

Opinnäytetyö (AMK)

Hammastekniikka

2021

Pinja Ahonen, Vilma Anttila, Iida Karhunen, Judith Sura

# 3D- TULOSETUT INLAY- SILLAT JA EVERSTICK- KUIDUN LISÄYS

Pinja Ahonen, Vilma Anttila, Iida Karhunen, Judith Sura

## 3D-TULOSTETUT INLAY-SILLAT JA EVERSTICK-LISÄYS

3D-tulostaminen on yhä yleistynyt tekniikka valmistaa erilaisia hammasteknisiä kohteita. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia, voiko 3D-tulostamista hyödyntää kuitulujitteisten siltaproteesien valmistuksessa. Tarkasteluun valittiin kolme erilaista siltaproteesityyppiä, etualueen silta, kolmen yksikön taka-alueen silta ja neljän yksikön taka-alueen silta.

3D-tulostettuihin siltaproteeseihin lisättiin manuaalisesti everStick-kuituvahvike. Tutkimuksessa kuitulujitettuihin siltoihin lisättiin kuituvahvike manuaalisesti kolmella eri tavalla. Tutkimusryhmän 3D-tulostetut käsin poratut sillat (ryhmä 2) valmistus aloitettiin suunnittelemalla hammastekniikassa käytetyllä CAD-ohjelmalla (3Shape) täysimittaiset inlay-sillat. Kuituvahvike lisättiin siltoihin tulostuksen jälkeen poraamalla valmiisiin siltoihin tilaa kuitukimpuille. Tutkimusryhmän 3D-tulostetut huppusillat (ryhmä 3) valmistus aloitettiin asemoimalla kuitukimput kipsimallille ennen mallin skannaamista, jolloin suunnitteluohjelmalla suunniteltiin siltarakenteet kuidun päälle. Tällöin 3D-tulostetuissa siltaproteeseissa oli valmiiksi tila kuitukimpuille. Tutkimusryhmän 3D-tulostetut reikäsillat (ryhmä 4) valmistaminen alkoi niin, että ensimmäisen tutkimusryhmän STL-tiedostot kopioitiin ja siirrettiin SolidEdge-ohjelmaan, jonka avulla saatiin siltaproteeseihin tunnelimainen reikä. Tulostuksen jälkeen kuitukimput pujotettiin silloissa olevista rei'istä läpi.

Tutkimuksessa tarkastelussa olevat siltaproteesit 3D-tulostettiin GC:n TEMP Print -materiaalista Asiga MAX -tulostimella. Kaikkien kolmen tutkimusryhmän siltojen kestävyttä testattiin kuormituslujuustestin avulla ja tuloksia vertailtiin manuaalisesti käsin valmistettuihin kuitulujitettuihin siltaproteeseihin, sekä 3D-tulostettuihin siltoihin ilman kuituvahviketta. Tulosten lisäksi pohdittiin myös valmistusmenetelmien käytännöllisyyttä, kustannuksia ja estetiikkaa.

Tuloksista kävi ilmi, että 3D-tulostetut huppusillat pärjäsivät kuormituslujuustestissä hyvin. Etualueen sillat olivat usein heikoimpia erilaisista siltaproteesityypeistä. Kaikissa valmistustavoissa oli omat haittapuolensa. 3D-tulostetuissa käsinporatuissa silloissa siltojen poraaminen voi aiheuttaa mikromurtumia siltaan ja heikentää sen kuormankantokykyä. Lisäksi poraamisesta aiheutuu materiaalihukkaa. 3D-tulostetuissa huppusilloissa kuitua kuluu kaksinkertainen määrä ja siltoja on vaikea käsitellä tulostuksen jälkeen. 3D-tulostettujen reikäsiltojen valmistaminen on epäkäytännöllistä, koska se vaatii kahden eri suunnitteluohjelman käyttöä.

### ASIASANAT:

hammastekniikka, 3D-tulostaminen, inlay-silta, everStick, kuitulujitettu siltaproteesi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Dental Technology

2021 | 41 pages

Pinja Ahonen, Vilma Anttila, Iida Karhunen, Judith Sura

## 3D PRINTED INLAY BRIDGES WITH EVERSTICK ADD ON

3D-printing is an increasingly more widespread technique used to produce many different kinds of dental machines and equipment. The purpose of this thesis is to research whether or not 3D-printing can be successfully utilized in producing fiber-reinforced bridge prothesis's.

Three different bridge prothesis types consisting on a anterior bridge, a three units posterior bridge and a four units posterior bridge were selected for screening and review purposes.

An everStick-fiber reinforcement was manually added to the 3D-printed bridge prothesis', and three different ways in total were used to apply the substance.

The production of the research group "3D-printed hand-drilled bridges" (group 2) was started by designing models of full-sized inlay bridges with a CAD-program (3Shape) commonly used in dental technology. The fiber reinforcement material was added after printing to the bridges by drilling a space for the fiber bundles.

The production of the research group "3D-printed bottom groove" (group 3) was started by positioning the fiber bundles on to a plaster model before scanning the model, after which a design program was used to design a bridge frame on top of the fiber. In this case, the 3D-printed prothesis' already had a space for the fiber bundles.

In the research group "3D-printed middle groove" (group 4), production started so that the first research group's STL-files were copied and transferred into the SolidEdge-program, which was used to produce a tunnel-like hole into the bridge prothesis'. After printing, the fiber bundles were pushed through the drilled holes.

All reviewed bridge prothesis' used in the research project were 3D-printed with an Asiga MAX-printer using GC TEMP Print-material. The durability of all three research group's bridges were tested by a loading test and the results were manually compared with pre-existing, hand-made fiber-reinforced bridge prothesis' and similar 3D-printed bridges that lacked a fiber reinforcement substance. Additionally, alongside the initial results, the practicality of production methods, costs and aesthetics were also taken into consideration.

The results showed that while the 3D-printed hood bridges performed well in the loading tests, the anterior bridges were often the weakest out of all the prothesis models. Every single method of production had their drawbacks.

In the 3D-printed, hand-drilled bridges, the drilling was found to often cause microscopic fractures in the bridge, weakening its overall loadbearing capacity. Additionally, the drilling causes excessive material waste. In the 3D-printed bottom groove bridges, fiber material was used twice as much as normal and the bridges were found to be difficult to handle after printing.

The production of the 3D-printed middle groove bridges was found to be impractical, as it required the usage of two different design programs throughout the whole process.

**KEYWORDS:**

dental technology, 3D-printing, inlay-bridge, everStick, fibre-reinforced composite bridge

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 TUTKIMUKSEN TAUSTAT</b>	<b>9</b>
2.1 Siltaproteesit	9
2.2 Kuidut ja komposiitit	10
2.3 3D- tulostus hammastekniikassa	11
<b>3 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS</b>	<b>13</b>
3.1 Tutkimuksen tarkoitus	13
3.2 Tutkimuksen tavoite	13
2.3 Tutkimuskysymykset	13
<b>4 TUTKIMUSMATERIAALIT JA TUTKIMUSRYHMÄT</b>	<b>14</b>
4.1 Tutkimusmateriaalit ja laitteet	14
4.2 Tutkimusryhmät- ja kappaleet	17
4.3 Tutkimuskappaleiden valmistus	18
4.4 Siltojen tulostaminen	23
4.5 Testausalustojen eli jigien valmistus	25
<b>5 TUTKIMUSMENETELMÄT</b>	<b>27</b>
<b>6 TULOKSET JA ANALYYSI</b>	<b>29</b>
6.1 Käsinvälmitetut sillat	29
6.2 3D-tulostetut käsin poratut sillat	30
6.3 3D-tulostetut huppusillat	31
6.4 3D-tulostetut reikäsillat	32
6.5 3D-tulostetut kontrollisillat	33
6.6 Tulosten analyysi	34
<b>7 POHDINTA</b>	<b>36</b>
7.1 Luotettavuus	36
7.2 Siltojen valmistusmenetelmät	36
7.3 Siltarakenteiden kestävyys ja käytännöllisyys	38

<b>8 LOPUKSI</b>	<b>40</b>
------------------	-----------

<b>LÄHTEET</b>	<b>41</b>
----------------	-----------

## **KUVAT**

Kuva 1. 3D-tulostetun käsin porattavan kolmen yksikön sillan suunnitelma.	19
Kuva 2. 3D-tulostettu neljän yksikön huppusilta ilman everStick-lisäystä.	19
Kuva 3. Kuituja ennen Renfert Scanspray -käsittelyä.	20
Kuva 4. Kuitu Renfert Scanspray -käsittelyn jälkeen.	20
Kuva 5. Siltarakenne suunniteltuna kuidun päälle.	21
Kuva 6. 3D-tulostettu etualueen reikäsilta ennen everStick-lisäystä.	22
Kuva 7. 3D-tulostettu kolmen yksikön reikäsilta ennen everStick-lisäystä.	22
Kuva 8. Tutkimusryhmien 2 ja 3 siltoja tulostusalustalla.	24
Kuva 9. Etualueen tutkimusryhmä 2 sillat tulostusalustalla.	24
Kuva 10. Testausalusta eli jigi kobolttikromista.	26
Kuva 11. Etualueen jigi zirkoniasta.	26
Kuva 12. 3D-tulostettu neljän yksikön silta testausalustalla.	28
Kuva 13. 3D-tulostettu etualueen silta testausalustalla.	28
Kuva 14. Käsinvalmistettu kolmen yksikön silta kuormituslujuustestin jälkeen.	30
Kuva 15. 3D-tulostettu käsin porattu neljän yksikön silta kuormituslujuustestin jälkeen.	31
Kuva 16. 3D-tulostettu kolmen yksikön huppusilta kuormituslujuustestin jälkeen.	32
Kuva 17. 3D-tulostettu etualueen reikäsilta kuormituslujuustestin jälkeen.	33
Kuva 18. 3D-tulostettu neljän yksikön kontrollisilta kuormituslujuustestin jälkeen.	34
Kuva 19. 3D-tulostettu kolmen yksikön huppusilta everStick-lisäyksen jälkeen.	38

## **KUVIOT**

Kuvio 1. Tulosten keskiarvot (N).	35
-----------------------------------	----

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Tutkimusmateriaalit.	14
Taulukko 2. Laitteet.	16
Taulukko 3. Käsinvalmistettujen siltojen tulokset.	29
Taulukko 4. 3D-tulostettujen käsin porattujen siltojen tulokset.	30
Taulukko 5. 3D-tulostettujen huppusiltojen tulokset.	31
Taulukko 6. 3D-tulostettujen reikäsiltojen tulokset.	32
Taulukko 7. 3D-tulostettujen kontrollisiltojen tulokset.	33

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

CAD	Computer Aided Desing suom. tietokoneavusteinen suunnittelu
FCR	Fiber Reinforced Composite Kuituvahvistettu komposiitti eli synteettinen materiaaliyhdistelmä, jossa on polymeerimatriksi ja vahvistavia täyteaineita eli kuituja
Jigi	Testausalusta
LCD	Liquid Chrystal Display suom. nestekidenäyttö
Matriisi, matriisimuovi	Muovi, joka ympäröi täyteaineita tai vahvistavia kuituja.Yhdistelmämuovin lujittava osa.
Newton (N)	Määritelmä $\text{Kg m/s}^2$
okklusaatio	purenta
Silaani	Silaanilla voidaan sidostaa kemiallisin, kovalenttisin sidoksin oleellisesti erilaisia materiaaleja toisiinsa. Silaani edistää materiaaliyhdistelmien sidostumista (keraami-yhdistelmämuovi, metalli-yhdistelmämuovi ja yhdistelmämuovi-yhdistelmämuovi)
Silanointi	Esikäsitteily silaanilla; adhesiivinen, tartuntaa lisäävä toimenpide
SLA	stereolitografia
STL	Standard Triangle Language
TCBC	Turku Clinical Biomaterial Centre suom. Turun Kliininen Biomateriaalikeskus

# 1 JOHDANTO

Turun ammattikorkeakoulun MMAM-projekti (Multicomponent Materials Centre of Expertise for Additive Manufacturing) mahdollisti sen, että hammasteknikkokoulutus sai 3D-tulostimen syksyllä 2019. Se ohjasi päätöstä valita lisäävään valmistukseen liittyvän opinnäytetyöaiheen. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Turun yliopiston hammaslääketieteen laitoksen biomateriaalitutkimuskeskus (TCBC) ja AMK:n hammasteknikkokoulutus. Opinnäytetyö tehtiin osana MMAM-projektia ja Suun terveyden tutkimusryhmää. Tässä opinnäytetyössä tarkastelun kohteena olivat 3D-tulostetut sillat manuaalisella lasikuituvahvikelisäyksellä.

Kuitulujitteisia siltaproteeseja on tutkittu Turussa yli kahden vuosikymmenen ajan, ja ne ovat kestäviä, kudosta säästäviä ja nopeita valmistaa. Opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää, onko hammastekniikassa yhä yleistyvää 3D-tulostamista mahdollista hyödyntää kuitulujitteisten siltaproteesien valmistuksessa. Tämä voisi nopeuttaa ja helpottaa hammasteknikon työtä vaativimpien kuitulujitteisten siltaproteesien valmistamisessa. Koska nykytekniikalla ei ole mahdollista tulostaa haluttua lasikuituyhdistelmämuovia, tutkimuksessa lisättiin everStick-kuituvahvike 3D-tulostettuihin komposiittisiltoihin manuaalisesti.

Tässä opinnäytetyössä tutkimuksen kohteena olivat erilaiset 3D-tulostetut kuitulujitteisen siltaproteesit, joiden kestävyyttä verrattiin manuaalisesti valmistettuihin kuitulujitteisiin siltaproteeseihin, sekä 3D-tulostettuihin siltaproteeseihin ilman lasikuituvahviketta. Lisäksi tutkimuksessa pohdittiin valmistusmenetelmien käytännöllisyyttä, kustannuksia ja estetiikkaa.



## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTAT

### 2.1 Siltaproteesit

Siltaproteesilla voidaan korvata hammaskaarelta puuttuvia hampaita. Puuttuvien hampaiden paikalle tehdään hampaiden näköiset kruunuväliosat ja viereisiin hampaisiin hammaskruunut. Yhdistettäessä nämä toisiinsa muodostuu siltarakenteinen proteesi eli ammattikielessä silta. (Johnson 2015)

Puuttuvien hampaiden kohdalle muotoillaan hampaan näköiset kruunuväliosat ja viereisiin hampaisiin tehdään hammaskruunut. Nämä yhdistetään toisiinsa, jolloin syntyy siltarakenne. Kevytsilta on hammassilta, jota käytetään pääasiassa vain suun etualueella, koska se ei kestä kovin suurta purentarastusta. Kevytsillassa on siivekkeet, jotka liimataan puuttuvan hampaan viereisten hampaiden pinnoille. Viereisistä hampaista saadaan joutua hiomaan tilaa kiinnitysrakenteelle. (Hammaslääkäriliitto 2020)

Sillan suunnittelussa päämääränä on stabiili okklusaatio ja siltatyyppejä valittaessa on ensisijaisesti arvioitava, kuinka paljon hampaissa on kovakudosta jäljellä sillan kiinnittämiseksi. Suunnittelun lähtökohtana on hampaiston ja purentaelimistön kuntoutuksen tarve. Kuitulujitteisen sillan valmistuksessa lähtökohtana on hampaan tuhoutuneen osan korvaaminen aineella, joka samalla antaa sillalle kiinnityksen. Kiinnitys perustuu biomekaanisiin periaatteisiin ja adhesiivitekniikkaan. Näin valmistamalla säästetään hammaskudosta, vähennetään työmäärää ja kustannuksia. (Vallittu 2006)

## 2.2 Kuidut ja komposiitit

Kuituvahvistetut komposiitit (FCR = Fiber reinforced composite) ovat synteettisiä materiaaleja, jotka koostuvat resiniinistä ja sitä vahvistavista kuiduista. Kuidut voivat olla suunnattuina materiaalissa suorina, mattomaisesti verkkona tai lyhyinä katkottuina paloina. Saatavilla olevista kuiduista hammaslääketieteessä käyttökelpoisimpia ovat E-lasikuidut, jotka voidaan silanoida resiniinimatriksiin. Lasikuiduista käytetyimpiä ovat E- ja S-lasikuidut, jotka ovat parhaiten sopivia suun olosuhteisiin. (Matinlinna, Vallittu 2017, 11-).

Hammaslääketieteessä käytetyt yhdistelmämuovimateriaalit eli komposiitit koostuvat epäorgaanisista täyteainepartikkeleista, jotka ovat silanoituneina resiniinimatriksin sisällä. Komposiitti sisältää monomeerejä, jotka muodostavat resiniinimatriksin, initiaattorisysteemin, inhibiittorin ja väripigmenttejä haluttuun värisävyyn. Filleripartikkelit ovat yleensä kvartsia, zirkoniumoksidia, bariumlasiä ja/tai piioksidia. Komposiitit kovetetaan ultravioletivalolla, jolloin saadaan aikaan polymerisoitunut komposiitti. (Matinlinna 2008, 4)

Kuituvahvistetuilla materiaaleilla on monia hyviä mekaanisia ominaisuuksia ja niiden kestävyys suhteessa niiden painoon on erinomainen verrattuna moniin metalleihin. Verrattuna metalleihin kuitukomposiittien muita ominaisuuksia ovat myös ruostumattomuus, läpinäkyvyys, hyvät sidostus-ominaisuudet ja korjaamisen helppous. (Freilich ym, 2000, 5)

Kuitujen vahvistava vaikutus riippuu niiden suuntauksesta, pituudesta ja määrästä materiaalissa. Kuituvahvistettujen komposiittien mekaanista kestävyyttä ja vahvuutta arvioidaan useimmiten kolmipistetaivutus- testillä. Taivutuksessa kuitujen suuntaus ja sijainti vaikuttaa merkittävästi saatuihin tuloksiin. Yhdensuuntaisilla kuiduilla on kuitukomposiiteissa voimakkain vahvistava vaikutus, kun kuormitus on niiden suuntaista. Kuituvahvikkeet tulee pyrkiä sijoittamaan vetolujuuden puolelle. Krenchelin faktorilla voidaan arvioida kuitujen vahvistavaa vaikutusta vetojännityksen suhteen, kun kuormittavan voiman suunta on tiedossa. (Matinlinna & Vallittu 2017, 14-16).

Kuitusilta koostuu matriisimuovista ja kuiturungosta. Kuiturungolla ja matriisimuovilla on toisistaan eroava kyky vastustaa kuormitusta eli niillä on erilainen kimmomoduuli eli jäykkyys. Kuiturungon kimmomoduuli riippuu kuitujen suunnasta, minkä vuoksi on tärkeää, että kuiturungon päälle ei kerrosteta liian jäykkää ja heikkoa yhdistelmämuovia suhteessa kuiturunkoon. Lisäksi kuiturungon paksuuden on oltava oikea. Purentavoimat tulee johtaa sopivan paksun yhdistelmämuovikerroksen kautta kuiturunkoon. Tällä

vältetään paikallisesta purentakuormituksesta aiheutuvat yhdistelmämuovin halkeamiset, koska paksumpi muovikerros kykenee kantamaan kuormitusta itse. Lisäksi kuiturungon ja yhdistelmämuovin sidoksen on oltava hyvä, jotta purentavoimat siirtyvät kantavan osan, eli kuiturungon kannettavaksi. (Alander 2006, 5)

Kuitulujitettu silta voi olla väliaikainen tai pysyvä. Väliaikainen kuitusilta on muuten samanlainen kuin tavallinen väliaikainen silta, mutta se on vahvistettu lasikuiduilla. Väliaikaisia kuitulujitteisia siltoja käytetään metallokeräämisten tai kokokeräämisten siltojen valmistamisen välivaiheiden aikana esimerkiksi purentaan tai ulkonäköön liittyvien teki-  
jöiden selvittämisen takia. Pysyvissä kuitulujitteisissa silloissa rakenne ja materiaalit eroavat väliaikaisesta. Pysyvään siltaan valmistetaan kuormitusta kantava kuitulujitteinen runko, jonka päälle yhdistelmämuovi kerrostetaan. Siltaa kiinnittävien osien mukaan sillat on jaettu luokkiin: vaippakruunukiinnitteinen, inlay- kiinnitteinen, pintakiinnitteinen ja hybridisilta, joka sisältää kahta tai useampaa kiinnityselementtiä. (Vallittu 2006).

Lasikuiturunko pyritään aina peittämään kauttaaltaan muovilla. Tällä aikaansaadaan pintakerros ja suojataan kuiturunkoa. Lasikuiturungon paljastuminen ei juuri kuitenkaan lisää suun mikrobien tarttumista materiaaliin verrattuna paikkaushoidon yhdistelmämuoviin. Ulkonäöllisesti rungon kerrostuksessa tulee ottaa huomioon lasikuiturungon läpikuultavuus. (Vallittu 2006.)

### 2.3 3D- tulostus hammastekniikassa

3D- tulostus on ainetta lisäävä valmistustekniikka, jossa kappale rakentuu materiaalia lisäämällä kerros kerrokselta. Kappaleen valmistus alkaa virtuaalisen mallin suunnittelulla eli CAD- suunnittelulla (engl. computer aided design). Suunniteltu tiedosto avataan STL- muodossa (engl. Standard Triangle Language) 3D- tulostimen tietokoneohjelmassa, minkä jälkeen se asetetaan virtuaaliselle tulostusalustalle ja asetetaan tulostuksen kannalta parhaaseen asentoon. Tulostusasento ja – suunta voi vaikuttaa kappaleen kestävyteen ja sen laatuun. Tulostuksen avuksi tarvitaan yleensä tulostustukia, jotka asetetaan tukemaan kappaleen osia, jotka ovat irti tulostusalustasta. Tämän jälkeen ohjelma jakaa kappaleen kerroksiin halutun kerrospaksuuden mukaan ja lähettää suunnitelman tulostimeen, joka valmistaa kappaleen. Kappaleen tulostuksen jälkeen se irrotetaan alustasta ja jälkikäsitellään. Jälkikäsitelyyn kuuluu kappaleen puhdistus

ylimääräisestä materiaalista, tukien poisto ja materiaalista riippuen myös loppukovetus. (Diegel ym. 2020, 1-6)

Tulostustekniikoita on useita erilaisia, hammaslaboratorioissa käytetyin on SLA (engl. stereolithography) eli stereolitografia, joka on yksi allasvalopolymerisaatio- tulostustekniikoista. Allasvalopolymerisaatiossa nestemäinen resiini kovetetaan käyttäen joko LCD-paneelia (engl. liquid crystal display), tai UV- tai laservaloa. Tulostusalusta laskeutuu tulostusaltaan pohjaan, jossa valo kovettaa alustaan kerroksen resiiniä. Tulostusalusta nousee halutun kerrospaksuuden verran ylöspäin, jolloin uutta resiiniä pääsee kovetetun resiinin tilalle. Kun tämä resiini kovetetaan, se samalla sitoutuu kiinni edelliseen ja kun vaihetta toistetaan, saadaan rakennettua haluttu kappale. (Alander & PHAMMS18 2020, 4-5 ; Diegel ym. 2020, 30)

## 3 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS

### 3.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tarkoituksena oli selvittää, onko valittuja siltarakenteita mahdollista 3D-tulostaa niin, että niihin saadaan lisättyä everStick-kuituvahvike 3D-tulostuksen jälkeen. Tämän lisäksi haluttiin tietää, kuinka kestäviä nämä rakenteet ovat käsintehtyihin verrokkikappaleisiin verrattuna.

### 3.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa siitä, olisiko siltarakenteita tehdessä kannattavaa käyttää valitsemiamme valmistusmenetelmiä. Menetelmien kannattavuutta tulisi pohtia kustannustehokkuuden ja ajan käytön osilta.

### 2.3 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Onko valittuihin tulostettuihin siltarakenteisiin mahdollista tehdä everStick – kuidun lisäys ja saada toimiva lopputulos?
2. Mikä valituista siltarakenteista everStick -kuidun lisäyksellä on kestävin?
3. Mikä valituista siltarakenteista everStick -kuidun lisäyksellä on käytännöllisin toteuttaa?

## 4 TUTKIMUSMATERIAALIT JA TUTKIMUSRYHMÄT

### 4.1 Tutkimusmateriaalit ja laitteet

Tutkimuksessa käytetyt materiaalit ja laitteet ovat listattuina alla olevissa taulukoissa, materiaalit (Taulukko 1.) ja laitteet (Taulukko 2.). Tutkimusmateriaalit ja -laitteet on valittu hammastekniikassa yleisesti käytetyistä materiaaleista ja laitteista.

Taulukko 1. Tutkimusmateriaalit.

<b>Materiaali</b>	<b>Valmistaja</b>	<b>LOT</b>
GC Temp PRINT Light; tulostus materiaali	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	1824021
GC everX Flow; katkokuituvahvisteinen yhdistelmämuovi	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	1907031
GC GRADIA+ One Body; modulaarinen yhdistelmämuovi kerrosta- miseen	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	1906201
GC StickRESIN; dimetakrylaattipohjainen kiillesidosaine kuitupinto- jen aktivoimiseen	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	51901236B
GC OptiGlaze; kiiltoa antava suojapinnoi- teaine	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	1304121
everStick; kuitulujite	GC Europe N.V Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium	2400201802281
al dente Esprit-Wachs Sculpturing Wax;	al dente Dentalprodukte Am Tobel 15	021065

vaha	D-88263 Horgenzell, Germany	
Renfert Scanspray; skannaus-spray	Renfert GmbH Industriegebiet 78247 Hilzingen, Germany	A0578
ORBIS Orbibite transpa; silikoni purennanjäljennösaine	ORBIS Dental Handels- gesellschaft mbH Schuckertstraße 21 D-48153 Münster, Germany	12027-1
Coltene Lab-Putty; silikoni	Coltene/Whaledent AG Feldwiesenstrasse 20 9450 Altstätten, Switzerland	K24736
Coltene Lab-Putty Activa- tor; silikonin aktivaattori	Coltene/Whaledent AG Feldwiesenstrasse 20 9450 Altstätten, Switzerland	K12572
BEGO WiroFine; valumassa	BEGO Bremer Goldschlä- gerei Wilhelm-Herbs-Straße 1 28359 Bremen, Germany	0211415
BEGO BegoSol K; valumassan laajennusneste	BEGO Bremer Goldschlä- gerei Wilhelm-Herbs-Straße 1 28359 Bremen, Germany	0618K
IPS e.max ZirCAD; zirkonია	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan, Liech- tenstein	W30171
3M™ Scotchbond™ Uni- versal; kiinnityssementin sidosaine	3M Deutschland GmbH ESPE Platz 82229 Seefeld, Germany	3871626

BEGO Wironium; kobolttikromi	BEGO Bremer Goldschlä- gerei Wilhelm-Herbs-Straße 1 28359 Bremen, Germany	14438
3M™ RelyX™ Ultimate komposiitti; kiinnityssementti	3M Deutschland GmbH ESPE Platz 82229 Seefeld, Germany	6343927

Taulukko 2. Laitteet.

<b>Laite</b>	<b>Valmistaja</b>
3M™ Elipar™ -S10; valokovetin kynä	3M Deutschland GmbH ESPE Platz 82229 Seefeld, Germany
Ivoclar ProMill7; jyrsin	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan, Liechtenstein
Asiga MAX; 3D-tulostin	Asiga Australia 2, 19-21 Bourke Road Alexandria, Sydney, Australia
Nautilus T; valulaite	BEGO Bremer Goldschlägerei Wilhelm-Herbs-Straße 1 28359 Bremen, Germany
Labolight DUO; valokovetin	GC Europe N.V. Interleuvanlaan 33 B-3001 Leuven, Belgium
C02 Curing Light; valokovetin	Premium Plus UK Ltd. 2, Knighton Heath Industrial Estate 847 Ringwood Road, Bournemouth Dorset BH11 8NE, UK
3Shape E2 Scanner; skanneri	3Shape A/S Holmens Kanal 7 1060 Copenhagen, Denmark



Lloyd Instruments LR30K plus; materiaalien testauslaite	Lloyd Instruments Ltd. Steyping Way, Bognor Road West Sussex, PO22 9ST, UK
---	--

#### 4.2 Tutkimusryhmät- ja kappaleet

Tutkimus toteutettiin testikappaleilla, joita oli yhteensä 120. Jokaista erityyppistä siltarakennetta tulostettiin kahdeksan kappaletta, ja lisäksi valmistettiin käsin kahdeksan verrokkikappaletta jokaisesta siltarakenteesta.

Siltarakenteet, jotka valittiin tutkimukseen ovat yhden molaarin inlay-silta (25-27), yhden premolaarin ja yhden molaarin inlay-silta (24-27), sekä etualueen yhden inkisiivin inlay-silta (21-23). Jokaista siltarakennetta valmistettiin siis kolmella erilaisella STL- tiedostolla, ja niiden lisäksi kontrollisillat valmistettiin käsin. Opinnäytetyön suunnittelua aloitettaessa mukana oli myös etualueen pitkä silta (d11-d22), mutta se jätettiin pois lopullisesta tutkimuksestamme opinnäytetyön ohjaajan ehdotuksesta. Pitkä etualueen silta olisi ollut käytössä olevilla testausmenetelmillä vaikea testata.

<b>Ryhmä 1</b>	Käsinvalmistetut sillat	Etualueen silta Kolmen yksikön silta Neljän yksikön silta
<b>Ryhmä 2</b>	3D- tulostetut käsin poratut sillat	Etualueen silta Kolmen yksikön silta Neljän yksikön silta
<b>Ryhmä 3</b>	3D- tulostetut huppusillat (kts. Kuva 2)	Etualueen silta Kolmen yksikön silta Neljän yksikön silta
<b>Ryhmä 4</b>	3D- tulostetut reikäsillat (kts. Kuva 6 ja 7)	Etualueen silta Kolmen yksikön silta Neljän yksikön silta

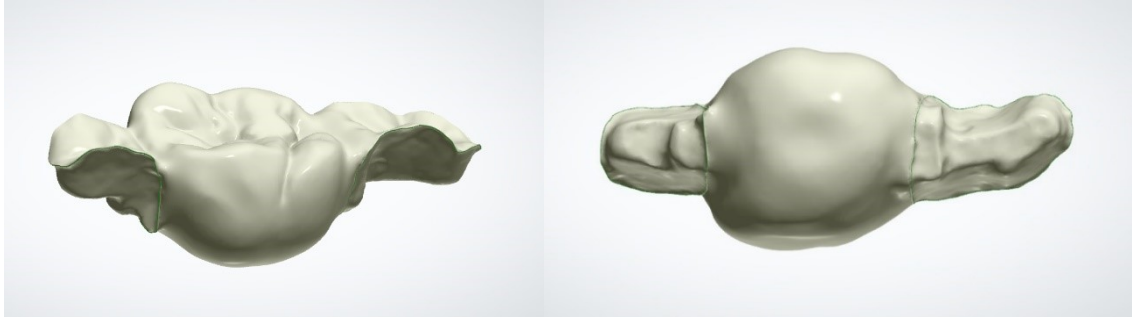
<b>Ryhmä 5</b>	3D- tulostetut kontrollisillat	Etualueen silta Kolmen yksikön silta Neljän yksikön silta
----------------	--------------------------------	---

#### 4.3 Tutkimuskappaleiden valmistus

Ensimmäinen tutkimusryhmä eli käsinvalmistetut sillat valmistettiin ottamalla tulostetuista silloista muotit käyttäen Orbis Orbibite transpa- silikonia. Silikoni pursotettiin kipsimallille tulostetun sillan ollessa asetettuna paikoilleen, joten käsikappaleista saatiin valmistettua mahdollisimman paljon tulostettuja kappaleita vastaavat. Kuitu asetettiin paikalleen kipsimallille ja silikonimuottiin tehtiin reikä. Reiän kautta muotti pursotettiin täyteen GC:n Gradia Plus muovia. Muovi valokovetettiin ja porattiin lopulliseen muotoonsa. Lopuksi käsikappaleet käsiteltiin OptiGlazella ja valokovetettiin.

3D- tulostettujen testikappaleiden valmistus aloitettiin suunnittelemalla valituista kolmesta siltarakenteesta jokaisesta kolme erilaista STL-tiedostoa eli tutkimusryhmää. Toisen tutkimusryhmän (3D-tulostetut käsin poratut sillat) STL- tiedosto tehtiin suunnittelemalla valmis siltarakenne, johon porattiin tulostamisen jälkeen manuaalisesti reikä everStick-lisäystä varten (kts. Kuva 1). Kolmannessa tutkimusryhmässä (3D-tulostetut huppusillat) kuitu asetettiin kipsimallille ennen skannausta. Skannauksen jälkeen siltarakenne suunniteltiin kuidun päälle. Neljännen testiryhmän (3D-tulostetut reikäsilat) tiedostoissa siltarakenteeseen suunniteltiin CAD- ohjelmassa reikä, johon kuitu asetettiin. Ensimmäinen ja toinen tiedosto suunniteltiin 3Shape- ohjelmalla, mutta sitä ei pystytty hyödyntämään kolmannessa tiedostossa, johon haluttiin saada pyöreän muotoinen reikä. Reikää yritettiin toteuttaa kaivertamalla sekä käyttämällä implanttityökalua, mutta näillä ei kummallakaan saatu aikaiseksi haluttua tulosta. Kolmanteen tiedostoon päädyttiin käyttämään SolidEdge -ohjelmaa 3Shapen sijasta.

Toinen testiryhmä, eli 3D-tulostetut käsin poratut sillat, valmistus aloitettiin tulostamalla suunnitellut siltarakenteet. Tulostamisen jälkeen siltoihin porattiin käsin samankaltaiset reiät, kuin huppusilloissa. Reiän poraamisen jälkeen kuitu asetoitiin mallille ja siltarakenteen reikä kostutettiin resiniillä, täytettiin everX Flow -muovilla ja valokovetettiin mallilla. Valokovetettua siltarakennetta sovitettiin mallille ja jigille kunnes siitä saatiin istuva ja välihampaan pohjasta tasainen ja halutun muotoinen. Lopuksi sillat käsiteltiin OptiGlazella ja valokovetettiin.



Kuva 1. 3D-tulostetun käsin porattavan kolmen yksikön sillan suunnitelma.

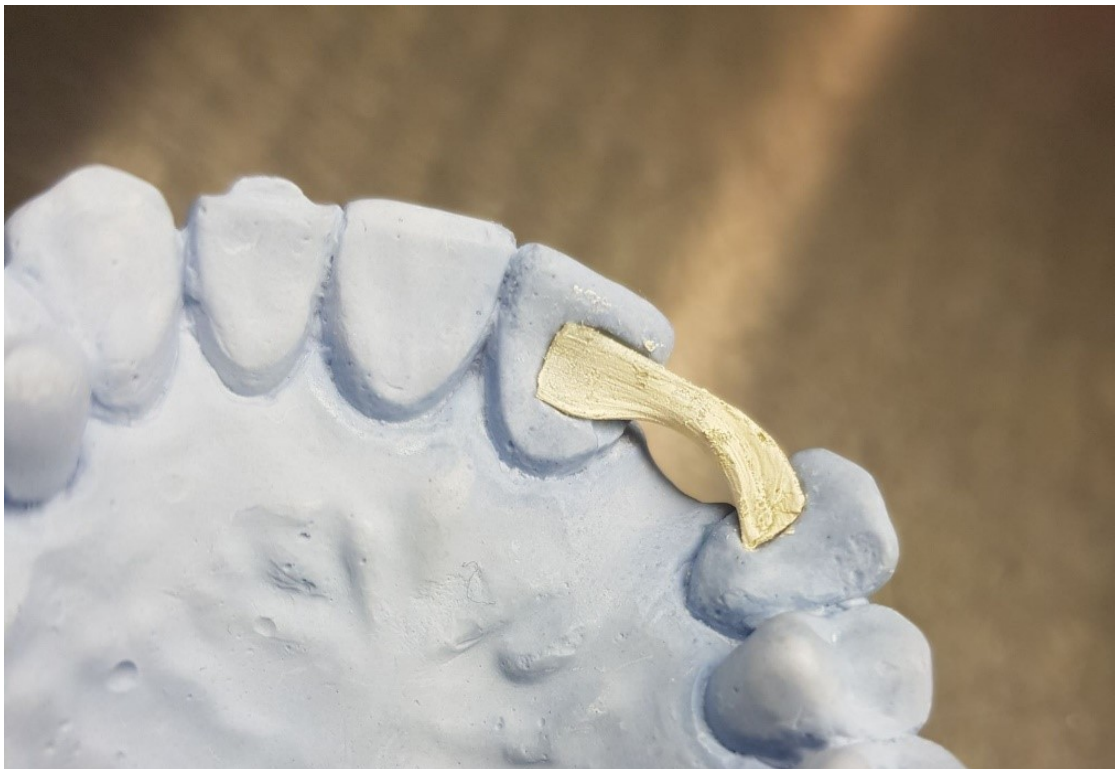
Kolmannessa testiryhmässä, eli 3D-tulostetuissa huppusilloissa, testikappaleiden valmistus aloitettiin asemoimalla kuitu kipsimallille kaviteetteihin (kts. Kuva 3). Kuitu kovetettiin valokovettimella ja käsiteltiin Renfert Scanspraylla, jotta skannauksessa valo ei pääse kulkemaan kuidun läpi (kts. Kuva 4). Skannauksen jälkeen suunniteltiin siltarakenne kuidun päälle. Suunnittelussa haastavaksi osoittautui suunnitella siltojen konektorit riittävän paksuiksi, jotta kuitukimput jäisivät tulostetun materiaalin alle. Lisäksi hiontarajojen sijoittaminen kaviteetteihin aiheutti haasteita, mutta hiontarajat saatiin lopulta sijoitettua oikeisiin kohtiin piirtämällä ne lyhyissä osissa. Suunnittelun jälkeen kappaleet tulostettiin ja jälkikäsiteltiin kuten tutkimusryhmän 2 kappaleet.



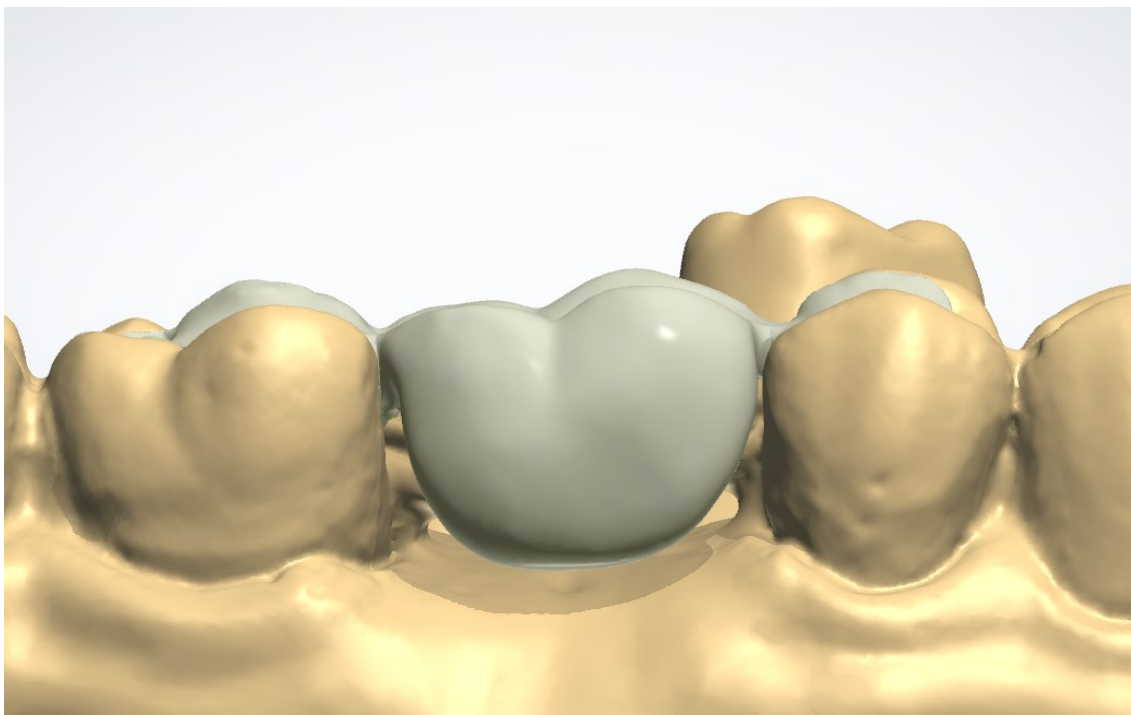
Kuva 2. 3D-tulostettu neljän yksikön huppusilta ilman everStick-lisäystä.



Kuva 3. Kuituja ennen Renfert Scanspray -käsittelyä.



Kuva 4. Kuitu Renfert Scanspray -käsittelyn jälkeen.



Kuva 5. Siltarakenne suunniteltuna kuidun päälle.

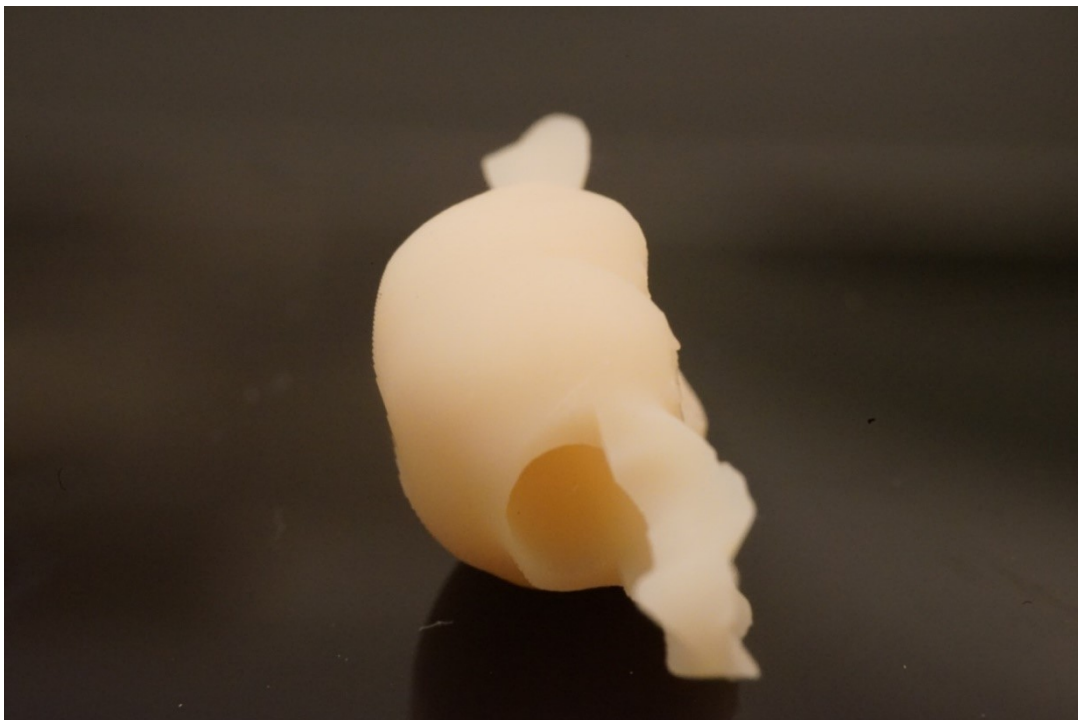
Neljännän tutkimusryhmän, eli 3D-tulostetut reikäsillat, valmistus aloitettiin suunnitelmalla sillat skannatulle mallille. Tämän jälkeen yritettiin saada tehtyä reikää siltoihin 3Shapella. Aluksi yritettiin käyttää apuna 3Shapen kaiverrustyökalua ja poistaa sen avulla materiaalia reiän paikalta. Tämä ei onnistunut, kaivertaminen ei onnistu ainakaan ohjelman kyseisellä versiolla tarpeeksi syvältä, jotta olisi saatu aikaiseksi reiän. Reiän tekemiseksi yritettiin käyttää myös ohjelman implanttityökalua, mutta työkalulla pystyi asettamaan reiän ainoastaan pystysuuntaan, eikä vaakasuuntaan kuten olisi tarvittu. Lisäksi etualueen siltaan tarvittiin hammaskaaren muotoa mukaileva kaareva reikä, eikä sen tekeminen ole 3Shapella mahdollista.

Neljännän tutkimusryhmän toteuttamiseen tarvittiin toista CAD-ohjelmaa. Reikäsiltoihin käytettiin samoja STL-tiedostoja, kuin tutkimusryhmässä 1, ja ne kopioitiin ja siirrettiin SolidEdge-ohjelmaan. SolidEdge on enemmän tekniikan alalla käytetty CAD-ohjelma, jonka avulla pystyttiin toteuttamaan halutun malliset reiät everStick-kuidulle käyttäen Swept Cutout -työkalua. Neljännän tutkimusryhmän reiän toteuttamisessa ja SolidEdge-ohjelman käytössä apuna oli Seinäjoen ammattikorkeakoulun järjestämän Tekninen

piirustus- kurssin materiaalit. Tulostamisen jälkeen neljännen tutkimusryhmän sillat jälkikäsiteltiin kuten ryhmät 2 ja 3.



Kuva 6. 3D-tulostettu etualueen reikäsilta ennen everStick-lisäystä.



Kuva 7. 3D-tulostettu kolmen yksikön reikäsilta ennen everStick-lisäystä.



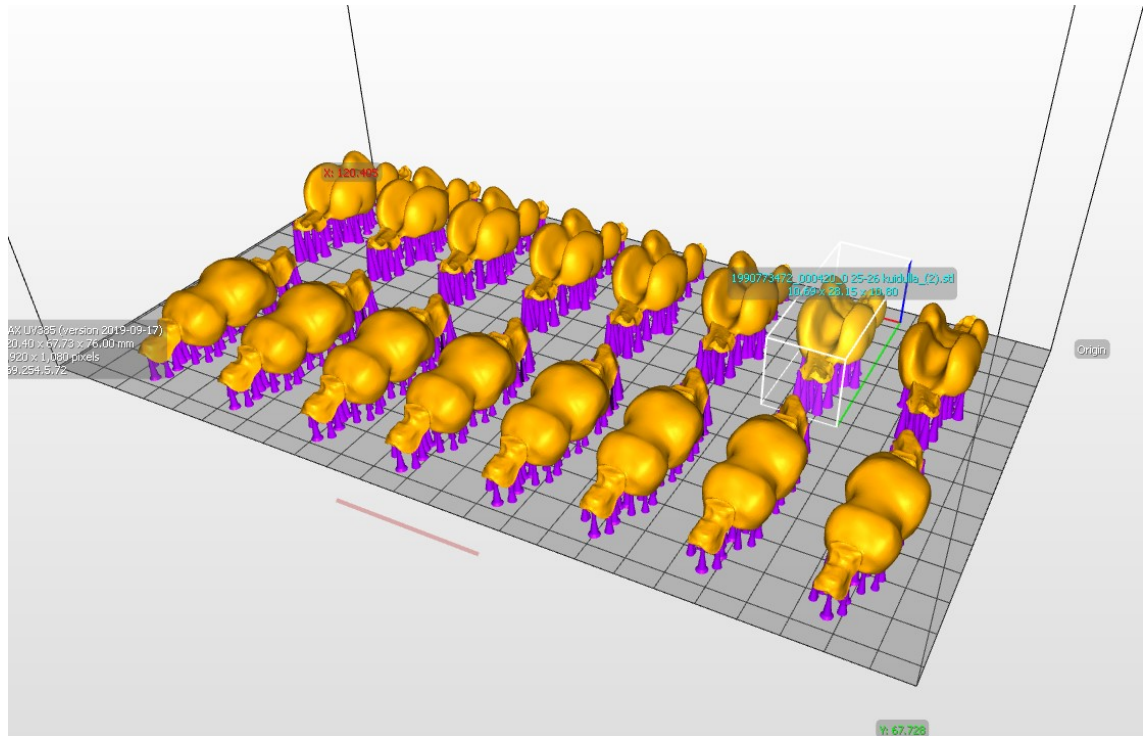
Kontrolliryhmän eli ryhmän 5 sillat tulostettiin käyttämällä samoja STL-tiedostoja, kuin tutkimusryhmässä 1 (3D-tulostetut käsin poratut sillat). Kontrolliryhmän sillat testattiin ilman everStick-lisäystä ja ilman everX Flow-muovia. Kontrolliryhmän sillat käsiteltiin lopuksi GC:n OptiGlazella ja valokovetettiin.

Testikappaleiden lisäksi valmistettiin jokaisesta siltarakenteesta kaksi erilaista versiota valokuvia varten, yhteensä 24 kappaletta. Näitä siltoja ei siis testattu, vaan niistä otettiin valokuvia, joista pystyttiin tarkastelemaan materiaaleja tarkemmin. Jokaista siltaa tulostettiin kaksi kappaletta. Toinen jätettiin tulostuksen jälkeen käsittelemättä ja toiseen lisättiin mahdolliset kuidut ja loppukäsittelymateriaalit.

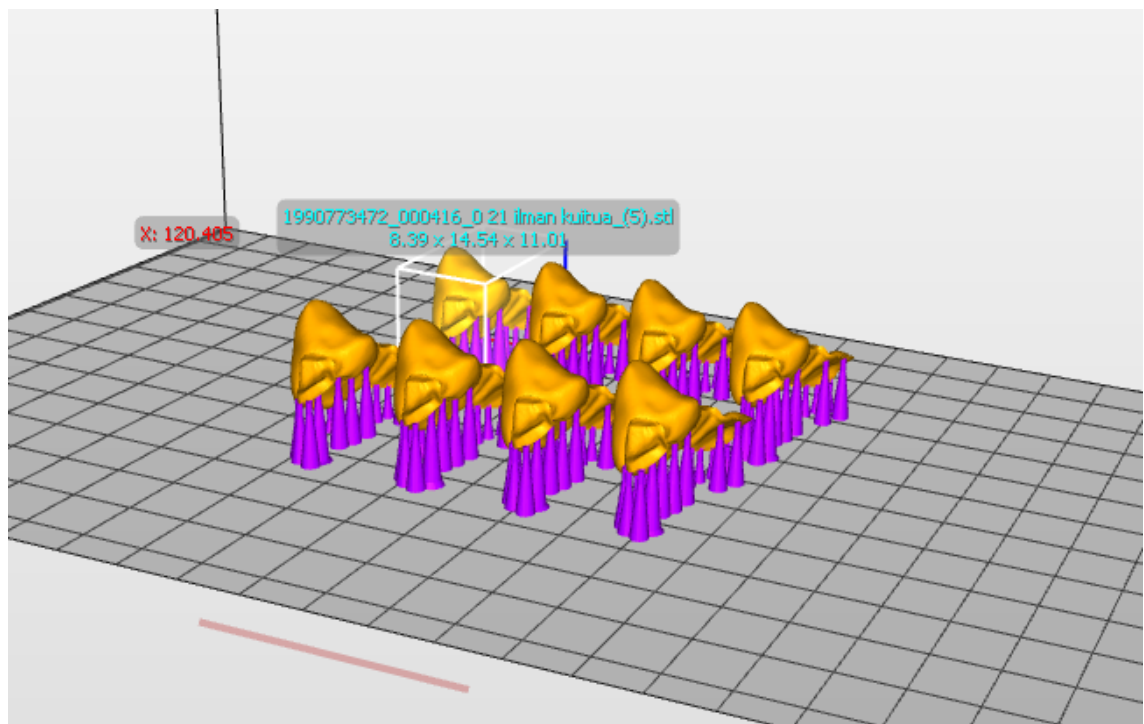
#### 4.4 Siltojen tulostaminen

Kaikki sillat tulostettiin TCBC:llä käyttäen Asigan MAX tulostinta. Materiaaliksi valikoitui ohjaaja Lippo Lassilan suosituksesta GC:n Temp Print light -muovi. Kerrospaksuus tulosteissa oli 0.050 mm. Asigan tietokoneohjelmassa sillat aseteltiin okklusaalipinta tulostusalustaa vasten, jotta tulostustuet eivät osuisi sillan istumisen kannalta kriittisiin kohtiin kaviteetteihin tai välihampaan pohjalle. Tuet ajettiin Asigan automaattisella ohjelmalla siltoihin 2,5 mm päähän toisistaan. Yksittäisiä tukipilareita lisättiin, jos silmämääräisesti jokin kohta jäi ilman riittävää tukea.

Kun tulostus oli valmis, sillat irrotettiin tulostusalustalta ja tulostustuet irrotettiin varovasti silloista. Tämän jälkeen sillat laitettiin Formlabin pesuriin, jossa silloissa oleva kovettumaton resiini saatiin pois isopropanolin avulla. Pesuohjelma kesti 20min, jonka jälkeen sillat laitettiin vielä Formlabin valokovettimeen puoleksi tunniksi 60 celsiusasteeseen.



Kuva 8. Tutkimusryhmien 2 ja 3 siltoja tulostusalustalla.



Kuva 9. Etualueen tutkimusryhmä 2 sillat tulostusalustalla.



#### 4.5 Testausalustojen eli jigien valmistus

Tutkimuksen tekoa varten tarvittiin testausalustoja eli jigejä, joiden päällä tutkimuskappaleet testataan. Alkuperäinen tarkoitus oli suunnitella jigit 3Shapella ja jyrsiä Ivoclarin ProMill 7- jyrsimellä zirkoniasta. Jigien valmistaminen jyrsimällä säästää aikaa, mutta taka-alueen jigit olivat sintrauksen jälkeen väärän kokoisia. Etualueen jigejä saatiin valmistettua jyrsimällä kaksi kappaletta.

Taka-alueen jigit tehtiin valamalla ne Wironium-kobolttikromista sen sijaan. Valmistus aloitettiin tahkomalla siltojen kipsimalleista halutun jigien kokoiset osat, joista otettiin Coltene Lab-Puttylla jäljennökset. Näihin jäljennöksiin sulatettiin vahaa ja saatiin näin tehtyä valua varten vahakappaleet. Vahakappaleisiin lisättiin valukanavat ja asetettiin valusylintereihin. Sylintereihin laitettiin Bego WiroFine- valumassa ja sen annettiin kovettua valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Tämän jälkeen kovettunut valumassa irrotettiin sylinteristä ja laitettiin esilämmitysuuniin 850 celsiusasteeseen noin tunniksi, jotta valumassan sisällä olevat vahat saatiin poltettua pois. Kobolttikromi valettiin massaan käyttämällä Bego Nautilus T -valulaitetta. Kun valumassa ja sen sisällä oleva kobolttikromi oli jäähtynyt riittävästi, valumassa purettiin valmiin jigien ympäriltä. Jigeistä irrotettiin valukanavat katkaisulaikalla ja ne hiekkapuhallettiin lopuksi puhtaiksi.



Kuva 10. Testausalusta eli jigi kobolttikromista.



Kuva 11. Etualueen jigi zirkoniasta.

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Siltarakenteiden kestävyyttä arvioitiin suorittamalla niille kuormituslujuustesti Lloyd instruments LR30K plus -laitteella. Tutkimusmenetelmä aloitettiin sementoimalla eli kiinnittämällä siltarakenne jigiin. Sementointia käytetään hammaslääketieteessä kiinteän protetiikan pysyvään kiinnittämiseen, jolloin kiinteä rakenne kiinnitetään hammasjuureen.

Tutkimuksessa käytettiin 3M™ RelyX™ Ultimate komposiitti- kiinnityssementtiä, joka soveltuu hyvin yhdistelmämuovipohjaisten inlay-kiinnitteisten siltojen sementointiin. Ominaisuuksiltaan komposiitti- kiinnityssementillä on korkea kulutuskestävyys, korkea mekaaninen lujuus sekä korkea tarttuvuuslujuus, jotka takaavat kestävän sementoinnin. (3M ESPE 2013)

Sementointi suoritettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Sementointi aloitetaan puhdistamalla kaviteetit, joihin siltarakenne sementoidaan. Puhdistettuihin kaviteetteihin sekä siltarakenteeseen levitettiin 3M™ Scotchbond™ Universal- sidosainetta. Sidosaine on ominaisuuksiltaan soveltuva kaikenlaisille pinnoille mukaan lukien jigeissä käytetty zirkonia sekä jalometalli kobolttikromi. Paineilmapuhalluksen avulla sidosaine saatiin leviämään ohueksi kalvoksi kaviteetteihin. Sidosaineella käsitellyt kaviteetit esivalokovetettiin UV- valolla 10 sekunnin ajan. Valokovetuksessa käytettiin 3M™ Elipar™ -S10 – valokovetinta.

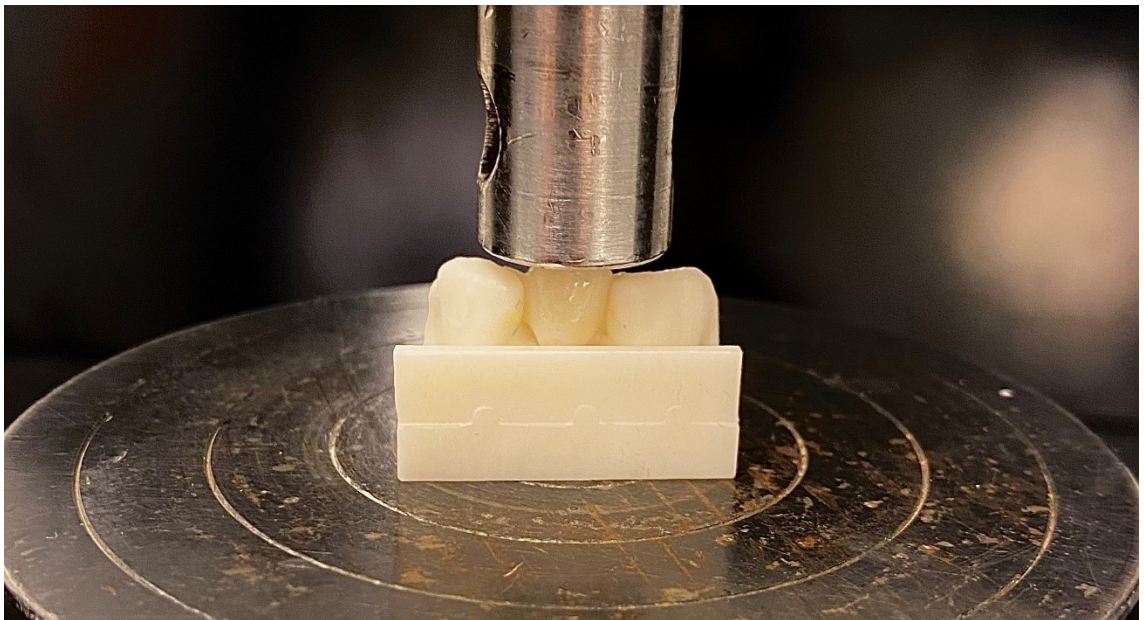
Tämän jälkeen kaviteetteihin levitettiin kauttaaltaan komposiitti- kiinnityssementtiä sementointia varten. Siltarakenne asetettiin jigille ja painettiin paikalleen siltarakenteen siivekkeet ja kaviteetit kohdakkain. Ylimääräinen pursuava komposiitti- kiinnityssementti poistettiin instrumentin avulla ja siltarakenne siistittiin. Molemmat kaviteetit loppuvalokovetettiin UV- valolla 20 sekuntia. Tämän jälkeen siltarakenne oli valmis testattavaksi.

Sementoinnin jälkeen sillat olivat valmiita kuormituslujuustestiin. Tutkimuslaitteena käytettiin Lloyd instruments LR30K plus- materiaalien testauslaitetta, joka täyttää standardin tarkkuusluokkien vaatimukset (ISO 7500-1). Testauksessa kuormituspiste oli sijoitettu testauskappaleen keskikohtaan kolmen sekä neljän yksikön silloissa pallon avulla (kts. Kuva 12) ja etualuella tasaisen pinnan avulla (kts. Kuva 13). Koko testauksen ajan laite keräsi tietoa tietokoneen ohjausohjelmistoon tulosten käsittelyä varten. Testaus

suoritettiin TCBC:llä Sufyan Garoushin avustuksella. Kun testaus oli valmis, rikkoutuneet sillat irrotettiin jigeiltä ja niihin kovettunut sementti porattiin pois.



Kuva 12. 3D-tulostettu neljän yksikön silta testausalustalla.



Kuva 13. 3D-tulostettu etualueen silta testausalustalla.

## 6 TULOKSET JA ANALYYSI

Kuormituslujuustestin tulokset esitetään sanallisesti sekä taulukoiden ja kuvioiden avulla. Maksimivoima, jonka testikappaleet kestivät ennen hajoamista, esitetään näissä tuloksissa yksikössä newton (N). Jokaisessa tutkimusryhmässä oli kahdeksan testikapaleeta.

### 6.1 Käsivalmistetut sillat (Ryhmä 1)

Taulukko 3. Käsivalmistettujen siltojen tulokset.

	<b>Kolmen yksikön silta n=8</b>	<b>Neljän yksikön silta n=8</b>	<b>Etualueen silta n=8</b>
<b>Keskiarvo (N)</b>	1150	561	313
<b>Keskiha- jonta</b>	262	84	96

Käsivalmistetuista silloista kestävin ryhmä oli kolmen yksikön sillat. Voima kappaleen murtuessa vaihteli 914-1568 N välillä. Etualueen sillat olivat heikoimpia, murtovoima vaihteli 125-472 N välillä. Neljän yksikön siltojen testikappaleiden murtovoima vaihteli 447-676 N välillä.



Kuva 14. Käsivalmistettu kolmen yksikön silta kuormituslujuustestin jälkeen.

#### 6.2 3D-tulostetut käsin poratut sillat (Ryhmä 2)

Taulukko 4. 3D-tulostettujen käsin porattujen siltojen tulokset.

	<b>Kolmen yksikön silta n=8</b>	<b>Neljän yksikön silta n=8</b>	<b>Etualueen silta n=8</b>
<b>Keskiarvo (N)</b>	764	578	536
<b>Keskiha- jonta</b>	120	95	116

3D-tulostetuista käsin poratuista kestävin ryhmä oli kolmen yksikön sillat. Voima kappaleen murtuessa vaihteli 622-1010 N välillä. Etualueen sillat olivat heikoimpia, murtovoima vaihteli 362-738 N välillä. Neljän yksikön siltojen testikappaleiden murtovoima vaihteli 422-752 N välillä.





Kuva 15. 3D-tulostettu käsin porattu neljän yksikön silta kuormituslujuustestin jälkeen.

### 6.3 3D-tulostetut huppusillat (Ryhmä 3)

Taulukko 5. 3D-tulostettujen huppusiltojen tulokset.

	<b>Kolmen yksikön silta n=8</b>	<b>Neljän yksikön silta n=8</b>	<b>Etualueen silta n=8</b>
<b>Keskiarvo (N)</b>	1114	934	486
<b>Keskiha- jonta</b>	182	113	128

3D-tulostetuista huppusilloista kestävin ryhmä oli kolmen yksikön sillat. Voima kappaleen murtuessa vaihteli 919-1449 N välillä. Etualueen sillat olivat heikoimpia, murtovoima vaihteli 292-678 N välillä. Neljän yksikön siltojen testikappaleiden murtovoima vaihteli 708-1040 N välillä.



Kuva 16. 3D-tulostettu kolmen yksikön huppusilta kuormituslujuustestin jälkeen.

#### 6.4 3D-tulostetut reikäsillat (Ryhmä 4)

Taulukko 6. 3D-tulostettujen reikäsillojen tulokset.

	<b>Kolmen yksikön silta n=8</b>	<b>Neljän yksikön silta n=8</b>	<b>Etualueen silta n=8</b>
<b>Keskiarvo (N)</b>	652	574	582
<b>Keskiha- jonta</b>	152	69	79

3D-tulostetuista reikäsilloista kestävin ryhmä oli kolmen yksikön sillat. Voima kappaleen murtuessa vaihteli 469-891 N välillä. Neljän yksikön sillat olivat heikoimpia, murtovoima vaihteli 495-684 N välillä. Etualueen siltojen testikappaleiden murtovoima vaihteli 409-657 N välillä.





Kuva 17. 3D-tulostettu etualueen reikäsilta kuormituslujuustestin jälkeen.

#### 6.5 3D-tulostetut kontrollisillat (Ryhmä 5)

Taulukko 7. 3D-tulostettujen kontrollisiltojen tulokset.

	<b>Kolmen yksikön silta n=8</b>	<b>Neljän yksikön silta n=8</b>	<b>Etualueen silta n=8</b>
<b>Keskiarvo (N)</b>	710	404	530
<b>Keskiha- jonta</b>	135	89	107

3D-tulostetuista kontrollisilloista kestävin ryhmä oli kolmen yksikön sillat. Voima kappaleen murtuessa vaihteli 534-942 N välillä. Neljän yksikön sillat olivat heikoimpia, murtovoima vaihteli 308-546 N välillä. Etualueen siltojen testikappaleiden murtovoima vaihteli 400-725 N välillä.



Kuva 18. 3D-tulostettu neljän yksikön kontrollisilta kuormituslujuustestin jälkeen.

## 6.6 Tulosten analyysi

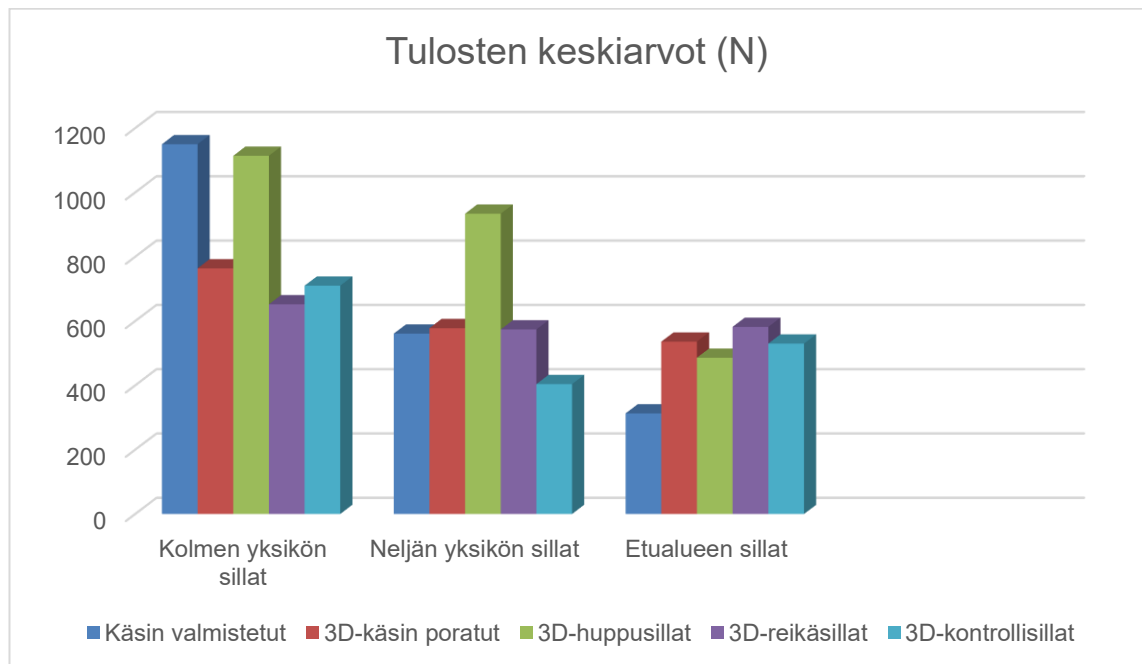
Käsin poratut sillat olivat heikompia kuin vastaavat huppusillat, sillä muovin manuaalinen poraaminen on mahdollisesti aiheuttanut työskentelyvaiheessa kappaleeseen mikromurtumia näin heikentäen muovia. Vaikka huppusiltojen ja käsinporattujen siltojen muoto oli samanlainen ennen kuidun asemointia, ei voida käsinporattuja pitää kestäväenä vaihtoehtona.

Reikäsilta oli heikompi kuin huppusilta, koska kuitu oli sijoitettu ylemmäksi, joten se ei pystynyt yhtä tehokkaasti pysäyttämään kappaleen pohjalta alkavaa murtumaa. Huppusilloissa kuitu oli sijoitettu kappaleen keskiosaan ja niihin oli myös saatu laitettua enemmän everX Flow-muovia, mikä lisäsi edelleen kappaleen kestävyttä.

Etualueen sillat eivät olleet kestäviä testissä, koska etualueen sillat ovat pieniä, eikä niihin saatu asemoitua montaa kuitukimppua. Etualueen tulosten perusteella voi päätellä, että GC Print TEMP light on kestävämpi materiaali kuin GC GRADIA PLUS.

Käsinvalmistetut kuituvahvistetut sillat olivat jopa heikompia kuin kontrolliryhmän 3D-tu-  
lostetut sillat ilman kuituvahviketta.

Murtumatyypit olivat yhteneväisiä kaikissa siltatyypeissä. Kolmen- ja neljän yksikön sil-  
loissa murtuma syntyi joko kaviteettien kohdalle tai kappaleen keskiosaan, josta materi-  
aali alkoi lohjeta kuidun ympäriltä (kts. Kuva 16 ja 18). Kaikissa testikappaleissa kuitu  
säilyi vahingoittumattomana. Etualueen silloissa murtuma syntyi inkisiivin kärkeen, josta  
materiaali lohkesi pois kuidun ympäriltä (kts. Kuva 17). Myös etualueen silloissa kuitu  
säilyi vahingoittumattomana. Yksityiskohtaista murtumatyypianalyysia ei voitu tehdä,  
sillä kaikki testikappaleet menivät rikki, kun niitä irroitettiin jigeiltä, eikä näin pystytty te-  
kemään analyysia jokaisen kappaleen murtumatyypistä kuormituslujuustestin jälkeen.



Kuvio 1. Tulosten keskiarvot (N).

## 7 POHDINTA

### 7.1 Luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä olivat käyttöön saatu 3D-tulostin sekä sen materiaalit, testikappaleiden laatu ja vertailtavuus.

Kaikkiin tulostuksiin käytettiin samaa tulostinta sekä materiaaleja. Materiaalit olivat samasta erästä (LOT) ja kappaleet tulostettiin ajallisesti lähellä toisiaan ja käyttäen samoja jälkikäsitelymenetelmiä. Tutkimuksessamme käsiteltiin kaikkia materiaaleja ja laitteita valmistajan ohjeiden mukaan, sekä varmistettiin käytettyjen materiaalien olevan oikein säilytettyjä sekä parasta ennen- päiväyksen olevan voimassa.

Valmistimme 8 kappaletta jokaista testattavaa siltatyyppeä, 8 kappaletta manuaalisesti valmistettuja kontrollisiltoja sekä 8 kappaletta 3D-tulostettuja kontrollisiltoja. Määrä on tarpeeksi suuri, jotta saatiin tehtyä luotettava analyysi tuloksista. Tuloksia arvioitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tulostukset ovat kaikki samasta erästä ja näin ollen mahdolliset tulostuksessa syntyneet virheet voivat vääristää kokonaiskuvaa, jos resiineissä on eroja eri materiaalierien välillä ja tutkimusta yritetään toistaa.

Manuaalisesti valmistettujen kuitulujitteisten siltojen valmistuksessa käytettiin Orbis Orbibite transpa-silikonista tehtyä muottia, joka otettiin tulostetusta kappaleesta, joten saatiin manuaalisesti valmistetut sillat vastaamaan mahdollisimman paljon tulostettuja versioita, jolloin luotettavuus ja toistettavuus paranivat.

### 7.2 Siltojen valmistusmenetelmät

Siltoja valmistaessa pohdittiin myös valmistusmenetelmien käytännöllisyyttä, kustannuksia sekä estetiikkaa.

Käsin porattujen 3D-tulostettujen siltojen suunnittelu oli yksinkertaista, mutta tulostusmateriaalina käytettyä GC Print TEMP materiaalia menee poraamisen takia hukkaan. Lisäksi siltojen poraaminen oli aikaavievää ja kaviteetteja oli haastavaa saada riittävän ohuiksi niiden rikkoutumatta.

3D-tulostettujen huppusiltojen suunnittelu oli myös helppoa, koska skannauksen jälkeen mallilla näkyi hyvin kuidun sijoituspaikka. Haittapuolena tällä valmistusmenetelmänä on se, että kuitua kuluu kaksinkertainen määrä. Skannausta varten kuituihin suihkutettava Renfert Scanspray tekee kuidusta käyttökelvottoman. Huppusillat ovat tulostuksen jälkeen todella ohuita erityisesti kaviteettien kohdalta. Kaviteetit irtosivat helposti kokonaan ja sen takia huppusiltojen käsittely ennen kuidun asemointia oli haastavaa. Rikkoutuneita kaviteetteja piti korjata everX Flow-muovilla ja se lisäsi työvaiheita.

3D-tulostettujen reikäsiltojen suunnittelu vaatii kahden eri CAD-ohjelman käyttöä. Mallin skannaaminen ja sillan suunnittelua varten tarvitaan hammastekniikkaa varten kehitettyä ohjelmaa (3Shape), ja reiän valmistamiseen täysin erillistä ohjelmaa (SolidEdge). Kahden ohjelman käyttö ei ole kovin käytännöllistä hammasteknikolle. Kuidun asemointi oli reikäsiltoihin haasteellista, koska ennen valokovetusta everStick on tahmaista, ja kuitu jäi helposti kiinni reiän seinämiin ja toisiin kuitukimppuihin.

EverX Flow -muovi on läpinäkyvämpää, eikä yhtä esteettistä kuin GC GRADIA PLUS tai GC Temp Print. Kaikissa 3D-tulostetuissa silloissa everX Flow -muovia jäi näkyviin ainoastaan sillan pohjalle lähelle ienrajaa tai hampaan approksimaaliväleille, jolloin se ei näkyisi suusta ulos. Estetiikan kannalta ongelmalliseksi everX Flow -muovin käyttö osoitautui ainoastaan niissä 3D-tulostetuissa huppusilloissa, joihin piti tehdä korjailuja kaviteettien kohdille.



Kuva 19. 3D-tulostettu kolmen yksikön huppusilta everStick-lisäyksen jälkeen.

### 7.3 Siltarakenteiden kestävyys ja käytännöllisyys

Siltarakenteiden kestävyttä ja toiminnallisuutta mitattiin kuormituslujuustestillä. Yleinen purentavoima taka-alueella naisilla on noin 400N ja miehillä noin 800N (Anusavice 2003, 675). Etualueen siltojen purentavoima on noin 40% koko purentavoimasta (Bakke 2006, 120).

Kolmen yksikön sillat olivat kestävin valmistaa käsinvalmistettuina sekä 3D- tulostettuina huppusiltoina ja molemmat ovat tarpeeksi kestävä toimimaan suussa. Myöskin neljän yksikön sillat olivat kestävimpiä valmistaa 3D- tulostettuina huppusiltoina ja kestävä yli 800N purentavoiman.

Etualueella sillat olivat heikoimpia käsinvalmistettuina, mutta muuten kestävyyksissä ei ollut huomattavia eroja 3D- tulostetuissa siltatyypeissä. Testatut etualueen siltarakenteet ovat tarpeeksi kestäviä toimimaan suussa.

3D- tulostettujen huppusiltojen toteutus hammasteknikon näkökulmasta ei kuitenkaan ole kovin käytännöllistä.

Opinnäytetyössä testikappaleisiin laitettiin vain yhdensuuntaisesti, pitkittäin kuitulujitetta. Kestävyyttä olisi lisännyt, jos kuitulujitetta oltaisiin sijoitettu myös poikittain siltarakenteen välihampaan kohdalle. 3D- tulostettuihin siltarakenteisiin ei ollut mahdollista lisätä poikittaista kuitulujitetta tilan puutteen vuoksi.

## 8 LOPUKSI

Tutkimuksen perusteella 3D-tulostusta on mahdollista hyödyntää kuitulujitteisten siltarakenteiden valmistuksessa, mutta kehittämistyötä tarvitaan vielä lisäämään rakenteiden kestävyyttä, estetiikkaa, kustannustehokkuutta, sekä valmistusprosessin käytännöllisyyttä.

Tutkimus osoitti, että testatuista siltarakenteista 3D-tulostetut huppusillat everStick- kuidun lisäyksellä ovat tarpeeksi kestävä toimimaan suussa ja kestää yli 800N purentavoiman, mutta estetiikan ja tehokkuuden kannalta tämänkaltaiset siltarakenteet ovat kannattavampaa valmistaa käsin ja näin ollen käsinvalmistetut siltarakenteet on käytännöllisin toteuttaa. 3D- tulostetuista valmistusmenetelmistä huppusillat ovat käytännöllisin toteuttaa.



## LÄHTEET

3M ESPE 2013. Technical Data Sheet. RelyX Ultimate. Viitattu 26.3.2021 <file:///C:/Users/K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4/Downloads/multimedia.pdf>

Alander, P. 2006. Kuitukomposiittihybridisilta uusimpien tutkimustulosten valossa. Hammasteknikko-lehti 3/2006, 4-7. Helsinki : Suomen Hammasteknikkoseura.

Alander, P. & PHAMMS18. 2020. 3D-tulostus hammastekniikassa, SLA-tulostimet. Hammasteknikkolehti 2/2020 s. 4-9. Suomen Hammasteknikkoseura.

Anusavice, K. 2003. Phillips' Science of Dental Materials. St. Louis, Missouri. Viitattu 4.5.2021 [https://books.google.fi/books?id=ZtFwJCAiF3wC&pg=PA675&lpg=PA675&dq=bite+force+800+N&source=bl&ots=3-OYnhVJ\\_1&sig=ACfU3U20AX3Th8rJuCBizZiIdB8lw-ZDQ&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwjWxYCcvLDwAhWI16QKHAEtBUMQ6AEwE-noECBMQAw#v=onepage&q=bite%20force%20800%20N&f=false](https://books.google.fi/books?id=ZtFwJCAiF3wC&pg=PA675&lpg=PA675&dq=bite+force+800+N&source=bl&ots=3-OYnhVJ_1&sig=ACfU3U20AX3Th8rJuCBizZiIdB8lw-ZDQ&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwjWxYCcvLDwAhWI16QKHAEtBUMQ6AEwE-noECBMQAw#v=onepage&q=bite%20force%20800%20N&f=false)

Bakke, M. 2006. Bite Force and Occlusion. ResearchGate. Viitattu 4.5.2021 [https://www.researchgate.net/publication/248866437\\_Bite\\_Force\\_and\\_Occlusion](https://www.researchgate.net/publication/248866437_Bite_Force_and_Occlusion)

Diegel, O.; Nordin, A. & Motte, D. 2020. A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing. Singapore: Springer. E-kirja. Saatavilla <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-981-13-8281-9>

Freilich, M.; Meiers, J.; Duncan, J. & Goldberg, A. 2000. Fiber Reinforced Composites in Clinical Dentistry. Illinois: Quintessence Publishing Co, Inc. Viitattu 23.3.2021. Saatavilla : <https://books-library.net/files/download-pdf-ebooks.org-1519402401Cl1V2.pdf>

Johnson, T. 2015. Basics of Dental Technology. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

Matinlinna, J. 2008. Hammashoidon ja hammastekniikan komposiitit. Hammasteknikko-lehti 2/2008, 4-7. Helsinki: Suomen Hammasteknikkoseura.

Suomen hammaslääkäriliitto. 2020. Hammasproteesit, kruunut, sillat ja laminaatit. Viitattu 25.3.2020. Saatavilla : <https://www.hammaslaakariliitto.fi/fi/suunterveys/suun-hoitotoimenpiteet/hammasproteesit-kruunut-sillat-ja-laminaatit#.YJzSZrUzbZt>

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

Vallittu, P. & Matinlinna, J. 2017. Types of FRCs used in dentistry. Teoksessa Vallittu, P. & Özcan, M. (toim.). Clinical Guide to Principles of Fiber-Reinforced Composites in Dentistry. Duxford: Woodhead Publishing.