kaasuläpälle menevät imuputket. Ensimmäiset kappaleet tulostettiin PLA:sta sen edullisen hinnan ja helpon saatavuuden vuoksi. Myöhemmässä vaiheessa järjestelmän imuputket tulostettiin ajoneuvo- ja teollisuuskäyttöön sopivasta ASA-muovista. Kyseinen muovilaatu kestää lämpöä huomattavasti paremmin kuin PLA, joka moottoritilassa olevan lämmön vaikutuksesta alkaisi muuttamaan muotoaan. ASA-muovia voidaan käyttää myös osiin, jotka altistuvat auriongonvalolle, sillä kyseinen muovilaatu kestää jonkin verran UV-säteilyä. PLA:sta valmistettuna osat kestivät hyvin vääntörasitusta ja iskuja, mutta koska ASA-muovi on kestävämpää ja lähes samankaltaista kuin ABS-muovi, on se huomattavasti parempi vaihtoehto erinäisten ajoneuvon osien valmistukseen. Voidaan todeta PLA:n olevan kuitenkin hyvä vaihtoehto nopeiden ja edullisten prototyyppien valmistukseen.



Kuva 12. 3D-tulostettu ilmansuodatinkotelo sekä imuputket.

Taulukossa 2 on esitetty alkuperäisten osien sekä 3D-tulostettujen osien painot grammoina. Lisäksi taulukon oikeassa laidassa on näkyvillä 3D-tulostukseen kulunut aika tunteina.

Taulukko 2. 3D-tulostettujen osien painot ja tulostusajat verrattuna alkuperäisten osien painoon.

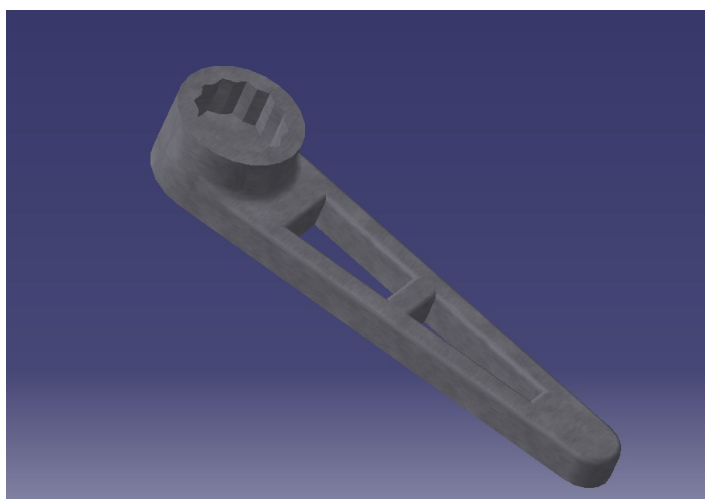
Komponentti	Alkuperäinen paino [g]	Tulostetun osan paino [g]	Säästö painossa [g] sekä muutos prosentteina	Tulostukseen kulunut aika [h]
Imuputket	751 g	461 g	290 g / 38,6 %	30 h
Ilmansuodattinkotelo	1562 g	956 g	606 g / 38,8 %	66 h

Taulukosta voidaan huomata painoa säästyneen noin 38 %. Jos tämän verran säästöä olisi mahdollista saada suurimmassa osassa auton komponentteja, alenisi kokonaispaino todella merkittävästi. Haittapuolena on kuitenkin tulostukseen kulunut aika, joka on lähes 100 tuntia. Tämä aika kuitenkin saataisiin lähes puolitettua nopeammalla tulostimella ja suurempaa suutinta käyttäen. Tulostusaika pienenisi suutinta kasvattamalla ainakin 40 %, mutta mahdollisesti jopa enemmän riippuen käytettävästä tulostimesta. Tässä testissä voitiin huomata, että isojen osien tulostaminen on hidasta, mutta tällä tavalla kuitenkin saatiin edullisesti valmistettua prototyyppi tietystä komponentista, jolloin sen toimivuutta ja sopivuutta voidaan helposti testata. Kokonaan ASA-muovista valmistettuna tulisi lopulliselle tuotteelle hintaa noin 75 €, kilohinnan ollessa noin 50 €. Kyseinen hinta on kuitenkin vain materiaalin hinta, joten työn sekä laitteen kulut lisättynä nousee

kappaleen hinta niin korkeaksi, ettei sen valmistaminen ole kannattavaa 3D-tulostamalla. Kokonaishinnalla ei kuitenkaan usein ole merkitystä, kun valmistetaan yksittäisiä ja uniikkeja kappaleita, joita ei muuten ole saatavilla. Silloin 3D-tulostaminen on hyvä vaihtoehto kappaleen valmistamiseksi.

## 6.2 Erikoistyökalu

Toisena tulosteena suunniteltiin ja valmistettiin erikoistyökalu (kuva 13) erään ajoneuvon öljynsuodattimelle sen hankalan ja ahtaan sijainnin vuoksi. Tällä tulosteella haluttiin kokeilla 3D-tulostuksen nopeutta ja kustannustehokkuutta yksinkertaisen työkalun valmistamiseen.



Kuva 13. 3D-tulostetun erikoistyökalun 3D-mallinnus.

Tällaisen kappaleen mallintamiseen kului aikaa noin puoli tuntia ja tulostamiseen kulunut aika oli noin kaksi tuntia. Materiaalia kappaleen valmistamiseen kului noin 50 g, joka vastaa hinnaltaan noin yhtä euroa, joten voidaan todeta kustannuksien tällaisen yksinkertaisen kappaleen valmistukseen olevan todella matalat. Kestävyydestiä varten tulostettiin myös pelkkä hylsy, jolloin vääntökestävyyttä voitiin testata momenttiavaimella. Testin perusteella todettiin tällaisen työkalun kestävän maksimissaan noin 95 Nm:n vääntömomentin, ennen kuin kappaleessa alkaa tapahtua muodonmuutoksia. Öljynsuodatinavaimeksi kyseinen työkalu on siis täysin toimiva ja edullinen valmistettava. Lopullista kappaletta (kuva 14) myös

kokeiltiin käytännössä öljynsuodattimen kannen avaamiseen ja voitiin todeta sen toimivan kuten suunniteltu. Kappaleessa ei myöskään tapahtunut väännön seurauksena muodonmuutoksia.

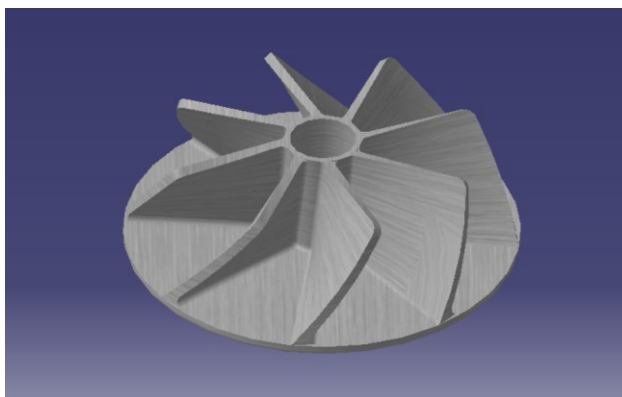


Kuva 14. 3D-tulostettu erikoistyökalu.

### 6.3 Vesipumpun siipipyörä

Kolmantena kappaleena tulostettiin geometrisesti hieman monimutkaisempi kappale, joka tässä tapauksessa oli vesipumpun siipipyörä (kuva 15). Tulostus toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun 3D-tulostimella, jossa materiaalina käytettiin 17-4 PH - ruostumatonta terästä. MBJ-menetelmällä valmistetun kappaleen valmistusprosessi sisältää useampia vaiheita kuin FDM-menetelmällä valmistettu kappale. Ensimmäisessä vaiheessa kappale tulostetaan kerros kerrokselta kuten FDM-menetelmässäkin, mutta tämän jälkeen kappale vaatii vielä jälkikäsittelyn. Itse tulostusvaihe vei aikaa noin 14 tuntia, minkä jälkeen kappale laitettiin liuotukseen, jossa kerrosten välinen sidosaine liuotettiin pois. Kappaleesta riippuen tulostusvaiheen jälkeen voidaan vielä suorittaa pinnalle hionta, jos se on tarpeen. Pintakäsittelyn ja liuotusvaiheen jälkeen tulee kappale uunittaa, johon kului aikaa noin 40 tuntia. Uunituksen tarkoituksena on saada kappaleen eri kerrokset sulautumaan toisiinsa, kun niiden välillä olevaa sidosainetta ei enää ole.

Tämän tulostuksen perusteella voidaan todeta itse tulostuksen olevan melko nopeaa, mutta liuotukseen ja uunitukseen kuluva aika on todella pitkä. Aika ei myöskään riipu kappaleen koosta tai niiden määrästä, joten tällä menetelmällä kaikista kannattavinta on tulostaa kerralla suuria määriä, jotta kappaleet voidaan uunittaa yhtä aikaa.



Kuva 15. Siipipyörän 3D-malli

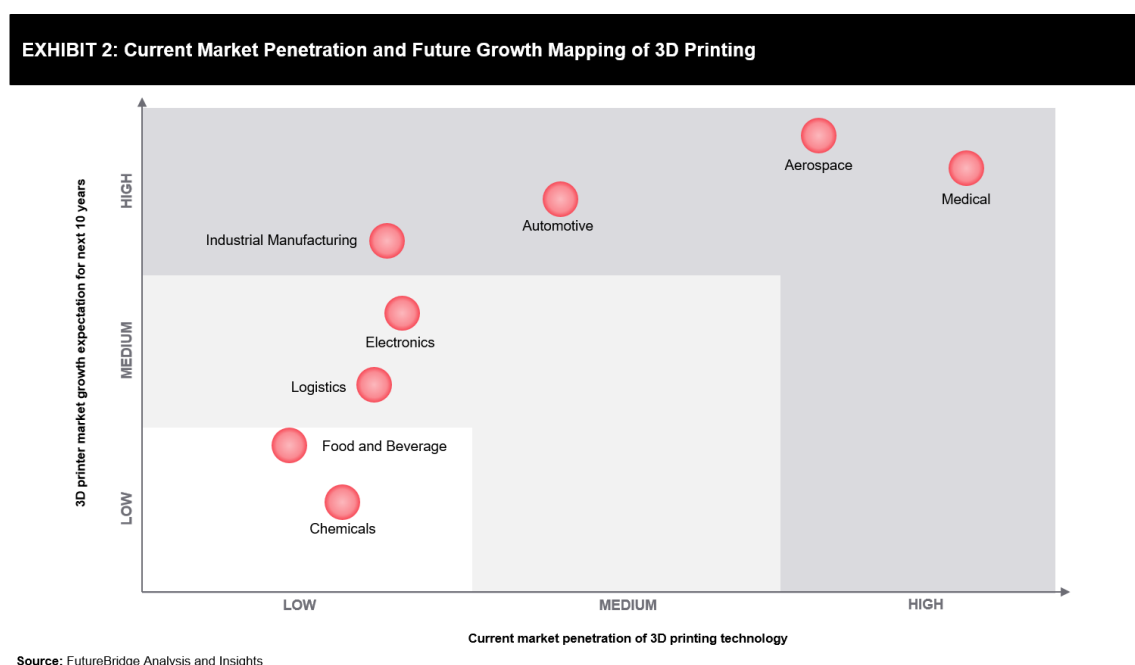
Tulosteeseen (kuva 16) kului viipalointiohjelman mukaan 218 grammaa materiaalia, josta siipipyörän osuus on noin 123 grammaa. Hukkamateriaalia oli kokonaisuudessaan siis 95 grammaa, joka koostuu tukirakenteista. Jos kyseinen kappale olisi valmistettu käyttäen CNC-jyrsintä, olisi hukkamateriaalia tullut moninkertaisesti enemmän. Materiaalin osalta kappaleelle tuli hintaa noin 22 €, mutta tässäkin tapauksessa, kun huomioidaan tulostimen hankinta- ja käyttökulut, ei tällaisen yksittäisen kappaleen valmistaminen 3D-tulostamalla ole kannattavaa.



Kuva 16. Ruostumattomasta teräksestä 3D-tulostettu siipipyörä.

## 7 3D-tulostamisen tulevaisuus ajoneuvoteollisuudessa

Ajoneuvoteollisuus on suuressa murrosvaiheessa. Käyttövoiman vaihtuminen perinteisestä polttomoottorista sähköön sekä joidenkin valmistusmenetelmien vaihtuminen perinteisistä menetelmistä 3D-tulostukseen. Tutkimusten mukaan 3D-tulostaminen teollisessa tuotannossa tulee kasvamaan merkittävästi seuraavan vuosikymmenen aikana. Ajoneuvoteollisuudessa markkinat tulisivat kasvamaan noin 2,6 miljardiin euroon vuoteen 2030 mennessä. Vuonna 2015 vastaava luku oli noin 0,34 miljardia, joten kasvua tulisi tapahtumaan 15 %. [28] Alla olevasta kuvasta 17 voidaan nähdä, että ajoneuvoteollisuus on ennusteen mukaan kolmanneksi suurin kasvaja heti lääke- ja avaruusteollisuuden jälkeen.



Kuva 17. 3D-tulostuksen markkinakasvun ennuste seuraavalle 10 vuodelle [29].

Tulevaisuudessa ajoneuvoteollisuus ei keskittyisikään enää vain prototyyppien valmistamiseen 3D-tulostamalla, vaan kyseistä teknologiaa sovellettaisiin paljon suuremmassa mittakaavassa myös massatuotettuihin osiin. Useat 3D-tulostukseen erikoistuneet yrityksetkin ovat jo tehneet yhteistyötä autovalmistajien kanssa, jotta lähitulevaisuudessa tulostetut osat olisivat alkuperäisiä osia vastaavia ja osia voitaisiin tuottaa yhtä nopeasti kuin perinteisillä menetelmillä. [29] 3D-

tulostuksen kustannuksia pitää kuitenkin saada laskettua ennen kuin massatuotanto kokonaisille autoille tai automalliston osille olisi kannattavaa. Todennäköisempää on, että markkinoille tulee lähivuosina pieniä ja halpoja 3D-tulostettuja ajoneuvoja. Esimerkiksi italialainen ajoneuvovalmistaja XEV suunnittelee oman sähköautonsa massatuotannon aloittamista. [28] Seuraavissa luvuissa on esitelty, mitä eri komponentteja tulevaisuudessa voitaisiin valmistaa tulostamalla.

### 7.1 Rungon ja alustan osat

Tavoitteena 3D-tulostuksen hyödyntämisessä on laskea valmistuskustannuksia, nopeuttaa tuotantoa sekä avata uusia mahdollisuuksia autojen suunnittelussa. Nykyään on jo muutamia ajoneuvoja, jotka on valmistettu noin 90-prosenttisesti 3D-tulostettuja osia käyttämällä. [29] Eräs esimerkki 3D-tulostuksen mahdollisuuksista ajoneuvoteollisuudessa on vuonna 2015 esitelty Blade-superauto. Kyseinen auto ei ole kokonaisuutena tulostettu, vaan rungossa on käytetty tekniikkana niin sanottuja ”noodeja”, joiden avulla voidaan yhdistää rungossa olevat hiilikuituiset putket toisiinsa. Kuvassa 18 on esiteltynä muutama rungon osa.

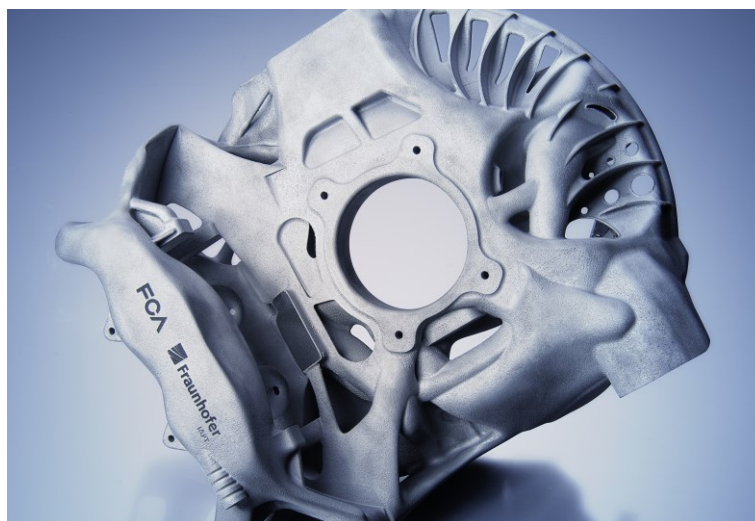


Kuva 18. Blade-superauton 3D-tulostettuja rungon osia [30].

Tämäntyyppiset osat mahdollistavat valmistuskustannusten sekä kokoamisajan pienentämisen. Blade-superauton kehittäjän mukaan ajoneuvon kokoamiseenkin menee vain noin 30 minuuttia. Kyseinen runkorakenne mahdollistaa myös suuren pudotuksen ajoneuvon kokonaispainossa, mikä osaltaan vähentää päästöjä. [30]



Rungon ja alustan osat ovat tärkeimpiä painon säästämisen kannalta. Useat autovalmistajat ovatkin kokeilleet 3D-tulostettujen osien valmistamista omiin automalleihinsa. Esimerkiksi FCA (Fiat Chrysler Automobiles) suunnitteli ja valmisti pyörännavan (kuva 19) yhteistyössä Fraunhoferin tutkimusinstituution kanssa. Suunnittelussa haluttiin ottaa huomioon nykypäivän automallien alustan osien monimutkaisuus sekä osien määrä. Tavoitteena tämän komponentin suunnittelussa siis oli alentaa painoa verrattuna alkuperäiseen osaan sekä integroida naapaan kiinteä jarrusatula, jolloin yksittäisten osien määrä vähenisi. Tämä helpotaisi valmistusta sekä lopullista kokoonpanoa, mikä vaikuttaa suoraan valmistus- ja kokoamisaikaan. [31]



Kuva 19. 3D-tulostettu pyörännapa, jossa integroituna kiinteä jarrusatula [30].

Lopullinen tuote oli 36 % kevyempi sekä huomattavasti kestävämpi kuin alkuperäinen. Tutkimuksessa myös arvioitiin uuden osan ominaisuudet huomioon ottaen sen olevan parempi melun ja värinän kannalta. [31] Jos tämänkaltaista uutta osaa mietitään massatuotannon ja normaaleiden henkilöautojen kannalta, ei kiinteä jarrusatula ole kovin käyttäjäystävällinen, sillä osan mennessä epäkuntoon on vaihdettava koko pyörännapa.



## 7.2 Moottorin osat

Korin ja alustan osat eivät ole 3D-tulostuksen ainoa sovelluskohde ajoneuvotekniikassa, sillä nykyteknologia mahdollistaa myös moottorin osien tulostamisen. Polttomoottorin osat ovat ajoneuvossa yksi kovimman rasituksen kestäviä osia. Esimerkiksi mäntien ja kiertokankien tulee kestää useiden satojen asteiden lämpötiloja ja painetta. Eräs kreikkalainen koneistamo on onnistunut suunnittelemaan ja tulostamaan hiilikomposiitista moottorin kiertokanget (kuva 20), joilla olisi tehonkesto jopa 3000 hevosvoimaan asti. Merkittävää ajoneuvoteollisuuden kannalta on valmistuksessa käytetty materiaali, joka on huomattavasti perinteisiä materiaaleja kevyempi. [32]



Kuva 20. Hiilikomposiitista tulostetut kiertokanget [32].

Yllä olevasta kuvasta 20 voidaan myös tarkastella kiertokangen rakennetta, josta huomataan rungossa käytetty ristikkorakenne. Tässä työssä on jo aiemmin mainittu ristikkorakenteen hyödyntämisestä 3D-tulostuksessa ja tässäkin tapauksessa sitä on hyödynnetty, jolloin kiertokangelle saavutetaan sen tarvitsema vahvuus ja myös kappaleen painossa säästetään. [32] Myös Renault Trucks on hyödyntänyt 3D-tulostamista omassa 4-sylinterissä moottorissaan. Tavoitteena oli osoittaa, mitä hyötyjä tulostetuista moottorin komponenteista voi olla esimerkiksi moottorin kokoon ja sen painoon. Projektissa tulostettiin 4-sylinteriseen prototyyppimoottoriin keinuivut sekä nokka-akselien laakerikannet. Lopputuloksena huomattiin, että moottorin paino putosi 25 % käyttämällä 3D-tulostettuja osia.

Kyseisiä osia myös testattiin onnistuneesti moottorin rasitustestissä 600 tunnin ajan. [33]

Kuten sanottu, niin ajoneuvoteollisuus muuttuu todella nopeasti tällä hetkellä ja monet autovalmistajat ovatkin ilmoittaneet lopettavansa polttomoottoriautojen tuotannon tietyn ajankohdan jälkeen. Tämä tarkoittaa tuotannon siirtymistä vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien ajoneuvojen tuotantoon. Suuri osa näistä ajoneuvoista tulee todennäköisesti toimimaan sähköllä, ja tästä syystä esimerkiksi Porsche on jo valmistanut sähkömoottoreiden koteloita 3D-tulostamalla. Tällä valmistusmenetelmällä on koteloista saatu kevyempiä ja rakenne on myös vahvempi. Sähköautojen akustot painavat jopa yli 500 kg, joten 3D-tulostetuilla osilla ajoneuvojen paino voidaan saada merkittävästi alemmas. Sähköautoille kevyempi kokonaispaino tarkoittaa myös parempaa hyötysuhdetta, jolloin toimintasädeettä saadaan kasvatettua. [34]

Oak Ridgen kansallisessa laboratoriossa (ORNL) oli tutkittu BAAM-tekniikan hyödyntämistä ajoneuvojen valmistuksessa. Tekniikka mahdollistaa suurten kappaleiden kuten esimerkiksi kokonaisen auton tulostamisen erittäin nopeasti. ORNL ja Local Motors halusivat toteuttaa ideansa ajoneuvosta, joka voitaisiin valmistaa 3D-tulostamalla, ja näin osien kokonaismäärä saataisiin vähennettyä tuhansista vain muutamiin kymmeneen. Tällä menetelmällä olisi mahdollista nopeuttaa tuotantoa, tuottaa ajoneuvoja halvemmalla sekä kustomoida ajoneuvo juuri asiakkaan tarpeiden ja mieltymysten mukaan. Nykyään tarjolla on vain rajattu määrä vaihtoehtoja ajoneuvon varusteiden ja ulkoisten ominaisuuksien kustomointiin, mutta BAAM-tekniikalla asiakkaalle voitaisiin tulostaa juuri sellainen ajoneuvo kuin halutaan. Tutkimuksessa havaittiin tämän tekniikan olevan halvempi ja nopeampi kuin perinteinen tulostaminen, sillä kokonainen sähköajoneuvon runko ja kori (kuva 21) onnistuttiin tulostamaan vain alle 4000 \$:lla. [35]



Kuva 21. 3D-tulostettu sähköauto Strati [36].

Tällaisella konseptilla voisi hyvin olla tulevaisuudessa markkinoita esimerkiksi Kiinassa ja Intiassa, sillä valmistuskustannukset olisivat edulliset ja auton koko on pieni. Pienellä ja edullisella sähköautolla voitaisiin korvata suuri osa pienistä polttomootoriajoneuvoista, millä olisi globaalisti suuri vaikutus hiilidioksidipäästöihin.

### 7.3 Sähköautokonversiot

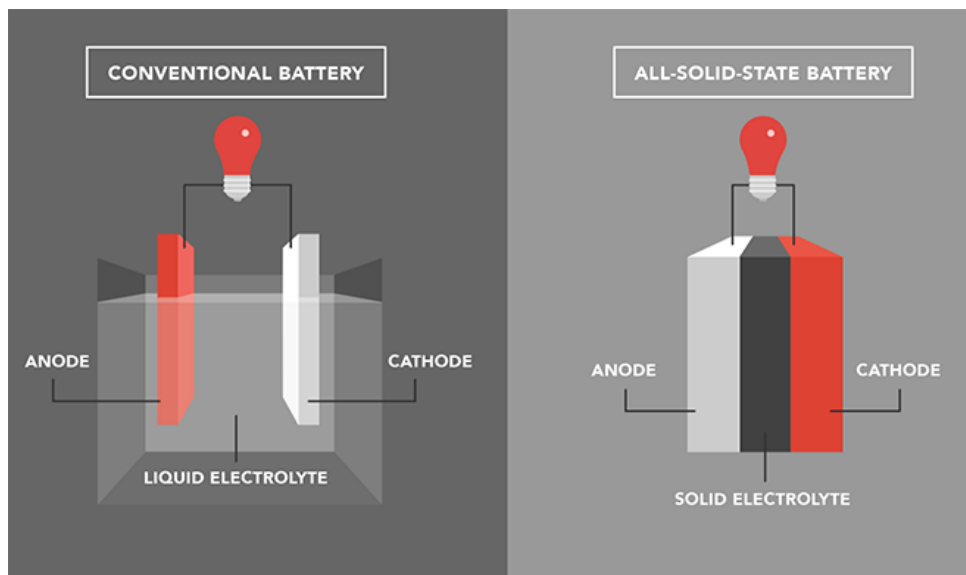
Uusia sähköajoneuvoja suunnitellaan ja valmistetaan tällä hetkellä kovalla vauhdilla. Ilmastopolitiikka on pakottanut monet autovalmistajat luopumaan polttomootoriautojen kehityksestä ja siirtymään suunnittelemaan vain vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivia autoja. Yksi näistä käyttövoimista on sähkö, ja se onkin tämän hetken markkinoilla lähes ylivoimainen vaihtoehtoinen käyttövoima polttomootorin sijaan. Kaikilla ei kuitenkaan ole mahdollisuutta tai halua ostaa täysin uutta sähköautoa, joten muutamat yritykset maailmalla ovat alkaneet tekemään perinteisille polttomootoriautoille sähköautokonversioita. Näissä konversioissa eräs yhdysvaltalainen yritys on hyödyntänyt 3D-tulostusta erinäisten komponenttien valmistuksessa. Yritys on myös tulostanut sähkömootorin prototyyppin, jotta sähkömootoreita olisi mahdollisuus valmistaa muunnettaviin ajoneuvoihin paikan päällä. [37]

Tällä alalla voisi olla todella suuri potentiaali 3D-tulostamisen kannalta. Sähköautokonversioiden tekeminen on tällä hetkellä vielä melko vähäistä, ja sen vuoksi hinnat muunnokselle alkavat noin 30 000 €:sta. [38] Korkea hinta johtuu siitä, että jokainen auto tehdään yksilöitynä ja jokaisen auton konversio tulee suunnitella ja toteuttaa omalla tavallaan. Hinnan toinen määräävä tekijä on toistaiseksi vielä kalliit komponentit, kuten sähkömoottorit ja akustot. 3D-tulostuksella näitä hintaa nostavia tekijöitä voitaisiin kuitenkin mahdollisesti eliminoida. Kun hintaa saadaan alemmas, tulee konversiosta entistä houkuttelevampi ja konversioiden yleistymisen johdosta hinta laskisi entisestään. Suomessakin on liikennekäytössä yli 2,7 miljoonaa henkilöautoa, joista sähköajoneuvoja on noin 10 000, joten potentiaalisia ajoneuvoja konversioille olisi todella paljon. [39] 3D-tulostamista voitaisiin myös hyödyntää niin sanottujen valmiiden konversiopakettien valmistuksessa eli tulostettaisiin erinäiset komponentit valmiiseen pakettiin, jotta kuluttajat voisivat myös itse halutessaan tehdä konversion omalle ajoneuvolleen. Tulostamisella hintaa sekä kappaleiden painoa saataisiin mahdollisesti reilusti pudotettua.

#### 7.4 Akustojen tulostaminen

Sähköautojen akkupaketit ovat tämän hetken yksi suurimmista haasteista, kun ollaan siirtymässä sähköllä toimiviin ajoneuvoihin. Akustot ovat painavia, suuri-kokoisia sekä hintavia. Nämä kolme tekijää tuovat haasteita ajoneuvojen suunnitteluun ja tuotantoon suuressa mittakaavassa, mutta ratkaisu näihin haasteisiin on mahdollisesti 3D-tulostus. Japanilaisen yrityksen kehittämän 3D-tulostimen avulla pystytään tulostamaan kokonaisia SSB-akkuja. Kyseinen tulostin kykenee niin sanottuun multi-material-tulostukseen eli yhdessä tulostusprosessissa voidaan käyttää useita eri materiaaleja, kuten keramiikkaa ja metalleja, joita SSB-akut sisältävät. Tällaisilla akuilla on myös positiivinen vaikutus ympäristöön, sillä ne eivät vaadi grafiittia kuten litiumioniakut. Koska valmistusprosessi on myös polymeerivapaa, ei ylimääräistä jätettä synny kuten perinteisten akustojen valmistuksessa. Tällä menetelmällä akuista saadaan moninkertaisesti enemmän kapasiteettia mutta käyttämällä kuitenkin huomattavasti vähemmän materiaalia. Samaa menetelmää voidaan käyttää myös esimerkiksi sähkömoottoreiden

valmistuksessa, joten potentiaalia kyseisen teknologian käyttämisessä ajoneuvo-teollisuudessa olisi paljon. [40] Kuvassa 22 esitettynä perinteisen- ja SSB-akun erot.



Kuva 22. Perinteinen akku verrattuna SSB-akkuun [41].

## 7.5 Tulevaisuuden haasteet

Monet autovalmistajat hyödyntävät jo 3D-tulostusta useissa eri sovelluskohteissa kuten työkalujen ja muottien, prototyyppien sekä joidenkin auton osien valmistuksessa. 3D-teknologia jatkaa kehittymistään ja sen käyttö lisääntyy teollisuudessa jatkuvasti, mutta sen käyttöön liittyy kuitenkin haasteita.

Yksi suurimmista haasteista ajoneuvoteollisuuden kannalta on massatuotanto. Vuonna 2019 tuotettiin globaalisti yli 92 miljoonaa autoa, mikä tarkoittaa noin 250 000 autoa päivässä. Kysynnän kasvaessa jatkuvasti on ajoneuvoteollisuudessa massatuotanto lähes välttämätöntä, mutta 3D-tulostuksella ei vielä nyky-päivänä ole kykyä tuottaa osia niin suurina volyyymeinä kuin tarvittaisiin. Massatuotanto tullaan siis mitä todennäköisimmin lähitulevaisuudessakin toteuttamaan perinteisin keinoin, mutta 3D-tulostusta voidaan hyödyntää esimerkiksi ajoneuvojen kustomoinnissa sekä yksittäisten osien valmistuksessa. Muita haasteita ovat tulosteiden koko ja 3D-tulostukseen liittyvä tietotaito. Tulosteiden koko on vielä

melko rajoittunut, mikä tarkoittaa tarvetta liittää osia toisiinsa. Tämä lisää prosessiin ylimääräisen vaiheen ja pitkittää tuotteen valmistumista. Mutta kuten edellisessä luvussa on jo mainittu, niin kehityksen kohteena on BAAM-teknologia, joka mahdollistaa suurten kappaleiden tulostamisen hyvin nopeasti. Yritykset myös tarvitsevat henkilöstöä, jolla on taitoa 3D-tulostuksesta, mallinnuksesta sekä laitteistojen ylläpidosta. Tällaisten taitojen omaavia henkilöitä tarvittaisiin siis runsaasti enemmän, kun tuotanto laajenee ja mahdollisesti siirtyy massatuotantoon. [42]

## 8 Yhteenveto

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tarkastella ja tutkia 3D-tulostamisen menetelmiä ja niiden mahdollisuuksia ajoneuvoteollisuudessa. Lisäksi tarkasteltiin kustannuksia, ympäristövaikutuksia ja tulevaisuuden näkymiä.

3D-tulostamisen eri teknologiat kehittyvät tällä hetkellä nopealla vauhdilla, ja käyttökelpoisia menetelmiä onkin jo käytössä useita erilaisia. Näistä käyttökelpoisimpia menetelmiä on jo hyödynnetty ajoneuvoteollisuudessa monissa eri sovel-luksissa, kuten sähköajoneuvojen akustoissa, ja myös yksinkertaisimmissa kappaleissa, kuten erilaisissa kiinnikkeissä ja työkaluissa. Tämän insinöörityön pohjalta voidaan todeta, että 3D-tulostaminen on teollisuuden ja massatuotannon kannalta vielä melko uusi teknologia. Laitteiden hankinta- ja käyttökustannukset ovat vielä huomattavan korkeita, minkä vuoksi monella suurella autovalmistajalla 3D-tulostaminen on vielä suurimmaksi osaksi testausvaiheessa eikä osien mas-satuotanto ole vielä kannattavaa. 3D-tulostaminen kuitenkin tällä hetkellä on erit-täin käyttökelpoinen valmistusmenetelmä, kun halutaan valmistaa yksinkertaisia työkaluja tai prototyyppejä.

Työssä valmistettujen omien kappaleiden tulostaminen sujui odotetusti, ja ne he-rättivät erittäin paljon uusia ajatuksia 3D-tulostamisen mahdollisuuksista ja kan-nattavuudesta. Tulevaisuudessa 3D-tulostaminen avaa todella paljon uusia mah-dollisuuksia materiaalin säästön, valmistuskustannusten ja monimutkaisempien

kappaleiden valmistamisen kannalta. Näiden syiden vuoksi 3D-tulostamista tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti, jotta tulevaisuudessa voidaan valmistaa entistä halvemmalla, helpommalla ja nopeammin parempia kappaleita kuin nykypäivän teknologialla.

## Lähteet

- 1 3d Printing: Basic principles and applications. 2021. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321046575?via%3Dihub>>. Luettu 2.9.2021.
- 2 What is 3D printing? Verkkoaineisto. 3Dhubs. <<https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>>. Luettu 2.9.2021.
- 3 Types of 3D printing technology. 2019. Verkkoaineisto. Protolabs. <<https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/>>. Luettu 2.9.2021.
- 4 The Types of 3D Printing Technology. 2020. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>>. Luettu 2.9.2021
- 5 Automotive 3D printing applications. Verkkoaineisto. 3Dhubs. <<https://www.hubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/#materials>>. Luettu 3.9.2021.
- 6 Stereolithography (SLA) 3D printing: Technology overview. 2021. Verkkoaineisto. Xometry. <<https://xometry.eu/en/stereolithography-sla-3d-printing-technology-overview/>>. Luettu 3.9.2021
- 7 Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Verkkoaineisto. Formlabs. <<https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>>. Luettu 3.9.2021.
- 8 Laser Sintering. Verkkoaineisto. Materialise. <<https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/laser-sintering>>. Luettu 3.9.2021
- 9 Briggs & Stratton Uses SLS Printing to Develop and Qualify Engine Parts. Verkkoaineisto. 3D Systems. <<https://www.3dsystems.com/customer-stories/briggs-stratton-uses-sls-printing-develop-and-qualify-engine-parts>>. Luettu 3.9.2021



- 10 What's the Difference Between SLS and SLM? 2014. Verkkoaineisto. RapidMade. <<https://www.rapidmade.com/rapidmade-blog/2014/6/30/ycjnxytvpt8n85gqutk5wj67cmx4t7>>. Luettu 3.9.2021.
- 11 Audi gives update on use of SLM metal 3D printing for the automotive industry. 2018. Verkkoaineisto. 3D Printing Industry. <<https://3dprintingindustry.com/news/audi-gives-update-use-slm-metal-3d-printing-automotive-industry-129376/>>. Luettu 3.9.2021.
- 12 Betting on Binder Jetting for Production Additive Manufacturing. 2021. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/betting-on-binder-jetting-for-production-additive-manufacturing/>>. Luettu 22.9.2021.
- 13 3D printing drives automotive innovation. 2016. Verkkoaineisto. Evaluation Engineering. <<https://www.evaluationengineering.com/test-issues-techniques/technology/3d-printing/article/13014908/3d-printing-drives-automotive-innovation>>. Luettu 3.9.2021.
- 14 Spare parts for trucks and buses made in a 3D printer. Verkkoaineisto. Daimler. <<https://www.daimler.com/sustainability/corporate-environmental-protection/3d-print.html>>. Luettu 4.9.2021
- 15 Innovating spare parts logistics with 3D printing. 2019. Verkkoaineisto. Reuters Events. <<https://www.reutersevents.com/supplychain/technology/innovating-spare-parts-logistics-3d-printing>>. Luettu 6.9.2021.
- 16 What's Holding Back 3D Printed Spare Parts? 2018. Verkkoaineisto. Fabbaloo. <<https://www.fabbaloo.com/2018/10/whats-holding-back-3d-printed-spare-parts>>. Luettu 6.9.2021.
- 17 Metal 3D printing at Audi. 2018. Verkkoaineisto. Audi Media Center. <<https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/metal-3d-printing-at-audi-68100>>. Luettu 6.9.2021.
- 18 Volkswagen Autoeuropa: Maximizing production efficiency with 3D printed tools, jigs and fixtures. 2017. Verkkoaineisto. Ultimaker.

- <<https://ultimaker.com/learn/volkswagen-autoeuropa-maximizing-production-efficiency-with-3d-printed>>. Luettu 21.3.2022
- 19 How is 3D printing cost effective? 2021. Verkkoaineisto. 3D printed parts. <<https://3dprintedparts.com/2021/01/15/how-is-3d-printing-cost-effective/>>. Luettu 6.9.2021.
  - 20 Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing. 2014. Verkkoaineisto. NIST Special Publication 1176. <<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1176.pdf>>. Luettu 7.9.2021.
  - 21 A cost perspective on 3D printing. Verkkoaineisto. PwC Belgium. <<https://www.pwc.be/en/news-publications/insights/2017/cost-perspective-3d-printing.html>>. Luettu 7.9.2021
  - 22 Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study. 2021. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666412721000131>>. Luettu 8.9.2021.
  - 23 Analysis of energy utilization in 3D printing processes. 2016. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116000706>>. Luettu 8.9.2021.
  - 24 Are Emissions from 3D Printing Hazardous to Your Health? 2019. Verkkoaineisto. Additive Manufacturing. <<https://www.additivemanufacturing.media/articles/are-emissions-from-3d-printing-hazardous-to-your-health>>. Luettu 8.9.2021.
  - 25 The environmental impact of 3D printing. Verkkoaineisto. 3D printing business directory. <<https://www.3dprintingbusiness.directory/environmental-impact-3d-printing/>>. Luettu 13.9.2021.
  - 26 How Sustainable is Industrial 3D Printing? 2020. Verkkoaineisto. AMFG. <<https://amfg.ai/2020/03/10/how-sustainable-is-industrial-3d-printing/>>. Luettu 8.9.2021.

- 27 Emission of Particles and VOCs at 3D Printing in Automotive. 2019. Verkkoaineisto. Sustainable Design and Manufacturing 2019. <<https://link-springer-com.ezproxy.metropolia.fi/book/10.1007%2F978-981-13-9271-9>>. Luettu 13.9.2021.
  
- 28 How the automotive industry plans to use 3D printing to create new business models. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.lead-innovation.com/english-blog/automotive-industry-3d-printing>>. Luettu 14.9.2021
  
- 29 Evolution of 3D Manufacturing in the Automotive Industry. 2020. Verkkoaineisto. FutureBridge. <<https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/3d-printing-a-technology-that-can-print-cars-in-future-on-a-mass-scale/>>. Luettu 14.9.2021.
  
- 30 World's First 3D Printed Supercar is Unveiled – 0–60 in 2.2 Seconds, 700 HP Motor – Built from Unique Node System. 2015. Verkkoaineisto. 3DPrint. <<https://3dprint.com/74810/3d-printed-supercar-blade/>>. Luettu 14.9.2021.
  
- 31 Fraunhofer researchers develop 3D printed suspension part for Fiat-Chrysler sports car. 2020. Verkkoaineisto. 3D Printing Industry. <<https://3dprintingindustry.com/news/fraunhofer-researchers-develop-3d-printed-suspension-part-for-fiat-chrysler-sports-car-179242/>>. Luettu 15.9.2021.
  
- 32 Extreme tuners create lightweight 3D printed carbon composite connector rods. 2019. Verkkoaineisto. 3D Printing Industry. <<https://3dprintingindustry.com/news/extreme-tuners-create-lightweight-3d-printed-carbon-composite-connector-rods-165641/>>. Luettu 14.9.2021.
  
- 33 Renault Trucks tests 3D-printed engine parts in Europe. 2017. Verkkoaineisto. Today's motor vehicles. <<https://www.todaysmotorvehicles.com/article/renault-trucks-3d-printed-engine-parts-011717/>>. Luettu 21.9.2021.
  
- 34 Porsche is 3D printing electric drive housings that are lighter and stronger than conventional ones. 2021. Verkkoaineisto. Electrek. <<https://electrek.co/2021/02/02/porsche-is-3d-printing-electric-drive-housings-that-are-lighter-and-stronger-than-conventional-ones/>>. Luettu 16.9.2021

- 35 Utility of big area additive manufacturing (BAAM) for rapid manufacturing of customized electric vehicles. 2014. Verkkoaineisto. Oak Ridge National Laboratory. <<https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub52852.pdf>>. Luettu 21.9.2021.
- 36 The World's First 3D-Printed Car Is a Blast to Drive. 2015. Verkkoaineisto. Popular Mechanics. <<https://www.popularmechanics.com/cars/a16726/local-motors-strati-roadster-test-drive/>>. Luettu 21.9.2021.
- 37 Changing the Electric Vehicle Game with Additive Manufacturing – Meet ELECTRIC GT. 2021. Verkkoaineisto. Airwolf3D. <<https://airwolf3d.com/2021/04/06/changing-the-electric-vehicle-game-with-additive-manufacturing-meet-electric-gt/>>. Luettu 27.9.2021.
- 38 The UK start-up saving classic cars from the landfill by converting them to electric. 2021. Verkkoaineisto. Euronews. <<https://www.euronews.com/next/2021/09/15/the-uk-start-up-saving-classic-cars-from-the-landfill-by-converting-them-to-electric>>. Luettu 27.9.2021.
- 39 Sähköautojen määrä kaksinkertaistui vuodessa – ladattavien hybridien ja sähköautojen osuus autokannasta nousi ensi kertaa yli prosenttiin. 2021. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <<https://yle.fi/uutiset/3-11811025>>. Luettu 27.9.2021.
- 40 Charged EVs | Sakuú develops lithium metal solid-state battery. 2021. Verkkoaineisto. On digital shop. <<https://ondigitalshop.com/charged-evs-sakuu-develops-lithium-metal-solid-state-battery/>>.
- 41 Sakuu unveils new multi-process electric vehicle battery 3D printer. 2021. Verkkoaineisto. 3D Printing Industry. <<https://3dprintingindustry.com/news/sakuu-unveils-new-multi-process-electric-vehicle-battery-3d-printer-190023/>>. Luettu 30.9.2021.
- 42 How is 3D Printing Transforming the Automotive Industry? 2021. Verkkoaineisto. AMFG. <<https://amfg.ai/2018/06/13/3d-printing-transforming-automotive-industry/>>. 22.9.2021.