

Sanni Sorjonen, Eevakaisa Tornberg

Kuituvahvikkeen vaikutus väliaikaisen sillan vahvuuteen

Materiaalitestaus Stick Tech Oy:lle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Hammasteknikko (AMK)

Hammastekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

21.10.2015

<p>Tekijät Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Sanni Sorjonen, Eevakaisa Tornberg Kuituvahvikkeen vaikutus väliaikaisen sillan vahvuuteen – Materiaalitestaus Stick Tech Oy:lle</p> <p>29 sivua + 2 liitettä 21.10.2015</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Hammasteknikko (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Hammastekniikan koulutusohjelma</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Kari Markkanen (Metropolia AMK) Tuoteasiantuntija Pasi Alander (Stick Tech Oy)</p>
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää erilaisten kuituvahvikkeiden vaikutusta väliaikaisen sillan vahvuuteen. Toimeksianto opinnäytetyöhön tuli Stick Tech Oy:ltä. Testattavia kuitutyyppejä oli yhteensä kuusi, ja jokaista kuitutyyppeä kohden valmistettiin kahdeksan sillan testiryhmä. Lisäksi valmistettiin kontrolliryhmä, jossa ei ollut lainkaan kuituvahviketta.</p> <p>Testikappaleet olivat resiniä (Vita VM CC Base Dentine/Vita VM CC Liquid) valmistettuja kolmen yksikön siltoja. Sillat vahvistettiin erilaisilla Stick- ja everStick-kuiduilla. Ryhmät erosivat toisistaan käytetyn raakalaskuidun ja/tai kuidun pinnoitteen osalta. Tutkimuksessa keskeistä oli vertailla nykyisin käytössä olevan lasikuidun ja mahdollisten uusien lasikuitujen (OCV, Jushi) vaikutusta siltojen kestävyteen.</p> <p>Testausmenetelmänä käytettiin kolmipistetaivutusta, jossa testikappaleet rikottiin Lloyds LRX Plus- materiaalintestauslaitteella. Testikärki kohdisti kappaleeseen lisääntyvästi voimaa, kunnes kappale rikkoutui. Testauslaite rekisteröi rikkoutumiseen tarvittavan voiman sekä testikappaleen taipuman. Tuloksissa otettiin huomioon myös erilaiset murtumatyypit sekä täydellinen tai osittainen murtuma.</p> <p>Tuloksista voidaan päätellä, että vaihtoehtoinen kuitu on kestävyydeltään vähintään yhtä hyvä kuin aiemmin käytössä ollut kuitu. Tulokset osoittavat myös, että väliaikaiset kuituvahvennetut sillat täyttävät hyvin niille asetetut kestävyysvaatimukset.</p> <p>Tutkimus on osa isompaa tutkimuskokonaisuutta, josta saatujen tulosten perusteella Stick Tech Oy on valinnut vaihtoehtoisen kuitutyypin nykyisin käyttämänsä kuidun tilalle.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>kuituvahventaminen, väliaikainen silta, kolmipistetaivutus</p>

Authors Title Number of Pages Date	Sanni Sorjonen, Eevakaisa Tornberg The Effect of Fiber Reinforcements on the Strength of Temporary Bridges 29 pages + 2 appendices Autumn 2015
Degree	Dental Technology
Degree Programme	Dental Technology
Instructors	Kari Markkanen, Senior Lecturer of Dental Technology (Metropolia) Pasi Alander, Product Manager (Stick Tech Ltd)
<p>The purpose of this research was to investigate how different fiber reinforcements affect the strength of temporary bridges. The study was commissioned by Stick Tech Ltd. There were six different types of glass fibers, and 56 test pieces were manufactured and divided into different groups according to used fiber and/or the coating of fiber.</p> <p>The test pieces were three-unit temporary bridges made of resin (VM CC Base Dentine/Vita VM CC Liquid). The bridges were reinforced with different Stick and everStick fibers. The main point of investigation was to compare the differences between bridges reinforced with currently used fibers and ones with the new fibers (OCV, Jushi).</p> <p>The research method was three-point bending, and the test pieces were broken with Lloyds LRX Plus- material testing machine. The testing machine registered the force that broke the bridges and measured how much they bent. Different breaking types and perfect and imperfect fractures were also considered in the results.</p> <p>The results showed that new fibers were at least as strong as current used fibers. This study was a part of a bigger investigation and based on the results Stick Tech Ltd has chosen a new type of fiber instead of currently used fiber.</p>	
Keywords	fiber reinforcement, temporary bridge, three-point bending

Sanasto

akryyli Polymetyylimetakrylaatti (PMMA) on synteettinen polymeeri. Käytetään muun muassa biomateriaalina tekohampaiden valmistuksessa. Valmistetaan polymeroimalla metyylimetakrylaattia. (Wikipedia)

esi-impregnointi Lasikuitukimpun käsittely huokoisella jo kovettuneella polymeerilla tai kovettumattoman muovin monomeerilla. Tekee kuitukimpusta helposti käsiteltävän ja helpottaa kuitukimpun sidostamista muovimatriksin kanssa. (Hammasteknikko 2/97.)

everStick-kuitu Lasikuiduista ja huokoisesta polymeerista valmistettu valokovetettava kuitulujite. Soveltuu hammaslääketieteessä käytettävien yhdistelmämuovien lujitteeksi. (StickTech 2008.) Valokovetusominaisuutensa ansiosta ei vaadi käytettäessä laboratoriotyöstä vaan soveltuu käytettäväksi suoraan hammaslääkärin vastaanotolla.

Indikaatio Käyttöaihe (sivistyssanakirja), tässä työssä väliaikaiset sillat ovat yksi lukuisista indikaatioista eli kohteista, johon kuituvahventamista voidaan käyttää.

kuitujen impregnointi Edellytys lujitevaikutuksen aikaansaamiselle. Lujitekuidun ja muovimatriksin välinen kontakti, jossa kuidut kyllästyvät lujitettavalla muovilla. Laboratorioissa käytetyt nestejauhemuovit tunkeutuvat huonosti lujitekuitujen väliin, joten sidoksen syntymistä voidaan helpottaa esi-impregnoinnilla. (Hammasteknikko 2/97.)

kuitukomposiitti Lasikuidusta ja muovista valmistettu materiaali. Kuituosa antaa materiaalille sen kovuuden ja kestävyuden ja muoviosa sitoo kuidut yhteen. Kuitukomposiitteja voidaan käyttää hammaslääketieteessä erilaisten proteettisten ratkaisujen vahventamisessa. (Suomen Hammaslääkärilehti 7/2007: 12.)

Kuituvahventaminen Tässä työssä paransimme väliaikaisten siltaproteesien kestävyttä lisäämällä muovisten siltarakenteiden sisälle lasikuidusta ja polymeeristä hammaslääketieteelliseen käyttöön valmistettuja Stick- ja everStick-kuituja.

muovimatriksi/polymeerimatriksi Kuitukomposiitin lujitettava osa eli kuituja ympäröivä muovi. (Hammasteknikko 2/97.)

Prässäys Tekniikka, jota käytimme siltojen valmistamisessa. Täytimme muotin käyttämällä kovettumattomalla nestejauheresiinillä ja painoimme muotin tiukasti mallille. Muotti aukaistiin, kun akryyli oli kovettunut oltuaan painekattilassa määritellyn ajan.

Resiini (engl. Resin) Polymeerikemian käsite kiinteälle tai korkean viskositeetin omaavalle aineelle, joka yleensä sisältää esipolymeereja reaktiivisista ryhmistä. (Wikipedia)

Sintraus Zirkoniale tehtävä lämpökäsittely. Tässä hyvin korkeassa lämpötilassa zirkoniumoksidijauhepartikkelit alkavat sulaa kiinni toisiinsa ja muodostuu hyvin lujaa keeramista materiaalia. (Hammasteknikko 1/2008: 5.)

Stick-kuitu Tuhansista yhdensuuntaisista lasikuiduista valmistettu ja huokoisella polymeerillä päällystetty kuitulujite. Tarkoitettu käytettäväksi hammaslääketieteessä käytettyjen erilaisten resiinien, yhdistelmämuovien ja nestejauheakryyliin vahvistamiseen. (StickTech 2008.)

Väliaikainen silta Muovista valmistettu väliaikainen siltaproteesi on rakenne, jolla pilariiksi hiotut kiinteän sillan tukihampaat suojataan lopullisen sillan valmistuksen ajaksi. Väliaikaista siltaa voidaan käyttää myös esimerkiksi silloin, kun odotetaan hampaiden poistokohtien paranemista tai implantin kiinniluutumista. Väliaikainen silta on suussa viikosta muutamaan kuukauteen.

Zirkoniajigi Käyttämämme zirkoniumista jyrskitty työmalli. Käytimme zirkoniajigiä kaikkien työssä valmistettujen testikappaleiden valmistamiseen sekä testaamiseen. Zirkoniajigin etuna on, että se on metalliakin vahvempi materiaali, joten se kesti ehjänä ja muuttumattomana koko työn ajan.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuituvahvennettu väliaikainen silta	2
2.1	Lasikuidut protetiikassa	2
2.2	Kuitujen impregnointi	2
2.3	Kuituvahvennetun väliaikaisen sillan käyttötarkoitus	3
2.4	Kuitusillan edut perinteisiin hammassiltoihin nähden	4
3	Toimeksiantajan esittely	5
4	Opinnäytetyön esittely	6
4.1	Tutkimustyyppi ja -ote	6
5	Aiemmat tutkimukset	8
6	Purentavoimat ja niiden vaikutus proteesin kestävyteen	10
7	Kuituvahvennettujen väliaikaisten siltojen valmistaminen	12
7.1	Työmallien ja muottien valmistaminen	13
7.2	Materiaaliseosten ja työskentelytapojen standardisointi	14
7.3	Vahvistamattoman väliaikaisen sillan valmistus	14
7.4	Stick-kuidulla vahvistetun sillan valmistus	15
7.5	EverStick-kuidulla vahvistetun sillan valmistus	15
8	Tutkimusryhmien kolmipistetaivutustestit	17
8.1	Kuormankantokyky ja taipuma	18
8.2	Murtumatyytit	18
8.3	Täydellinen ja osittainen murtuma	19
9	Tulokset	21
9.1	Kuormankantokyky	21
9.2	Taipuma	22
9.3	Yleisimmät murtumatyytit	22
10	Pohdinta	24
	LÄHTEET	27

Liitteet

Liite 1. VA-siltojen 3-pistetaivutustesteissä saadut tulokset

Liite 2. 3-pistetaivutustestauksessa esiintyneet murtumatyypit

1 Johdanto

Opinnäytetyössä testattiin väliaikaisten kuituvahvennettujen siltojen kestävyyttä. Työssä valmistettiin toimeksiannon mukaisesti 56 väliaikaista siltaa, joista 8 kappaletta oli vahventamattomia, 24 kappaletta oli vahvennettu erilaisilla Stick-kuiduilla ja loput 24 kappaletta oli vahvennettu erilaisilla everStick-kuiduilla. Stick- ja everStick-kuituja oli kumpaakin kolmea eri laatua, jotka poikkesivat toisistaan käytetyn raakalasikuidun osalta. Testeissä pyrittiin selvittämään, ovatko uudet lasikuitutyypit kestävyydeltään yhtä vahvoja tai jopa vahvempia kuin jo käytössä oleva raakalasikuitu. Testeissä saatuja tuloksia hyödynnetään tuotekehitystarkoituksessa.

Toimeksianto tähän opinnäytetyöhön tuli Stick Tech Oy:ltä, sillä yhtiö haluaa testata ja kehittää jo olemassa olevia sekä uusia tuotteita jatkuvasti. Opinnäytetyössä testatut kuituvahvennetut väliaikaiset sillat ovat yksi lukuisista indikaatioista, joihin Stick Tech Oy:n valmistamia kuituvahvikkeita käytetään. Indikaatioiden runsauden vuoksi testaus-työ vie paljon aikaa, joten yhtiö ulkoistaa testiryhmien valmistuksia ja mittauksia mielellään ammattikorkeakouluopiskelijoiden tehtäviksi. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden lisäksi yhtiöllä on merkittävää tutkimus- ja kehitysyhteistyötä kotimaisten ja ulkomaisten yliopistojen sekä alan asiantuntijoiden kanssa.

Hammaslääketieteellisiä kuitulujitteita valmistava Stick Tech Oy on perustettu Turussa vuonna 1997. Ensimmäinen markkinoille tuotu tuote oli nykyisinkin käytössä oleva ja testauksissamme mukana ollut Stick-kuitu. Stick-kuitu edustaa ns. kuivaa kuitutyyppiä, joka työstövaiheessa kostutetaan ennen paikoilleen asettamista. Testauksissa mukana ollut toinen kuitutyyppi everStick on puolestaan esikostutettu kuitu. Kuidun pintakäsittely mahdollistaa käytön suoraan ilman erillistä kostutusta. EverStick-kuidut ovat myös valokovetteisia, joten ne soveltuvat edeltäjästään poiketen suoraan suussa tapahtuvaan työskentelyyn.

Tässä opinnäytetyössä tehdyt kuituvahvennettujen väliaikaisten siltojen kestävyysmittaukset sekä niistä saadut tulokset ovat osa isoa tutkimuskokonaisuutta, jonka Stick Tech Oy toteutti etsiessään vaihtoehtoista raakalasikuitutyyppiä nykyisin käytössä olevan tilalle.

2 Kuituvahvennettu väliaikainen silta

2.1 Lasikuidut protetiikassa

Lasikuidun valmistus jatkuvina kuituina keksittiin 1930-luvun alussa, josta lähtien lasikuitu on ollut teollisesti ja kaupallisesti merkittävin lujite. Hammaslääketieteessä lasikuitujen käyttöä on tutkittu 1960-luvulta lähtien. Aluksi lasikuituja, kuten muitakin kuituja, käytettiin koko- ja osaproteesien lujittamiseksi. Tekniikan ja materiaalien kehittyessä niitä on käytetty myös kiinteiden proteettisten töiden lujitemateriaalina. Lasikuidut ovat monessa mielessä hyvin soveltuvia hammaslääketieteellisiin käyttötarkoituksiin. Lasikuidulla lujitetut komposiitit täyttävät väriltään, kemialliselta kestävyydeltään, mekaanisilta ominaisuuksiltaan sekä bio-sopivuudeltaan hyvälle proteettisen hoidon materiaalille asetetut vaatimukset. Muihin kuituihin verrattuna lasikuidulla on myös käyttöä helpottavia ominaisuuksia, kuten erinomainen kiinnittyminen eri muovimatrikseihin. (Lastumäki 2002: 17.) Kuituja voidaan käyttää kruunujen ja kiinteiden osaproteesien valmistamisessa sekä hammaslääkärin vastaanotolla että hammaslaboratorioissa (Narva 2004: 23).

Kuitukomposiitit ovat yhdistelmämaterialleja, jotka muodostuvat yleensä kahdesta erityyppisestä materiaalista. Lujittavana osana niissä ovat lujitekuidut ja lujitettavana osana kuitujen ympärillä oleva muovi eli polymeerimatriksi. Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan kuitujen ja polymeerien yhdistelmän lujuus on moninkertainen verrattuna lujittamattomaan muoviin. Hammaslääketieteellisesti tärkeät lujuusominaisuudet kuten isku-, taivutus- ja väsymislujuus lisääntyvät jo vähäiselläkin kuitumäärällä. (Vallittu 1997.)

2.2 Kuitujen impregnointi

Kuitujen impregnointi eli kyllästäminen lujitettavalla muovilla on edellytys lujuusvaikutuksen aikaansaamiselle. Hammaslaboratorioissa muoveja ei ole saatu tunkeutumaan lujitekuitujen väliin laboratorioissa käytettävien monomeerineste-polymeerijauheesten korkean viskositeetin vuoksi. Tämän vuoksi vain pieni osa lujitekuiduista on saatu kontaktiin muovimatriksin kanssa eikä kuitukomposiittin saavuteta haluttua lujuutta. Hammaslaboratorioissa voidaan kuitenkin käyttää kuitukomposiitteja, jossa kuidut on esi-impregnoitu. Esi-impregnoinnissa kuidut on impregnoitu valmiiksi huokoisella, jo kovettuneella muovilla tai kovettumattoman muovin monomeereilla. Esi-

impregnointi poistaa myös kuitujen käsittelyyn liittyvän ongelman, kun huokoinen muovi liittää yksittäiset kuidut kiinni toisiinsa. Esi-impregnoimattoman kuitunipun leikkaaminen on ollut vaikeaa, koska kuitunippu rispaantuu ja kuidut irtoavat toisistaan, mikä on tehnyt kuitujen käsittelystä hammaslaboratorioissa lähes mahdotonta. Esi-impregnoitua kuitukimppua on helppo leikata tavallisilla saksilla, ja kuitukimppu saadaan aseteltua helposti halutulle paikalle. Esi-impregnoinnissa käytetty muovi myös suojaa kuitujen pintaa likaantumiselta. (Vallittu 1997.)

2.3 Kuituvahvennetun väliaikaisen sillan käyttötarkoitus

Kuituvahvennettu silta voi olla väliaikainen tai pysyvä ratkaisu. Se ei eroa perinteisesti valmistetusta väliaikaisesta sillasta muutoin kuin siihen lisättyjen kuitujen osalta. (Vallittu 2006.) Tutkittaessa lasikuidun käyttöä kiinteässä protetiikassa on todettu, että polymeerilla esi-impregnoitu lasikuitu vahvisti väliaikaisessa sillassa käytetyn polymetylmetakrylaatti-polymeerin taivutuslujuutta 30%, vaikka kuitujen sijainti oli epäedullinen. Tutkimuksissa on todettu myös lasikuidun määrän ja sijainnin vaikuttavan merkitsevästi väliaikaisen siltamateriaalin kestävyYTEEN. (Lastumäki 2002: 19.)

Kuituvahvennetuissa väliaikaisissa silloissa, kuten muissakin väliaikaisissa silloissa, materiaalina käytetään tavallisesti akryyliresiiniä. Väliaikaisen sillan käyttöikä on yleensä 1–8 kuukautta ja pinnan kuluminen estää sen pitkäaikaisen käytön. Lyhyestä käytöstä johtuen kuituvahvennetun väliaikaisen sillan hinta ei saisi poiketa paljoa tavallisen väliaikaisen sillan hinnasta. (Vallittu 2006.)

Väliaikaisia kuituvahvennettuja siltoja käytetään yleensä kokokeraamisen tai metallokeeraamisen sillan valmistuksen aikana, kun halutaan varmistua purennan ja ulkonäön oikeellisuudesta (Vallittu 2006). Preparaatujen hampaiden päälle asetettu väliaikainen silta on tärkeä suojan, mukavuuden ja esteettisyyden kannalta, kun odotetaan lopullisen sillan valmistumista. Se voi myös estää ei-toivottua hampaiden liikkumista ja mahdollistaa potilaan normaalin syömisen ja puhumisen hoidon aikana. Samalla säästetään aikaa ja rahaa, kun väliaikaisen sillan avulla voidaan varmistaa lopulliselle sillalle oikea muoto, istuvuus, toimivuus ja ulkonäkö. (Rondon n.d.)

2.4 Kuitusillan edut perinteisiin hammassiltoihin nähden

Perinteisesti hammassiltoja valmistetaan metallista, vahvasta keramiasta tai zirkonias-
ta. Tällaisen vahvan runkorakenteen päälle kerrostetaan posliinia, jotta ulkonäkö saa-
daan mahdollisimman luonnolliseksi.

Perinteisellä kolmen yksikön hammassillalla pystytään korvaamaan yhden hampaan
puutos, mutta kiinnitys vaatii myös kahden – mahdollisesti täysin terveeseen – hampaan
käsittelyä. Puutoskohdan viereiset hampaat hiotaan hammaslääkärin vastaanotolla
kartiomaisiksi pilareiksi, joiden päälle siltarakenne kiinnitetään sementillä. (Ollila 2010.)
Perinteinen hammassilta on pysyvä, ja seurantatutkimuksissa kestäväksi havaittu rat-
kaisu. (Puuttuva Hammas 2010.)

Lasikuituteknologiasta on onnistuttu kehittämään varteenotettava ja kudosystävälli-
sempi vaihtoehto perinteisille hammassilloille, niin kutsuttuna pitkäaikais-
väliaikaisratkaisuna. Perinteiseen hammassiltaan verrattuna kuitusillalla voidaan sääs-
tää puutoskohdan viereisiä hampaita poraamiselta. Kuitusilta rakennetaan liimaamalla
kuiturunko puutoskohdan viereisten hampaiden välille ja tämän rungon päälle raken-
netaan hammas muovista. (Puuttuva Hammas 2010.) Tämä on ajallisesti huomattavas-
ti nopeampaa, kun perinteisen sillan valmistus. Metallokeräämisen tai kokokeräämisen
sillan valmistus vaatii useamman hammaslääkärikäynnin hiontoineen, ja sillan valmis-
tus hammaslaboratoriossa vie noin viikon. Kuitusilta valmistuu yhden hammaslääkäri-
käynnin aikana.

Kuitusillan etuihin lukeutuu myös metallittomuus, joka tekee sillasta allergiaystävällisen.
Lisäksi se on hinnaltaan huomattavasti perinteistä siltaa huokeampi. Kokonaiskustan-
nukset voivat jäädä jopa yhteen viidesosaan perinteisen sillan hinnasta. (Puuttuva
Hammas 2010.)

Työssä valmistamamme väliaikaiset sillat eivät kuitenkaan olleet tällaisia viereisiin
hampaisiin kiinnitettäviä ns. kevytsiltoja, vaan ne olivat perinteisten siltojen kaltaisia,
pilareiksi hiottujen hampaiden päälle sementoitavia siltoja.

3 Toimeksiantajan esittely

Stick Tech Oy on turkulainen, vuonna 1997 perustettu yritys, joka valmistaa hammaslääketieteellisiä kuitulujitteita. Ensimmäinen tuote, Stick, tuli markkinoille vuonna 1997. Turun yliopiston professorin Pekka Vallitun 1990-luvulla kehittämään lasikuitulujiteteknologiaan perustuvat tuotteet ovat tutkituimpia kuitulujitteita hammaslääketieteellisillä markkinoilla, ja niitä käytetään maailmanlaajuisesti. Kuituteknologian pohjalta on luotu valikoima tuotteita päivittäiseen hammashoitoon. Stick Tech-kuitulujitteiden tuotekehitys ja valmistus tehdään kokonaisuudessaan Suomessa. (Stick Tech Oy 2008.)

Stick Tech Oy on rakentanut tuotteilleen jakeluverkoston Eurooppaan, ja myyntiä on laajennettu myös muille mantereille. EverStick-tuotteita, joista tunnetuin on puuttuvia hampaita korvaava everStickC&B, myytiin vuonna 2011 yli 40 maassa. Vuonna 2011 japanilaisen hammasalan suuryhtiön GC CORPORATIONin eurooppalainen tytäryhtiö GC Europe S.A. osti Stick Tech Oy:n koko osakekannan. Yrityskaupalla yhdistettiin suomalainen kuituteknologia ja alan globaalin menestyjän laaja myyntiverkosto. Samalla Stick Tech Oy:n tuotekehitysprojektit saivat tuekseen ison teollisen kumppanin. (Stick Tech Oy 2011.)

Stick Tech Oy:n kuitulujitteita voidaan käyttää useiden eri yhdistelmämuovien, akryyliä ja resiinien kanssa. Kuitulujitteet soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin, mm. erilaisten pitkäaikaiseen ja väliaikaiseen käyttöön tulevien yhdistelmämuovisiltojen ja -kruunujen valmistamiseen. Myös uusien proteesien vahvistaminen tai vanhojen proteesien korjaus onnistuu Stick-kuitulujitteiden avulla. (Stick Tech Oy 2008.)

4 Opinnäytetyön esittely

Stick Tech Oy tekee jatkuvasti lujuusmittauksia tuotteilleen. Esimerkiksi jokaisesta tuote-erästä testataan tietty määrä näytteitä tuotteen kestävyuden varmistamiseksi. Nämä testit tehdään pyöreäksi tangoksi kovetetulla kuitukimpulla.

Stick Tech Oy testaa parhaillaan uusia kuituja ja tämä opinnäytetyö on osa niiden käyttöönottoon liittyvää laajempaa tutkimusta. Koska indikaatioita on paljon, yritys ei yksin pysty tekemään kaikkea testaamista. Yksi tällainen indikaatio on tässä opinnäytetyössä testattava väliaikainen silta, jonka vahventamiseen on käytetty Stick Tech Oy:n valmistamia Stick ja everStick-kuituja.

Työssä valmistettiin kolmen yksikön siltoja väliaikaisten siltojen valmistukseen soveltuvasta Vita VM CC Base Dentine/Vita VM CC Liquid-resiinistä. Sillat vahvistettiin erilaisilla Stick- ja everStick-kuiduilla ja niiden kestävyyttä vertailtiin keskenään. Kestävyysden lisäksi tarkasteltiin silloissa esiintyviä murtumatyyppejä (ks. 8.2 Murtumatyypit). Testattavia kuitutyyppejä oli kuusi, joista jokaisesta valmistettiin oma kahdeksan sillan testiryhmä. Lisäksi valmistettiin kontrolliryhmä, joka koostui pelkästä resiinistä tehdyistä kuituvahventamattomista silloista. Yhteensä siltoja tehtiin 56 kappaletta. Ryhmät erosivat toisistaan kuidun pinnoitteen (Stick/everStick) ja/tai käytetyn raakalasikuidun (nykyisin käytössä oleva kuitu, Jushi-kuitu ja OCV-kuitu) osalta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää nykyisten ja uusien kuitujen välisiä kestävyyseroja, sekä sitä, mahdollisvatko toiset raakalasikuidut everStick- ja Stick-kuitujen valmistuksen niin, että lujuusominaisuudet pysyvät nykyisellä tasolla. Nykyisin käytössä olevan raakalasikuidun sekä testattujen uusien raakalasikuitujen (Jushi ja OCV) ominaisuudet ja eroavaisuudet ovat salassa pidettävää tietoa.

4.1 Tutkimustyyppi ja -ote

Tutkimus on tyypiltään kokeellinen eli eksperimentaalinen materiaalitutkimus. Tällaisessa tutkimuksessa tutkimusaineisto valmistetaan ja testataan laboratorioolosuhteissa ja tutkimuksen muuttujia säädellään harkitusti. Samalla tutkimusryhmien muut ominaisuudet ja valmistustapa ovat tarkasti kontrolloituja. (Hirvasjärvi–Remes–Sajavaara 2008: 129–130.)

Tutkimusaineistona olivat kuituvahvisteiset väliaikaiset muovisillat. Ne valmistettiin samalla tavalla, vain käytetyt kuituvahvikkeet erosivat toisistaan. Sillat jaettiin eri ryhmiin vahvike-kuitujen mukaan. Ryhmäkohtaiset vahvuudet mitattiin kolmipistetaivutustestillä Stick Tech Oy:n laboratoriotiloissa.

Työssä saatujen tulosten tulkintaan sovellettiin määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusotetta. Tutkittavan ilmiön tunteminen entuudestaan on kvantitatiivisen tutkimuksen onnistumisen kannalta tärkeää, jotta pystytään määrittelemään, mitä tutkimuksessa pyritään mittaamaan. Kvantitatiivinen tutkimus perustuu muuttujien ja niiden välisten vuorovaikutuksien mittaamiseen. (Kananen 2011: 12, 17, 57). Ilmiönä väliaikaisten siltojen kuituvahventaminen on tuttu. Työssä lähdettiin määrällisin keinoin selvittämään onko jokin toinen kuitu kestävyytensä puolesta parempi vaihtoehto kuin nykyinen, ja pystytäänkö uudella kuidulla saavuttamaan vähintään yhtä hyvä, jopa parempi lopputuote.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa mitataan havaintoyksiköiden ominaisuuksia, joista halutaan saada määrällisiä tietoja. Mittauslaitteen avulla havaintoyksiköistä saadaan muuttujan arvoksi kutsuttuja lukuarvoja, jotka muodostavat havaintomatriisin. Tätä havaintomatriisia käsitellään tilastollisin menetelmin. (Kananen 2011: 53.)

Tutkimuksen havaintoyksiköitä olivat valmistetut sillat. Muuttujia olivat testattavien kuitujen pinnoitteet sekä käytetyn raakalasikuidun laatu. Kolmipistetaivutustestein suoritettu kestävyysmittaus tuotti havaintomatriisin, jonka pohjalta näitä muuttujia ja niiden vaikutusta siltojen kestävyteen voitiin vertailla keskenään tilastollisin menetelmin.

Tutkimuksen otos tulee olla riittävän suuri, jotta saatavat tutkimustulokset ovat luotettavia ja rinnastettavissa edustamaan koko perusjoukkoa (Kananen 2011: 65). Tutkimuksen otos 56 siltaa, kahdeksan siltaa jokaisesta seitsemästä tutkimusryhmästä, oli toimeksiannon mukainen. Otos oli katsottu Stick Tech Oy:n toimesta riittäväksi tarvittavien tutkimustulosten aikaansaamiseksi.

5 Aiemmat tutkimukset

Stick Tech Oy panostaa erityisesti tutkimus- ja tuotekehitystyöhön. Yritys toimii yhteistyössä suomalaisten ja ulkomaisten yliopistojen, ammattikorkeakoulujen (Metropolia) ja alan asiantuntijoiden kanssa. Yhteistyö Turun yliopiston Hammaslääketieteen laitoksen biomateriaalitutkimusryhmän kanssa on jatkunut jo vuosia, aina 1990-luvulta lähtien. Tutkimusyhteistyö yliopistojen kanssa ei keskity ainoastaan olemassa olevien materiaalien tutkimukseen, vaan myös uusien materiaalien kehitykseen. Stick Tech Oy:n materiaaleista on julkaistu yli 200 tieteellistä julkaisua. (Stick Tech Oy 2008.)

Timo Pönni ja Juha Saastamoinen tekivät opinnäytetyössään *Siltarunkojen lujuuden, tutkimusmenetelmien ja testauslaitteistojen kehittäminen* samantyyppistä materiaalitestauksia Stick Tech Oy:lle kuin tässä opinnäytetyössä. Materiaalitestauksen lisäksi he kehittivät testauslaitteistoja. Tutkimuksessaan he vertailivat eri materiaaleista valmistettujen siltarunkojen kestävyyttä kolmipistetaivutustesteillä. Materiaaleina kyseisessä tutkimuksessa käytettiin Stick™- ja Stick™Net-kuitulujitteista Sinfony-päällysteistä komposiittirakennetta, lasikuituvahvisteista polyamidia DC-Telliä ja DC-titaania. Jokaisesta materiaalista valmistettiin kuusi kappaletta siltarunkoja. Kolmipistetaivutustestit osoittivat, että DC-Tell-siltarunko ja Stick-kuitusilta taipuivat lähes samoin normaalien purentavoimien alueella. DC-titaanin taipuma oli huomattavasti vähäisempää. Myös sen murtolujuus oli moninkertainen verrattuna DC-Tellin ja Stick-kuitusillan murtolujuusarvoihin. (Pönni–Saastamoinen 2000.)

Myös Olli Hytönen ja Mikko Kääriäinen ovat tehneet opinnäytetyössään *Hammastekniikassa käytettävien kuitujen kostuttamisen, manipuloinnin ja tyyppin vaikutus taivutuslujuuteen* kolmipistetaivutustestejä. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia vahvistaako kostutettu kuitunippu testikappaletta enemmän kuin kostuttamaton ja manipuloitu kuitunippu enemmän kuin manipuloimaton. Manipuloinnissa kuidun matriisimuovia murretaan kevyesti vaurioittamatta kuitua. Lisäksi testattiin, kuinka erityyppiset kuidut vahvistivat testikappaleen rakennetta. Testausta varten valmistettiin 26 eri testiryhmää, joissa jokaisessa oli kuusi testikappaletta. Testiryhmät poikkesivat toisistaan akryylin, kuitumäärän, kuidun kostutusajan, manipuloinnin ja kuitutyyppin suhteen. Tulokset osoittivat, että kuidut vahvistavat akryyliä ja kuidun määrää lisättäessä taivutuslujuus kasvaa. Kuitujen kostutuksella ja manipuloinnilla ei huomattu olevan merkittävää vaikutusta testikappaleiden taivutuslujuuteen. (Hytönen–Kääriäinen 2006.)

Tapani Lastumäki on tehnyt kirjallisuustutkimuksen aiheesta *CAD/CAM-kuitukomposiitin kehittäminen hammasteknologian sovellutuksiin*. Tutkimus kuului projektiin ”Esiselvitys CAM-tuotantoon soveltuvan muovikomposiitin kehittämiseksi”, joka oli osa Helsingin ammattikorkeakoulun ja Teknologian kehittämiskeskuksen (TEKES) iWELL Hyvinvointi ja terveys -teknologiaohjelmaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuitukomposiittien käyttöä hammaslääketieteen teknologian käyttökohteissa sekä kuitukomposiittien ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus osoitti, että kuitukomposiitin ominaisuuksiin vaikuttivat kuidun ja polymeerin ominaisuudet, kuitumäärä, kuidun muoto, kuitujen suuntaus ja sijainti, kuidun ja polymeerimatriksin välinen sidos, kuitulujitteen impregnoituminen polymeerimatriksilla, komposiitin sidosominaisuudet hammaskudokseen, valmistustekniikka sekä CAD/CAM-kuitukomposiitin valmistusmenetelmä. Aikaisempien tutkimusten perusteella Lastumäki havaitsi, että sopivin lujite hammasteknologisten muovien vahvistamiseen on lasikuitu. (Lastumäki 2002.)

6 Purentavoimat ja niiden vaikutus proteesin kestävyys

Suuren haasteen hammasproteesien kestävyydelle asettavat purentavoimat. Purenta kohdistaa jatkuvaa rasitusta proteesin alueelle, mikä asettaa vaatimuksia proteeseissa käytettäville materiaaleille ja niiden kestävyydelle.

Purenta rasittaa hampaita, niitä ympäröiviä kiinnityskudoksia sekä leukaluuta. Siihen, kuinka suureksi purentavoimat ja niiden aiheuttama rasitus voivat kasvaa, on vaikutusta usealla eri osatekijällä. Henkilön sukupuoli, ikä, ruokavalio sekä hampaiden asennot vaikuttavat purentavoimien suuruuteen. (Narva 2004: 12–13.)

Tutkimuksissa on todettu, että purentavoimien suuruuteen vaikuttaa lisäksi kasvojen malli. Neliskanttisen kasvojen muodon omaavilla henkilöillä on huomattu esiintyvän suurempia purentavoimia, kuin muilla tyypeillä, koska alaleuan ramus-osa on vertikaalisempi ja alaleuan goniaalikulma terävämpi. Nämä rakenteelliset erot antavat purentalihaksistolle mekaanisen hyödyn verrattuna muihin kasvojen malleihin, joissa alaleuan kulma on suppeampi. Myös sillä, onko henkilöllä omat vai proteesihampaat, on merkitystä. Hampaattomien kokoproteeseja käyttävien henkilöiden purentavoimat ovat tutkimuksissa osoittautuneet huomattavasti matalammiksi kuin henkilöiden, joilla on vielä omat hampaat. Tätä voidaan selittää osittain sillä, että kokoproteesien käyttäjät ovat yleisesti vanhempaa ikäluokkaa. Miehillä myös esiintyy korkeampia purentavoimia kuin naisilla. (Gaurav–Ponnanna–Nishant–Nidhi–Abhishek–Ma-hendra 2014.) Naisilla purentavoimat alkavat pienentyä 25 ikävuoden jälkeen ja miehillä 45 vuoden iässä (Duygu–Arife–Bulent 2010).

Tutkimuksissa molaarialueella on mitattu jopa yli 900N suuruisia purentavoimia, mutta keskimäärin suurimmat taka-alueen purentavoimat ovat ylittäneet 700 newtoniin. Yksittäinen hammas voi aikaansaada 265N purentavoiman. (Narva 2004: 13.) Perinteisessä ruoan pureskelussa ei kuitenkaan yletä näihin mitattuihin huippulukemiin, vaan silloin voimat liikkuvat 100-300N välillä. Tutkimuksissa on todettu, että kiinteiden osaproteesien tulisi kestää rasitustesteissä yli 1000N okklusaalinen voima. Maksimaaliset purentavoimat voivat kohdistua hampaisiin jopa 3000 kertaa päivässä, minkä vuoksi proteesin tulee kestää toistuvaa rasitusta pitkällä aikavälillä. (Vallittu–Könönen 2013.)

Tässä opinnäytetyössä valmistamiemme väliaikaisten siltojen suhteen kestävyysvaatimukset eivät olleet näin suuret, sillä kyseessä oli proteesityyppi, jota potilas käyttää vain lyhyen aikaa, viikosta puoleen vuoteen.

7 Kuituvahvennettujen väliaikaisten siltojen valmistaminen

Tutkimuksessamme valmistettiin 56 väliaikaista siltaa. Siltojen materiaalina oli väliaikaisiin siltoihin käytettävä nesteestä ja jauheesta sekoitettava resiini, joka vahvistettiin ryhmästä riippuen erilaisilla Stick Tech Oy:n valmistamilla kuiduilla. Tutkimusryhmiä oli seitsemän:

- 1 vahventamaton, pelkästä akryylista valmistettu silta
- 2 Stick-kuidulla vahvistettu silta
- 3 Stick (OCV)-kuidulla vahvistettu silta
- 4 Stick (Jushi)-kuidulla vahvistettu silta
- 5 everStickC&B-kuidulla vahvistettu silta
- 6 everStickC&B (OCV)-kuidulla vahvistettu silta
- 7 everStickC&B (Jushi)-kuidulla vahvistettu silta

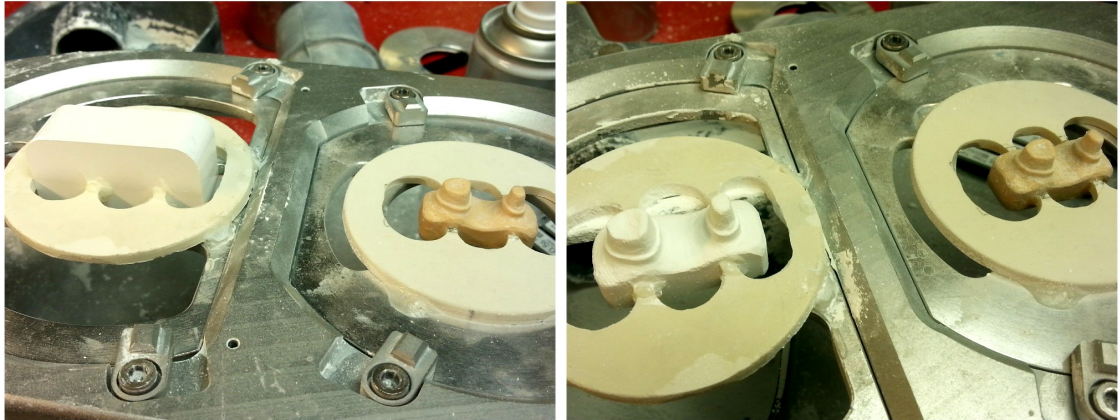
Tutkimusryhmien muuttujia olivat kuidussa käytetty pinnoite sekä raakalaskuidun laatu. Pinnoitteita oli kaksi, neste-jauheseoksella kostutettava Stick ja valmiiksi kostutettu valokovettava everStick. Raakalaskuitutyyppejä oli kolme: nykyisin tuotannossa oleva Stick/everStick, OCV-kuitu ja Jushi-kuitu.

Jokaiseen ryhmään valmistettiin kahdeksan siltaa niin, että kumpikin meistä valmisti neljä siltaa jokaiseen ryhmään. Näin saimme minimoitua tekijäkohtaiset erot työssämme.

Väliaikaisten siltojen valmistaminen aikataulutettiin tarkasti, koska tutkimusnäytteet saivat olla valmiina korkeintaan 30 päivää ennen niiden testaamista. Valmiit sillat säilytettiin kuivassa, sillä kosteassa säilyttäminen olisi vaatinut, että kaikki testiryhmät olisivat olleet kosteasäilytyksessä vähintään kaksi viikkoa. Tätä meidän aikataulumme ei mahdollistanut.

7.1 Työmallien ja muottien valmistaminen

Tutkimusryhmien valmistus aloitettiin valmistamalla kaksi kappaletta työmalleja. Mallit eli zirkoniajigit jyrättiin Zirkozahnin Zirkon Transluzent-materiaalista manuaalijyrsimellä (kuva 1). Mallina jigien jyrättämiseen käytettiin Stick Tech Oy:n toimittamaa kipsimallia. Jigit valmistettiin riittävän kestävästä ja muuttumattomasta materiaalista zirkoniasta, koska niiden avulla tultiin valmistamaan ja testaamaan kaikki tutkimuksen 56 siltaa.



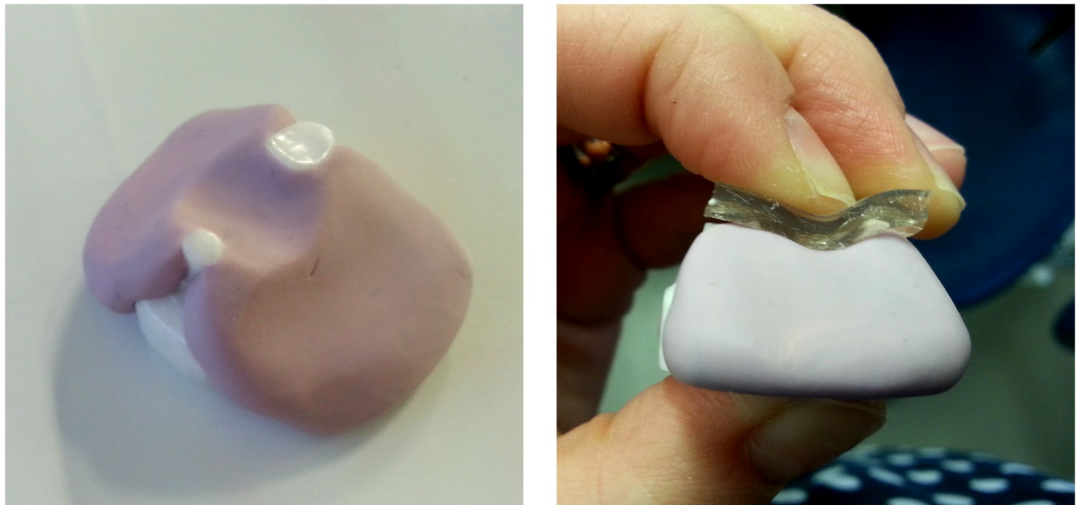
Kuva 1. Zirkoniajigien manuaalijyrättä

Manuaalijyrättämisen jälkeen jigien pinnat viimeisteltiin käsin poralla ja hiekkapaperilla. Jigit merkittiin A-malliksi ja B-malliksi, jotta pystyttiin varmistamaan, että kullakin mallilla valmistetut sillat tulevat testatuksi oikean mallin päällä. Viimeistellyt jigit sintrattiin Sironan inFire HTC-laitteella.

Seuraavaksi vahattiin mallisillat kummankin jigien päälle Stick Tech Oy:n toimittaman mallin mukaisesti. Sillat olivat taka-alueen kolmen yksikön siltoja. Kun kummallekin mallille oli vahattu istuvat mallisillat, otettiin niistä Putty-silikonilla muotit niin, että sillan väliosan pohjasta otettiin oma muotti ja sillan muusta rungosta oma muotti. Muotteihin tehtiin pakokanavat, joista ylimääräinen akryylimassa ja ilmakuplat pääsivät pois.

Mallisillat säilytettiin, jotta tutkimuksen edetessä pystyttiin valmistamaan lisää muotteja samoilla mitoilla. Putty-silikonimuotit eivät kestä kuin 1–2 siltaryhmän prässäyksen, joten työn edetessä valmistettiin useita uusia muotteja.

Valokovetteista everStick-kuitua varten valmistettiin jigin väliosaa ohjuri Putty-silikonista (kuva 2). Tämän avulla kuitu saatiin valokovetettua aina samaan kaarevuuteen ja samaan kohtaan.



Kuva 2. EverStick-kuidun silikoniohjuri

7.2 Materiaaliseosten ja työskentelytapojen standardisointi

Luotettavien tutkimustuloksien aikaansaamiseksi materiaalien koostumukset sekä työskentelytavat vakioitiin ennen tutkimusryhmien valmistamisen aloittamista.

Siltojen valmistusmateriaalina käytettiin väliaikaisten siltojen valmistamiseen tarkoitettua resiiniä, tarkemmin Vita VM CC Base Dentine -jauhetta ja Vita VM CC Liquid -nestettä. Useiden kokeilujen tuloksena tutkimuksessa käytetyn resiniastian W/P-suhteeksi vakiintui 2 ml nestettä ja 5 ml jauhetta yhtä siltaa kohden.

7.3 Vahvistamattoman väliaikaisen sillan valmistus

Akryylineste mitattiin mitta-astialla akryylinsekoituskupin pienemmälle puolelle. Nesteen joukkoon lisättiin jauhe mittalusikalla ja seos sekoitettiin tasaiseksi rauhallisilla pohjanmyötäisillä liikkeillä, välttämällä vatkaamista ja ilmakuplien muodostamista. Sekoitamiseen käytettiin metallista spaattelia. Kun seos oli tasaista, se tekeytyi kannen alla minuutin ajan ennen prässäystä.

Kuiduttoman testiryhmän prässäyksessä väliosapohjan muotti asetettiin jigille. Runko-osan muotti täytettiin resiiniseoksella ja jigi prässättiin muotin päälle. Pakokanavien kautta painettiin vielä resiiniä sisään muottiin, ettei silta jäänyt vaajaksi. Muotti ja jigi sidottiin toisiinsa kuminauhan avulla ja muotti asetettiin painekattilaan 2,25 bar paineeseen 20 minuutiksi. Painekattilan veden lämpötila oli 45 astetta, joka vakioitiin termostaatin avulla.

Prässätyt sillat viimeisteltiin muotista poistamisen jälkeen poraamalla pakokanaviin muodostuneet ylimäärät pois. Jokaiseen siltaan merkittiin millä mallilla se on valmistettu ja mihin ryhmään silta kuului.

7.4 Stick-kuidulla vahvistetun sillan valmistus

Stick-kuidulla vahvennetuissa silloissa kuitu lisättiin siltaan ennen kun muotti prässättiin kiinni. Neste-jauheseoksella kostutettavalle kuidulle (ryhmät 2–4) valmistettiin putty-silikonista oma kaukalo, jossa kuitukimppu saatiin kostutettua ilman että se leviää liikaa. Kuitu laitettiin tekeytymään kaukaloon ennen kun sillan resiinimassaa alettiin valmistaa. Kaukaloon valmistettiin seos käyttämästämme resiinistä. Seoksen suhteeksi vakioitui 3/7 Vita VM CC Base Dentine -jauhetta ja 4/7 Vita VM CC Liquid -nestettä. Aineet sekoitettiin ja kuitukimppu paineltiin auki seokseen.

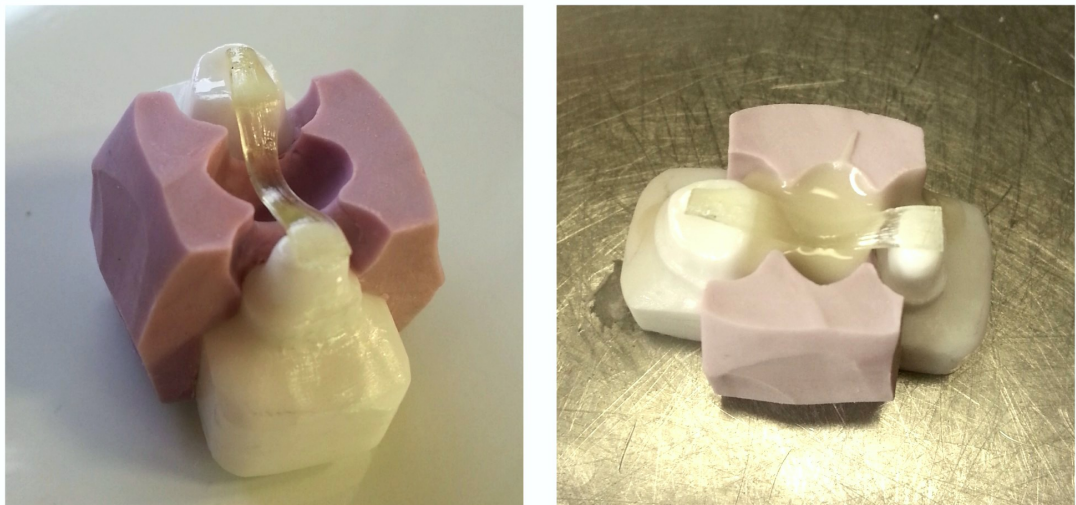
Kuitu tekeytyi kannella peitetyssä kaukalossa kahden minuutin ajan. Kun rungon muotti ja väliosapohja oli täytetty resiiniseoksella, kuitukimppu kerättiin kaukalosta pinseteillä yhtenäiseksi nipuksi ja asetettiin paikoilleen sillan runkomuottiin resiinimassan päälle. Tämän jälkeen muotti prässättiin mallille, ja edettiin samalla tavoin kuin vahvistamattoman sillan valmistuksessa.

7.5 EverStick-kuidulla vahvistetun sillan valmistus

Valokovetteisella everStick-kuidulla vahvistettujen siltojen (ryhmät 5–7) valmistus tapahtui pääosin samalla tavoin kuin vahvistamattomien ja perinteisellä kuidulla vahvennettujen siltojen. Ennen prässäystä kuitu valokovetettiin silikoniohjurin avulla (kuva 2). Silikoniohjuri asetettiin jigin päälle sillan väliosapohjalle. EverStick-kuidusta leikattiin pala, joka ulottui pilareiden päällä toisen pilarin mesiaalisesta reunasta toisen distaali-

reunaan. Kuitu kovetettiin valokovettimen alla, samalla painaen sitä ohjurin myötäisesti pilareiden päälle.

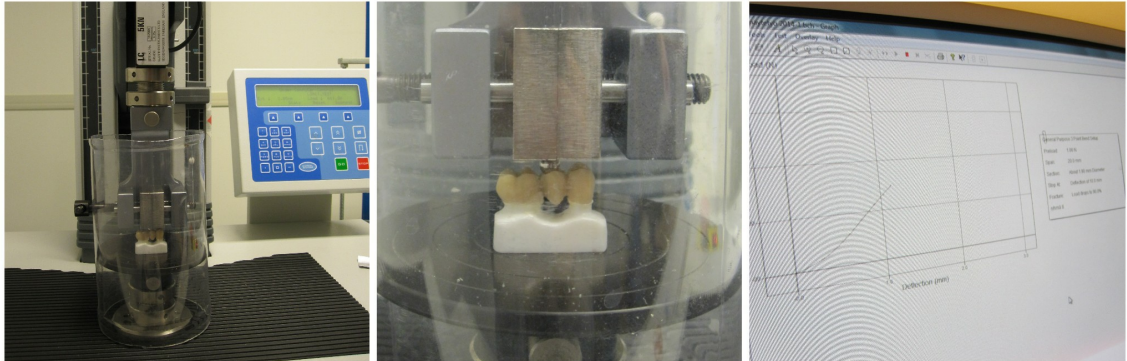
Kun kuitu oli kovetettu, silikoniohjurin paikalle vaihdettiin välioson pohjan muotti. Kuitu kiinnitettiin pilareihin Stick Resin -valokovetteisen resiinin avulla, joka kovetettiin valokovettimen alla. Näin everStick-kuitu pysyi tarkasti oikealla paikalla koko valmistusprosessin ajan. Tästä sillan prässäys jatkui samalla tavoin kuin vahvistamattoman ryhmän (kuva 3).



Kuva 3. Välioson pohjan muotti paikoillaan everStick-vahvisteisen sillan valmistuksessa

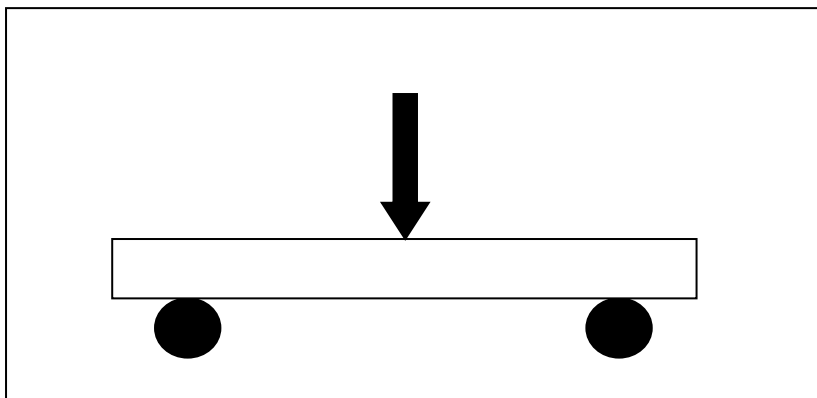
8 Tutkimusryhmien kolmipistetaivutustestit

Valmistettujen siltojen kestävyys testattiin kolmipistetaivutustestillä Stick Tech Oy:n tuotekehityslaboratoriossa Turussa. Testaukset toteutettiin Lloyds LRX Plus -materiaalintestauslaitteella, universal testing machine (kuva 4).



Kuva 4. Testauslaitteisto

Laitteen toimintaperiaatteena oli kolmipistetaivutus, missä zirkoniajigin pilarit toimivat tukipisteinä ja kolmas piste oli siltaa kuormittava testikärki (Alander 2014). Testikärki kohdisti tukien päälle asetettuun siltaan lisääntyvästi voimaa. Testi päättyi, kun silta hajosi ja voimakäyrä putosi 20 % maksimivoimasta. Kun voima putosi 20 %, voitiin olettaa myös siltojen olevan oikeasti hajonneita. Kuvassa 5 on havainnollistettu kolmipistetaivutuksen periaate.



Kuva 5. Kolmipistetaivutus

Testikärkenä käytettiin halkaisijaltaan 6,5 mm teräskuulaa. Jokaiseen siltaan porattiin loiva uurre välisan okklusaalipinnalle ettei kuula livennyt paikaltaan kesken testauksen. Testauksen ajaksi sillat kiinnitettiin zirkoniajigien päälle väliaikaisella sementillä.

Käytetty sementti oli DMG:n valmistama, sinkkioksidia ja eugenolia sisältävä, Tempo-Cem Automix -väliaikainen sementti. Valmistajan asettama työskentelyaika sementille on 1 minuutti ja aine saavuttaa lopullisen kovuutensa 4 minuutissa.

Laite kuormitti siltaa kunnes se hajosi, ja samalla laite laski hajoamiseen tarvittavan voiman. Tämä tulos kertoi, kuinka vahvoja valmistetut sillat olivat (Alander 2014).

8.1 Kuormankantokyky ja taipuma

Siltoja hajotettaessa laite mittasi kuormankantokykyä ja taipumaa. Näiden lisäksi tarkasteltiin siltojen murtumista. Erilaisten murtumatyyppien (ks. 8.2 Murtumatyyppit) lisäksi testattujen siltojen murtumista voitiin luokitella sen mukaan, murtuiko silta kokonaan vai osittain. Kuormankantokyky tarkoittaa nimellisjännityksen suurinta arvoa kokeen aikana. Se on siis suurin voima, jonka kappale kestää murtumatta. Sen jälkeen kappaleen taipuessa siihen kohdistuva voima pienenee ja lopulta kappale murtuu. (Outinen-Salmi 2004: 36.)

Tässä tutkimuksessa taipuma tarkoittaa matkaa, jonka testikärki liikkui ennen kuin testi loppui. Testiasetus oli määritelty siten, että testi loppuu, kun voima putoaa maksimivoimasta 20 % alaspäin. Taipuma kuvaa siis sitä kohtaa, missä silta on hajonnut ja voimakäyrä pudonnut 20 % maksimivoimasta.

8.2 Murtumatyyppit

Kolmipistetaivutustesteissä silloissa esiintyi viittä eri murtumatyyppiä: muovimurtuma, kuitumurtuma, hiontarajamurtuma, delaminoituminen sekä sekamurtuma.

- Muovimurtumassa murtuma tapahtuu pelkästään muovissa ja kuitu säilyy vahingoittumattomana (kuva 6 a). Tällainen murtuma on hyvä, koska se on korjattavissa uudella muovilla.
- Kuitumurtumassa murtuma tapahtuu kuidun suuntaisesti niin, että jotkut sillat halkeavat kokonaan keskeltä kahtia (kuvat b ja c). Yksittäinen kuitu ei kuitenkaan murre, vaan kuitukimppu hajoaa (kuva 6 b). Tällainen murtuma ei ole toivottava, koska silloissa ja kruunuissa tällaista murtumaa ei pystytä korjaamaan.



Kuva 6. a) muovimurtuma, b) kuitumurtuma, c) kuitumurtuma

- Hiontarajamurtumissa silta murtuu hiontaraja-alueelta, minkä aiheuttaa liian vähäinen materiaalipaksuus näissä kohdissa (kuva 7 a). Hiontarajamurtuma on usein korjattavissa oleva murtumatyyppi.
- Delaminoituminen on seurausta materiaalien, kuidun ja akryylin, huonosta sidostumisesta toisiinsa. Delaminoituessaan akryyli ja kuitu irtoavat toisistaan rajapintaa myöden (kuva 7 b). Tällaisen murtuman korjaaminen ei usein kannata, koska korjattaessa sidoslujus heikkenee entisestään.
- Sekamurtumasta on kyse silloin, kun sillassa esiintyy kahta tai useampaa yllä mainituista murtumatyypeistä (kuva 7 c). Tällaisen murtuman korjaaminen on usein mahdollista, koska murtumisen aiheuttajaa ei voida tarkasti määrittää. Sekamurtuma on kuitusilloille hyvin tyypillinen. (Alander 2014.)

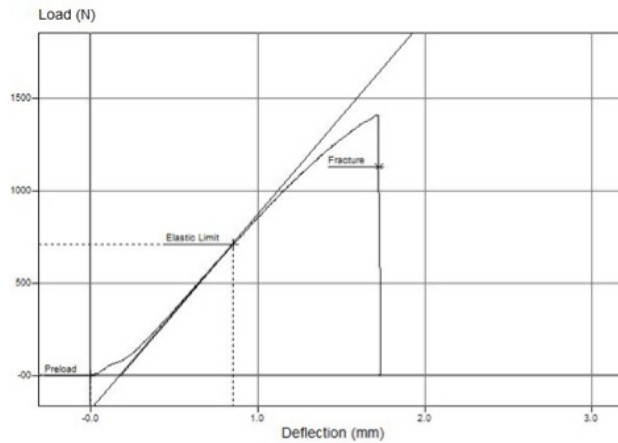


Kuva 7. a) hiontarajamurtuma, b) delaminoituminen, c) sekamurtuma

8.3 Täydellinen ja osittainen murtuma

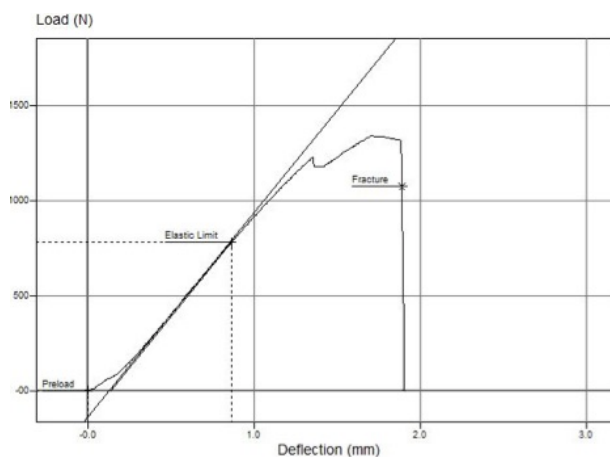
Eri murtumatyyppien lisäksi testattujen siltojen murtumista luokiteltiin myös sen mukaan, rikkoutuivatko ne kokonaan vai osittain. Kokonaan rikkoutuneissa silloissa tapah-

tui ns. täydellinen murtuma, jossa silta rikkoutui täysin yhdellä kertaa. Kuvassa 8 nähdään täydellistä murtumaa kuvaava käyrä. Siitä voidaan havaita, että murtumisen jälkeen voimakäyrä tipahtaa suoraan alaspäin.



Kuva 8. Täydellinen murtuma

Osittaisessa murtumisessa silta ei hajonnut kerralla, vaan ensiksi murtui jokin osa, esimerkiksi hampaan kuspä, ja vasta sen jälkeen tapahtui lopullinen murtuma. Kuvasta 9 voidaan nähdä, ettei voimakäyrä mene suoraan alas murtumisen tapahduttua, vaan ensin havaitaan notkahdus ja vasta lopullisen rikkoutumisen jälkeen käyrä putoaa alaspäin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä että vain osa kuitukimpun kuiduista hajoaa pikkuhiljaa. Nyt käytetyissä kuitukimpuissa on noin 4000 yksittäistä kuitua.



Kuva 9. Osittainen murtuma

9 Tulokset

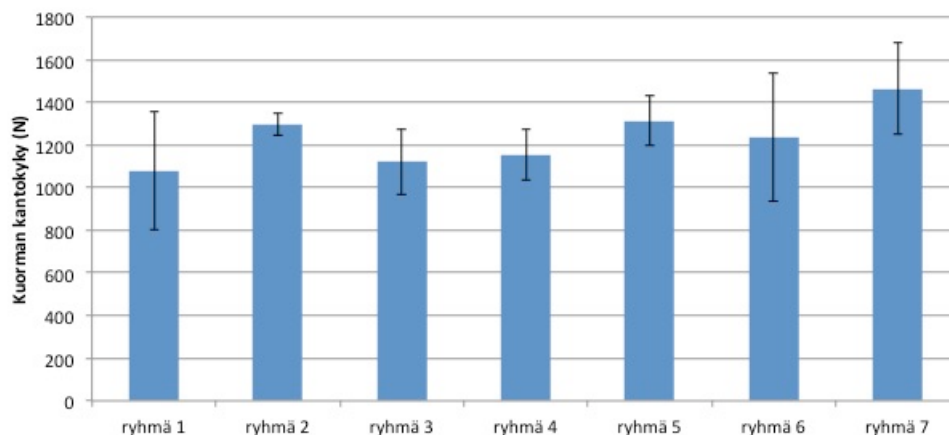
Tutkimuksessa saamamme tulokset olivat yrityksen kannalta toivottuja, sillä niistä voidaan päätellä, että vaihtoehtoinen kuitu on kestävyydeltään vähintään yhtä hyvä kuin aiemmin käytössä ollut kuitu. Tuloksista voidaan myös päätellä, että kuituvahvennetut sillat täyttävät hyvin niille asetetut kestävyysvaatimukset.

9.1 Kuormankantokyky

	Ryhmä 1 Kontrolli	Ryhmä 2 Stick	Ryhmä 3 Stick OCV	Ryhmä 4 Stick Jushi	Ryhmä 5 everStick	Ryhmä 6 everStick OCV	Ryhmä 7 everStick Jushi
Keskiarvo	1081	1298	1120	1154	1314	1235	1462
Keskihajonta	278	52	152	118	118	298	215

Taulukko 1. Väliaikaisten siltojen kuormankantokyky

Siltojen testauksessa tulokset vastasivat hyvin odotuksia. Kontrolliryhmä, jossa ei ollut kuituvahvennetta lainkaan, oli kuormankantokyvyltään heikoin. EverStick-kuiduilla vahvennetut sillat olivat hieman kestävämpiä kuin Stick-kuiduilla vahvennetut. Kaiken kaikkiaan kuituvahvennettujen siltojen kuormankantokyvyt olivat melko tasaisia keskiarvoltaan. Tämä vahvistaa sen, että uudet kuidut ovat kuormankantokyvyltään suurin piirtein yhtä kestäviä kuin jo käytössä olleet kuidut.



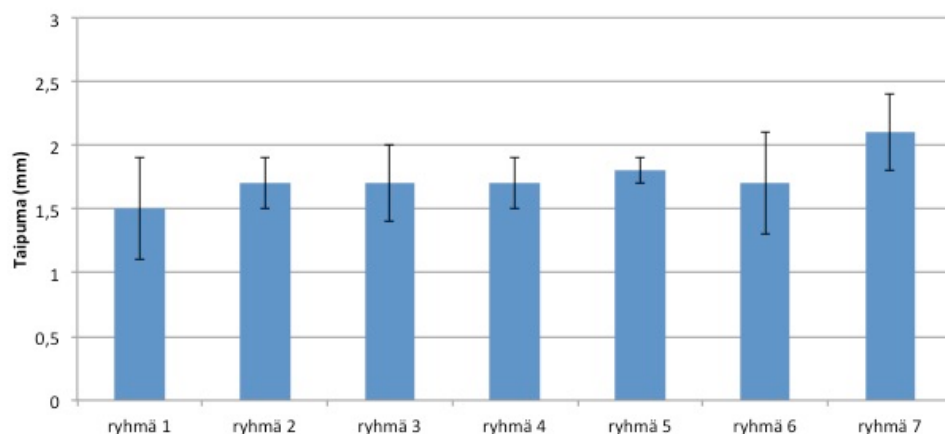
Kuvio 1. Väliaikaisten siltojen kuormankantokyky

9.2 Taipuma

	Ryhmä 1 Kontrolli	Ryhmä 2 Stick	Ryhmä 3 Stick OCV	Ryhmä 4 Stick Jushi	Ryhmä 5 everStick	Ryhmä 6 everStick OCV	Ryhmä 7 everStick Jushi
Keskiarvo	1,5	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	2,1
Keskihajonta	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3

Taulukko 2. Väliaikaisten siltojen taipuma

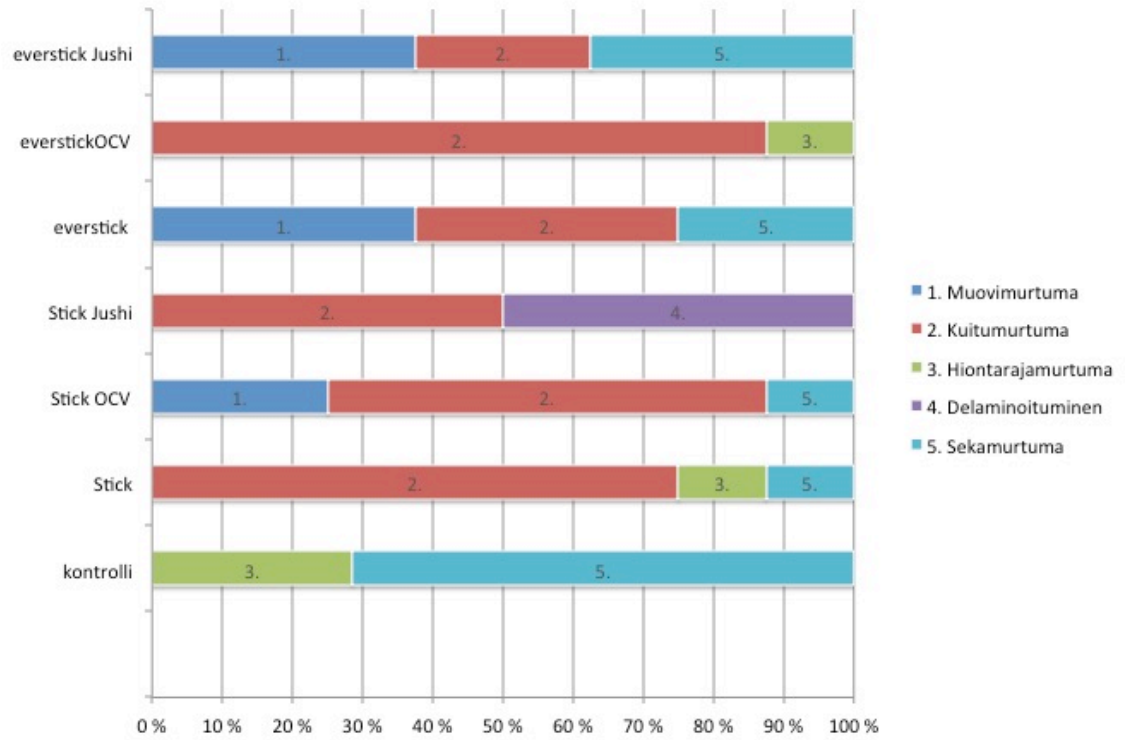
Myös taipuman kohdalla vahventamattomien siltojen ryhmä osoittautui heikoimmaksi. Kuituvahvennettujen siltojen taipumat olivat melko samansuuruisia, joskin ryhmän 7 taipumat olivat keskiarvoltaan suurempia kuin muiden ryhmien taipumat. Myös taipuma-arvot osoittavat uudet kuidut yhtä kestäviksi kuin jo käytössä olleet kuidut.



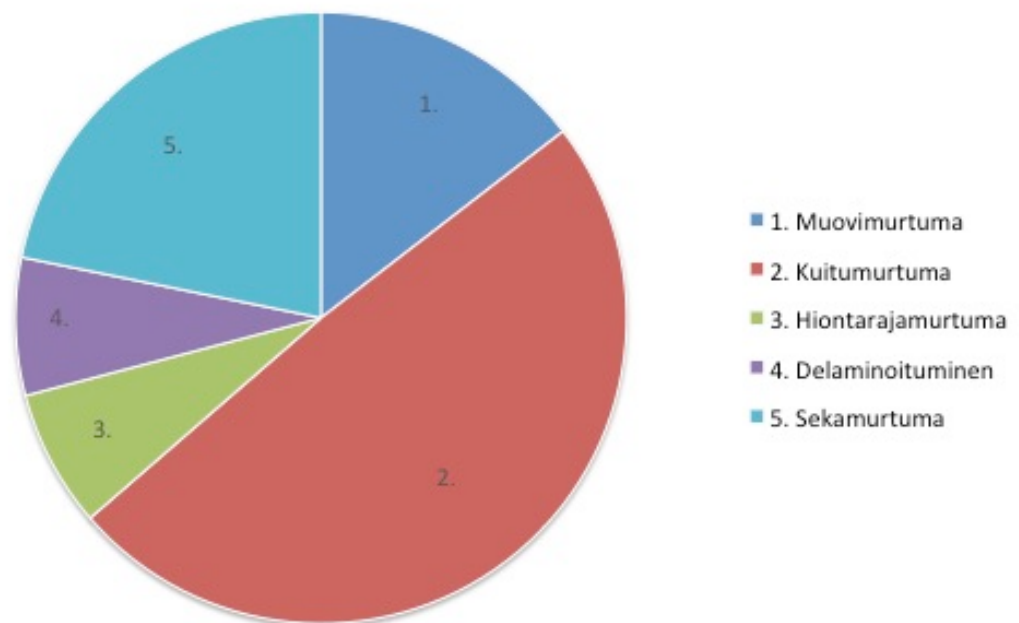
Kuvio 2. Väliaikaisten siltojen taipuma

9.3 Yleisimmät murtumatyypit

Tämän tutkimuksen tuloksissa murtumatyypeistä yleisin oli kuitumurtuma. Noin puolet kaikista murtumista oli kuitumurtumia, joissa silta halkesi lähes kokonaan kuidun suuntaisesti. Erityisesti everStickOCV- ja Stick-kuidulla vahvistetuissa silloissa esiintyi näitä murtumia. Toiseksi yleisin murtumatyyppi oli sekamurtuma. Muita murtumatyyppejä esiintyi melko tasaisesti. Testatuista silloista suurin osa (78 %) murtui täysin yhdellä kertaa. Niissä tapahtui siis täydellinen murtuma. Osittaista murtumista ilmeni vähemmän (22 %).



Kuvio 3. Murtumatyypit ryhmittäin



Kuvio 4. Murtumatyyppien jakautuminen koko tutkimusaineistossa

10 Pohdinta

Tutkimuksessa saamamme tulokset olivat osa isompaa tutkimuskokonaisuutta. Tulokset tukivat muista testeistä saatuja tuloksia ja puolsivat niiden rinnalla korvaavan raakalaskuidun valintaa.

Kuituryhmien sisäinen hajonta kestävyys suhteen oli suuri, mikä oli odotettavaa. Vastaavan tyyppisiä tuloksia on saatu aiemmissakin kuitujen kestävyysmittauksissa. (Alander 2014.) Sillat pyrittiin valmistamaan mahdollisimman identtisiksi. Tämän varmistamiseksi työskentelytavat ja materiaalien väliset suhteet standardisoitiin tarkasti. Jokaisen ryhmän silloilla oli kaksi valmistajaa ja kaksi mallia joille sillat prässättiin. Näin saatiin minimoitua mahdolliset tekijäkohtaiset virheet. Ennen varsinaisten testikappaleiden valmistusta teimme harjoituskappaleita sopivan W/P-suhteen löytymiseksi.

Vaikka tutkimuksessa pyrittiinkin standardisoimaan työskentelytavat ja materiaalien väliset suhteet, voi silloista kuitenkin löytyä pieniä tekijäkohtaisia eroavaisuuksia. Esimerkiksi uurre, joka porattiin siltoihin ennen testausta, on voinut olla syvyydeltään erisuuruinen eri kappaleissa. Myös sementointi saattoi vaikuttaa lopputuloksiin, koska aikaa sillan sementoinnin ja testauksen välillä ei standardisoitu. Sementin valmistajan asettama neljän minuutin lopulliseen kovettumiseen vaadittu kuivumisaika ei päässyt täyttymään, koska testiaika oli rajallinen. Ajalliset vaihtelut sementoinnin ja testauksen välillä eivät kuitenkaan ole kovin suuria ja sementoinnit suoritettiin sementin valmistajan asettaman yhden minuutin työskentelyajan puitteissa. Myös pienet vaihtelut sementin määrässä ja voima, jolla silta painettiin pilareille, saattoivat omalta osaltaan vaikuttaa tuloksiin.

Paremmat tulokset kuormankantokyvyn ja taipuman kohdalla osoittavat että kuituvahvennetut sillat kestävät enemmän kuormitusta kuin vahventamattomat. Toisin sanoen ne olivat siis ”sitkeämpiä” eli taipuivat enemmän ennen rikkoutumistaan. Pieni taipumarvo kertoo puolestaan siitä, että kappale rikkoutuu nopeammin ja pienemmällä voimalla eli se ei ehdi taipua niin paljoa. Kuormankantokyvyn ja taipuman osalta kuituvahvennettujen siltojen ryhmät olivat melko tasaisia, mutta ryhmässä 7 (everStick Jushi) voitiin havaita suurempia arvoja. Tämä voidaan selittää sementoinnin aikaisen työskentelyn eroavaisuuksilla. Todennäköisesti ryhmän 7 sillat oli painettu tiukemmin pilareita vasten, mistä johtuu ryhmän siltojen suurempi taipuma ja kuormankantokyky. Käytännössä

ei siis voida sanoa, mikä kuitu oli vahvin, koska valmistuksen ja testaamisen aikaisia eroja ei voida täysin sulkea pois.

Merkillepantavaa kuormankantokyvyn tuloksissa on myös huomattava ero keskihajonnan suhteen ryhmien välillä. Esimerkiksi ryhmä 2 (Stick) oli hyvin tasalaatuinen, sen keskihajonnan ollessa vain 52N. Ryhmän 6 (everStick OCV) keskihajonta oli puolestaan 298N, eli suurin kaikista ryhmistä. Ryhmässä 6 oli muutama erittäin kestävä testikappale, mutta myös muutama erittäin heikko. Ryhmän testikappaleet valmistettiin samalla tavalla kuin muutkin esikostutetuilla kuiduilla vahvistetut ryhmät, joissa keskihajonta ei kuitenkaan ollut näin suuri. Mahdolliset valmistusvirheet ovat voineet tapahtua kuidun valokovetusvaiheessa. Myös osittainen murtuma voi vaikuttaa murtolujuuteen kun silta hajoaa vain osittain, esimerkiksi kuspina kohdalta. Tähän emme kuitenkaan löytäneet varmuutta, koska kappalekohtaisia murtumakäyriä ei ollut mahdollista saada tutkittaviksi.

Murtumatyyppejä arvioitaessa tuloksissa huomioitavaa oli se, että ei-toivotuimpia murtumatyyppejä esiintyi eniten. Sekä kuitumurtuma että sekamurtuma ovat murtumatyyppejä, joita ei pystytä korjaamaan. Delaminoitumista tapahtui vain yhdessä testiryhmässä (Stick Jushi). Kyseisessä ryhmässä 50% murtumista oli delaminoitumista. Koska delaminoituminen on seurausta kuidun ja muovin huonosta sidostumisesta toisiinsa, on todennäköisesti kyseessä valmistusvaiheessa tapahtunut virhe. Stick Jushi on kostutettava kuitu, joten mahdollinen virhe liittyy luultavasti kuidun kostuttamiseen. Opinnäytetyössään Hytönen ja Kääriäinen (2006: 18) ovat kuitenkin havainneet, ettei kuidun kostuttamiseen käytetty aika juuri vaikuta kappaleen kestävyysasteeseen. Yksi ongelma valmistuksessa oli se, että akryylineste-akryylijauheseoksella kostutettavat kuituniput levisivät kostuttuaan melko paljon, joten niiden asettaminen täsmälleen samalle kohdalle jokaiseen kappaleeseen oli käytännössä mahdotonta. Tässä ei havaittu eroa erityyppisten kostutettavien kuitujen välillä, vaan jokaisen ryhmän kohdalla ilmeni sama ongelma. Myös Hytönen ja Kääriäinen (2006: 19) ovat kuvailleet opinnäytetyössään kuitujen käsittelyyn liittyviä vaikeuksia.

Mielenkiintoista tutkimustuloksissa esiintyvissä poikkeamisissa oli se, että ne tapahtuivat uusien kuitujen ryhmissä. Jo käytössä olleilla kuiduilla (Stick ja everStick) vahvistetut sillat olivat kuormankantokyvyltään ja taipuma-arvoiltaan melko tasalaatuisia, kun taas esimerkiksi ryhmällä 6 (everStick OCV) oli suurin keskihajonta sekä kuormankantokyvyn että taipuman suhteen.

Tutkimustuloksissa havaitut poikkeamat aiheutuivat yksittäisistä, satunnaisista virheistä. Systemaattista virhettä ei ilmennyt. Kuormankantokyvyn ja taipuman hajonnan minimoimiseksi ryhmien sisällä olisi testiryhmien kokoa voinut mielestämme kasvattaa. Tutkimustulosten luotettavuutta tukee kuitenkin paljon tuotekestävyysmittauksia tehneen toimeksiantajan riittäväksi toteama määrä testikappaleita.

Standardisoitujen työskentelytapojen vuoksi tutkimus on haluttaessa helppo toistaa. Valittu tutkimusmenetelmä osoittautui hyväksi ja antoi toivotunlaisia tuloksia. Tutkimuksen tulokset ovat omalta osaltaan auttaneet Stick Tech Oy:tä uuden raakalasikuidun valinnassa.

Tämän työn ja saatujen tulosten pohjalta heräsi kysymys jatkotutkimuksen tarpeesta optimaaliseen siltarakenteeseen liittyen. Vaikka tässä tutkimuksessa suuri taipuma-arvo kertoi sillan paremmasta kestävydestä, voidaan pohtia onko suuri taipuma käytännössä eduksi protetiikassa. Käytännön kannalta paras silta voisikin olla sellainen, jolla on suuri kuormankantokyky mutta pieni taipuma, eli mahdollisimman jäykkä rakenne. Tällöin väliaikaisen sillan taipuminen ei aiheuttaisi esimerkiksi vaurioita hampaiden kiinnityskudoksissa.

LÄHTEET

Alander, Pasi 2014. Tarkentavia kysymyksiä opinnäytetyötämme koskien. Sähköposti: 1.12.2014.

Duygu, Koc – Arife, Dogan – Bulent, Bek 2010. Bite Force and Influential Factors of Bite Force Measurements: A Literature Review. *European Journal of Dentistry* 4(2): 223–232.

Gaurav, Tripathi – Ponnanna, A.A – Nishant, Rajwadha – Nidhi, Chhaparia – Abhishek, Sharma – Ma-hendra, Anant 2014. Comparative Evaluation of Maximum Bite Force in Dentulous and Edentulous Individuals with Different Facial Forms. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 8(9): 37–40.

Hakala, Juha T. 2004. *Opinnäyteopas ammattikorkeakouluille*. Helsinki: Gaudeamus.

Hammasteknikko 1/2008: 5. Zirkonia, zirkoni, zirkoniumoksidi, zirkoniumdioksidi vai zirkonium? <<http://www.hammasteknikko.fi/tiedostot/Zirkonia.pdf>>. Luettu 14.9.2015.

Hammasteknikko 3/99: 4. Muovit hammasprotetiikassa. <http://www.hammasteknikko.fi/tiedostot/Muovit_hammasprotetiikassa.pdf>. Luettu 14.9.2015.

Hirvasjärvi, Sirkka – Remes, Pirkko – Sajavaara, Paula 2008. *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Hytönen, Olli – Kääriäinen, Mikko 2006. *Hammastekniikassa käytettävien kuitujen kostonuttamisen, manipuloinnin ja tyypin vaikutus taivutuslujuuteen*. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia.

Kananen, Jorma 2008. *Kvantti – Kvantitatiivinen tutkimus alusta loppuun*. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, Jorma 2011. *Kvantti – Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas*. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Lastumäki, Tapani 2002. CAD/CAM-kuitukomposiitin kehittäminen hammasteknologian sovellutuksiin.

Narva, Katja 2004. Fibre-reinforced Denture Base Polymer. Clinical performance and Mechanical Properties. Väitöskirja. Turku: Turun yliopisto.

Outinen, Hannu – Salmi, Tapio 2004. Lujuusopin perusteet. 4.painos. Tampere: Pres-sus Oy.

Ollila, Petri 2010. Puuttuva Hammas. Hammaslääkäri kertoo kuitusillasta. Stick Tech Oy. <<http://www.puuttuvahammas.fi/laakarikertoo.html>> Luettu 4.10.2015.

Puuttuva Hammas 2010. Kuitusillan edut. Stick Tech Oy. <<http://www.puuttuvahammas.fi/mitaetua.html>> Luettu 4.10.2015.

Puuttuva Hammas 2010. Mikä on kuitusilta? Stick Tech Oy. <<http://www.puuttuvahammas.fi/kuitusilta.html>> Luettu 4.10.2015.

Pönni, Timo – Saastamoinen, Juha 2000. Siltarunkojen lujuuden, tutkimusmenetelmien ja testauslaitteistojen kehittäminen. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu.

Stick Tech Oy 2008. Kuitulujitteilla vauhtia ja tehokkuutta laboratoriotyöskentelyyn. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=technicians-fi>>. Luettu 22.9.2015

Stick Tech Oy 2008. Mistä kaikki alkoi? <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=10097>>. Luettu 22.9.2015.

Stick Tech Oy 2008. Tutkimuksia ja tuotekehitystä. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=13631>>. Luettu 22.9.2015.

Stick Tech Oy 2008. Suomalaista hammasalan osaamista maailmalle. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=company-fi>>. Luettu 22.9.2015.

Stick Tech Oy 2011. GC Corporation osti turkulaisen Stick Tech Oy:n. Mediatiedote. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=6gflgm1jlqj>>. Luettu 22.9.2015.

StickTech 2008. Tuotteet, Stick-tuotteet. Verkkodokumentti. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=16069>>. Luettu 14.9.2015.

StickTech 2008. Tuotteet, everStick –tuotteet. Verkkodokumentti. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=18710>>. Luettu 14.9.2015.

Suomen Hammaslääkärilehti 7/2007: 12. Materiaalit purennan kuntoutuksessa. Verkkolehtiartikkeli. <<http://www.digipaper.fi/hammaslaakarilehti/89247/index.php?pgnumb=12>>. Luettu 14.9.2015.

Suomisanakirja, sivistyssanakirja, 2015. Indikaatio. Verkkodokumentti. <<http://www.suomisanakirja.fi/indikaatio>> Luettu 14.9.2015.

Rondon, Nayda. Temporaries: Today's Natural-Looking Provisional Restorations. Ceatus Media Group. Verkkodokumentti. <<http://www.yourdentistryguide.com/temps/>>. Luettu 23.1.2015.

Vallittu, Pekka 1997. Onko kuitulujitteisten proteesimuovien aika jo tullut? Hammasteknikko. 2/1997. Verkkolehtiartikkeli. <<http://hammasteknikko.fi/ht297.html>>. Luettu 24.6.2015.

Wikipedia 2015. Resin. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Resin>>. Luettu 14.9.2015.

Wikipedia 2015. Akryyli. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Akryyli>>-. Luettu 14.9.2015.

Vallittu, Pekka 2006. Glass fibre bridges – when and how are they beneficial? Stick Tech Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.sticktech.com/document.asp?id=17976>>. Luettu 23.1.2015.

Vallittu, Pekka – Könönen Mauno 2013. Biomaterials Aspects and Material Properties. A Text-book of Fixed prosthodontics: the scandinavian approach. Krister, Nilner – Stig, Karlsson – Björn L. Dahl. Gothia Fortbildning.

VA-siltojen 3-pistetaivutustesteissä saadut tulokset

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
10:38:46	ryhmä 1	1	675,4769727	0,90941899
10:44:43	ryhmä 1	2	1253,358391	1,903379733
10:55:24	ryhmä 1	3	1185,242494	1,863446032
11:04:35	ryhmä 1	4 b	1220,331482	1,547962634
11:11:35	ryhmä 1	5	1312,322269	1,921605199
11:17:22	ryhmä 1	6	598,8911535	0,915605294
11:31:50	ryhmä 1	7	1193,944891	1,527880002
11:38:24	ryhmä 1	8	1207,925924	1,394272573
		Keskiarvo	1081	1,5
		Keskihajonta	278	0,4

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
12:41:20	ryhmä 2	1	1314,337993	1,840199307
12:45:56	ryhmä 2	2	1252,61518	1,509268868
12:56:00	ryhmä 2	3	1353,493672	1,904148722
13:01:44	ryhmä 2	4	1260,490559	1,607630127
13:09:46	ryhmä 2	5	1307,75538	1,825212602
13:13:35	ryhmä 2	6	1210,316679	1,433893482
13:20:15	ryhmä 2	7	1345,697617	1,806142543
13:24:06	ryhmä 2	8	1341,152059	1,91137954
			1298	1,7
			52	0,2

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
13:34:35	ryhmä 3	1	1046,614693	1,362913214
14:01:39	ryhmä 3	2	818,826056	1,38825434
14:04:57	ryhmä 3	3	1192,296686	1,881192372
14:12:45	ryhmä 3	4	1224,355491	1,821022424
14:17:31	ryhmä 3	5	1179,827372	2,316038051
14:26:59	ryhmä 3	6	1268,926838	1,764781286
14:30:14	ryhmä 3	7	1106,358105	1,683595569
			1120	1,7
			152	0,3

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
14:42:00	ryhmä 4	1	988,3241627	1,771768828
14:45:30	ryhmä 4	2	1210,954403	1,593966873
14:51:52	ryhmä 4	3	1176,478881	1,909382244
14:57:10	ryhmä 4	4	1030,617495	1,660645835
15:06:29	ryhmä 4	5	1368,574341	1,824457931

15:16:05	ryhmä 4	6	1091,612491	1,378551714
15:24:36	ryhmä 4	7	1181,695532	1,829292396
15:28:10	ryhmä 4	8	1180,461826	1,642615602
			1154	1,7
			118	0,2

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
15:33:16	ryhmä 5	1	1237,418726	1,653720306
15:37:00	ryhmä 5	2	1472,865507	1,863837972
15:43:06	ryhmä 5	3	1287,653518	1,757254673
15:46:21	ryhmä 5	4	1155,566339	1,574011618
15:55:34	ryhmä 5	5	1196,293564	1,820675066
15:58:42	ryhmä 5	6	1352,393383	1,823722457
16:05:49	ryhmä 5	7	1475,571573	2,054250694
16:10:14	ryhmä 5	8	1335,797373	1,839655152
			1314	1,8
			119	0,1

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
16:18:41	ryhmä 6	1	864,1790143	1,399485952
16:21:24	ryhmä 6	2	1412,699095	1,741410213
16:27:07	ryhmä 6	3	1528,532492	2,155545992
16:30:47	ryhmä 6	4	1213,80739	1,483138971
16:35:26	ryhmä 6	5	1127,363969	1,622800369
16:40:03	ryhmä 6	6	1302,125584	1,809815701
16:45:44	ryhmä 6	7	1632,098916	2,387367354
16:49:08	ryhmä 6	8	798,1800447	1,212511481
			1235	1,7
			298	0,4

Time	Batch Reference	Sample Reference	Maximum Load (N)	Maximum Deflection (mm)
9:57:44	ryhmä 7	1	1311,591939	1,6599273
10:02:45	ryhmä 7	2	1145,370624	1,554493085
10:08:44	ryhmä 7	3	1723,19555	2,456908876
10:28:17	ryhmä 7	4	1561,620625	2,306140766
10:34:02	ryhmä 7	5	1738,648862	2,248116185
10:38:43	ryhmä 7	6	1549,235132	2,425690076
10:42:57	ryhmä 7	7	1374,134515	1,868528258
10:46:42	ryhmä 7	8	1289,73262	2,116059072
			1462	2,1
			215	0,3

3-pistetaivutustestauksessa esiintyneet murtumatyyppit

	kontrolli	Stick	Stick OCV	Stick Jushi	everstick	everstickOCV	everstick Jushi
1. Muovimurtuma			2		3		3
2. Kuitumurtuma		6	5	4	3	7	2
3. Hiontarajamurtuma	2	1				1	
4. Delaminoituminen				4			
5. Sekamurtuma	5	1	1		2		3

	silta 1	silta 2	silta 3	silta 4	silta 5	silta 6	silta 7	silta 8
Kontrolli	3	5	5	5	5	3	5	5
Stick	2	2	2	3	2	2	2	5
Stick (OCV)	2	1	2	1	2	2	2	5
Stick (Jushi)	4	4	4	2	4	2	2	2
everstick	2	5	1	1	1	2	5	2
everstick(OCV)	2	2	2	2	2	2	2	3
everstick(Jushi)	2	5	1	1	2	5	5	1

1. Muovimurtuma	8
2. Kuitumurtuma	27
3. Hiontarajamurtu	4
4. Delaminoitumin	4
5. Sekamurtuma	12