

Opinnäytetyö (AMK)

Hammasteknikkokuolulus

kevät 2021

Hannu Salmela

**KATSAUS MARKKINOILLA  
OLEVIIN 3D-  
KUITUKOMPOSIITTI-  
TULOSTIMIIN –  
HYÖDYNTÄMINEN  
HAMMASTEKNIKASSA -  
ARTIKKELILUONNOS**

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Hammasteknikkokoulutus

Kevät 2021 | 14 sivua, 11 liitesivua

Hannu Salmela

## KATSAUS MARKKINOILLA OLEVIIN 3D-KUITUKOMPOSIITTITULOOSTIMIIN - HYÖDYNTÄMINEN HAMMASTEKNIKASSA

3D-tulostamista on ollut mahdollista hyödyntää hammastekniikassa jo useiden vuosien ajan. Pelkkiä muoveja tulostamalla kappaleiden vahvuus ja siten käyttökohteet ovat kuitenkin rajallisia. Kuituvahvikkeiden mukaan tuleminen 3D-tulostamiseen on kuitenkin lisännyt ja monipuolistanut tekniikan hyödyntämismahdollisuuksia. Markkinoilla on ollut jo usean vuoden ajan kuitukomposiittitulostimia, ja alalle tulee jatkuvasti myös uusia toimijoita. Eri valmistajien teknologiat vaihtelevat, ja jokainen valmistaja kehittää teknologiaansa vastaamaan parhaiten heidän suuntautumistaan alalle. Tällä hetkellä suurimmat hyödyt lienevät muilla teollisuuden aloilla, mutta myös hammastekniikka hyötyy kehityksestä. Teknologioiden erot määrittelevät osaltaan sen mihin jokaisen valmistajan oma teknologia soveltuu parhaiten. Osa valmistajista valmistaa jo tällä hetkellä sellaisia tulostimia, joista voisi olla hyötyä hammaslaboratoriolle. Tässä raportissa käy läpi 3D-tulostamisen ominaisuuksia hammastekniikan näkökulmasta. Raportin liitteenä on artikkeli markkinoilla olevista kuitupomposiittitulostimista ja niiden mahdollisesta soveltuvuudesta hammastekniikan käyttöön.

ASIASANAT:

3D-tulostus, hammastekniikka, kuituvahvike

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Dental Technics

Spring 2021 | 14 pages, 11 pages in appendices

Hannu Salmela

## OVERVIEW OF THE USE OF 3D FIBER COMPOSITE PRINTERS ON THE MARKET IN DENTAL TECHNOLOGY

Dental technicians have been utilizing 3D-printers for a several years now. However, by printing plastics resins alone, the strength of the pieces and thus the applications are limited. The inclusion of fiber reinforcements in 3D-printing has increased and diversified the possibilities of using 3D-printing in many industries. Fiber composite printers have been on the market for several years and new manufacturers are constantly entering the industry. Technologies from different manufacturers vary and each manufacturer develops its technology to best suit their orientation in industry. Currently, the biggest benefits are probably in the industry, but dental technology is also benefiting from the development. Differences in technology determines what each manufacturer's technology is best suited for. Some manufacturers already manufacture printers that could be useful for a dental laboratory. This report goes through the features of 3D printing from a dental technology perspective. An article on fiber composite printers on the market and their potential suitability for use in dental technology is attached to this report.

KEYWORDS:

3D-printing, Dental technics, Fiber reinforcement

# SISÄLTÖ

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA KYSYMYKSET</b>	<b>2</b>
<b>3 SUUNNITELMA</b>	<b>3</b>
3.1 Aiemman tutkinnon ja työkokemuksen mahdollinen hyödyntäminen artikkelin aiheena	3
3.2 Aiheen valinta	4
3.3 Aiheen rajaamisen perusteet	4
3.4 Artikkelin rakenne	5
<b>4 KÄYTTÖKOHTEET 3D-KUITUTULOSTIMELLE HAMMASTEKNIIKASSA</b>	<b>6</b>
<b>5 MERKITTÄVÄT TEKNISET NÄKÖKOHDAT KUITUA TULOSTAVISSA 3D-TULOSTIMISSA HAMMASTEKNIIKAN NÄKÖKULMASTA</b>	<b>7</b>
5.1 Kerrospaksuus ja X,Y-resoluutio	7
5.2 Kuidun jatkuvuus	7
5.3 Kuidun materiaali	8
5.4 Kuidun suunta 3D-tulosteessa	8
5.5 Käytettävyyteen liittyvät asiat	8
5.6 Laitteiston hinta ja muut kulut	9
<b>6 TIEDON KERÄÄMINEN</b>	<b>10</b>
6.1 Pohjatiedon kerääminen artikkelia varten	10
6.2 Tiedonhaku	10
6.3 Valmistajat tiedonlähteinä	11
6.4 Tällä hetkellä markkinoilla olevat kuitua tulostavat 3D-tulostimet	11
6.5 Analysointi ja lopulliseen artikkeliin päätyneet valmistajat	11
<b>7 POHDINTA</b>	<b>12</b>
7.1 Tiedon luotettavuus	13
<b>LÄHTEET</b>	<b>14</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Delaminaatio	Kahden eri kerroksen tai säikeen irtoaminen toisistaan (Paulo Davim 2015)
Filamentti	Säie, jonka pursotustekniikkaa käyttävän tulostimen tulosuspää sulattaa ja pursottaa (Diegel 2020)
Jatkuva kuitu	Kuitu, jonka rakenne muodostuu useista samaan suuntaan kulkevista pitkistä säikeistä (Vallittu, Özcan 2017)
Katkokuitu	esimerkiksi resiniin sisällä olevaa lyhyttä katkottua kuitusäiettä, joka on sattumanvaraisesti suuntautunut resiniin sisällä. (Vallittu, Özcan 2017)
LCD	Liquid crystal display. 3D-tulostusteknologia, jossa LCD-paneelin valo kovettaa valokovetteisen resiniin koko kerroksen yhtä aikaa (Tosto et al 2020)
PA6	Polyamidi 6, Nylon (Viakh, Semkin 2019)
PEEK	Korkean lämpötilan sulamispisteen thermoplastinen polymeeri (Diegel 2020)
PEKK	Korkean lämpötilan sulamispisteen thermoplastinen polymeeri (Diegel 2020)
Pursotus	Tulostusteknologia, jossa tulosuspään syötetään ohutta polymeerinauhaa, joka sulatetaan tulosuspäässä ja sidostetaan tulosteeseen (Diegel 2020)
Resiini	3D-tulostamisessa SLA-teknologiassa käytetty nestemäinen muovi, joka kovetetaan UV-valon avulla (Wikipedia)
SLA	Stereolithography apparatus. 3D-tulostusteknologia, jossa UV-laser kovettaa valokovetteisen resiniin kerros kerrokselta (Wikipedia)
Tulosuspää	3D-tulostimen osa, joka muuttaa tulostusmateriaalin tulostettavaan muotoon. (Kortelainen 2019)
X,Y-resoluutio	3D-tulostimen tulostustarkkuuteen liittyvä ominaisuus. Viittaa pienimpään yksityiskohtaan, jonka tulostin voi tehdä yksittäisellä kerroksella ( <a href="http://www.ortomat-herpola.fi">www.ortomat-herpola.fi</a> )
Z-resoluutio	3D-tulostimen tulostustarkkuuteen liittyvä ominaisuus. Yhden tulostuskerroksen kerrospaksuus. (Kortelainen 2019)

# 1 JOHDANTO

Olen suorittanut AMK-tasoisien opinnäytetyönsä Ensihoidon koulutusohjelmassa vuonna 2009 Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Nykyistä AMK-tutkintoa suorittaessani Turun Ammattikorkeakoulussa Hammastekniikan koulutusohjelmassa, sain mahdollisuuden saada osittaista hyväksilukua edellisestä opinnäytetyöstäni. Näin ollen opinnäytetyöni muodoksi valikoitui artikkelimuotoinen opinnäytetyö. Tämä tarkoittaa sitä, että kirjoitan raportin työn eri vaiheista ja raportin liitteeksi kirjoitan artikkelin valitsemastani aiheesta. Kuvaan tässä raportissa tämän prosessin vaiheita ja työn etenemistä aina aiheen ideoinnista ja valinnasta lopullisen artikkelin valmistumiseen.

Tämän työn aiheena on tehdä selvitys tällä hetkellä markkinoilla olevista kuitua tulostavista 3D-muovitulostimista ja sitä miten eri valmistajat ja olemassaolevat tekniikat soveltuvat hammastekniikan tarpeisiin. 3D-tulostaminen ei tarkoita vain yhtä tekniikkaa vaan on joukko hyvin erilaisia tekniikoita ja niiden sovelluksia. Eri tekniikoille on tyypillistä se, että ne soveltuvat hyvin eri tarpeisiin sen mukaan mitkä ovat tekniikan vahvuuksia. Hammastekniikan näkökulmasta tarkkuus on merkittävä yksittäinen vaatimus 3D-tulostuslaitteistolle. Myös esteettiset vaatimukset tulostetuille kappaleille ja käytetyille materiaaleille ovat toisinaan korkeat. Useat valmistajat käyttävät 3D-tulostamisessa vahvistavina kuituina hiilikuitua sen korkean jäykkyyden takia. Ulkonäkösyistä hiilikuitu ei kuitenkaan ole useinkaan mahdollista hammastekniikassa. Kliinisesti kestävimmäksi ja parhaiten soveltuvaksi on todettu E-lasikuitu (E=electric) (Rosen, 1978; Vallittu, 1993; Matinlinna et al., 2007; Lung and Matinlinna, 2012). Tämän takia suurin mielenkiinto kuitujen osalta kiinnittyykin juuri lasikuituihin. Tulostustarkkuuden ja käytettävissä olevien tulostusmateriaalien lisäksi monet käytettävyyteen ja kuluihin liittyvät asiat ovat tärkeitä arvioidessa käytökelpoisuutta hammastekniikassa.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA KYSYMYKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää mikä on tämänhetkinen tilanne markkinoilla olevista kuitukomposiittitulostimista hammastekniikan näkökulmasta. Tavoitteena on selvittää, onko jokin markkinoilla olevista laitteista sopiva hammaslaboratorion tarpeisiin.

Työssä haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Löytyykö markkinoilta sellaista 3D-kuitukomposiittitulostinta, joka olisi nykyominaisuuksiltaan sopiva hammaslaboratorion tarpeisiin?
2. Löytyykö markkinoilta sellaista 3D-kuitumuovitulostinta, joka olisi jo hyvin lähellä hammaslaboratorion tarpeita?
3. Mitä kehitysaskelia vaaditaan, jotta hammastekniselle alalle saadaan optimaalinen 3D-kuitumuovitulostin?

### 3 SUUNNITELMA

Artikkelimuotoinen opinnäytetyö alkoi aiheen ideoinnilla ja suunnittelulla. Mietin aihetta pitkään, koska artikkelimuotoisessa opinnäytetyössä rajausta ja tiiviin paketin koostaminen vaativat aiheelta sopivuutta tähän tarkoitukseen. Aiheen ollessa hyvin laaja, voisi artikkelista tulla liian pintapuolinen ja toisaalta liian suppea aihe saattaisi lyhentää liikaa artikkelin pituutta tai vaatia kohtuutonta ja syvää perehtymistä aiheeseen. Prosessin alkuvaiheessa mietin myös, voisiko aiempaa työkokemustani hyödyntää tämän työn tekemisessä.

#### 3.1 Aiemman tutkinnon ja työkokemuksen mahdollinen hyödyntäminen artikkelin aiheena

Minulla on noin yhdeksän vuoden työkokemus sairaalan ulkopuolisesta ensihoidosta valmistuneena ensihoitajana. Mietin pitkään, voisinko hyödyntää tätä tietoa ja kokemusta artikkelissani. Ensiavun antamisen osaaminen saattaa olla tärkeää hammasteknikolla tai erikoishammasteknikolle heidän työnkuvassaan kuten monella muullakin alalla. Hammasteknikon ja erikoishammasteknikon työhön kuuluvat monenlaiset laitteet ja työtapaturmat ovat mahdollisia heidän työssään. Hammastekniikan näkökulmasta yleisimpien tapaturmien sattua kuitenkin riittävät useimmiten perustiedot ensiavusta ja yleisestä turvallisuudesta. Tämän takia en kokenut työtapaturmiin liittyvän aiheen antavan merkittävää hyötyä hammastekniikan alalle. Suuremman hyödyn ensihoidon perusosaamisesta näen olevan hammasteknikoilla, jotka työskentelevät vastaanotoilla tai muuten potilastyössä. Erikoishammasteknikot tapaavat työssään ihmisiä vastaanotoillaan usein yksin ja heidän potilaansa ovat usein iäkkäitä. Tämä nostaa riskiä sairaskohtauksen kohtaamiseen vastaanotolla. Monet sisätautiset, neurologiset tai endokrinologiset hätätilanteet ovat sellaisia, joissa nopea tunnistaminen ja oireisiin reagointi auttavat potilasta ja parantavat merkittävästi ennustetta. Monien edellä mainittujen tilanteiden tunnistaminen ei ole erityisen vaikeaa eikä vaadi myöskään erityisvälineitä. Näin ollen perustietoa tärkeiden tilojen tunnistamiseen voisi olla helppoa lisätä vastaanotoilla. Sairaskohtauksiin liittyvän aiheen rajaaminen olisi kuitenkin ollut haastavaa. Erityyppisiä sairaskohtauksia on melko paljon, josta olisi ollut mahdollista käsitellä vain muutama. Myös informaation taso ja syvyys olisi pitänyt miettiä tarkkaan. Tässä olisi riski, että aihe menee liian syväliiseksi minkä seurauksena vastaanotto saattaisi jäädä lukijalle etäiseksi. Minulla ei



myöskään ole saatavilla tilastotietoa siitä, kuinka todennäköistä sairaskohtauksen kohtaaminen on vastaanotoilla ja olisiko siten tiedolle todellista tarvetta ja kysyntää alalla. Lopulta päätin, että en hyödynnä aiempaa työkokemustani opinnäytetyössäni vaan keskityn etsimään aihetta hammastekniikan alalta. Tämä lisää omaa osaamistani ja palvelee siten parhaiten tulevaa työuraani ajatellen.

### 3.2 Aiheen valinta

Ideaalitilanteessa 3D-tulostaminen nopeuttaa ja helpottaa hammasteknikon työtä ja saattaa parantaa töiden laatua esimerkiksi lisäämällä töiden tasalaatuisuutta. 3D-tulostamisen kehityksen edetessä myös kuituvahvikkeiden tulostaminen on tullut mahdolliseksi. Tämä tuo lisämielenkiintoa 3D-tulostukseen hammastekniikan näkökulmasta, sillä kuituvahvikkeita käytetään hammastekniikassa lisäämään esimerkiksi kruunujen ja siltojen kestävyyttä (Vallittu 2006). Kuitukomposiittitulostimia on ollut markkinoilla jo useamman vuoden ajan ja viime vuosina valkoima on jatkanut laajentumistaan. Näiden tulostimien tekniikat poikkeavat monilta osin toisistaan, mutta myös yhtäläisyyksiä löytyy valmistajien väliltä.

Opetus- ja kulttuuriministeriö on myöntänyt Turun AMK:lle 960000 euroa harkinnanvaraisena valtionrahoituksena tutkimus-, kehittämis-, ja innovaatiotoimintaan (TKI). Tämä rahoitus on suunnattu Turun AMK:n lisäävän valmistuksen osaamiskekukseen. ([www.turkuamk.fi](http://www.turkuamk.fi)) Hammastekniikan koulutusohjelma hyötyy rahoituksesta osana lisäävän valmistuksen osaamiskeskusta. Tavoite rahoituksella hammastekniikan näkökulmasta on kehittää eri materiaaliyhdistelmien 3D-tulostusta ja suunnittelua vastaamaan alan tarpeita. Hammastekniikka on yksi monista aloista, joka hyötyy myönnetystä rahoituksesta, koska 3D-tulostaminen on tällä hetkellä hyvin nopeasti kehittyvä osa hammastekniikkaa. Rahoituksen vastineeksi koulu tarjoaa opiskelijoilleen opinnäytetyön aiheita, jotka liittyvät 3D-tulostamiseen. Näin opiskelijat voivat tuoda opinnäytetyönsä kautta lisätietoa alalle 3D-tulostamisesta. Tämän työn aihe oli myös yksi tarjolle annetuista aiheista.

### 3.3 Aiheen rajaamisen perusteet

Vaikka markkinoilla on jo melko laaja valikoima kuitukomposiittitulostimia, monet näistä eivät tämän hetkisen tekniikan perusteella kuitenkaan ole sopivia hammastekniikan

tarpeisiin. Usein rajaava kriteeri on liian suuri tulostusjäljen epätarkkuus. Myös epäso- piva tulostusmateriaalivalikoima saattoi olla rajaavana kriteerinä vertailussani. Osa lait- teista oli myös koonsa puolesta liian isoja tai hankintahinta nousi useisiin satoihin euroi- hin. Artikkelissani käsittelen niitä valmistajia ja laitteita, jotka potentiaalisesti sopisivat hammastekniikan tarpeisiin tai ainakin ovat lähellä sitä tärkeimmiltä teknisiltä ominai- suuksiltaan. Ylläolevat tekijät rajasivat jo useita valmistajia katsauksen ulkopuolelle.

### 3.4 Artikkelin rakenne

Artikkelin rakenteen tulee olla loogisesti etenevä. Siinä pitää olla johdanto-osa, varsina- inen pääosa sekä johtopäätösten esittämisosa. (Kainulainen & Repo 2010.)

Kuitukomposiittitulostimien kehitys on tullut siihen pisteeseen, että ne ovat varteenotet- tavia apuvälineitä hammaslaboratoriossa. Johdannossa kerron yleisesti mitä kuitujen tu- lostaminen 3D-tulostamisessa tarkoittaa ja mitkä niiden mahdollisuudet hammastekni- kassa voisivat olla.

Johdannon jälkeen käsittelen asiat, jotka lukijan on hyvä tietää ennen varsinaista pää- tekstiä. Näitä ovat yleisellä tasolla ne asiat, jotka vaikuttavat oleennaisesti laitteen sopi- vuuteen hammastekniseen käyttöön. Näitä ovat tekniset ominaisuudet sekä tietyt käy- tännön asiat. Tuon esiin myös haasteet esimerkiksi tiedon luotettavuudesta tiedonha- kuun liittyen sekä lopullisen rajauksen perusteluineen.

Varsinaisessa päätekstissä kerron laitteiden perusteknologioista sekä niiden eroista ja yhtäläisyyksistä ja avaan valmistajien käyttämiä termejä. Valmistajat käyttävät vaihtele- vasti eri materiaaleja. Omassa kappaleessa käyn läpi niin matriisimuovien kuin käytössä olevien kuitujen valikoiman ja vertailen niitä laitekohtaisesti. Päätekstissä käyn läpi myös kuidun tulostamista kolmiulotteisuuden näkökulmasta. Laitteden yksittäiset ominaisuu- det liittyen tekniseen suorituskykyyn tuodaan esiin sekä omassa kappaleessa, että tau- lukoissa vertailun helpottamiseksi. Laitteden hankintahinta ja kulut kiinnostavat myös lu- kijaa ja siksi vertailen kulujen muodostumista, vaikka hinnat usein muuttuvat tekniikan kehittyessä ja tieto saattaa vanheta nopeastikin.

Yhteenvedossa teen tiivistyksen siitä, mikä tilanne artikkelin perusteella vallitsee tällä hetkellä markkinoilla. Mitkä ovat tiivistettyinä laitteiden erot ja yhtäläisyydet ja mitä haas- teita tarvitaan vielä ratkaista tai ainakin kehittää, jotta kuitukomposiittitulostimista saatai- siin täysi hyöty irti hammaslaboratoriossa.

## 4 KÄYTTÖKOHTEET 3D-KUITUTULOSTIMELLE HAMMASTEKNIKASSA

Moni yrittäjä saattaa tällä hetkellä pohtia, voisiko 3D-kuitukomposiittitulostin olla järkevä hankinta omaan laboratorioon. Valmistajien jo perusperiaatteiltaan erilaisten teknisten ratkaisujen takia toiset soveltuvat paremmin hammastekniikkaan kuin toiset. Artikkelisani, joka löytyy tämän raportin liitteenä, vertailen niitä ominaisuuksia, joilla on merkitystä hammastekniikassa. Tarkoitus ei ole antaa suoraa vastausta siitä mikä laite olisi paras vaan tuoda esiin näkökohtia, joilla jokainen voi itse arvioida parasta soveltuvuutta ja potentiaalia omaan käyttöönsä. Tilanne markkinoilla myös vaihtelee lähes vuosittain mikä kannattaa tiedostaa vertaillessa laitteita. Kuitujen vahvistavaa ominaisuutta on hammastekniikassa hyödynnetty kirjallisuuden mukaan levy- ja peittoproteeseissa, väliaikaisissa silloissa, irrotettavissa oikomiskojeissa ja purentakiskoissa. Hammaslääkäri puolestaan voi hyödyntää kuituja parodontaalisisissa kiskotuksissa, oikomishoidon retentiokiskoina ja väliaikaisten siltojen lujitteena. (Hammasteknikko 2/97, s.14-15) 3D-tulostamista ei kuitenkaan mielestäni kannata ajatella vanhojen tekniikoiden suorana korvaajana vaan ajatella laajemmin. 3D-tulostaminen on valmistustaavaltaan täysin uusi tapa tehdä kappaleita ja siksi menetelmää kannattaa ajatella täysin uudella tavalla. Mitkä ovat juuri tämän valmistustavan vahvuudet ja miten niitä voisi parhaiten hyödyntää. Tämä vaatii toisaalta harkintaa olla käyttämättä 3D-tulostusta silloin kun se ei lähtökohtaisesti ole perusteltua esimerkiksi taloudellisista tai suunnittelullisista syistä. Hyödyntäminen hammastekniikassa on siis osittain jokaisen käyttäjän mielikuvituksen varassa. Kuitukomposiittitulostimelle syntyyneen siis laitteiden kehittyessä ja materiaalien monipuolistuessa myös uusia käyttökohteita.

## **5 MERKITTÄVÄT TEKNISET NÄKÖKOHDAT KUITUA TULOSTAVISSA 3D-TULOSTIMISSA HAMMASTEKNIIKAN NÄKÖKULMASTA**

Hammastekniikan näkökulmasta merkittävimpiä valmistajia ovat ne, joiden laitteet kykenevät vastaamaan juuri hammastekniikan kannalta oleellisimpiin kriteereihin. Näitä ovat muunmuassa minimikerrospaksuus eli Z-resoluutio, minimi X,Y-resoluutio, tulostusalustan koko, käytön helppous, materiaalikulut sekä huoltovarmuus. Käyttötapa määrittää sen kuinka suurin merkitys tulostusnopeudella on. Kuitujen tulostamisen osalta puolestaan olennaista on se, miten kuitu tulostetaan osan sisään ja onko kuitu yhdensuuntaista kuitua vai katkokuitua ja mitä materiaalia kuitu on. Hammastekniikka asettaa melko tiukat vaatimukset esimerkiksi kuidun värille, sidostuvuudelle ja kestävyydelle, mikä saattaa osaltaan rajata jonkin valmistajan tuotteen vertailun ulkopuolelle, vaikka laite muuten kykenisi hyvään laatuun.

### **5.1 Kerrospaksuus ja X,Y-resoluutio**

Eri tulostustekniikoista riippuen minikerrospaksuus vaihtelee laitteesta toiseen merkittävästi. Joidenkin laitteiden tekniikat pystyvät tulostamaan muutaman kymmenen mikrometrin paksuisia kerroksia kun taas toiset yltyvät vain noin millimetrin minimipaksuuteen. Kerrospaksuuden eli niin sanotun Z-resoluution lisäksi X,Y-resoluutio kertoo sen kuinka pieni on pienin yksikkö yhdessä tulostuskerroksessa ([www.ortomat-herpola.fi](http://www.ortomat-herpola.fi)). Näillä tulostustarkkuuteen liittyvillä arvoilla on suuri merkitys siihen, sopiiko laite ylipäänsä hammastekniikan tarpeisiin.

### **5.2 Kuidun jatkuvuus**

Moni valmistaja ilmoittaa, että heidän laitteensa kykenee tulostamaan kuitua 3D-tulosteen vahvikkeeksi. Monessa tapauksessa kuidun 3-ulotteisuudella tarkoitetaan kuitenkin katkokuitua, jonka vahvistusominaisuudet ovat huomattavasti jatkuvaa kuitua heikommät. Jatkuvan kuidun ja katkokuidun vahvuuseroista löytyy useita tutkimuksia ja myös monet valmistajat tuovat esiin jatkuvan kuidun eron verrattuna katkokuituun nettisivuillaan. Paras vahvistus saadaan aikaan jatkuvalla kuidulla, tosin vain kuidun suuntaisena

(Vallittu, Matinlinna 2017). Tämä asettaa suuria vaatimuksia tulostustekniikalle, koska jatkuvan kuidun syöttäminen tulosteeseen tekovaiheessa kolmiulotteisesti ei ole kovin yksinkertaista. Tulosteen matriisi puolestaan perustuu lähes aina lämmöllä muokattaviin tai valokovetteisiin muoveihin.

### 5.3 Kuidun materiaali

Kuituvahvikkeiden hyötyjä on tutkittu eri teollisuuden tarpeisiin. Usein tutkitut kuidut ovat hiilikuituja. Mustan värinsä takia hiilikuitu ei kuitenkaan ole esteettisistä syistä ihanteellinen hammasteknikassa (Schreiber 1971). Myöskään sidostettavuus hampaaseen ei ole paras mahdollinen verrattuna lasikuituun (Vallittu, Matinlinna 2017). Hammaslääketieteen ja hammastekniikan kannalta suurin mielenkiinto on kohdistunut lasikuituihin niiden vahvuuden, värin ja sidostettavuuden takia. Näyttöä kuitujen vahvistavasta vaikutuksesta ja asemoinnin merkityksestä löytyy kirjallisuudesta, toisaalta tutkittua tietoa lasikuidulla vahvistettujen 3D-tulostettujen kappaleiden vahvuudesta on toistaiseksi ollut vaikea löytää.

### 5.4 Kuidun suunta 3D-tulosteessa

Kuidun jatkuvuuden lisäksi kuidun suunnalla on suuri merkitys siihen, kuinka hyvä on kuidun vahvistava voima. Kun kappaleeseen kohdistuu jännitysvoimia, saattavat kerrokset irrota toisistaan, mitä kutsutaan delaminaatioksi (Diegel 2020). Usein kuitua tulostavat 3D-tulostimet käyttävät pursotustekniikkaa. Materiaali pursotetaan kerroksittain, jolloin kuitukin tulee tulosteeseen kerroksittain. Haaste yleisesti ottaen on saada kuitu siten, että se työntyy kerrosten läpi tai niin, että kuitu kulkee kappaleessa täysin välittämättä kerrosten suunnasta. Artikkelin valittujen tulostimien kohdalla tämä ei toteutunut missään, vaan kuitu tulostui aina vain yhdessä tasossa kerrosten välillä. Kappaleen tulosasennolla voidaan kuitenkin vaikuttaa siihen, miten kuitu kulkee lopullisessa kappaleessa pystyakselilla katsottuna.

### 5.5 Käytettävyyteen liittyvät asiat

Mitä tarkempi tekniikka on, sitä hitaampaa tulostaminen pääsääntöisesti on. Tämä johtuu pitkälti kerrosten lukumäärän lisääntymisestä. Myös perustekniikka vaikuttaa nopeuteen

merkittävästi. Esimerkiksi SLA tulostimen yksi lasersäde käyttää selvästi enemmän aikaa yhden kerroksen kovettamiseen kuin esimerkiksi LCD-tulostin, jossa koko kerros voidaan kovettaa samanaikaisesti ([www.ortomat-herpola.com](http://www.ortomat-herpola.com)). Hammastekniikassa 3D-tulostimella on tarkoitus säästää hammasteknikon aikaa ja ihmistä hitaampi laite on vaikea perustella taloudellisesti. Hitauskaan ei ole ongelma, jos tulosteen teko ajoitetaan yöaikaan, jolloin tehokas työaika lisääntyy ilman työntekijän läsnäoloa.

Tulostusalustan koko määrittelee sen kuinka paljon kappaleita saadaan aseteltua yhdelle tulostuskerralle. Tulostusalustan koko vaihtelee valmistajasta riippuen. Hammas-tekniiset kappaleet ovat suhteellisen pieniä verrattuna moniin teollisuuden aloihin. Näin ollen vaatimukset tulostusalustan kokoon eivät välttämättä ole suuret hammastekniikassa. Toisaalta käytön lisääntyessä saattaa suurempi tulostusalusta olla olennainen aikaa säästävä ominaisuus. Koko laitteiston vaatima tila on myös hankintaan vaikuttava asia.

3D-tulostamiseen liittyy aina muutakin kuin laitteen tekemä varsinainen tulostamistyö. Työn asettelu alustalle tietokoneohjelman avulla, materiaalin vaihto, tulosteen irrottaminen, puhdistaminen, lopullinen valokovetus, tukien poisto ja työn viimeistely ovat mahdollisia työvaiheita riippuen tulostustekniikasta.

Tekninen tuki, huollon toimivuus ja varaosien saanti ovat myös laitteen jatkuvan käytön kannalta tärkeitä. Helppokäyttöisyys ja käyttäjää ohjaava laite ovat myös eduksi silloin jos laajan perehdytyksen antaminen on työpaikalla ajallisesti haastavaa.

Materiaalien avoimuus tarkoittaa sitä, kuinka riippuvainen laite on tietyn valmistajan materiaaleille. Usein laitteet voivat hyödyntää myös muiden valmistajien materiaaleja mikä mahdollistaa materiaalien paremman saatavuuden parempaan hintaan kilpailun takia. Toisaalta valmistajat eivät pysty takaamaan tulostettujen kappaleiden laatua silloin, kun ollaan käytetty ulkoisen valmistajan materiaaleja. Tällä saattaa olla vaikutusta myös takuuasioihin.

## 5.6 Laitteiston hinta ja muut kulut

Laitteiston hankintahinta on aina merkittävä arviointikohde uuden laitteen hankinnassa. Hankintahinnan lisäksi muut juoksevat kulut muodostavat lopullisen hinnan laitteelle ja sen käytölle. Materiaalikulut, huoltokulut, kuluvat osat ja korjauskulut varaosineen saattavat olla pidemmällä tähtäimellä merkittävä osa kokonaiskuluja.

## 6 TIEDON KERÄÄMINEN

### 6.1 Pohjatiedon kerääminen artikkelia varten

Yleistä tietoa 3D-tulostamisesta ja siinä hyödynnettävistä tekniikoista löytyy jo kohtuullisesti kirjallisuudesta, vaikka ala on verraten uusi ja suurimmat kehitysaskeleet on otettu vasta viime vuosina. Perustekniikat ovat olleet samoja jo useita vuosia. Tekniikoiden sisällä on löydetty uusia innovaatioita, jotka ovat parantaneet monia käyttäjän kannalta tärkeitä asioita kuten laitteiston kokoa ja hintaa mikä on mahdollistanut laitteiden leviämisen niin kuluttajille kuin eri alojen ammattilaisillekin. Myös vanhojen tekniikoiden rinnalle on löytynyt täysin uusia tapoja tehdä asioita. Näin varmasti tule myös jatkossa ja siksi tähän aiheeseen tulee täydennystä varmasti lähivuosina. Pohjatietoa artikkelia varten olen saanut koulutusohjelmani kursseilta, jossa perustekniikat on käyty läpi ja perehdytty eri valmistajien välisiin tekniikoihin, niiden eroihin ja samankaltaisuuksiin. Olen myös tutustunut eri valmistajien teknologioihin eri lähteiden kautta ja saanut siten paremman yleiskuvan alan kehityksestä.

### 6.2 Tiedonhaku

Tutkimuksia ja artikkeleita olen etsinyt mm. Google Scholarista ja Finna-hakupalvelusta halusanoilla 3D-print(ing), fibre/fiber, glass fiber, dental, additive manufacturing, continuous fiber, composites, thermoplastic, reinforced sekä näiden eri yhdistelmillä. Myös tavallista google-hakua olen käyttänyt, koska siten on mahdollista päästä jonkin tutkimuksen jäljille. Hyvin harvat tulokset osuvat täysin aiheeseen, mutta monet tutkimukset ja artikkelit kyllä käsittelevät asiaa ja auttavat syventämään tietoa aiheesta ja toimivat luotettavina lähteinä. Tarvittaessa olen myös tehnyt lisähakuja, kun olen tarvinnut lisätietoa jostain aiheesta. Monissa tutkimuksissa on tutkittu hiilikuitua mikä taas hammas-tekniikan näkökulmasta ei ole kovin relevanttia hiilikuidun vähäisen käytön takia. Tämän takia tutkimusten antamaa tietoa ei aina voi hyödyntää täyspainotteisesti vaan vain soveltavin osin.

### 6.3 Valmistajat tiedonlähteinä

Uusia tekniikoita ja valmistajia tulee markkinoille jatkuvasti. Monet näistä valmistajista ovat myös start-up-yrityksiä. Koska tekniikat ovat uusia, ei voida olettaa, että niistä olisi saatavilla tutkittua tietoa. Laitteistot myös kehittyvät koko ajan ja uusia laitteita tuodaan markkinoille. Näissä tilanteissa käytössä on vain valmistajan antamaa tietoa tai esimerkiksi alasta kiinnostuneiden internetsivustoiden kirjoittamia uutisia ja arvosteluita kyseisistä tekniikoista. Näihin tietoihin tulee suhtautua varauksella, koska tieto ei ole neutraalin osapuolen antamaa tietoa vaan tiedon välittäjällä on usein omat taloudelliset intressinsä mukana. Tällaiset tietolähteet esittelevät kuitenkin laitteita monipuolisesti ja mahdollistavat oman arvioinnin esimerkiksi siitä kuinka potentiaalisia kyseiset tekniikat voisivat olla hammastekniikan alalla tai omaan käyttöön.

### 6.4 Tällä hetkellä markkinoilla olevat kuitua tulostavat 3D-tulostimet

Keväällä 2020 teimme koulussa ryhmätyönä selvityksen markkinoilla olevista kuitutulos-  
timista. Tämä lista ei ole muuttunut tätä kirjoittaessani, joten ryhmätyöt antavat hyvän lähtökohdan markkinoilla olevista valmistajista ja laitteista. Nämä valmistajat ovat Anisoprint, CEAD, Continous Composites, EnvisionTEC, Impossible Objects, Markforged ja Orbital Composites ja 9T Lab. Kaikki mainittujen valmistajien laitteet eivät kuitenkaan sovellu toistaiseksi hammastekniikan käyttöön. Tämän takia olen rajannut osan valmistajista artikkelin ulopuolelle.

### 6.5 Analysointi ja lopulliseen artikkeliin päätyneet valmistajat

Katsauksessani tarkastelin tämän hetken tilaa 3D-kuitumuovitulostimien kohdalla. Kuten totesin aiemmin, kaikki valmistajat eivät ole soveliaita hammastekniikan käyttöön. Tarvittavan rajauksen tekemisesti kerään tarvittavat tiedot markkinoilla olevista valmistajista ja analysoin, mitkä valmistajista päätyvät lopulliseen katsaukseen. Tämän jälkeen syvennän tietoa kyseisistä valmistajista ja heidän laitteistaan. Tämän pohjalta kirjoitan artikkelini. Myös syvemmän käsittelyn ulkopuolelle jääviä valmistajia saatetaan tulla käsittelemään artikkelissani, mutta pintapuolisemmin tai maininnan tasolla. Artikkelissani vertailun työkaluina käytän myös taulukoita ja kuvia, joilla on mahdollista havainnollistaa tekniikoiden monimuotoisuutta.



## 7 POHDINTA

3D-tulostaminen, jossa kuidun vahvistavaa vaikutusta hyödynnetään, on hyvin monipuolinen tekniikan haara. Vaikka valmistajien teknologiat perustuvat muutamisiin eri perustekniikoihin, on tekniikoiden yksityiskohtien määrä valtava. Tämä johtuu paljon siitä, että valmistajat suuntaavat painopistettään hyvin eri kohteisiin ja eri aloille. Jotkut valmistajat suuntaavat kehitystyönsä helpottamaan esimerkiksi lentoteollisuuden haasteita, jolloin edullinen hinta ja kevyiden, mutta vahvojen osien valmistaminen tuo suuria säästöjä pitkällä aikavälillä ja lisää energiatehokkuutta. Toiset valmistajat taas pyrkivät tuomaan markkinoille yleispäteviä laitteita, jotka soveltuvat monenlaiseen ja suhteellisen pienien osien valmistamiseen. 3D-tulostaminen on valmistusmenetelmänä kuitenkin mahdollista räätälöidä lähes mihin vain. Kyse on laitteiden yksityiskohdista, joita on muunneltavissa lähes rajattomasti. Materiaaleja, kokoluokkaa ja perustekniikkaa muuttamalla saadaan hyvin erilaisia laitteistoja aikaan, joiden vahvuudet ovat keskenään täysin erilaisia.

Markkinoilla olevien laitteiden suurien eroavaisuuksien takia kaikkia ei ollut järkevä ottaa lopulliseen tarkasteluun. Rajaus, johon päädyin, oli kokonaisarvio kyseisistä laitteista eikä luonnollisestikaan ainoa mahdollinen. Jos kalliimmat tai paljon tilaa vaativat laitteet koettaisiin myös kiinnostaviksi, muuttuisi rajaus huomattavasti nykyisestä. Tämä toisi vertailuun myös paljon uusia teknologisia näkökohtia. Esimerkiksi kuidun todellinen kolmiulotteinen tulostaminen on mahdollista suuremmissa laitteissa itsenäisesti kaikkiin suuntiin liikkuvan robottikäden avulla ohjailtavan tulostuspään takia. Rajauksen laajentuessa myös vaadittavien kehityskohteiden määrä kasvaisi, koska näiden tulostimien suora hyödyntäminen hammastekniikassa vaatisi vielä paljon jatkokehitystä.

Tässä työssä tarkasteltiin kuitukomposiittitulostimia pelkästään hammastekniikassa hyödyntämisen näkökulmasta. Tämä kaventaa näkökulmaa huomattavasti ja asettaa niin materiaaleille kuin monille teknisille ominaisuuksille tietyt vaatimukset. Liian suuret laitteistot tai liian epätarkkatulostusjälki eivät käyneet nimettyyn tarkoitukseen. Myös materiaalien kautta tarkasteltuna moni laite ei ollut soveltuva kyseiseen käyttöön. Lopulta vain kuusi laitetta yhteensä kolmelta valmistajalta soveltui tarkempaan vertailuun. Yksikään valituista laitteista ei kuitenkaan täyttänyt täysin sellaisia kriteereitä, joiden perusteella laite olisi täysin soveltuva hammastekniikkaan nykyominaisuuksiltaan. Jokaisella laitteella oli etunsa ja toisaalta kehitystarpeensa. Jokaisesta laitteesta olisi kuitenkin

mahdollista kehittää hammastekniikkaan sopiva tulostin, jos kehitettävät asiat optimoitaisiin valmistajan ja hammasteknisen alan yhteistyössä.

### 7.1 Tiedon luotettavuus

3D-tulostamisesta löytyy alan kirjallisuutta, koska ala on ollut olemassa jo kymmeniä vuosia. Teknisistä ominaisuuksista ja tekniikoiden yleisistä ongelmista on siis saatavilla riittävästi luotettavaa tietoa. Tässä työssä tarkasteltiin markkinoilla olevia kuitukomposiittitulostimia. Ala kehitty nopeasti ja markkinatilanne on siten myös melko epävakaa. Tälläkin hetkellä jossain voidaan kehittää laitetta, jota ei vielä löydy markkinoilta ja joka voi mullistaa alaa uudella lähestymistavallaan. Toisaalta toisen valmistajan teknologia saattaa jäädä muiden jalkoihin ja poistua markkinoilta. Tässä raportissa ja liitteenä olevassa artikkelissa käytetty tieto saattaa vanhentua osaltaan nopeastikin ja on siksi yhdenlainen ajankuvaus. Tieto itse laitteista on pitkälti valmistajilta itseltään mikä ei ole tieteellisesti katsottuna luotettavan tahon tuottamaa tietoa. Valmistajilta saatu tieto on kuitenkin usein esimerkiksi tietoa laitteen ominaisuuksista tai mitoista mikä ei tarvitsekaan olla tutkimustietoa. Tämän takia olen kelpuuttanut valmistajilta saatua tietoa tähän työhön ja arvioinut sitä aina tapauskohtaisesti ja varauksella. Törmäsin työssäni myös siihen, että valmistaja ilmoittaa laitteen ominaisuudeksi kahta ristiriidassa olevaa tietoa. Tulee siis huomata, että ilmoitetut tiedot eivät ole aina oikein. Työssäni pyrin yhdistämään valmistajilta saamaani tietoa ja tutkittua tietoa siten, että ne tukisivat toisiaan ja parantaisivat tiedon uskottavuutta.

## LÄHTEET

Diegel O., Nordin A., Motte D. A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020.

Dolev, E. Bitterman, Y., Meiowitz, A. Comparison of marginal fit between CAD-CAM and hot-press lithium disilicate crowns. The Journal of prosthetic dentistry 2019-01, Vol.121 (1), p.124-128.

Goh, G.D., Yap, Y.L., Agarwala, S., Yeong, W.Y. Recent Progress in Additive Manufacturing of Fiber Reinforced Polymer Composite. Advanced Materials Technologies 2018, 4(1), 1800271-. doi:10.1002/admt.201800271.

<https://www.turkuamk.fi/fi/ajankohtaista/2106/turun-amkille-lahes-miljoonan-euron-rahoitus-lisaa-van-valmistuksen-osaamiskeskukseen/>. Päivitetty 27.3.2019. Luettu 18.12.2020.

Karilahti, K., Päivinen R. Valokovetteisella muovilla pinnoitettulasikuitu lämpökovetteisen polymeerin vahvikkeena. Opinnäytetyö 2015. Metropolia AMK. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99669/opinnaytetyo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Kortelainen, J. Opas 3D-tulostuksen yleisimpiin tekniikoihin ja niiden haasteiden ratkaisemiseen. Opinnäytetyö 2019. Satakunnan AMK. <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/265740/Kortelainen\\_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/265740/Kortelainen_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)>.

Ortomat Herpola. 3D-tulostustekniikka – Tulostimen valinta. <<https://www.ortomat-herpola.fi/files/3D-tulostimen%20valinta.pdf>>.

Paulo Davim, J. Machinability of Fibre-Reinforced Plastics. De Gruyter, Inc., 2015. ProQuest Ebook Central, <<https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=2073969>>. s.139.

Schreiber, C.K. Polymethylmethacrylate reinforced with carbon fibres. British Dental Journal. 130, 29\_30 (1971).

Tosto, C., Pergolizzi, E., Blanco, I., Patti, A., Holt, P., Karmel, S., Cicala, G. Epoxy Based Blends for Additive Manufacturing by Liquid Crystal Display (LCD) Printing: The Effect of Blending and Dual Curing on Daylight Curable Resins. Polymers 2020, 12, 1594. <<https://doi.org/10.3390/polym12071594>>.

Vallittu, P.K. Onko kuitulujitteisten proteesimuovien aika jo tullut?. Hammasteknikko. 2/97. S.12, s.14-15. <[http://hammasteknikko.fi/tiedostot/HT2\\_1997.pdf](http://hammasteknikko.fi/tiedostot/HT2_1997.pdf)>

Vallittu, P.K. Lasikuitusillat - milloin ja miten niitä kannattaa käyttää? Suomen hammaslääkärilehti. Elokuu 13-14/2. 2006.

Vallittu, P.K., Özcan, M. Clinical Guide of the Principals of fiber reinforced composites in dentistry. Types of FRCs used in dentistry. Elsevier Science. 2017. s.14.

Vallittu, P.K., Özcan, M. Clinical Guide of the Principals of fiber reinforced composites in dentistry. Types of FRCs used in dentistry. Elsevier Science. 2017. s.12.

Visakh, P. M., Semkin, A. O. High Performance Polymers and Their Nanocomposites. John Wiley & Sons, Incorporated. 2019.

Wikipedia, Stereolithography. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography#Materials>>. Luettu 2.2.2021.