

Opinnäytetyö (AMK)

Tietojenkäsittely

2025

Teemu Kivinen

# 3D-tulostuksen ja 3D- skannauksen mahdollisuudet ja haasteet linja-autoteollisuuden tuotantoympäristössä



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tietojenkäsittely

2025 | 35 sivua

Teemu Kivinen

# 3D-tulostuksen ja 3D-skannauksen mahdollisuudet ja haasteet linja-autoteollisuuden tuotantoympäristössä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-skannauksen ja 3D-tulostuksen mahdollisuuksia linja-autoteollisuuden tuotantoympäristössä, keskittyen erityisesti prototyypin suunnitteluun, tuotantoprosessin optimointiin ja varaosat tuotantoon. Työssä käytettiin kirjallisuuskatsausta, tapaustutkimuksia ja konseptitodistusta koekappaleen skannauksen ja tulostamisen osalta.

Tulokset osoittivat, että 3D-skannaus ja 3D-tulostus voivat tehostaa tuotantoa erityisesti alkuvaiheessa, nopeuttaen työprosessia. 3D-tulostus mahdollistaa myös mallikappaleiden ja varaosakappaleiden nopean tuotannon.

Johtopäätöksenä voitiin todeta, että 3D-skannauksen ja 3D-tulostuksen käyttöönotto linja-autoteollisuudessa voi tuoda merkittäviä kilpailuetuja, mutta teknologioiden hyödyntäminen edellyttää investointeja. Työ esittää myös jatkotutkimusaiheita, kuten laadunvalvonta ja tulostusmateriaalit.

Asiasanat:

lisävä valmistus, 3D-tulostus, 3D-skannaus, ajoneuvoteollisuus, teollisuus 4.0

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Bachelor of Applied Sciences – Information Technology

2025 | 35 pages

Teemu Kivinen

## Possibilities and Challenges of 3D Printing and 3D Scanning in the Production Environment of the Bus Manufacturing Industry

The aim of this thesis was to explore the possibilities of 3D scanning and 3D printing in the bus manufacturing industry, focusing particularly on prototype design, production process optimization, and spare parts production. The thesis utilized literature reviews, case studies, and a proof-of-concept study involving the scanning and printing of a test part.

The results showed that 3D scanning, and 3D printing can significantly enhance production, especially in the early stages, speeding up and streamlining the workflow. 3D printing also enables the rapid production of both prototype and spare parts.

The conclusion drawn was that the implementation of 3D scanning and 3D printing in the bus manufacturing industry can provide significant competitive advantages, but their utilization requires investments. The thesis also suggests areas for further research, such as quality control and printing materials.

Keywords:

additive manufacturing, 3D printing, 3D scanning, automotive industry, industry 4.0

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 3D-teknologioiden yleiskatsaus</b>	<b>8</b>
2.1 3D-skannaus	8
2.1.1 Historia	8
2.1.2 Toimintaperiaate	9
2.1.3 Käyttötarkoitukset ja tulevaisuuden näkymät	9
2.2 3D-tulostus	10
2.2.1 Historia	10
2.2.2 Toimintaperiaate	11
2.2.3 Käyttötarkoitukset ja tulevaisuuden näkymät	12
2.2.4 FFF-tulostuksesta	13
<b>3 Teknologioiden sovellukset linja-autoteollisuudessa</b>	<b>16</b>
3.1 3D-skannauksen sovellukset	16
3.1.1 Suunnittelussa	16
3.1.2 Arkistoinnissa	16
3.2 3D-tulostuksen sovellukset	17
3.2.1 Alkutuotannossa	17
3.2.2 Jälkituotannossa	17
<b>4 3D-teknologioiden edut ja haasteet tuotantoympäristössä</b>	<b>18</b>
4.1 Edut	18
4.2 Haasteet	19
<b>5 Kappaleen valmistus 3D-teknologioilla</b>	<b>21</b>
5.1 Skannaus	21
5.1.1 Zeiss T-Scan	21
5.1.2 Skannausprosessi	22
5.2 Tulostus	23

5.2.1 Bambu Lab X1-Carbon -tulostin	23
5.2.2 Slicer -ohjelma	25
5.2.3 Materiaalit	27
5.2.4 Tulokset	27
<b>6 Uuden ja vanhan menetelmän vertailu</b>	<b>29</b>
<b>7 Lopuksi</b>	<b>31</b>
<b>Lähteet</b>	<b>32</b>

## **Liitteet**

Liite 1. Bambu Lab X1-Carbon tekniset tiedot

## Käytetyt lyhenteet

3D	Kolmiulotteisuus
ABS	Akrylinitriilibutadieenistyreeni, muovilaatu
CAD	Computed-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
FFF	3D-tulostusmenetelmä, Fused Filament Fabrication
LIDAR	Valotutka, Light Detection and Ranging
PEEK	Polyeetterieetteriketoni, muovilaatu
PETG	Polyetyleenitereftalaattiglykoli, muovilaatu
PLA	Polylaktidi, muovilaatu
SLA	Stereolitografia, 3D-tulostusmenetelmä
SLS	Lasersintraus, Selective Laser Sintering, 3D-tulostusmenetelmä

# 1 Johdanto

Viime vuosina 3D-teknologioiden saralla on tapahtunut huomattavaa kehitystä, kun alalle on tullut lisää kilpailua. Laitteiden hinnat ovat laskeneet ja niissä käytettävä teknologia on edistynyt nopeasti. 3D-skannaus ja 3D-tulostus luovat uusia mahdollisuuksia virtaviivaistaa mallinnustyötä, tehostaa tuotekehitysprosesseja ja parantaa tuotannon joustavuutta.

Teollisuudessa ollaan laajasti siirtymässä neljännen teollisen vallankumouksen aikakauteen, joka tunnetaan myös nimellä Industry 4.0 (Mohd Javaid et al. 2019.) 3D-teknologiat, kuten 3D-skannaus ja 3D-tulostus, ovat olennaisia osia tätä muutosta, sillä ne mahdollistavat joustavamman, nopeamman ja kustannustehokkaamman valmistuksen, joka vastaa paremmin asiakkaiden yksilöllisiin tarpeisiin. Neljäs teollinen vallankumous yhdistää perinteisiä valmistusmenetelmiä ja uusia teknologioita, mikä avaa uusia mahdollisuuksia erityisesti räätälöityjen tuotteiden valmistuksessa ja pienten tuotantosarjojen optimoinnissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, millä tavoin 3D-teknologiat kuten 3D-skannaus ja -tulostus voivat nopeuttaa tuotantoprosessia, vähentää kustannuksia ja lisätä suunnittelun joustavuutta perinteisiin menetelmiin verrattuna. Työssä perehdytään erityisesti näiden teknologioiden etuihin, haasteisiin ja rajoituksiin linja-autoteollisuudessa.

Työn aikana skannataan kappale, jonka pohjalta tehdään kolmiulotteinen malli, joka sitten 3D-tulostetaan ja tätä prosessia vertaillaan perinteisten valmistusmenetelmien työnkulkuun.

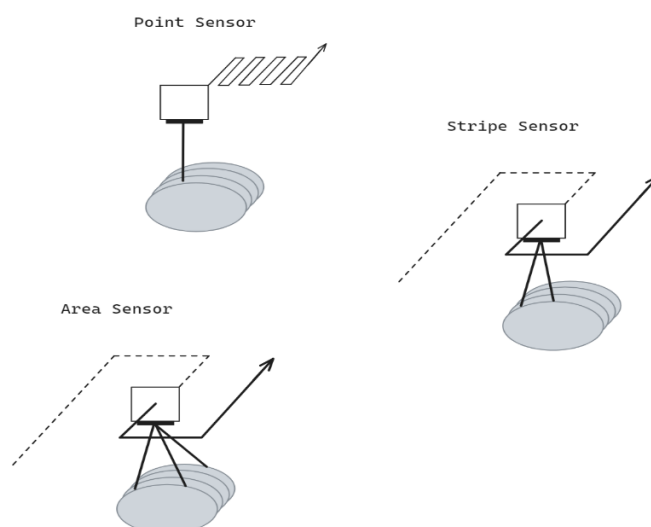
## 2 3D-teknologioiden yleiskatsaus

### 2.1 3D-skannaus

#### 2.1.1 Historia

3D-skannaus juontaa juurensa 1980-luvulle, jolloin skannausmenetelmät olivat melko alkeellisia ja hitaita. Skannaaminen tapahtui määrittämällä kappaleen mitat ja geometria kosketusantureiden avulla. 1900-luvun loppupuolella teknologia kehittyi ja optiset laitteet yleistyivät nopeutensa vuoksi. Optisten laitteiden lisäetuna oli myös pehmeiden kappaleiden todenmukaisempi mittaus. (Ebrahim 2011.)

Optiset mittaustavat olivat tähän aikaan pistemittaus, alamittaus ja raitamittaus, havainnollistettuna kuvassa 1. Näistä pistemittaus toimi samalla tavalla kuin vanha kosketusanturimittaus, eli mittaamalla yksittäisiä pisteitä skannattavan kappaleen pinnalta, joka oli melko tarkkaa, mutta myös hyvin hidasta. Alamittaus pyrki skannaamaan koko kappaleen pinnan yhdellä kertaa, joka teoreettisesti olisi ollut nopeaa, mutta oli myös teknisesti erittäin haastavaa. Raitamittaus pyrki skannaamaan kappaleen siivuissa, jolloin mittaus oli nopeaa ja tarkkaa. (Ebrahim 2011.)



Kuva 1. Havainnekuva optisten mittaustapojen toiminnasta (Ebrahim 2011).

Tämän jälkeen ongelmaksi muodostui skannatun datan prosessointi, koska aikakauden ohjelmistot eivät osanneet suodattaa pois skannausten päällekkäisyyksiä. Vuonna 1996 3D Skanners yhtiö loi 3D-skannerin, jossa yhdistettiin mekaaninen puomivarsi ja raitaskanneri, jota pidetään maailman ensimmäisenä reality capture järjestelmänä. (Chougule et al. 2018, 41.)

### 2.1.2 Toimintaperiaate

3D-skannerien toiminta perustuu CAD-ohjelman sisälle luotavaan kolmiulotteiseen malliin, joka rakennetaan skannerin luoman pistepilven avulla. Tämän mallin geometriaa ja mittasuhteita voidaan vielä korjata CAD-ohjelmalla. (Abid Haleem et al. 2022.)

Skannerit jaetaan karkeasti kahteen luokkaan, jotka ovat koskettavat ja ei koskettavat. Ei koskettavat voidaan jakaa edelleen aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiiviset skannerit luovat oman valonlähteensä, jonka heijastumista mittaukset tehdään, kun taas passiiviset skannerit vaativat ulkoisen valonlähteen. (Ebrahim, 2011.)

### 2.1.3 Käyttötarkoitukset ja tulevaisuudennäkymät

Yleisimpiä käyttötarkoituksia 3D-skannereille ovat takaisinmallinnus, eli olemassa olevan kappaleen geometrian tallentaminen (Haleem et al. 2022). Lääketieteessä 3D-skannausta käytetään laajalti röntgen-, MRI-, ja TT-kuvantamisessa sekä muun muassa hammastekniikassa (Javaid et al. 2019). Muita käyttäjiä teknisten alojen ulkopuolella ovat muun muassa muoti-, videopeli- ja elokuvateollisuudet.

3D-skannauksen tulevaisuus näyttää nousujohteiselta ja luvassa on kehitystä teknologian nopeudessa ja tarkkuudessa Mooren lain vuoksi (Moore, 1965). Artikkelissa Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview (2022) spekuloidaan 3D-skannauksen ottavan tulevaisuudessa suurempaa roolia tuotteiden laadunvalvonnassa.

Spekulatiivisesti odotettavissa on myös tekoälyn tuominen 3D-skannauksiin. Tekoälyn avulla voitaisiin muun muassa mahdollisesti poistaa siroumia ja parantaa skannausten laatua. Todennäköistä on myös hintojen lasku skannerien yleistyessä kuluttajakäyttöön ja teknologian kehittyessä.

## 2.2 3D-tulostus

### 2.2.1 Historia

3D-tulostuksen isänä pidetään yleisesti Charles W. Hullia, joka kehitti ensimmäisen toimivan SLA-tyyppisen 3D-tulostimen vuonna 1984. Ensimmäiset materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät (Additive manufacturing, AM) olivat resiinikovetetulostimia, joissa malli koottiin kovettamalla nestemäistä resiiniä UV-valolla kerros kerrokselta. (Horvath & Cameron 2020, 5–7.)

Myöhemmin vuonna 1989 S. Scott ja Lisa Crump patentoivat ensimmäisen FFF-tulostinmallin, jonka toimintaperiaate perustuu muovifilamentin syöttämiseen kuumennetun ekstruuderin läpi kerroksittain. Tämä patenti vanheni vuonna 2005, josta alkoi FFF-tulostinten kehittyminen nykyisten kuluttajamallien suuntaan. (Horvath & Cameron 2020, 5–7.)

1990-luvun alkupuolella patentoitiin myös useita tulostusmenetelmiä, jotka perustuivat sideaineen ruiskutukseen ja materiaalin sintraukseen jauhemaisista aineista (Horvath & Cameron 2020, 5–7).

Vuonna 2005 Adrian Bowyer aloitti avoimen projektin RepRap, jonka pohjalta kuka tahansa voisi 3D-tulostaa muoviosat uuteen tulostimeen, hankkia metalliosat rautakaupasta, muutamaa erikoisempaa osaa lukuunottamatta ja rakentaa uuden tulostimen vanhan avulla. Projektin avoimen luonteen vuoksi kenellä tahansa olisi oikeus muokata laitteiston tiedostoja ja ohjelmistoa haluamallaan tavalla. (Horvath & Cameron 2020, 5–7.)

Bowyerin ensimmäinen tulostin Darwin julkaistiin vuonna 2007 ja toinen tulostin, Mendel, pian tämän jälkeen vuonna 2009. Vuonna 2010 Josef Prusa julkaisi

Mendel mallin pohjalta oman mallinsa Prusa Mendel, joka yksinkertaisti Bowyerin tiimin mallia ja kiihdytti laitteiston kehitystä entisestään. Prusa Researchista on sittemmin kasvanut yksi suurimmista kuluttajatulostimien valmistajista. (Horvath & Cameron 2020, 5–7.)

### 2.2.2 Toimintaperiaate

3D-tulostus perustuu materiaalia lisäävään tekniikkaan toisin kuin perinteiset materiaalia poistavat menetelmät, mikä mahdollistaa sellaisten kappaleiden valmistamisen, jotka olisivat perinteisillä menetelmillä mahdottomia tai erittäin vaikeita valmistaa (SFS-EN ISO/ASTM 52900:2021).

Erilaisia tulostusmetodeita on 7 ja nämä jakautuvat 20 erilaiseen alatyypin, joiden monimutkaisuus ja tulostusmateriaalit vaihtelevat laajalti.

Tulostusmateriaaleja ovat muun muassa muovi, metalli, keramiikka, paperi, ruoka-aineet ja biomateriaalit.

Nämä 7 metodia ovat seuraavat (Lehtinen 2015, Kaavio 69; Shahrubudina et al. 2019; SFS-EN ISO/ASTM 52900:2021):

1. Allasvalo-polymerisaatio (engl. Vat photopolymerization), jossa tulostin kovettaa valolla nestemäistä resiiniä haluttuun muotoon. Yleisimmin tunnettu versio tästä metodista on SLA- eli stereolitografiatulostus.
2. Materiaalin ruiskutus (engl. Material jetting), joka perustuu tulostusmateriaalin ruiskuttamiseen kerros kerrokselta. Tämän tyyppistä tulostusta käytetään muun muassa keraamisten ja biologisten materiaalien tulostamiseen, sekä haluttaessa erittäin yksityiskohtainen lopputulos.
3. Sideaineen ruiskutus (engl. Binder jetting), tässä tekniikassa jauhemaiseen materiaaliin ruiskutetaan sidosainetta kerrosten muodostamiseen. Tällä metodilla on mahdollista käyttää laajaa materiaalivalikoimaa ja se on erityisen hyvä suurten kappaleiden ja nopeiden tulosteiden valmistamiseen.

4. Jauhepetiteknikka (engl. Powder bed fusion), tulostusmenetelmässä sulatetaan tai sintrataan jauhemaista materiaalia laserilla tai elektronisuihkulla. Yleisin tunnettu muoto kyseisestä tekniikasta on SLS tulostus eli Selective Laser Sintering. Metodilla voi tulostaa metalleja ja polymeerejä.
5. Materiaalin pursotus (engl. Material extrusion), jonka yleisimmin tunnettu tulostusmenetelmä on FFF-tulostus eli fused filament fabrication. Menetelmässä malli rakennetaan pursottamalla lähes sulaa materiaalia kerros kerrokselta. Tyypillisiä materiaaleja ovat muovi, elintarvikkeet ja solumateriaali.
6. Materiaalin ja lämmön kohdistus (engl. Directed energy deposition), monimutkainen tulostustapa, jota käytetään useimmiten kappaleiden korjaamiseen tai haluttaessa lisätä materiaalia olemassa olevaan esineeseen. Tyypillisin materiaali on metalli, mutta myös keraamisia materiaaleja ja polymeerejä voidaan käyttää.
7. Laminointi (engl. Sheet lamination), perustuu kappaleen rakentamiseen ohuista kerroksista leikkaamalla ja liimaamalla tai lämmöllä materiaalin mukaan. Tunnetuimmat menetelmät ovat Laminated Object Manufacturing (LOM) ja Ultrasonic Additive manufacturing (UAM). Tämä metodi mahdollistaa täyden väriskaalan tulosteiden valmistamisen, sekä monimutkaisten mallien tulostamisen halvalla. Käytettäviä materiaaleja ovat paperi ja metallilevy.

### 2.2.3 Käyttötarkoitukset ja tulevaisuudennäkymät

Kuten 3D-skannauksessa, niin myös 3D-tulostuksessa on monia erilaisia käyttötarkoituksia, jotka vaihtelevat tulostusmetodin mukaan. Laminoimalla ja materiaalin pursotuksella voidaan luoda helposti halpoja prototyypppejä, SLA-tulostuksella muun muassa figuureja ja muita tarkkoja yksityiskohtia vaativia malleja ja SLS-tulostuksella taas vahvoja metallisia kappaleita, joita olisi mahdotonta tai erittäin kallista tehdä perinteisillä menetelmillä. (Jordan 2019, 104–105)

Teknologian mahdollisuudet ovat siis tulostustyylin mukaan erittäin laajat ja täten 3D-tulostuksen yleistyminen varsinkin teollisuudessa on varsin todennäköistä laitteiden ja materiaalien hintojen tullessa alaspäin kilpailun lisääntyessä. Jatkuvat innovaatiot tekevät 3D-tulostuksesta myös helpomman ottaa käyttöön.

Voidaankin spekuloida, että metallia tulostavat 3D-tulostimet löytävät paikkansa CNC-koneiden rinnalla toisenlaisena valmistustyökaluna geometrisesti haastavampien kappaleiden tuottamisessa, kun taas muovია tulostavat laitteet, kuten FFF-tulostimet, tulevat luultavimmin yleistymään prototyyppituotannossa ja varaosien valmistuksessa.

#### 2.2.4 FFF-tulostuksesta

Yleisin käytössä oleva ja tämän opinnäytetyön keskiössä oleva tulostustapa on FFF-tulostus. Tässä tulostusmenetelmässä tulostin työntää moottorilla tietyllä nopeudella muovifilamenttilankaa lämmitinelementin läpi, pehmittäen langan lähes sulaksi. Pehmennyt filamentti pursotetaan suuttimesta ulos, kerros kerrokselta. (Jordan 2019, 33)

FFF-tulostimet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan niiden käyttämän koordinaattijärjestelmän mukaan: Cartesian (suorakulmainen koordinaatisto) ja Polar (napakoordinaatisto). Cartesian tyyppiset tulostimet ovat huomattavasti yleisimpiä ja jakautuvat edelleen kolmeen alaluokkaan: rectilinear, delta ja SCARA. (O'Connell, 2023.)

Rectilinear tulostimet ovat näistä alaluokista yleisimpiä. Niiden toiminta perustuu lineaarisiin liikkeisiin XYZ-akseleilla. Tulostimessa ohjataan kiskoilla, ruuvimekanismeilla tai hihnavetoisilla järjestelmillä tulostuspäätä, tulostuspetiä tai molempia haluttuihin sijainteihin. Rectilinear tulostimet jakautuvat ohjauksen perusteella useisiin alaluokkiin, joista yleisimmät ovat bedslinger ja coreXY. (O'Connell, 2023.)

Bedslinger-tyyppiset tulostimet liikuttavat tulostuspäätä X-akselilla, tulostuspetiä Y-akselilla ja tulostuspäätä sekä X-kiskoa Z-akselilla kierretangolla. Bedslinger-tulostimissa jokaiselle koordinaattiakselille on oma moottorinsa. CoreXY-tulostimet puolestaan liikuttavat tulostuspäätä XY-akseleilla hihnojen avulla kahdella askelmoottorilla ja tulostuspetiä Z-akselilla moottoroiduilla kierretangoilla. (O'Connell, 2023.)

Delta-tulostimissa (Kuva 2) on tyypillisesti ympyränmuotoinen kiinteä tulostuspeti ja kolme pystysuuntaista kiskoa, jotka ovat varsien avulla yhdistettynä tulostuspäähän. Tulostuspää liikkuu nostamalla ja laskemalla kiskoissa olevia kiintopisteitä, jolloin tulostuspää saadaan kulkemaan XYZ-koordinaattien mukaan. (O'Connell, 2023.)



Kuva 2 FLSun SuperRacer delta-tulostin.

SCARA on lyhenne sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. Tämän tyyppiset tulostimet ovat tyypillisesti harrastelijaprojekteja, joiden toimintaperiaate perustuu tulostuspään liikuttamiseen nivelöityjen robottivarsien avulla XY-akseleilla ja lineaarisella kelkalla Z-akselilla. (O'Connell, 2023.)

FFF-tulostuksessa tulostettava materiaali on yleisimmin lankamaista lämpömuovattavaa muovifilamenttia. Näitä filamentteja on saatavilla laajasti eri muovilaaduissa, yleisimpinä näistä PLA, PETG, ABS, ASA ja TPU (Noraani 2017, 83). Monista muovilaaduista on myös saatavilla valmistajien omia sekoitteita, jotka vaikuttavat filamentin tulostusnopeuteen tai tulostetun kappaleen kestävyteen.

Filamentteja on myös saatavilla teknisissä muovilaaduissa kuten muun muassa nylon, polykarbonaatti ja PEEK. Nämä tekniset muovilaadut ovat hankalampia tulostaa ja vaativat tulostimelta korkeampia tulostuslämpötiloja ja lämmitettyä tulostuskammiota. Muovit kuten PEEK ja PEKK vaativat niin korkeita lämpötiloja, että niiden tulostamiseen vaaditaan erityisvalmistettu tulostin, mutta lopputuloksena saadaan äärimmäisen kestäviä ja kemiallisesti inerttejä osia. (Toscano.)

Monien muovilaatujen ongelma on niiden kutistuminen jäähtyessä, joka tulostettaessa saattaa johtaa osan taipumiseen tai irtoamiseen tulostuspedistä. Tätä voidaan ehkäistä lämmitetyllä tulostuspedillä ja materiaalin salliessa lämmitetyllä tulostuskammioilla, jolloin koko tulostimen sisälämpötila pidetään halutussa lämmössä tulostuksen ajan. (Filament2print, 2023.)

## 3 Teknologioiden sovellukset linja-autoteollisuudessa

### 3.1 3D-skannauksen sovellukset

#### 3.1.1 Suunnittelussa

Mallien suunnittelussa 3D-skanneria voitaisiin käyttää helpottamaan ja nopeuttamaan mallinnusprosessia haluttaessa siirtää puusta tai pellistä taivutettu prototyyppi CAD-malliksi.

Tällöin suunnittelija voisi käydä prototyypin läpi käsiskannerilla hetkessä ja saada tarkat mitat suoraan suunnitteluohjelmistoon sen sijaan, että mallia pitäisi mitata manuaalisesti ennen kuin mallintaminen voidaan aloittaa. (Haleem et al. 2022.)

#### 3.1.2 Arkistoinnissa

Tuotannossa syntyy monia osia jokaisen uuden mallin myötä, joiden arkistointi on tärkeää varaosatuotantoa ja uusia projekteja varten. CAD-mallien osalta ongelma on helppo sillä mallit ovat jo digitaalisessa muodossa, mutta vanhemmista osista ei ole välttämättä tallella kuin esimerkkikappale, jonka pohjalta kappale pitäisi uudelleenmallintaa.

3D-skannaus on arkistointiprojektiin oivallinen työkalu, sillä kappaleen pintamalli voidaan nopeasti skannata ja polygoniverkko tallentaa sellaisenaan. Kun kappaleesta on tarpeellista saada luotua malli, voidaan se luoda helposti skannausdatan pohjalta. (Haleem et al. 2022.)

## 3.2 3D-tulostuksen sovellukset

### 3.2.1 Alkutuotannossa

Alkutuotannossa 3D-tulostuksella voitaisiin luoda nopeita prototyyppisovitteita osista, jotta niiden sopivuus voidaan todeta. Sovitteita olisi helppo iteroida tarvittaessa, koska 3D-tulostus on nopeaa ja kustannustehokasta tällaisessa työssä.

3D-tulostusta voitaisiin myös mahdollisesti käyttää lämpömuovausmuottien valmistamiseen, jolloin valmistusprosessi nopeutuisi ja muotit voitaisiin luoda suoraan 3D-mallien pohjalta.

### 3.2.2 Jälkituotannossa

Mallien siirtyessä jälkituotantoon 3D-tulostamisesta tulee valmistusmenetelmänä kustannustehokas kappalemäärien laskiessa (Andenelli & Lopez-Gonzalez 2022). Näin ollen lisäävien valmistusmenetelmien hyödyntäminen varaosatuotannossa saattaa olla hyvinkin edullista, koska varastossa ei tarvitse pitää muotteja tai valmiita varaosia. Uutta kappaletta ei myöskään tarvitse odottaa viikkoja, vaan se voidaan valmistaa päivässä tai parissa ja toimittaa nopealla aikataululla asiakkaalle.

## 4 3D-teknologioiden edut ja haasteet tuotantoympäristössä

### 4.1 Edut

3D-skannauksen avulla CAD-mallin luominen on nopeaa ja 3D-tulostuksen avulla prototyyppejä ja kappaleita voidaan tuottaa nopealla aikataululla ripeyttäen alkutuotantoa ja varaosatoimitusta. 3D-tulostuksen nopeus mahdollistaa myös nopean iteroitavuuden, jolloin malleja voidaan tarvittaessa muokata tulosteiden pohjalta ennen kuin muotti on tehty.

Nykyiset 3D-tulostimet ja 3D-skannerit ovat helppokäyttöisiä niistä löytyvän teknologian ansiosta. Tulostimissa automatisoidut kalibroinnit, esiasennetut materiaaliprofiilit ja helpot käyttöliittymät tekevät tulostamisesta käyttäjäystävällistä. Skannerien käyttö on helppoa sekä intuitiivista ja ohjelmistot usein osoittavat mistä kohdista mallia vaaditaan lisää datapisteitä, jotta käyttäjä osaa skannata puutteellisia kohtia uudestaan.

Perinteisten valmistusmenetelmien kymmenien tai jopa satojen tuhansien eurojen arvoisiin koneisiin verrattuna 3D-tulostimet ovat halpoja laajan kuluttajakysynnän ja yksinkertaisen toimintamallinsa ansiosta, laadukkaan laitteen saa jo noin 300 eurolla. 3D-skannerien hinta vaihtelee suuresti järjestelmän skannaustarkkuuden mukaan. Mikäli matalampi skannaustarkkuus riittää käyttötarkoitukseen, on hyviä vaihtoehtoja saatavilla alle tuhannella eurolla.

Edullisuutensa vuoksi 3D-tulostimet ja 3D-skannerit ovat potentiaalisia hankintoja suoraan tuotantoympäristöön, jolloin näitä palveluita ei tarvitse ostaa ulkoisena, toisin kuin usein perinteisten koneiden kohdalla.

## 4.2 Haasteet

Vaikka 3D-tulostus on tehokas tapa tuottaa yksittäiskappaleita, sen kustannustehokkuus putoaa siirryttäessä suurivolyymiseen valmistukseen. Perinteiset menetelmät kuten valut tarjoavat nopeamman ja tehokkaamman tavan valmistaa paljon osia ja suuri valmistusvolyymi laskee kappaleiden yksikköhintaa. (Andenelli & Lopez-Gonzalez 2022.) Tämän takia 3D-tulostus soveltuu huonosti massatuotantoon, mikäli kappaleen geometria ei erityisesti vaadi lisäävää valmistusta.

FFF-tulostettujen kappaleiden mekaaninen kestävyys ei myöskään ole niin hyvä kuin umpimuovista valmistettujen osien kestävyys olisi. Käytännössä tulostussaumat johtavat tulosteen huonoon leikkauslujuuteen, kun kappaleeseen asetetaan saumojen suuntainen voima. Kestävyys on kuitenkin suuresti riippuvainen valitusta tulostusmenetelmästä ja -materiaalista. (O'Neill, 2025).

Linja-autoissa käytettävien materiaalien on läpäistävä tietyt paloturvallisuusmääräykset, jossa on annettu rajat materiaalin käyttäytymiselle tulipalossa muun muassa palon leviämisen ja sulamiskäyttäytymisen osalta (ECE/TRANS/WP.29/2017/145, 2017.) Paloturvallisuusluokituksen hankkiminen on yleensä materiaalin valmistajan vastuulla, eikä markkinoilla ei tällä hetkellä ole muovifilamenttia, jolle olisi hankittu UN/ECE R118 luokitus. Monilla valmistajilla on kuitenkin palosuojattuja filamentteja, joilla on jokin muu paloturvallisuusluokitus, kuten UL94V-0 sähköpaloluokitus (Esun3D, 2017.) Oikean palosuojaluokituksen saaminen voi siis olla vain testauksen takana, tai se voi vaatia valmistajilta tuotekehitystä.

3D-tulostetuissa osissa on myös havaittavissa tulostuksesta johtuvat saumat, jotka luovat kappaleille pintatekstuurin. Tämä tarkoittaa, että kappale pitää pintakäsittellä, mikäli sille halutaan tasainen pinta. Muoveissa kuten ABS tämä voidaan tehdä melko helposti asetoni-höyrytasoituksella, mutta muissa materiaaleissa tämä saattaa vaatia paljonkin työtunteja pintakäsittelyyn (Jasgurpreet et al. 2020.)

3D-skannerien käyttöä varten pitäisi parhaan lopputuloksen saamiseksi varata oma skannaustilansa, jossa olosuhteet voitaisiin pitää mahdollisimman stabiileina. Tämä tulee tehdä, jotta jokainen skannaus olisi keskenään mahdollisimman vertailukelpoinen. Joissain skannereissa tulee myös mukana kalibrointikappaleita, joiden avulla voidaan minimoida muutoksia ympäristön ja kappaleiden lämpötilassa.

Vaikka laitteistot ovat pääosin helppokäyttöisiä, vaatii uusien työkalujen käyttöönotto silti henkilöstön koulutusta ja ajan kanssa kertyvää kokemusta, jotta niistä saadaan täysi hyöty irti.

## 5 Kappaleen valmistus 3D-teknologioilla

### 5.1 Skannaus

#### 5.1.1 Zeiss T-Scan

Skannauksessa käytettiin Turun ammattikorkeakoulun Zeiss T-Scan 20 skanneria, joka koostuu käsiskannerista, pistekosketinanturista ja lämpökamerapalkista, joka seuraa käsiskannerin sijaintia ja asentoa.

Skanneri kykenee 210 000 pistettä sekunnissa datavirtaan 80 µm tarkkuudella kolmiomittauksella. Tarkempia teknisiä tietoja taulukoissa 1 ja 2.

### ZEISS T-TRACK 20

#### Type / ZEISS T-TRACK 20

Measuring distance: object-camera	2.0 m – 6.0 m
Measuring volume	20 m <sup>3</sup>
Field of view	Up to 3200 mm x 2500 mm
Measuring rate	Up to 2,8 kHz
Weight	18,5 kg
Dimensions	1150 x 180 x 150 mm
Software	GOM Inspect Suite
Traceable accuracy	Yes
Accuracy	40+(40*L/1000)

Talulukko 1. Zeiss T-track 20 – tekniset ominaisuudet. (Zeiss 2024).

## Technical Data

### ZEISS T-SCAN hand-held laser scanner

Type / ZEISS T-SCAN	
Measuring depth	+/- 50 mm
Line width	Up to 125 mm
Mean working distance	150 mm
Line frequency	Up to 330 Hz
Data rate	210,000 points/second
Weight	1100 g
Sensor dimensions (incl. handle and IR pins)	300 x 170 x 150 mm
Cable length	10 m
Mean point distance	0.075 mm
Laser class (IEC 60825-1:2014)	Class 2M (eye-safe)
Software	GOM Inspect Suite

Taulukko 2. Zeiss T-scan käsiskanneri – tekniset ominaisuudet. (Zeiss 2024).

#### 5.1.2 Skannausprosessi

Skannattavaksi kappaleeksi valikoitui ABS-muovinen lämpömuovattu linja-auton lämpöpatterin suojus. Alkuperäinen kappale oli harmaa ja mattapintainen, joten sitä ei ollut tarpeellista pintakäsitellä ennen skannausprosessia.

Osa skannattiin kahteen kertaan raitaskannauksella parhaan lopputuloksen varmistamiseksi. Alla olevassa kuvassa 3 näkyy skannauksen tulos sen jälkeen, kun Zeissin ohjelmisto loi datasta verkkomallin.



Kuva 3. 3D-skannatun kappaleen polygonverkko-pintamalli

Skannausdatasta tehtiin tämän jälkeen kiinteä kolmiulotteinen kappale Meshmixer -ohjelman avulla, jotta kappaleelle saatiin tulostusta varten paksuus.

## 5.2 Tulostus

### 5.2.1 Bambu Lab X1-Carbon -tulostin

Kappale 3D-tulostettiin kirjoittajan henkilökohtaisella FFF-tekniikkaan perustuvalla CoreXY tyyppisellä Bambu Lab X1-Carbon tulostimella (Kuva 4), jonka tekniset ominaisuudet ovat esitetty liitteessä 1. Tulostin on kirjoitushetkellä Bambu Lab:in lippulaivamalli, jonka myyntivaltteina ovat tulostusnopeus, -tarkkuus ja teknisten materiaalien, kuten nailonin ja polykarbonaatin tulostus.



Kuva 4. Bambu Lab X1-Carbon 3D-tulostin AMS-järjestelmän kanssa.

Tulostimen tärkeimmät ominaisuudet ovat monimateriaalitulostus, nopeus ja tarkkuus, automaattiset toiminnot, lämmönhallinta ja materiaalien yhteensopivuus, sekä tulostustilavuus (Bambu Lab 2025).

Bambu Labin AMS-materiaalijärjestelmiä voidaan lisätä tulostimeen neljä kappaletta, mikä mahdollistaa jopa 16 eri värin tai materiaalin automaattisen käytön tulostuksessa (Bambu Lab 2025).

Tulostin kykenee jopa 500 mm/s tulostusnopeuksiin, mikä on etu tuotantoprosessin nopeuden kannalta. Korkea tulostustarkkuus ja tasalaatuisuus ovat puolestaan tärkeitä laitteen luotettavuuden kannalta (Bambu Lab 2025).

Tulostimen automaattiset toiminnot sisältävät itsekalibrointitoimintoja ja tekoälypohjaista valvontaa. Tulostin kykenee automaattisesti kompensoimaan tulostusalustan epätasaisuuksia luomalla mesh-verkon skannaamalla alustan ennen jokaista tulostusta tulostuspäässä olevilla LIDAR- ja kosketinsensoreilla,

jonka pohjalta tulostin kompensoi suuttimen ja alustan etäisyyttä toisistaan. (Bambu Lab 2025.)

Tulostin kykenee myös 7 µm resoluution LIDAR-sensorillaan laskemaan kullekin materiaalille oman pursotusnopeuden kalibrointitestin perusteella, sekä muiden sensoreiden avulla ilmoittamaan käyttäjälle tietyistä huoltotoimenpiteistä ja ongelmista (Bambu Lab 2025).

Tekoälypohjaisten virheentunnistusominaisuuksien avulla voidaan tunnistaa kamera- ja LIDAR-valvonnalla mahdolliset tulostusvirheet, kuten ensimmäisen kerroksen irtoaminen ja filamenttisotkut, jolloin tulostin keskeyttää tulostamisen, vähentäen materiaalihukkaa (Bambu Lab 2025).

### 5.2.2 Slicer -ohjelma

Tulostustyön viipalointiin käytettiin työssä Bambu Lab:in omaa slicer- eli viipalointiohjelmaa Bambu Studiota. Bambu Studio on kehityshaara, joka perustuu Prusa Slicer ohjelmaan. Viipaloinnissa malli nimensä mukaisesti viipaloidaan halutun paksuisiin kerroksiin, joiden muodon tulostuspää kulkee ennen seuraavaan kerrokseen siirtymistä. Viipaloinnin jälkeen tulostimelle lähetettävät ohjeet ovat G-koodina, joka on matalan tason ohjelmointikieli, jota käytetään yleisesti CNC-koneistuksessa (Kramer et al. 2000).

Slicer -ohjelmassa haettiin kappaleelle paras orientaatio, jossa malli tulostuisi varmimmin ja geometria pysyisi mahdollisimman muuttumattomana.

Slicerin asetuksista vakioprofiilista muutettiin tulostusalustan lämpötila aluksi 90°C:seen ja ensimmäisen kerroksen jälkeen 80°C:seen paremman pidon varmistamiseksi, kun normaalilämpötila on 70°C.

Tulostettujen kerrosten paksuus asetettiin 0,28 mm:ksi, jolloin käytettiin 'extra draft' -profiilia tulostusnopeuden parantamiseksi. Paksumpia kerroksia tarvitaan vähemmän kuin ohuempia, ja koska mallissa ei tarvitse olla tarkkoja yksityiskohtia, saadaan näin myös vahvempi tuloste. Tämä johtuu siitä, että kerrosten välisiä saumoja on vähemmän – 880 saumaa 0,28 mm

kerrospaksuudella verrattuna 1231 saumaan 0,2 mm paksuudella tai 3076 saumaan 0,08 mm paksuudella.

Koska osa oli ohut ja siitä haluttiin mahdollisimman kestävä, valittiin myös 20 seinää, niin että kappaleesta tuli käytännössä umpimuovinen. Muissa kappaleissa voidaan säästösyistä käyttää kevyempiä täyteprosentteja.

Kappaleen tukirakenteiksi valittiin puutyypiset rakenteet, jotka luovat orgaanisen tukirakenteen alkaen paksusta ontosta rungosta ja haarautuen ohuempiin oksiin, joiden päälle mallin roikkuvat osat tulostetaan, havainnollistava esimerkki kuvassa 5. Tähän tyyliin päädyttiin materiaalin säästämiseksi ja tulostusnopeuden maksimoimiseksi. Tukirakenteet jäävät tulostuksen jälkeen hukkamateriaaliksi.



Kuva 5. Organiset tukirakenteet 3D-tulosteessa.

Lisäksi kappaleelle valittiin 50 mm paksuinen reunus, jonka tarkoitus oli lisätä osan pitoa tulostuspetiin, koska tulostettava osa oli ohut ja korkea, jolloin pohjapinta-ala jäi pieneksi.

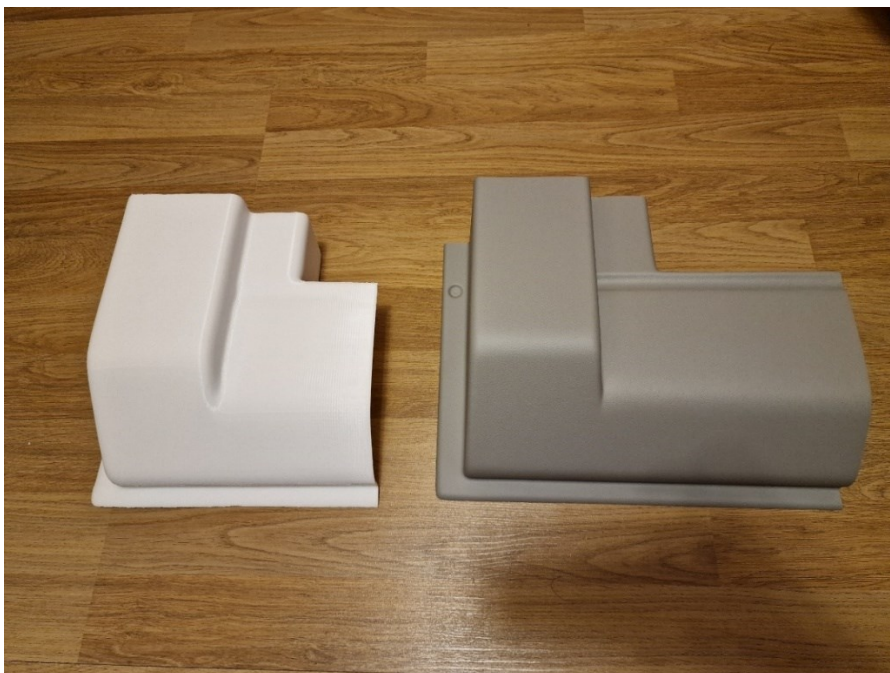
### 5.2.3 Materiaalit

Tulostusta varten harkitut filamentit olivat PLA, PETG ja ABS, joista ABS olisi ollut samaa materiaalia kuin alkuperäinen skannattu osa, mutta johon ei päädytty, koska materiaalia olisi tarvinnut tilata erikseen. PLA suljettiin laskuista pois sen matalan pehmenemislämmön takia, koska osa tulisi linja-auton lämpöpatterin suojaaksi. Materiaali olisi kuitenkin hintansa ja tulostusominaisuuksiensa ansiosta loistava valinta prototyyppien valmistamiseen, joiden ei ole tarkoituskaan jäädä lopulliseen tuoteeseen. PETG jäi näistä valinnoista hyväksi kompromissiksi sen ABS:aa helpomman tulostettavuuden, sekä PLA:ta kestävämpien ominaisuuksien vuoksi.

### 5.2.4 Tulokset

Lopputulos, nähtävissä kuvissa 6 ja 7 valkoisena, oli alkuperäiseen verrattain hyvä. Joitain yksityiskohtia menetettiin skannausdatasta tehtäessä 3D-malli, mutta nämäkin olisivat olleet minimoitavissa paremmilla CAD taidoilla.

Tulostettava osa ei myöskään ole erityisen hyvä 3D-tulostukseen muuta kuin konseptitodistuksena. Koska osasta on jo olemassa muotti, sen tuottaminen on halvempaa ja nopeampaa perinteisillä menetelmillä kuin 3D-tulostamalla. Osa on myös suuri ja ohut, joten se vaatii tukirakenteita.



Kuva 6. 3D-tulostettu kappale vasemmalla ja alkuperäinen lämpömuovattu kappale oikealla.



Kuva 7. Kappaleiden vertailu alapuolelta. 3D-tulostettu PETG muovinen vasemmalla, alkuperäinen ABS muovinen oikealla.

## 6 Uuden ja vanhan menetelmän vertailu

Vanhassa menetelmässä osan valmistus alkaa fyysisen mallin rakentamisella, jossa prototyyppiosa taivutetaan pellistä tai muotoillaan puusta halutunlaiseksi. Suunnittelijat ottavat näistä prototyyppiosista mitat manuaalisesti ja rakentavat niiden pohjalta 3D-mallin CAD-ohjelmalla. Prosessi on aikaa vievä ja vaatii tarkkuutta.

Muottien valmistus perinteisillä menetelmillä on monivaiheinen prosessi, jossa 3D-mallin pohjalta luodaan manuaalisesti puristusmuovausmuotti, joka lähetetään erilliselle yritykselle ABS-levyjen puristusmuovausta varten. Tämä lisää prosessin kokonaiskustannuksia ja toimitusaikaa lisääntyneen työmäärän ja hajautetun toimitusketjun vuoksi.

Uudessa menetelmässä osan valmistus voidaan aloittaa suoraan CAD-ohjelmalla, minkä jälkeen 3D-tulostettua mallia voidaan sovittaa ja tarvittaessa muokata. Vaihtoehtoisesti voidaan hyödyntää perinteistä menetelmää, mutta käyttäen 3D-skanneria mallinnuksessa. Skannauksen avulla voidaan taata, että kappaleen mitat pysyvät oikeina siirryttäessä 3D-malliin, mikä lisää suunnittelijoiden työn tehokkuutta.

Muottien valmistus olisi myös mahdollista siirtää 3D-tulostimella tehtäväksi, kappaleen mittojen salliessa, jolloin voidaan saavuttaa huomattavia etuja valmistusajassa ja työtunneissa. Pienten varaosien tuotannon voisi myös järjestää 3D-tulostamalla paikallisesti, jolloin varaosien toimitus nopeutuu ja halpenee verrattuna ulkoisiin toimittajiin.

Haasteina uudessa menetelmässä ovat käytännössä 3D-tulostinten koko, joka on usein melko pieni varsinkin halvemmissä tulostimissa, palosuojattujen materiaalien hankkiminen varaosatuotantoa varten, sekä tulostettujen kappaleiden mahdollinen pintakäsittely, joka vie työtunteja. Näiden lisäksi uudet työvälineet tarvitsevat myös omat tuotantotilansa.

Alla oleva taulukko 3 erittelee 3D-tulostuksen, 3D-skannauksen ja perinteisen menetelmien sovellukset, edut ja haasteet.

<b>Teknologia</b>	<b>Sovellukset</b>	<b>Edut</b>	<b>Haasteet</b>
<b>3D-tulostus</b>	Prototyypit, varaosat, kevyet komponentit	Nopea kehitys, paikallinen tuotanto, varaston minimointi	Hidas ja kallis massatuotantoon, materiaalirajoitteet
<b>3D-skannaus</b>	Käänteissuunnittelu, laadunvalvonta, sovitustarkastukset	Tarkkuus, vanhojen osien digitointi, parempi laatu	Kustannukset, vaativa datankäsittely
<b>Perinteiset menetelmät</b>	Massatuotanto, suurikokoiset rakenteet, kriittiset osat	Nopea ja kustannustehokas suurissa määrissä, laaja materiaalivalikoima	Vähemmän joustavuutta, enemmän jätettä

Taulukko 3. Uusien ja perinteisten menetelmien vertailu.

## 7 Lopuksi

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millaisia mahdollisuuksia 3D-tulostus ja 3D-skannaus voisivat tuoda linja-autoteollisuuteen. Opinnäytetyössä käsiteltiin molempien teknologioiden historiaa, käytiin läpi niiden toimintaperiaatteet, sekä testattiin 3D-tulostusta ja 3D-skannausta mallikappaleen tekemiseen. Näiden pohjalta luotiin myös vertailua vanhan ja uuden prosessin välille.

Laitteiden hintojen laskiessa voidaan pitää entistä hyödyllisempänä harkita uusien teknologioiden ottamista tuotantoprosessiin mukaan vanhojen rinnalle. Esimerkiksi kappaleen 3D-skannaus nopeuttaa mallintamisprosessia huomattavasti, sekä mahdollistaa mallien arkistoinnin digitaalisesti. 3D-tulostuksella puolestaan voidaan luoda prototyyppiosia ja pidentää varaosatoimitusta tuotannon ulkopuolelle.

Työn käytännön osuus sujui mutkitta ja syvensi taustatutkimuksen kanssa tietojani varsinkin 3D-skannauksen ja 3D-mallinnuksen parista. Työn aikana olisi ollut kiinnostavaa perehtyä syvällisemmin myös muihin tulostusmetodeihin, mutta siihen ei ollut varsinaisesti tarvetta.

Paras hyöty 3D-teknologioista saadaan linja-autoteollisuudessa käyttämällä uusia työkaluja yhdessä perinteisten valmistusmenetelmien kanssa, jolloin teknologiat voivat paikata toistensa heikkouksia ja tehostaa tuotantoprosessia.

Johtopäätöksenä voidaan siis todeta, että 3D-teknologiat tarjoavat merkittäviä etuja linja-autoteollisuudessa erityisesti joustavuutensa ja tehokkuutensa ansiosta. Vaikka teknologioiden käyttöönotto vaatii aluksi investointeja laitteiden hankintaan ja henkilöstön koulutukseen, etuja voidaan silti pitää huomattavina kokonaiskuvassa.

Jatkotutkimusta aiheesta olisi tarpeellista tehdä 3D-skannauksen käytöstä muun muassa laadunvalvonnassa sekä 3D-tulostusmateriaalien pitkäaikaiskestävyydestä, 3D-tulostuksen soveltamisesta lämpömuovausmuottien valmistukseen ja 3D-materiaalien palosuojauksen tutkimisesta.

## Lähteet

Abid, H.; Javaid, M.; Khan, I. H.; Kumar, L.; Pratap Singh, R.; Raba, S. & Suman, R. 2022, Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. Viitattu 4.11.2024.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666307422000171?via%3Dihub>

Andrenelli A. & Lopez-Gonzalez J. 2022. 3D printing: The final frontier for international trade in goods? Viitattu 11.3.2025. <https://iap.unido.org/articles/3d-printing-final-frontier-international-trade-goods>

Bambu Lab 2025. Tech specs of the X1 Series. Viitattu 12.3.2025. <https://bambulab.com/en/x1>

Chougule, V.N.; Gosavi, H.S.; Dharwadkar, M.M. & Gaiind, A.A. 2018, Review of Different 3D Scanners and Scanning Techniques. Viitattu 1.11.2024. <http://iosrjen.org/Papers/RDME2018/Volume-2/8.%2041-44.pdf>

Ebrahim, M. 2011. 3D laser scanners history applications and future. Viitattu 1.11.2024. [https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Ebrahim-3/publication/267037683\\_3D\\_LASER\\_SCANNERS\\_HISTORY\\_APPLICATIONS\\_AND\\_FUTURE/links/5442bdf10cf2e6f0c0f93727/3D-LASER-SCANNERS-HISTORY-APPLICATIONS-AND-FUTURE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Ebrahim-3/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE/links/5442bdf10cf2e6f0c0f93727/3D-LASER-SCANNERS-HISTORY-APPLICATIONS-AND-FUTURE.pdf)

Esun. 2017. Test report. Viitattu 5.5.2025. <https://www.esun3d.com/uploads/eABS-Max-UJL-94-V0-Test-Report.pdf>

Filament2print. 2023. Shrinkage of parts in 3D printing and Warping. Viitattu 5.5.2025. <https://filament2print.com/en/blog/warping-contractions-3d-printing>

Gordon E. Moore. 1965, Cramming more components onto integrated circuits. Viitattu 4.11.2024 <http://cva.stanford.edu/classes/cs99s/papers/moore-crammingmorecomponents.pdf>

Horvath J. & Cameron R. 2020. Mastering 3D Printing: A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping, Apress. [Julkaisupaikka määrittämätön], Viitattu 8.11.2024. <https://search-ebscohost->

[com.ezproxy.turkuamk.fi/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=2489817&site=ehost-live](https://com.ezproxy.turkuamk.fi/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=2489817&site=ehost-live) Vaatii käyttäjätunnuksen.

Jasgurpreet S. C.; Rupinder S.; Kamaljit S. B. 2020. Vapor smoothing process for surface finishing of FDM replicas. Viitattu 3.4.2025.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319332560>

Jordan J. 2019. 3D Printing. Cambridge: The MIT Press. Viitattu 21.2.2025

<https://research-ebsco->

[com.ezproxy.turkuamk.fi/linkprocessor/plink?id=664a14b8-02f3-31c9-b24f-](https://com.ezproxy.turkuamk.fi/linkprocessor/plink?id=664a14b8-02f3-31c9-b24f-08599ab13786)

[08599ab13786](https://com.ezproxy.turkuamk.fi/linkprocessor/plink?id=664a14b8-02f3-31c9-b24f-08599ab13786) Vaatii käyttäjätunnuksen.

Kramer T.; Proctor F.; Messina, E. 2000. The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3. NIST Interagency/Internal Report (NISTIR). National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg. Viitattu 11.3.2025.

[https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=823374](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=823374)

Lehtinen K. 2014. Fabrication additive ou Impression 3D Aperçus sur une variation terminographique. Viitattu 7.11.2024

<https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/103386/lehtinen2015gradu.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Mohd J. & Abid H. 2019, Industry 4.0 applications in medical field: A brief review. Viitattu 4.11.2024

[https://www.researchgate.net/publication/332536137\\_Industry\\_40\\_applications\\_in\\_medical\\_field\\_A\\_brief\\_review](https://www.researchgate.net/publication/332536137_Industry_40_applications_in_medical_field_A_brief_review)

Noorani R. 2017. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection, Taylor & Francis Group, ProQuest Ebook Central. Viitattu 27.3.2025.

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=4986151>. Vaatii käyttäjätunnuksen.

O'Connell J. 2023. The Types of FDM 3D Printers: Cartesian, CoreXY & More.

All3DP. 8.7.2023. Viitattu 3.3.2025. <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/#i-1-what-makes-printers-different>

O'Neill B. 2025. How Strong Are 3D Printed Parts? A Comprehensive Analysis. Viitattu 12.3.2025. <https://www.wevolver.com/article/how-strong-are-3d-printed-parts>

SFS-EN ISO/ASTM 52900:2021. Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 7.11.2024

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/5/1156587.html.stx>

Shahrubudina N.; Leea T. C. & Ramlan R. 2019. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. Viitattu 7.11.2024.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169>

Toscano, Alessia. Julkaisuaika tuntematon. PEEK vs PEKK, what is the difference? Viitattu 27.3.2025. <https://www.roboze.com/en/resources/peek-vs-pekk-what-is-the-difference.html>

# Bambu Lab X1-Carbon -tekniset tiedot (Bambu Lab 2025)

Technology		X1-Carbon
		Fused Deposition Modeling
Body	Build Volume(W D H)	256 x256 x256 mm <sup>3</sup>
	Chassis	Steel
	Shell	Aluminum & Glass
Tool Head	Hot End	All-Metal
	Extruder Gears	Hardened Steel
	Nozzle	Hardened Steel
	Max Hot End Temperature	300 °C
	Nozzle Diameter (Included)	0.4 mm
	Nozzle Diameter (Optional)	0.2 mm, 0.6 mm, 0.8 mm
	Filament Cutter	Yes
	Filament Diameter	1.75 mm
Heatbed	Compatible Build Plate	Bambu Cool Plate, Bambu High Temperature Plate Bambu Textured PEI Plate, Bambu Smooth PEI Plate Bambu Engineering Plate(The otherside of Cool/High Temperature Plate)
	Max Build Plate Temperature	110 °C @220 V, 120 °C @110 V
Speed	Max Speed of Tool Head	500 mm/s
	Max Acceleration of Tool Head	20 m/s <sup>2</sup>
	Max Hot End Flow	32 mm <sup>3</sup> /s @ABS (Model: 150 x 150 mm single wall; Material: Bambu ABS; Temperature: 280 °C)
Cooling	Part Cooling Fan	Closed Loop Control
	Hot End Fan	Closed Loop Control
	Control Board Fan	Closed Loop Control
	Chamber Temperature Regulator Fan	Closed Loop Control
	Auxiliary Part Cooling Fan	Closed Loop Control
	Air Filter	Activated Carbon Filter
Supported Filament	PLA, PETG, TPU, ABS, ASA, PET	Yes
	PA, PC	Ideal
	Carbon/Glass Fiber Reinforced Polymer	Ideal
Sensors	Bambu Micro Lidar	Yes
	Chamber Monitoring Camera	1920 x 1080 Included
	Door Sensor	Yes
	Filament Run Out Sensor	Yes
	Filament Odometry	Optional with AMS
	Power Loss Recover	Yes
Physical Dimensions	Dimensions	389 x 389 x 457 mm <sup>3</sup>
	Net Weight	14.13 kg
Electrical Requirements	Voltage	100-240 VAC, 50-60 Hz
	Max Power	1000 W @220 V, 350 W @110 V
Electronics	Display	5-inch 1280 x 720 Touch Screen
	Connectivity	Wi-Fi, Bambu-Bus
	Storage	4 GB EMMC and Micro SD Card Reader
	Control Interface	Touch Screen, APP, PC Application
	Motion Controller	Dual-Core Cortex M4
	Application Processor	Quad ARM A7 1.2 GHz
	Neural-Network Processing Unit	2 Tops
Software	Slicer	Bambu Studio Support third party slicers which export standard G-code such as Superslicer, Prusaslicer and Cura, but certain advanced features may not be supported.
	Slicer Supported OS	MacOS, Windows