

Riikka Ahonen ja Sointu Laine

Valokovetteisen kuitulujitteen käyttö korjausakryylin kanssa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Hammasteknikko

Hammastekniikka

Opinnäytetyö

18.10.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Riikka Ahonen ja Sointu Laine Valokovetteisen kuitulujitteen käyttö korjausakryylin kanssa 34 sivua + 5 liitettä 18.10.2015
Tutkinto	Hammasteknikko AMK
Koulutusohjelma	Hammastekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Hammastekniikka
Ohjaajat	Lehtori Kari Markkanen Tuotantopäällikkö, Stick Tech, Pasi Alander
<p>Tämä opinnäytetyö on StickTech -yrityksen tilauksesta tehty vertailututkimus everStick -kuitulujitteen sopivuudesta hammasteknikkojen suosiman korjausakryylin kanssa käytettäväksi. Tutkimusmetodina on kokeilla eri pintakäsittelykeinoja everStick-kuitulujitteelle ennen sen liittämistä korjausakryyliin. Tavoitteena on löytää pintakäsittelykeino, joka tuottaa vertailtavan sidoslujuuden everStickin ja korjausakryylin välille verrattuna perinteisesti hammasteknikkojen käyttämän Stick -kuitulujitteen ja korjausakryylin yhdistelmään nähden. Tutkimusmenetelmä on kvantitatiivinen: Valmistetaan koesarjat viidestä eri pinnan käsittelyvaihtoehdosta. Sidoslujuuksia vertaillaan kolmipistetaivutustestin avulla. Tulosten mukaan ei näytä siltä, että täysin verrattavaa sidoslujuutta saavutetaan, mutta lisätutkimuksia tarvitaan everStick-kuitulujitteen käyttöskaalan laajentamiseksi.</p>	
Avainsanat	Stick -kuitu, everStick -kuitu, kuitulujite, hammastekniset kuidut, korjausakryyli

Authors	Riikka Ahonen, Sointu Laine
Title	The Use of Photopolymerising Fibre Reinforcement Composite Product in Combination With Cold-curing Acrylic.
Number of Pages	34 pages + 5 appendices
Date	Autum 2015
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Dental Technology
Specialisation option	Dental Technology
Instructors	Kari Markkanen, Senior Lecturer Pasi Alander, Product Manager at Stick Tech Ltd
<p>This study was commissioned by StickTech company. The purpose of the study was to find out how Stick Tech's fibre reinforcement composite product everStick would be combined with cold-curing acrylic in an optimal manner. Previously everStick has been mainly used by dentists. Traditionally, dental technicians have been using fibre reinforcement called Stick, which was used as a comparative group in this study. The study method was to use different technical treatments on the fibre composite before attaching it to the cold-curing acrylic and then test which of the surface treatment methods formed the strongest bond, and whether it was comparable to the comparison group of traditional Stick fibers. Therefore the study method was solely quantitative. According to the results, it seems that no surface treatment method creates an equal bond between everStick fibre and cold-curing acrylic compared to the traditional Stick fiber and acrylic. However, in order to acquire a profound understanding and perspective on the topic, further studies are needed.</p>	
Keywords	Stick fibre, everStick fibre, fibre reinforcements, dental fibres, cold-curing acrylate

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Yhteistyökumppanin kuvaus: Stick Tech Oy	2
2	Teoriatausta	3
2.1	Muovi	3
2.1.1	Kertamuovi	3
2.1.2	Kestomuovi	4
2.1.3	Keitto- ja kylmäakryyli	5
2.2	Hammasteknologiassa käytettyjä kuitulujitteita	6
2.2.1	Stick -kuitulujite	7
2.2.2	EverStick -kuitulujite	8
2.3	Tutkimuksen merkitys	10
2.3.1	Aiemmat tutkimukset everStick - kuitulujitteen käytöstä	10
3	Tutkimusmenetelmät	12
3.1	Käytetyt menetelmät	12
3.2	Vertailuryhmät ja otokset	14
3.3	Hypoteesit	15
4	Tutkimuksen kulku	16
4.1	Koemateriaalit ja -laitteet	16
4.1.1	Materiaalit	16
4.1.2	Laitteet	18
4.2	Testialustojen valmistaminen	19
4.3	Näytekappaleiden pintakäsittely	20
4.4	Näytetappien valmistus	21
4.5	Sidoslujuustestien tekeminen	21
5	Tulokset	22
5.1	Sidoslujuusmittaustulosten keskiarvot	22
5.2	Tulosten keskihajonta	23
5.3	Murtumatyyppi	24
5.4	Studentin T-testit	26

6	Johtopäätökset	27
6.1	Sidoslujuustulosten tulkintaa	27
6.2	Murtumatyyppien antama informaatio	28
6.3	Hypoteesien toteutuminen	30
7	Pohdinta	31
7.1	Tulosten merkitys	31
7.2	Tutkimuksen rajoitteet ja luotettavuus	31
7.2.1	Valokovetus	32
7.2.2	Virhemahdollisuudet sidosljuuustestejä suoritettaessa	32
7.2.3	Tutkimuksen luotettavuus	33
7.3	Kiitokset	33
	Lähteet	34
	Liitteet	36
	Liite 1. Pasi Alanderin laatimat näytealustan ja alusmateriaalin valmistusohjeet	36
	Liite 2. Koetappien valmistusohje StickTechiltä	37
	Liite 3. Pasi Alanderin laatimat vinkit testialustojen valmistuksessa	38
	Liite 4. Pasi Alanderin laatimat käyttöohjeet Lloyd LRX Plus rasiustestilaitteelle	39
	Liite 5 Sidoslujuustestien tulokset	40

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä hammasteknisen materiaalivalmistajan StickTech Oy:n kanssa. Lähtökohtana on tutkia hammaslääkäreiden käyttämää valokovetteista everStick-kuitulujitetta hammasteknikkojen käyttämän kylmäakryylin kanssa.

Tähän mennessä everStick -kuitulujite on ollut yleisesti hammaslääkärien käytössä valokovetteisen muovin vahvikkeena, kun taas hammasteknikot ovat käyttäneet proteesien vahvistamisessa Stick -kuitulujitetta, joka on tarkoitettu proteesiakryylin kanssa käytettäväksi. Perinteisen hammasteknikoiden Stick-kuitulujitteen käyttöön sisältyy useita työvaiheita, ja siksi onkin herännyt mielenkiinto kokeilla, voisiko everStick -kuitulujite toimia myös kylmäakryylin kanssa, sillä sen käyttö on yksinkertaisempaa.

Tämä opinnäytetyö tutkii erilaisia kuitulujitteen pinnan käsittelyvaihtoehtoja ja sen vaikutusta kuitulujitteen ja kylmäakryylin sidoksen laatuun. Työssä on tarkoitus selvittää, mikä pintakäsittelytapa mahdollistaa valokovetteisen everStick -kuitulujitteen tarttumisen korjausakryyliin parhaiten.

Tutkimusmenetelmänä on useamman otannan kvantitatiivinen rasiustesti ja tulosten analysointi. Tutkimuksen kohteeksi on valittu viisi erilaista everStick-kuitulujitteen pinnan käsittelytapaa. Akryylitapin ja everStickin sidoslujuus mitataan repäisyjuusmenetelmällä (shear bond strength method) avulla. Tulokset kirjataan ja analysoidaan sekä julkistetaan tämän opinnäytetyön julkistamisen yhteydessä.

Mikäli tulokset osoittavat, että sidoslajuudet valokovetteisen kuidun ja kylmäakryylin välillä ovat tavanomaiseen Stick -kuituvahvikkeen sidoslajuustuloksia vastaavat, saattaa se lisätä valokovetteisen kuituvahvikkeen käyttöä hammasteknikoiden työssä.

1.1 Yhteistyökumppanin kuvaus: Stick Tech Oy

Stick Tech Oy on Turussa toimiva hightech -yritys, jonka päätuotteina ovat hammaslääketieteelliset kuitulujitteet (Stick Tech, 2008, Yritys). Yrityksen on perustanut Pekka Vallittu vuonna 1997. Pekka Vallitulla on tärkeä rooli kuitulujitteiden kehittämisessä, ja hän johtaa Turun yliopiston hammaslääketieteen laitoksen biomateriaalien tutkimusryhmää. Tutkimusryhmä on satsannut Stick Tech Oy:n kanssa laajasti kuitulujitteiden tutkimiseen ja kehittämiseen, ja tutkimuksia sekä väitöskirjoja niihin liittyen on tehty satoja niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Tutkimus- ja kehitystyö niiden parissa jatkuu edelleen etsien uusia kuitulujitteiden käyttömahdollisuuksia hammaslääketieteellisellä alalla.

Tällä hetkellä Stick Techin kuitutuotteita ovat hammaslaboratorioille suunnatut Stick ja StickNet -kuitulujitteet sekä hammaslääkäreiden käyttöön kehitetyt valokovetteisella muovilla päällystetty everStick – kuitulujitetuotteet (Stick Tech, 2008, EverStick ja Stick -tuotteet). Stick ja StickNet – kuidut ovat Stick Tech Oy:n ensimmäisiä tuotteita. Niitä käytetään proteesien, kruunujen ja siltojen vahvistamiseen hammaslaboratorioissa. Myöhemmin kehiteltiin everStick - kuitulujitteet, joita käytetään enimmäkseen hammaslääkäreiden vastaanotoilla monissa suoraan suuhun tehtävissä toimenpiteissä. Niitä käytetään myös hammaslaboratorioissa esim. kevytsiltoihin. Stick Tech Oy:n tuotteet ovat löytäneet käyttäjänsä ja levinneet noin 30 maahan. (Stick Tech, 2008, Mistä kaikki alkoi)

Kaikki Stick Tech Oy:n tuotteet kehitetään ja valmistetaan Suomessa. Kehitystyössä yritys tekee yhteistyötä myös ulkomaisten yliopistojen kanssa mm. Englannissa, Hollannissa ja Japanissa. (Stick Tech, 2008, Mistä kaikki alkoi; Tutkimuksia ja tuotekehitystä.) Viime vuosien aikana StickTechin omistus on siirtynyt kansainvälisesti merkittäväälle hammaslääketieteellisten materiaalien kehittäjälle ja tuottajalle GC:lle. (Stick Tech, 2008, Yritys)

2 Teoriatausta

Tässä osiossa käymme läpi teoreettisesti tutkimuksen kohteena olevat materiaalit, tutkimusmenetelmät sekä aiemmat tutkimukset aiheesta. Tämän työn materiaalina on lähtökohtaisesti muovi, tarkemmin akrylaatti. Akryylaattien vahvikkeeksi käytetään erilaisia kuituja.

2.1 Muovi

Muovi on orgaanisista hiilivety-molekyyleistä muodostunut molekyyliverkosto. Muovin molekyyleillä on kyky muodostaa kovalenttisia sidoksia, joten ne ovat myös monomeerejä. Kun muovi kovettuu, monomeerit yhdistyvät, jolloin syntyy polymeerejä eli suuri-kokoisia molekyylejä. Muovin polymeeriketjut voivat olla kiinni joko heikosti toistensa väleissä ilman ristiinsitoutuneita kovalenttisia sidoksia tai ne voivat olla kiinni toisissaan lujien ristisidosten avulla. Sidosten lujuus vaikuttaa muovien ominaisuuksiin ja käyttöön huomattavalla tavalla, joten sidostapojen mukaan muovit on jaoteltu kesto- ja kertamuoveihin. (Lastumäki ja Vallittu 1999: 4-10.) Kestomuovi on ominaisuuksiensa puolesta paremmin soveltuva hammastekniseen käyttöön.

2.1.1 Kertamuovi

Lujasti toisiinsa ristiinsitoutuneesta polymeeriketjusta muodostunut muovi kulkee nimellä kertamuovi. Se on kovalenttisen ristiinsidosten ansiosta niin lujaa, ettei sitä pysty muokkaamaan. Kertamuovi on koostumukseltaan jäykkää, lujaa ja kestää lämmittämistä. Tarpeeksi kuumassa lämpötilassa kertamuovinkin polymeeriketjut hajoavat ja muovi sulaa (Lastumäki ja Vallittu 1999: 4-10.) Tätä käytetään Lastumäen ja Vallitun (1999: 4) mukaan mm.

epoksissa, jota on liimoissa. He toteavat, ettei kertamuovi ole hammastekniikassa yhtä monikäyttöinen ja soveltuva kuin



Kuva 1 Kuituvahvisteinen kevytsilta (http://myteeth.co.za/index.php/myteeth/secondary/dental_fiber_technology/)

kestomuovi, koska proteesin valmistuksessa vaaditaan muovilta muokkautumista ja korjattavuutta. Hammastekniikassa käytettävistä kertamuoveista on esimerkkinä erilaiset valokovetteiset muovit, joita käytetään jäljennöslusikoiden ja kevytsiltojen (kuva 1) valmistuksessa. Hammaslääkärien käyttämät paikkamuovit kuuluvat myös kertamuoveihin.

2.1.2 Kestomuovi

Kestomuovit muodostuvat lineaarisista polymeeriketjuista, jotka muodostuvat monomeereista, joissa on vain yksi reaktiivinen hiili-hiili sidos (Lastumäki ja Vallittu 1999: 4). Koska hiilet eivät ole sitoutuneet ristikkäin, tämän ansioista niitä voidaan korjata ja lisätä muovia tarvittaessa. Hammastekniikassa käytetyin kestomuovi on polymetyylimetakrylaatti eli PMMA, jota kutsutaan akryyliksi.

Lastumäen ja Vallitun (1999: 5) mukaan proteesien pohjalevyissä käytettävä akryyli ei ole puhdasta PMMA:ta vaan siinä on seassa hieman kerta-akryyliä, joten se on kerta- ja kerta-akryylin sekoitus, jolloin sitä tulisikin kutsua proteesin pohjalevypolymeeriksi. Käytettävään hammasalan sanastoon juurtunut akryyli on Vallitun ja Lastumäen mukaan liian yleinen määritelmä tämän tyyppiselle muoville. Akrylaatti olisi heidän näkemyksensä mukaan lähempänä oikeanlaista kuvausta proteesin pohjalevypolymeereille, vaikka tämäkään ei ole riittävän tarkka määritelmä tälle kyseiselle materiaalille; Akrylaatti on vielä yleisnimitys kaikille akrylaattiryhmän sisältäville muoveille.

Lastumäki ja Vallittu (1999:5) kuitenkin käyttävät tekstissään akrylaatti nimikettä ja toteavat, että näin ollen polymerisointitavan mukaan jaoteltuja muoveja tulisi kutsua kylmä- ja keittoakrylaateiksi. Nämä käsitteet eivät ole kuitenkaan meidän kokemuksemme mukaan tulleet osaksi käytettävää hammasalansanastoa, vaan ”akryyli” on huomattavasti suosittu arkikäytössä. Siksi tässä opinnäytetyössäkin käytetään akryyli -sanaa kuvaamaan proteesin pohjalevypolymeeriä, eli muovia jota käytetään irrotettavien hammasproteesien valmistuksessa.

2.1.3 Keitto- ja kylmäakryyli

Uuden proteesin valmistuksessa käytettävää akryyliä kutsutaan yleensä keittoakryyliksi (kuva 2). Tämä nimi on muodostunut akryylin polymerisoitumistavasta. Akryyli valmistetaan sekoittamalla polymetyylimetakrylaattijauhetta (PMMA) mahdollisimman paljon metyylimetakrylaattinesteeseen (MMA). MMA -neste liuottaa PMMA -hiukkasia niin, että ne sidostuvat keskenään ja alkavat polymerisoidumaan. Polymerisaatiota tehostetaan lämmön avulla yleensä vedessä keittäen, näin ollen saadaan hammastekniikassa käytettävää keittoakryyliä. (Philips, 1991:179 ja 187-189).



Kuva 2. Keittoakryylistä valmistettu osaproteesi.

Kylmäakryyliksi kutsutaan muovia, joka ei vaadi lämpöä katalysoimaan polymerisaatiota vaan se käynnistyy kemiallisesti. Kylmäakryylissä käytettävään PMMA-jauheeseen on lisätty kemikaalia (yleensä bentsoylperoksidia), joka käynnistää hapen avulla reaktion MMA kanssa ja näin ollen polymerisoi akryyliksi huoneenlämmössä. Tasa-laatuiseksi muovin saa laittamalla proteesin painekattilaan kovettumisen ajaksi, jolloin vältetään mahdollisilta ilmakupliilta. Kylmäakryyliä käytetään proteesien korjauksissa nopeamman kovettumisprosessin takia, ja siksi sitä kutsutaan myös korjausakryyliksi. (Phillips, 1991:190-193 ja 203)

Lastumäki ja Vallittu (1999: 6) esittelevät artikkelissaan korjausakryylin kemiallisen reagointitavan. Heidän mukaansa proteesiin jäävä monomeeri ei toimi niin, että syntyisi kemiallisia sidoksia uuden ja vanhan akryylin välille. Sen sijaan vanha ja uusi muovi voivat kiinnittyä toisiinsa IPN-kerroksen (Interpenetrating polymer network) avulla. Tällöin vanhan muovin täytyy sisältää edes hieman kestumuovia eli lineaarista polymeeriä, koska kestumuovin pinnan liukeneminen edesauttaa muovien kiinnittymistä toisiinsa. Keittoakryylin polymeeri on vain heikosti ristiin sitoutunutta, jolloin siellä on aina PMMA-jauhehiukkasen lineaarista polymeerihukkasta jäljellä. Kun akryylin pinta karhennetaan ja se liotetaan monomeerineesteellä, pääsevät monomeerit tunkeutumaan keittoakryylin sisään kiinnittyen samalla polymeerien väliin muovin kovettumisen aikana. Lastumäki ja Vallittu (1999: 7) toteavat, että pidentämällä kostutusaikaa saa sidoksesta lujemman, noin kolmen minuutin pinnan monomeeriliuotuksen pitäisi olla riittävä.

2.2 Hammasteknologiassa käytettyjä kuitulujitteita

Hammasteknologiassa käytettyjä kuitulujitteita ovat hiilikuidut, aramidikuidut, polyeteenikuidut ja lasikuidut. Hiilikuituja voidaan valmistaa useista eri materiaaleista hiilittämällä ainetta sopivissa olosuhteissa. Raaka-aineina voi olla esimerkiksi kivihillitervaa, luonnonasfalttia ja polyakrylinitriilikuitua. Hiilikuidut ovat väriltään tummia ja ominaisuuksiltaan ne ovat lujia, jäykkiä, kevyitä ja kemiallisesti kestäviä. Ne eivät ole proteesien vahvistamisessa kovinkaan suosittuja, koska kuitu on väriltään mustaa. Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että hiilikuidun taivutuslujuus heikkenee säilytettäessä sitä vedessä, jolloin se ei sovellu proteesien vahvistamiseen, koska proteesiakryyli olisi hyvä säilyttää vedessä ja suun olosuhteet ovat kosteat. Sen sijaan juurikanavanastojen lujitteena hiilikuitu on todettu toimivaksi. (Lastumäki, 2002: 11-12.)

Keltaisen väristen aramidikuitujen soveltuvuutta hammasteknologiaan on tutkittu myös jonkin verran. Ne valmistetaan tietynlaisesta polymeeristä kehräämällä. Ne ovat lujia ja kestäviä, mutta sidostuvat muovin kanssa huonommin kuin lasi- ja hiilikuidut, joten ne eivät ole niin hyvin soveltuvia hammasteknisiin ratkaisuihin. Polyeteenikuidut sidostuvat muovin kanssa aramidikuituja paremmin, mutta niiden sidoslujuus ei ole niin hyvä kuin silanoidun lasikuidun ja muovin välillä. Polyeteenikuidut valmistetaan kehräämällä kuitua polymeeriliuoksesta. Kuidut ovat väriltään valkoisia ja tarpeen mukaan värjättävissä ja lisäksi ne ovat hyvin iskun- ja hankauksenkestäviä. Näiden ominaisuuksien perusteella niiden soveltuvuutta hammasteknologiaan on tutkittu paljon ja huomattu, että ne



Kuva 3 Lasikuitunippu
(http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_fiber)

lujittavat proteesien pohjalevyjen iskunkestävyyttä, mutta ne eivät tutkimusten mukaan lisää proteesiakryylin taivutuslujuutta merkittävästi. Tutkimuksissa on lisäksi selvitetty polyeteenikuitujen soveltuvuutta juurikanavanastojen ja siltakojien vahvistamiseen kiinteässä protetiikassa. Niissä tutkimuksissa on todettu, etteivät tämän kuidun mekaaniset ominaisuudet ole riittäviä lujittamiseen. (Lastumäki, 2002: 13-16.)

Lasikuidut (kuva 3) valmistetaan vetämällä sulasta lasimasasta ohuita lankoja. Valmistettaessa niiden pintaan voidaan lisätä erilaisia kemikaaleja, joiden avulla ne voidaan sitoa kimpuiksi ja samalla niiden sidostumisominaisuuksia voidaan muokata silanoimalla sidostettavan aineen kanssa sopivaksi. Silanointi tarkoittaa sitä, että lasikuidun pinta käsitellään si-

laaniliuoksella, joka sisältää kemiallista tartunta-ainetta (engl. silane coupling agent) (Matinlinna, 2007: 16). Hammastekniseen käyttöön lasikuitujen pintaan on lisätty polymeerejä, jotta ne saadaan sidostettua proteesiakryylin kanssa paremmin kuin polyeteenikuidut. Lasikuitujen muutkin ominaisuudet parantavat niiden käytettävyyttä hammasteknologiassa. Ne ovat värin, mekaanisen ja kemiallisen kestävyuden sekä biosopivuuden osalta juuri sopivia käytettäväksi proteesien vahvistamisessa ja myös lujitteina kiinteässä protetiikassa. Lisäksi niitä on helpompi käsitellä leikkaamalla tai poraamalla kuin hiilikuituja, eikä valo vaikuta niiden olemukseen kuten aramidikuiduissa. (Lastumäki, 2002: 17-19.)

2.2.1 Stick -kuitulujite

Stick ja StickNet -tuotenimillä valmistettavat kuitulujitteet ovat huokoisella polymeerillä päällystettyä lasikuitua. Kuitulujitteista puhuttaessa on vakiintunut käyttöön nimitys kuitu, joten tässä opinnäytetyössä kuvataan kuitulujitetta myös kuituna, vaikka ei yksittäisestä kuidusta olekaan kysymys. Stick-kuidut (kuva 4) on valmistettu yhdensuuntaisista lasikuitukimpuista, kun taas StickNet- kuitukankaissa kuidut ovat ristikkäin. Näiden kuitulujitteiden avulla voidaan vahvistaa akryyliproteeseja (kuva 5) sekä valokoveteisistä muoveista valmistettuja siltoja ja kruunuja. Proteesiakryylin ja yhdistelmämuovien lisäksi Stick ja StickNet – kuitulujitteet soveltuvat käytettäväksi myös valo-, kemiallis- ja kaksoskovetteisten resiniin eli muovien kanssa. Näin monipuolisen yhteensopivuuden ansiosta kuitulujitteita käytetään niin hammaslabora-



Kuva 4. Stick- kuidut pakkauksessaan kuitu
Lähde: Stick Tech Oy



Kuva 5 Kuituvahvisteinen proteesi
<https://www.jco-online.com/files/archive/2004/10/560-jco/figures/560-jco-img-f3.jpg>

oissa kuin hammaslääkäriasemilla. Stick -kuidut toimivat parhaiten proteesien ja siltojen vahvikkeena, kun vahvistusta tarvitaan vain yhdensuuntaisesti ja siinä on riittävästi tilaa akryylille tai muoville. Käyttökohteina ovat uudet osa- ja kokoproteesit, proteesien korjaukset sekä sillat ja nastakruunut. (Stick ja StickNet -kuitulujitteet, 2010.) StickNet -kuitukangasta taas voidaan käyttää ohuempien kohtien vahvistamiseen ja siinä olevat kuidut vahvistavat proteesia tai kruunua joka suuntaan. Näitä voidaan lisäksi käyttää

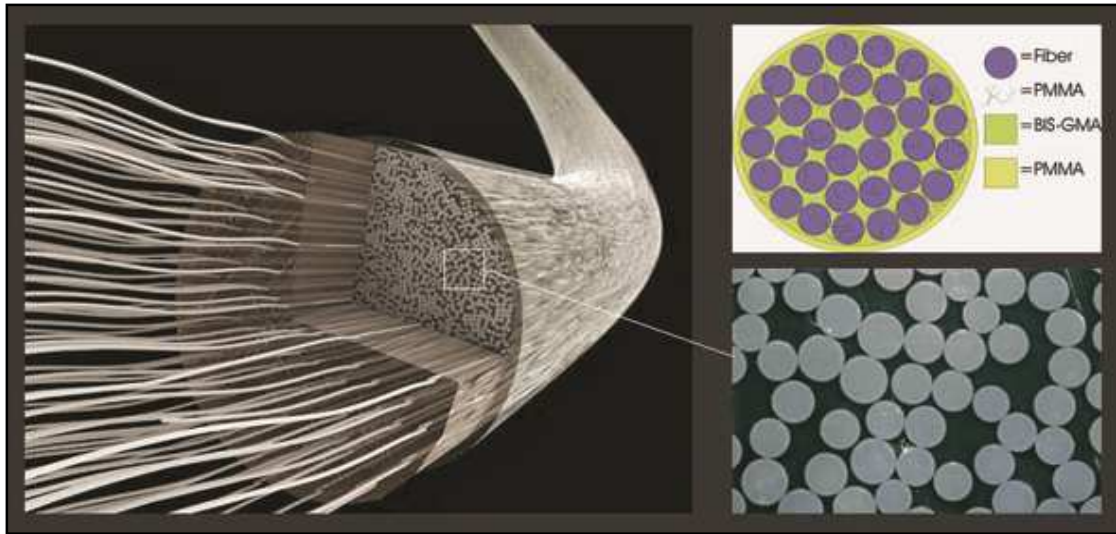
kruunujen, irtokojeiden ja pinteiden varsialueiden vahvistamiseen sekä muihin ohuisiin proteettisiin rakenteisiin. (EverStick and Stick fibre reinforcements for dental laboratory, 2011.)

Stick- ja StickNet -kuitulujitteet ovat nk. kuivia kuituja, joten ne täytyy aina kostuttaa ennen käyttöä, jotta ne sidostuvat hyvin käytettävän muovin kanssa (Stick Tech, 2008, Mistä kaikki alkoi). Yhdistelmämuovien kanssa käytettäessä kuidut kostutetaan käyttö-tarkoitukseen sopivalla liuotinvapaalla resiniillä. Proteesiakryyliä käytettäessä kuidut täytyy kostuttaa ohuella akryyliseoksella, koska pelkällä monomeerineesteellä kostutettaessa kuitukimput kutistuvat kovetettaessa. Kostutusaika on 2-7 minuuttia käytettäessä kylmäakryylejä, riippuen akryylin merkistä. Keittoakryyleja käytettäessä kostutusaika on 2-15 minuuttia riippuen käytettävästä akryylistä. Kun kuidut ovat kostuneet tarpeeksi, ne ovat muuttuneet akryyliseoksen väriseksi valkoisen matriisimuovin liuetessa akryyliseoksen joukkoon. Kuitukimppu on myös paisunut kuitujen väliin tunkeutuneen akryyliseoksen myötä. Parhaimman mahdollisen lujuuden saa lisäämällä kuidut poikittain mahdollisimman lähelle mahdollista murtumalinjaa. (Stick ja StickNet -kuitulujitteet, 2010)

2.2.2 EverStick -kuitulujite

Stick Techin internet-sivuilla (Stick Tech, 2008, Yritys) kerrotaan, että käyttökokemukset ovat innoittaneet Stick Techia kehittämään Stick-kuitulujitteita pidemmälle. Työlläänä pidetty kuitujen kostutusvaihe on pyritty poistamaan kehittämällä everStick - kuitulujitteet. Suurin osa tuotteista on kehitetty helpottamaan hammaslääkäreiden työtä, kun he valmistavat siltoja suoraan suuhun. Tuoteperheessä olevien tuotteiden koostumus ja käyttötapa on suunnilleen sama, mutta niitä on pakattu erikokoisina ja muotoisina paloina, jottei niitä tarvitse paketista otettaessa muokata käyttötarkoitukseen sopivaksi. (Stick Tech, 2008, Kuitulujitteet jokapäiväiseen hammashoittoon) Näistä tuotteista hammaslaboratorioiden käyttöön on suunniteltu everStickC&B. Se on halkaisijaltaan 1,8mm kokoinen kuitukimppu, joka sisältää noin 4000 lasikuidun säiettä. (Stick Tech, 2008, everStickC&B -kaikkiin komposiittisiltoihin)

Alander (2010; 4-10) selventää artikkelissaan everStickin tarkempaa koostumusta. Hänen mukaansa lasikuitusäikeet on päällystetty polymeerillä (kuva 6), kuten Stick ja StickNET -kuiduissakin. Tämän lisäksi lasikuitukimppun pinnoitteessa on valokovetteista muovia BIS-GMA. Tämä takaa sen helppokäyttöisyyden, koska sitä ei tarvitse enää kostuttaa erikseen ja kuidut pysyvät helposti nipussa työskentelyn ajan. Valokovetuksen avulla kuitukimppu saadaan muotoiltua kohteeseen sopivaksi. Oikealla pinnan käsittelyllä saadaan sidoksesta mahdollisimman luja.

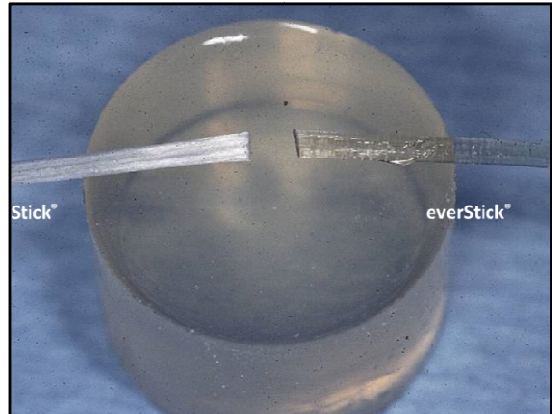


Kuva 6. EverStick kuidun koostumus. (<http://www.ppdentistry.com/dental-product-news/article/fibre-reinforced-composites>)

Stick Techin (Stick Tech, 2008, Yritys) mukaan tämä everStickC&B -kuitulujite on ollut enimmäkseen hammaslääkäreiden käytössä. Sitä on markkinoitu helppokäyttöisenä ja hyvänä vahvikkeena valmistettaessa yksittäisiä hampaita tai lyhyitä siltoja suoraan suuhun. Alander (2010; 4-10) on nähnyt tässä materiaalissa myös mahdollisuuden helpottaa hammasteknikoiden työtä proteesien vahvistuksia tehdessä. Artikkelissaan Alander tuo esiin syyt, miksi tälle muovipäällysteiselle everStick -kuitulujitteelle on tarvetta hammaslaboratorioissa. Aiempiin tutkimuksiin vedoten (mm. Narva, 2004) hän esittää kuidun olevan paljon yleisesti käytettyä metallilankaa tai aiemmin markkinoille tulleita lasi- ja polyetyleenikuituja kestävämpää. EverStickC&B on myös todettu sidostuvan paremmin aiemmin käytettyihin kuituihin verrattuna. Tämän kuidun avulla hammasteknikon työ helpottuisi, koska aiempien lasikuitujen vaatima kostuttamisvaihe voitaisiin jättää pois. EverStick-kuitulujitteen ansiosta korjaukset onnistuisivat myös ah-taimmissa paikoissa paremmin kuin aiemmilla kuiduilla ja proteesien esteettisyyskin paranisi tämän kuidun avulla.

2.3 Tutkimuksen merkitys

Stick Tech:illä on kiinnostus laajentaa valokovetteisella matriisimuovilla varustetun everStick -kuitulujitteen käyttöä myös proteesiakryyleihin. Perinteisesti proteesit on vahvistettu Stick -kuitulujitteella (kuva 7), joka pitää kostuttaa nestejauhe-akryyliseoksella ennen paikalleen laittoa ja kovettamista. Kostuttamistyö-



Kuva 7. Stick-kuitu ja everStick-kuitu Lähde: StickTech Oy

vaiheen poistamiseksi ja paikalleen laittamisen helpottamiseksi olisi järkevää

käyttää everStick -kuitulujitetta etenkin niissä töissä joissa kuitua kuluu vähän tai se pitää taivuttaa jyrkälle mutkalle (Alander 2010; 4-10). Luotettavan lopputuloksen aikaansaamiseksi tulee hammasteknikon tietää kuinka nämä materiaalit valokovetteinen kuitulujite everStick ja proteesiakryyli kiinnitetään parhaalla mahdollisella tavalla keskenään. (Alander 2014.)

2.3.1 Aiemmat tutkimukset everStick -kuitulujitteen käytöstä

EverStick -kuitulujitteiden kestävyydestä on tehty monia tutkimuksia, mutta tässä keskitytään esittelemään ne, jotka ovat lähimpänä tutkimusaihettamme. Katja K. Narva, Lippo V. J. Lassila ja Pekka K. Vallittu (2004: 2-4) ovat tutkimuksessaan keskittyneet vertailemaan eri kuiduilla vahvistettujen akryylitankojen taivutuslujuutta. Heillä on ollut vertailtavana Ribbon polyetyleenikuitu, valokovetteisella muovilla päällystetty lasikuitu FibreKor K2 - ja everStick -kuitulujite sekä kostuttaessa laajeneva Stick -kuitulujite. Valokovetteiset kuidut esikovetettiin ennen paikalleen asettamista. Ribbon ja Stick-kuidut kostutettiin proteesiakryyllillä. Tulokset osoittavat, että Stick ja everStick -kuidulla vahvistettu akryylitanko kestää taivutusta parhaiten testatuista materiaaleista. Testauksessa oli myös huomioitu kuitutangon sijoittelun merkitys kestävyyteen. Ribbon, FibreKor K2 ja everStick -kuidut pysyvät kimppuina akryylin sisällä, kun taas Stick -kuitu laajenee kostutettaessa ja täyttää koko testitikun pinta-alan. Näin ollen Stick -kuidun väsymislujuus on yhtä hyvä, olipa kuitu sijoitettu testitikun ylä- tai alapuolelle, kun taas muilla kuiduilla taivutuslujuus oli huomattavasti heikompi silloin, kun kuidut eivät olleet testitikun vetojännityspuolella. Kun kuidut on asetettu optimaalisesti testitikun vetojän-

nityspuolelle, olivat Stick ja everStick -kuitujen vahvistusominaisuudet yhtä hyvät. (Narva ym., 2004:1-7.)

Olga Kekki ja Mia Lo (2007) ovat tehneet toisen tutkimuksen liittyen proteesiakryyliin ja everStick - kuitulujitteisiin. He ovat opinnäytetyössään tutkineet, miten everStick -kuitulujite vaikuttaa kylmäakryylin taivutuslujuuteen. Lisäksi he ovat testanneet, miten kuidun pinta tulisi käsitellä, jotta se sidostuisi kylmäakryyliin mahdollisimman hyvin. Heidän tekemänsä koekappaleet valmistettiin Aesthetic autopolymerisoituvasta kylmäakryylistä (Candulor) ja niiden mitat ovat olleet 65mmx10mmx4mm. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että perinteinen menetelmä, jossa Stick-kuidut liotetaan proteesiakryyliin ilman pintakäsittelyä, on taivutuslujuudeltaan kaikista vahvin. Toiseksi vahvimaksi osoittautui everStickC&B –kuidulla vahvistettu akryylitanko, jossa kuitu oli ensin esikövetetty ja lisätty se käsittelemättömänä proteesiakryylin joukkoon. Tällöin kuidun pinnalle jää happi-inhibitiokerros. Sen huomattiin lisäävän kuidun ja akryylin välistä sidosta verrattuna poraamalla karhennettuun pintaan. Tutkimus osoitti myös, että kuidun pinnan karhennus ja kostutus monomeerineesteellä tai StickResin -nesteellä eivät lujittaneet kuidun ja akryylin sidosta parhaalla mahdollisella tavalla, olipa kyseessä everStickC&B- tai tavallinen Stick-kuitu. (Kekki ja Lo 2007) Tämän saman huomion toi myös Alander (2010; 4-10) esille artikkelissaan.

3 Tutkimusmenetelmät

3.1 Käytetyt menetelmät

Tässä työssä haluttiin tutkia kylmäakryylin ja everStick -kuitulujitteen sidoksen lujuutta suhteessa erilaisiin kuidun pinnankäsittelytapoihin. Tämä on empiirinen tutkimus, jossa etsitään tietoa käytännön tarpeisiin. Holopainen ja Pulkkinen (2002: 18) ovat määritelleet empiiristä tutkimusta vielä tarkemmin toteutustavan mukaan: kvantitatiivisiin eli määrällisiin ja kvalitatiivisiin eli laadullisiin tutkimuksiin. Uusitalo (1999: 79-80) puolestaan tarkentaa, että kvantitatiivisessa tutkimuksessa haetaan uutta tietoa mittaamalla tutkimusaineistoa numeerisesti. Uusitalon mukaan tutkimus etenee alussa tehdyn rajauksen puitteissa; kerätään aineisto, joka muutetaan tilastollisesti havainnollistettavaan muotoon ja käsitellään saatuja tuloksia tilastollisin menetelmin. Sen sijaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineistoa voidaan laajentaa rajattomammin työn edetessä. Siinä aineiston kerääminen perustuu havainnointiin ja ilmiöiden kuvailuun. Tutkimuksen tavoitteet ovat erilaiset: Kvantitatiivisessa tutkimuksessa on tarkoituksena koetella tai testata teoriaa kun taas kvalitatiivisessa tutkimuksessa teoriaa kehitetään. (Uusitalo, 1999: 79-82.) Tutkimusmenetelmien määritelmien mukaan tässä on kyseessä kvantitatiivinen tutkimus.

Aineistoa kerättiin tiettyjen ehtojen mukaan valmistettujen koesarjojen avulla. Koesarjassa oli viisi koeryhmää, joissa oli eroina erilainen käsittely akrylikappaleeseen kiinnitetyn kuidun pinnalla. Lisäksi vertailuryhminä oli Stick -kuitulujitteella vahvistettu kappale ja pelkästään korjausakryylista ilman kuitua valmistettu kappale. Kussakin ryhmässä oli vakiomäärä testikappaleita (10kpl), tämä oli Alanderin (2014) mukaan suositeltava ryhmäkoko tämänkaltaiselle testille. Koesarjoille tehtiin rasiustesti, joissa tarkoitukseen sopiva laite muutti materiaalien kestävyuden numeeriseen muotoon. Laite mittasi kappaleen murtuessa kappaleeseen kohdistuvan voiman Pascaleina ja kirjasi ne ylös. Mittaustulosten pohjalta tehtiin tilastollisia havaintoja, jotka kirjattiin ylös ja pohdittiin tulosten oikeellisuutta ja luotettavuutta. Tutkimuksen kulku kirjattiin ylös, jotta se on tarvittaessa toistettavissa ja vertailtavissa helposti vastaaviin tutkimuksiin.

Tutkimuksessa saatavat mittaustulokset ovat suhdelukuasteikollisia, mikä mahdollistaa niiden keskinäisen vertailun suoraviivaisesti (esim. mittaustulos 10 on kaksi kertaa suurempi kuin mittaustulos 5) (Uusitalo, 1999: 83.)

Koeasetelmassa akryylitappien lujuutta mitattiin yksitellen, eikä esim. samoja tappeja eri käsittelyiden jälkeen. Niinpä voidaan todeta, että eri käsittelyn saaneet ryhmät ovat riippumattomia toisistaan. Tilastollisessa tarkastelussa voidaan käyttää keskiarvojen vertailussa kahden riippumattoman otoksen keskiarvojen vertailua Studentin t-testin avulla. Studentin t-testi ilmaisee millä todennäköisyydellä (p) otosryhmien keskiarvojen ero on puhdasta sattumaa. Jos saadaan riittävän pieni luku, voidaan sanoa keskiarvojen eron olevan tilastollisesti *melkein merkitsevä* ($0,01 < p \leq 0,05$), *merkitsevä* ($0,001 < p \leq 0,01$) tai *erittäin merkitsevä* ($p \leq 0,001$). Käytännössä tilastollisesti erittäin merkitsevä tulos tarkoittaa sitä, että todennäköisyys, että tutkittavat perusjoukot olisivatkin keskiarvoltaan samanlaisia on 0,1% luokkaa, eli erittäin epätodennäköistä. (Holopainen ja Pulkkinen, 2002: 157 ja 161-166.)

3.2 Vertailuryhmät ja otokset

Koska tutkimuksen tavoitteena on löytää kestävin sidos everStick -kuidun ja korjausakryylin välille, on testattava eri pintakäsittelyvaihtoehdot. Aiemmin esiteltyjen tutkimusten valossa hyviksi havaitut menetelmät ovat olleet everStick-kuidun pinnalle jätetty happi-inhibiittikerros eli käsittelemätön kuidun pinta ja Stick -resinillä kostutettu kuidun pinta. Stick -resin on kehitetty parantamaan stick -kuitujen kiinnittymistä muiden muovien kanssa edistämällä kemiallisen sidoksen muodostumista (StickResin -sidosaine kuitujen kostuttamiseen 2008). Yleisesti hyvänä pidettyjä korjausmuovien käsittelytapoja ovat myös monomeerilla kostutus, hiekkapuhallus alumiinioksidilla sekä Rocatec-hiekkapuhallus ja silanointi. Luotiin jokaisesta käsittelytavasta oma ryhmänsä. Lisäksi otettiin kontrolliryhmiksi Stick -kuidulla tehty ryhmä sekä pelkästä korjausakryylistä valmistettu kappale ilman sidoksia.

Ryhmät numeroitiin seuraavasti:

Taulukko 1. Pintakäsittelyvaihtoehdot ja -ohjeet

Käsittely	Käytetty kuitulujite	Kuidun pinta ennen käsittelyä	Perustelu pintakäsittelylle
1. Kuidun pinnalle jätetty happi-inhibiittio-kerros	everStickPOST	kosteaa käsittelemätön pinta	voisiko tämä toimia kun kyseessä on valokovetteinen kuitumuovi
2. Pinnan liuotus monomeerineesteellä (tehdään koulun antamien ohjeiden mukaan)	everStickPOST	kuiva hiottu pinta. Pinta tasoitetaan tasaiseksi hiomapaperilla	perinteinen tapa, jota käytetään proteesin korjauksessa
3. Pinnan liuotus valokovetteisella StickResin -neesteellä, resin -neesteen käyttöohjeen mukaan.	everStickPOST	kuiva hiottu pinta. Pinta tasoitetaan tasaiseksi hiomapaperilla	muunnelma perinteisestä tavasta, koska kyseessä on valokovetteinen kuitu
4. Rocatec hiekkapuhallus ja silanointi (Rocatecin ohjeiden mukaan)	everStickPOST	kuiva hiottu pinta. Pinta tasoitetaan tasaiseksi hiomapaperilla	tutkimusten mukaan tehokas tapa
5. Hiekkapuhallus 110 mµ alumiinioksidilla (aika ja etäisyys vakioitiin kaikkien koenappien osalta)	everStickPOST	kuiva hiottu pinta. Pinta tasoitetaan tasaiseksi hiomapaperilla	tyypillinen toimenpide akryyliproteesien korjauksessa.
6. Kontrolliryhmä, Pinnan liuotus monomeerineesteellä (ks. kohta 2)	Stick -kuitulujite	kuiva hiottu pinta. Pinta tasoitetaan tasaiseksi hiomapaperilla	Ks. kohta 2.
7. Kontrolliryhmä, akryylitappi valettu yhtenäisenä	ei kuitua	Ei kuitua, eikä pintakäsittelyitä	Kylmäakryylin oma vahvuus. Tätä kestävyyttä tavoitellaan.

3.3 Hypoteesit

Kun tutkimuksen tavoitteena on löytää vahvin mahdollinen sidos everStick-kuidun ja korjausakryylin kanssa, voidaan hakea tutkimuksen tuloksille oletuksia aiemmista tutkimuksista ja kokemuksista. Aiemmin esiteltyihin tutkimuksiin (mm. Narva ym., 2004) ja materiaalien taustatietoihin tutustuneina voitaisiin olettaa, että tässäkin tutkimuksessa akryylin ja everStick -kuidun välille syntyisi lujin liitos happi-inhibiittikerroksen avulla. Toisaalta sidostettaessa EverStick -kuitua yhdistelmämuovien kanssa on saatu aikaan hyviä tuloksia myös Rocatec –pintakäsittelyllä (Alander, suullinen tiedonanto 11.3.2015). Aikaisempiin tutkimuksiin vedoten voitaisiin myös olettaa, että everStick-kuitulujite sidostuisi niin vahvasti kylmäakryylin kanssa, että murtuessa liitos kestäisi enemmän kuin kumpikaan liitettävistä aineista yksinään. Näin ollen murtumatyypit olisivat kohesiivisiä eli toinen liitettävistä aineista pettäisi ennen liitossaumaa.

Tästä pohdinnasta johdamme seuraavat kolme hypoteesia:

Hypoteesi 1: Testattavien ryhmien 1-5 välillä happi-inhibitio (ryhmä 1) ja Rocatec-käsitelty ryhmä 4 edustavat vahvimpia keskimääräisiä sidoslujuuksia.

Hypoteesi 2: Tyypillisin murtumatyyppi on kohesiivinen murtuma.

4 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksen toteuttamiseen tarvittavat materiaalit ja ohjeet saatiin työntilajalta StickTechiltä. StickTechin yhteyshenkilö Pasi Alander oli laatinut ohjeet heidän vaatimuksesta tutkimukselle, jota kunnioittaen opinnäytetyön suorittajat saivat muokata käytännön koejärjestelyt ja aikataulun kokeelleen. Tässä kappaleessa käymme läpi käytännön näkökulmasta, kronologisesti ja perustellen eri koeosiot ja niiden työvaiheet sekä niissä tarvittavat materiaalit ja laitteet, jotta lukijalle muodostuu kokonaiskuva kokeesta.

4.1 Koemateriaalit ja -laitteet

Tähän osioon on dokumentoitu juuri tässä kokeessa käytetyt materiaalit ja laitteet, mikä mahdollistaa vastaavan kokeen uudelleen suorittamisen ja näin tutkimuksen toistettavuuden.

4.1.1 Materiaalit

Materiaalit käsittivät testialustojen ja testinappien valamiseen tarvittavan akryylin ja joitakin valmiita mallialustoja, everStick-POST -kuitulujitteet ja vertailuryhmän Stick-kuitulujitteet, testiryhmän 3 käsittelyyn vaadittava StickRESIN -neste, sekä kunkin tuotteen mitat ja applikaattorit. Seuraavalla sivulla on kattava lista materiaaleista ja tuotetiedoista. Tässä tutkimuksessa käytetty materiaali everStick-POST -kuitulujite on Alanderin (2014) mukaan kemialliselta koostumukseltaan sama kuin aiemmin esitelty everStickC&B. Se on vain pakattu sopivaksi juurikanavanastan valmistusta varten (Stick Tech, 2008, everStick@POST - Yksilöllisesti muotoiltava nastasta kaikkiin juurikanaviin).



Kuva 8. Everstick POST –kuitu pakkauksessa

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetyt materiaalit

Materiaali	Eränumero	Valmistaja	Valmistuspaikka
Kylmäakryylineste: NATURE-CRYL® POUR self-cured denture base & repair resin, Liquid	LOT 1311271	GC Amerika	USA
Kylmäakryylijauhe: NATURE-CRYL® POUR self-cured denture base & repair resin, Powder	LOT 1312051	GC Amerika	USA
Valokovetteinen kuitulujite: everStickPOST 1,5	LOT 240020140331	Stick Tech Ltd	Turku, Suomi
Stick Fibre reinforcement for prosthodontic restorations	LOT 140116	Stick Tech Ltd	Turku, Suomi
Kuidun pinnan liotus resiini: Stick® RESIN	LOT 1203211	Stick Tech Ltd	Turku, Suomi
Silaani: EspeSil	534459	3M Espe	Neuss, Saksa
Rocatec	512133	3M Espe	Neuss, Saksa
Hiekkapuhallushiekka Alumiiniok- sidi 110µm	1536099	Renfert GmbH	Hilzingen, Saksa

4.1.2 Laitteet

Kokeeseen tarvittavat laitteet ovat kaikki Metropolia Amk:n hammasteknisellä laitoksella käytettävissä olleita lukuun ottamatta kolmipistetaivutukseen tarvittavaa laitetta. Kokeen suorittamiseen tarvittavat laitteet käsittävät painekattilan, valokovettimen, hiekkapuhaltimen, Rocatec-hiekkapuhaltimen, käsiporan sekä rästuskoelaitteen. Alla on lista laitteista joita käytettiin tämän tutkimuksen kokeessa.

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytetyt laitteet

Laitteen nimi ja merkki	Käyttötarkoitus	Eränumero	Valmistaja	Valmistusmaa
Espe Visio® Alfa	Valokovetuslaite, esikove- vetukseen	9009364	3M Espe	Saksa
Espe Visio® Beta vario	Ohjelmoitava valokove- tuslaite	91002300 2458	3M Espe	Saksa
Lloyd LRX Plus	Kolmipistetaivutukset ja voiman mittaus		Lloyd Instru- ments Ltd	England
Espe Rocatec Junior	Rocatec-pinnoitus		3M Espe	Saksa
Renfert Vario Basic	Hiekkapuhallin	B01584	Renfert GmbH	Saksa
Painekattila	Polymax 5	21200246	Dreve	Saksa

4.2 Testialustojen valmistaminen

Testialustat (joihin myöhemmin tässä tekstissä tullaan viittamaan myös sanalla 'napit') valettiin NATURE-CRYL® POUR -kylmäakryyliseoksesta, josta tehtiin hieman ohjetta ohuempaa, jotta samalla suhteella voitiin myöhemmin valaa myös testitapit ohueen kanavaan. Sopivan juokseva koostumus saatiin sekoittamalla 8 g jauhetta ja 7 ml nestettä. Napin mitat olivat suunnilleen 10mm korkeudeltaan ja halkaisijaltaan 25 mm, jotta ne mahtuivat hyvin rasiustestikoneeseen.



Kuva 9. Testialusta. Keskelle hiottu paikka kuidulle.

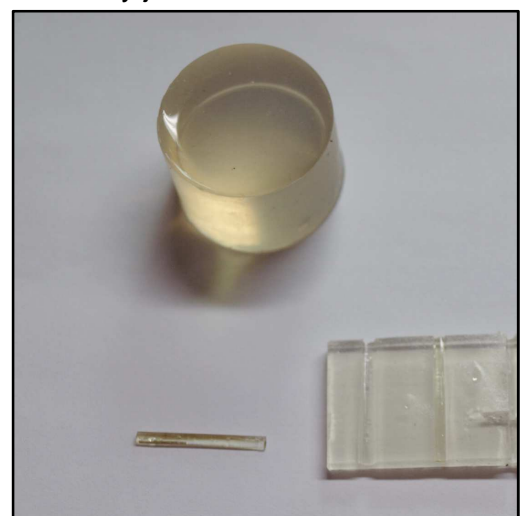
Valmiiden nappien pinta siistittiin ja kuidulle hiottiin 0,5-1,0 mm syvä ja n. 15 mm pitkä ura (kuva 9). Millään muulla lailla käsittelemättömään uraan kiinnitettiin kuidut. Kuidut kiinnitettiin vain yhteen testiryhmään kerrallaan, minkä jälkeen kuidutettujen testinappien (kuva 10) pinta käsiteltiin testiryhmän vaatimalla tavalla. Tästä edettiin välittömästi testintappien valamiseen. Tämä menettely



Kuva 10. Kuidutettu testialusta ennen pintakäsittelyä.

varmisti sen, etteivät odotusajat pitkity ja epäsäännöllisty ja ettei vaiheiden välissä pääse syntymään lisäreaktioita aineiden välille esimerkiksi likaantumisen takia.

Pääsääntöisesti kuidut kiinnitettiin silikoninstrumentilla (Kuva 11) ja valokovetettiin käsikovettimella (EspeVisio® Alfa) 30 sekunnin ajan, minkä jälkeen ne kovetettiin vielä EspeVisio® Beta vario – valokovettimen loppukovetusohjelmalla 15 minuuttia. Ainoastaan ryhmä 1 kiinnitettiin metalli-instrumentilla, sillä silikonilla käsittely olisi sabotoinut halutun happi-inhibiokerroksen muo-



Kuva 11. EverStick Post -kuitu ja kiinnittämiseen käytetty silikoninstrumentti

dostumista. Kuitujen käsittelyssä ensisijaista on puhtaus, sillä valmiiksi käsitelty everStickPOST -kuidut ovat tahmeita ja niihin tarttuu helposti likaa mikä voi estää kuidun kiinnittymien akryyliin ja vähintään heikentää sidosta. Ryhmän 6 Stick-kuidut kiinnitettiin StickTechin laatimia ohjeita noudattaen.

Ensimmäisen päivän (16.4.2014) aikana valmistettiin testikappaleet Ryhmistä 1, 3, 4, 5 ja puolet ryhmästä 2. Toisena päivänä (17.4.2014) tehtiin toinen puoli ryhmästä 2 ja jäljelle jääneet ryhmät 6 ja 7. Ryhmien valmistusjärjestys oli satunnainen. Kuitenkin joitakin ratkaisuja ohjasi silkkä käytännöllisyys. Esimerkiksi ryhmä 7 oli luonnollista tehdä vasta muiden ryhmien jälkeen, sillä sen valmistus oli yksivaiheinen akryylivalu jonka valamiseen vaadittiin muotti jo tapitetusta näytealustasta.

4.3 Näytekappaleiden pintakäsittely

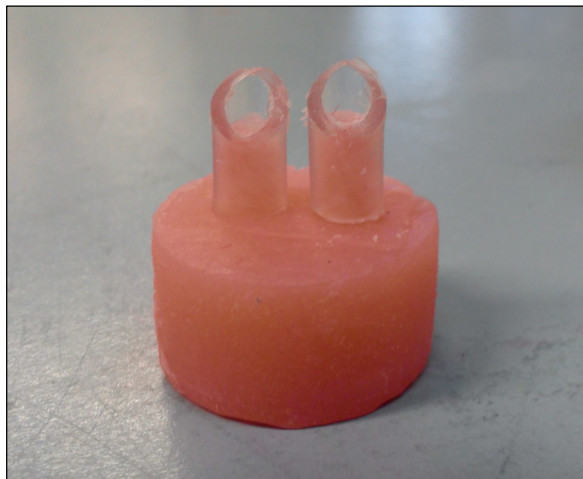
Testikappaleen pintakäsittely suoritettiin kussakin ryhmässä heti kuidun kiinnityksen jälkeen. Näin ollen kuidun odotusaika ennen pintakäsittelyä oli jokaisessa ryhmässä minimoitu.

Taulukko 4. Kuidun kiinnittäminen ja testitappien valmistus

Ryhmän nimi	Aika kuidun kovettamisesta sen käsittelyyn	Aika pinnan käsittelystä (hionta) tappimuotin liimaamiseen	Mahdollinen käsittely ja siihen käytetty aika	Valmiin näytteen odotusaika ennen testaamista
Ryhmä 1 happi-inhibiittio-kerros	0, ei käsittelyä	ei käsittelyä, tapin valu heti kovettamisen jälkeen	0 minuuttia	13 päivää
Ryhmä 2 monomeerineesteellä liotus	0-1min, heti kovettamisen jälkeen	heti, nesteellä liotuksen jälkeen	2 kerrosta monomeeria siveltimellä odotus 5 minuuttia	7kpl:lla 13 päivää, ja 7kpl:lla 12 päivää
Ryhmä 3 Pinnan liotus Stick-Resinillä	0-1min, heti kovettamisen jälkeen	heti valokovettamisen jälkeen	Resinin sively, 5min pimeässä ja 30sek valokovetus	13 päivää
Ryhmä 4 Rocatec hiekka-puhallus ja silanointi	0-1min, heti kovettamisen jälkeen	heti silanoinnin jälkeen	puhallus 1mm etäisyydeltä ja silanointi heti perään	13 päivää
Ryhmä 5 Heikkapuhallus alumiinioksidilla	0-1min, heti kovettamisen jälkeen	heti hiekkapuhalluksen jälkeen	5 sek. pitkä puhallus alumiinioksidilla	13 päivää
Ryhmä 6 (vertailu) Stick-kuitu, Pinnan liotus monomeerineesteellä	heti kovettamisen jälkeen	heti hionnan jälkeen	kuidun liotus akryyliseoksessa n. 3 min, kovetus 25min	12 päivää
(Kontrolli) Ryhmä 7 Yhteinäinen akryyli	ei käsittelyä	valettiin yhdellä kertaa	ei käsittelyä	22 päivää

4.4 Näytetappien valmistus

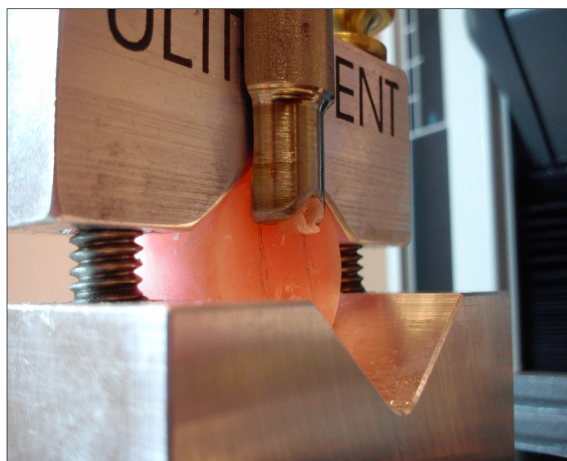
Käytännössä kaikki tapit valmistettiin samalla tavalla (kuva 12) alustanappiin kiinnitetyn käsittelyn tai käsittelemättömän (ryhmä 1) everStick-kuidun tai Stick-kuidun (ryhmä 6) päälle valukanavaa pitkin akryylista valamalla. Valukanavana ja samalla tapin muottina käytettiin rautakau-pasta ostettua ohutta muovilettoa, minkä sisähalkaisija oli 3,6mm. Letku kiinnitettiin pikaliimalla tarkasti kuidun päälle niin että koko tapin kontaktipinta-ala näytealustaan osui kuidulle. Jokaiselle napille valettiin kaksi tappia vierekkäin, jotka pystyttiin testaamaan erikseen.



Kuva 12. Näytealusta ja muoviletkumuotilla valetut tapit.

4.5 Sidoslujuustestien tekeminen

Sidoslujuustestit suoritettiin Stick Tech Oy:n tiloissa Turussa tiistaina 29.4.2014, eli vajaan kahden viikon kuluttua testiryhmien valmistamisesta. Testit suoritettiin kolmipistetaivutukseen tarkoitetulla Lloyd LRX Plus Instruments -laitteella, Alanderin opastuksella ja hänen kääntämänsä käyttöohjeen mukaisesti (ks. Liite 4). Pääperiaatteellisesti, testattava kappale sijoitettiin laitteeseen silmävaraisesti oikeaan kohtaan (kuva 13). Varmistettiin, että kappale pysyy paikallaan tukevasti ja tarkistettiin säädöt ja nollattiin mittari rasiuskoetta varten. Sen jälkeen suoritettiin rasiuskoe ja kirjattiin tulokset taulukkoon. Lukujen ylöskirjausten lisäksi tarkasteltiin murtumaa jälkeä ja kirjattiin ylös siinä havaitut ilmiöt.



Kuva 13. Testikappale rasiuskoelaitteessa.

5 Tulokset

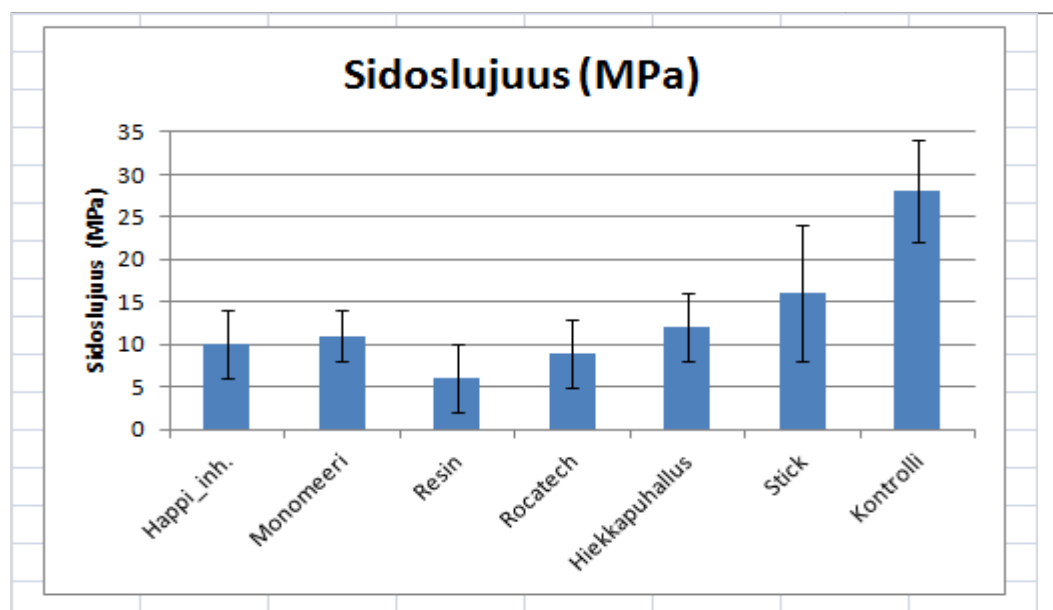
Tässä kappaleessa tarkastellaan sidoslujuustestien tuloksia. Päämielenkiintomme on kolmessa eri aspektissa: 1) sidoslujuuden keskiarvot, 2) tulosten keskihajonta ja 3) murtumatyypit. Lisäksi määritellään tilastolliset arvot tulosten merkittävydestä t-testien avulla.

Sidoslujuuden keskiarvojen (1) tarkastelu antaa meille vertailtavan arvon sidoksien kestävydestä. Keskimääräisen tuloksen avulla pystytään myös määrittämään tulosten merkittävyys tilastollisesti. Keskihajonta (2) kertoo meille, kuinka paljon ryhmän sisällä on vaihtelua ja määrittää sen onko keskiarvo koko ryhmää kuvaava vai ovatko tulokset satunnaisen vaihtelevia. Sen avulla voidaan pohtia myös sitä, mitkä tekijät mahdollisesti vaikuttivat tuloksiin riippuen siitä, miten paljon vaihtelua tulosten välillä on. Murtumatyyppien (3) tarkastelu antaa meille todellista tietoa sidoksen laadusta ja verrattavuutta siihen, onko se vahvempi kuin esimerkiksi kuitulujitteen sisäinen rakenne.

5.1 Sidoslujuusmittaustulosten keskiarvot

Sidoslujuusmittaukset taulukoitiin ryhmittäin ja määritettiin niistä keskiarvot. Alla olevasta tolppadiagrammista voidaan todeta, että keskimäärin korkeimmat arvot oli kontrolliryhmillä, akryylistä tehdyllä kontrolliryhmällä 7 (28MPa) ja Stick-ryhmällä 6 (16MPa).

Taulukko 5. Sidontalujuuden keskiarvot testiryhmittäin.



Kun vertaillaan everStick-kuituvahvikkeen sisältämiä testiryhmiä (1-5) vahvin keskimääräinen sidos (12 MPa) syntyi ryhmässä 5, jossa kuidun pinta hiekkapuhallettiin alumiinioksidilla ennen akryylitapin lisäämistä. Toiseksi vahvin keskimääräinen everStick-POST -kuidun sidoslujuus (10MPa) on ryhmässä 2, jossa kuidun pintaa liotettiin monomeerineesteellä. Kolmanneksi korkein (11MPa) keskimääräinen sidos syntyi happi-inhibiittikerroksen avulla, ryhmässä 1, kun kuidun pintaa ei käsitelty lainkaan. Heikoin keskimääräinen sidoslujuus everStickPOST -kuidun kiinnityksessä syntyi Resin-käsittelyn avulla ryhmässä 3.

Vertailemalla everStickPOST –ryhmiä keskenään huomataan, että erot ryhmien välillä eivät ole kovin suuria keskimääräisessä sidoslujudessa. Ääripäiden tuloksissa on kuitenkin huomattava ero, heikoimman tuloksen saanut Resiini -ryhmän (ryhmä 3) keskiarvo on vain 50% Monomeeriryhmästä (ryhmä 5). Kolme keskimääräiseltä sidoslujudeltaan vahvinta sidosta everStickPOST –kuituryhmissä ovat hiekkapuhallus (ryhmä 5), monomeerikäsittely (ryhmä 2) ja happi-inhibiittio (ryhmä 1). Näiden kaikkien keskimääräinen sidoslujuus on vähintään 10 MPa. Näin ollen voidaan todeta, että paljon käytetyt pinnan käsittelytavat ovat toimivimpia tässäkin tapauksessa ja myös ennalta oletettu happi-inhibiittikerros on ollut myös lujittamassa sidosta.

5.2 Tulosten keskihajonta

Tulokset osoittavat, että keskihajonta on selvästi pienintä (22%) kontrolliryhmässä 7. Suurin (67%) keskihajonta on Resiini –ryhmällä nro 3. Kohtalaisen suuri hajonta on myös Stick-ryhmällä, jossa vaihtelu oli 50%.

Taulukko 6. Tulosten keskihajonta

Sidoslujuus							
	Happi inhib.	Monomeeri	Resiini	Rocatec	Hiekkapuhallus	Stick	kontrolli
	Ryhmä 1	Ryhmä 2	Ryhmä 3	Ryhmä 4	Ryhmä 5	Ryhmä 6	Ryhmä 7
Keskiarvo	10	11	6	9	12	16	28
Keskihajonta MPa	4	3	4	4	4	8	6
Keskihajonta %	40	27	67	44	33	50	21

Kun verrataan taas everStick-testiryhmiä (1-5) keskenään, löydetään pienin keskihajonta (27%) Monomeeri-ryhmästä nro 2. Suurin keskihajonta kaikkien testiryhmien välillä oli Resiini-ryhmällä nro 3. Seuraavaksi suurimmat keskihajonnat olivat Rocatec (44%) ja Happi-inhibiittio ryhmissä (40%). tuloksissa. Hiekkapuhallus -ryhmä (33%) sekä Monomeeri -ryhmä ovat keskihajonnaltaan pienimmät (27%). Ryhmien välillä hajonta vaihtelee 10-46% eli kohtalaisen paljon.

5.3 Murtumatyyppi

Tutkimuksen kannalta myös murtumatyyppi on kiinnostava; Jos murtuma tapahtuu akryylissä eikä liimasaumassa, tarkoittaa se sitä että materiaalien sauma oli vahvempi kuin akryylin sisäinen rakenne. Samoin, jos murtuma tapahtuu kuidun sisällä, tarkoittaa se sitä, että akryylin ja kuidun liitos oli vahvempi kuin kuituvahvikkeen sisäinen rakennelujuus. Tämän takia murtumatyyppin kirjattiin kunkin testikappaleen kohdalta jakaen ne kolmeen eri kategoriaan:

1. Kohesiivinen (murtuma akryylissä)
2. Kohesiivinen (murtuma kuitukimpussa) ja
3. Adhesiivinen (murtuma kuidun ja akryylin rajapinnassa).

Mikäli sauma kuidun ja akryylin välillä pysyy ehjänä, jaotellaan se 'kohesiiviseksi' murtumatyypiksi. Sana koheesio viittaa aineen sisäiseen rakenteeseen (Aitto-oja ja Laine, verkkodokumentti: 2014). Kategorioissa 1 ja 2 joko akryylin tai kuidun sisäinen rakenne on rikkoutunut rasituksen seurauksesta (kuva 14). Sana adheesio taas viittaa kahden eri aineen kiinnitykseen (Aitto-oja ja Laine, verkkodokumentti: 2014). Niinpä kolmas kategoria pitää sisällään kappaleet, joissa akryylin ja kuidun välinen liitos rikkoutuu sauman kohdalta,



Kuva 14. Kohesiivisesti katkennut tappi. Kuvaus: Pasi Alander

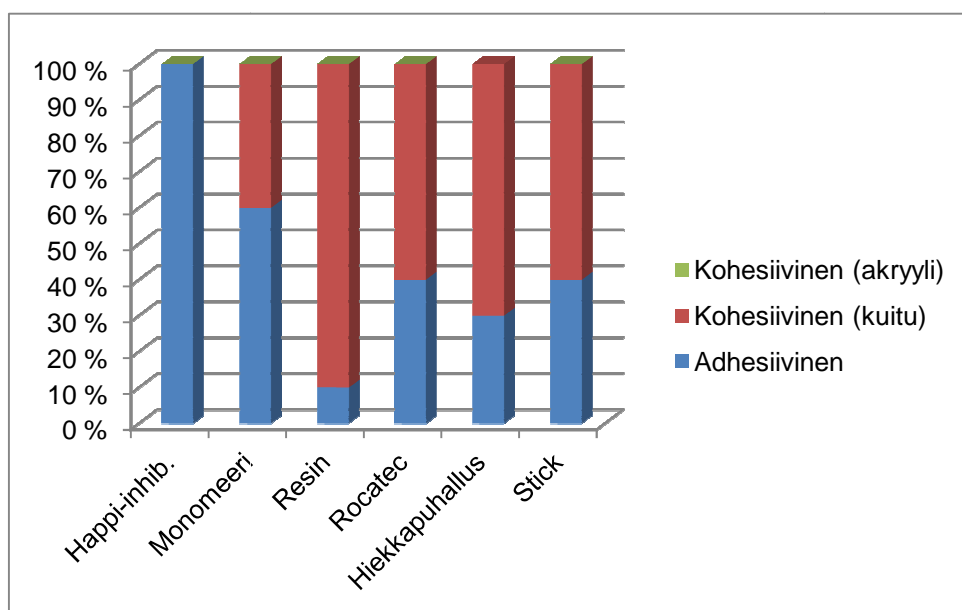
jolloin tappi irtoaa alustasta yhtenäisenä, ja alusta jää yhtenäiseksi kuituineen.

Taulukosta 7 ja 8 voidaan nähdä, että kaikki ryhmän 1 tapit murtoivat adhesiivisesti. Tämä tarkoittaa, että kuidun ja tapin liitos petti ensimmäisenä. Muiden ryhmien tulokset sisälsivät sekä adhesiivisia että kuidun kohesiivisiä murtumatyyppejä. Esimerkiksi ryhmässä 3-6 yli puolet tapeista katkesivat kohesiivisesti ottaen palan kuitua mukaansa, mutta monomeeri -ryhmässä (2) testikappaleista 60% irtosi adhesiivisesti kuidun ja tapin sidoskohdasta. Vähiten adhesiivisia murtumia (10%) kuidutettujen testiryhmien kesken oli Resin -ryhmällä (4). Ryhmää 7 ei ole sisällytetty taulukoihin, sillä niiden kohdalla ainoa mahdollinen murtumatyyppi oli akryylin kohesiivinen murtuma 100 %.

Taulukko 7. Murtumatyypit kappalemääräisesti

Murtumatyytit	Happi-inhibitio	Mono-meeri	Resin	Rocatec	Hiekka-puhallus	Stick	Täys-akryyli
	Ryhmä 1	Ryhmä 2	Ryhmä 3	Ryhmä 4	Ryhmä 5	Ryhmä 6	Ryhmä 7
Adhesiivinen	10	6	1	4	3	4	0
Kohesiivinen (kuitu)	0	4	9	6	7	6	0
Kohesiivinen (akryyli)	0	0	0	0	0	0	10

Taulukko 8. Murtumatyypit prosentteina



5.4 Studentin T-testit

Studentin T-testi kertovat sidontalujuuksien keskiarvojen tilastollisesta merkittävydestä. T-testien mukaan tyhmiä keskinäinen ero on tilastollisesti *melkein merkitsevä* ($0,01 < p \leq 0,05$), *merkitsevä* ($0,001 < p \leq 0,01$) tai *erittäin merkitsevä* ($p \leq 0,001$). Merkitimme tulokset taulukkoon niin, että erotimme tilastollisesti merkittävimmät luvut eivärehillä seuraavasti:

Luku vihreällä = melkein merkitsevä

Luku keltaisella = merkitsevä

Luku punaisella = erittäin merkitsevä

Taulukko 9. T-testi tulokset

	Ryhmä 1 happi-inh.	Ryhmä 2 mono- meeri	Ryhmä 3 Resiini	Ryhmä 4 Rocatec	Ryhmä 5 Hiekka- puhallus	Ryhmä 6 Stick - kuitu	Ryhmä 7 kontrolli
Ryhmä 1 Happi-inh.		0,54	0,053	0,46	0,37	0,06	6,18E- 07
Ryhmä 2 Monomeeri			0,007	0,14	0,69	0,09	2,50E- 07
Ryhmä 3 Resin				0,17	0,007	0,003	1,16E- 08
Ryhmä 4 Rocatec					0,099	0,018	5,75E- 08
Ryhmä 5 Hiekkapu- hallus						0,166	1,34E- 06
Ryhmä 6 Stick							0,0011

T-testien tuloksista voidaan todeta että tulokset ovat melkein merkitseviä Rocatec ja Stick ryhmän kohdalla. Hyvin lähellä melkein merkitsevän kanssa on myös tulokset happi-inhibiittiryhmän ja resiiniryhmän välisissä vertailuissa. Tilastollisesti merkitseviä lukuja puolestaan saatiin verrattessa resin -ryhmä niin monomeeri, hiekkapuhallus kuin Stick- ryhmän kanssa. Stick – ja kontrolliryhmän välisessä vertailussa luvut ovat myös merkitseviä. Erittäin merkitseviä tulokset olivat kaikilla ryhmillä verrattuna niitä kontrolliryhmän kanssa.

6 Johtopäätökset

Tutkimuksessa oli kolme erilaista tarkastelunäkökulmaa sidoslujuteen: Sidoslujuus keskimäärin, tulosten keskihajonta ja murtumatyypit sekä lisäksi tilastolliset arvot tulosten merkittävyydestä. Tutkimalla tuloksia näistä näkökulmista pyrimme lopuksi vastaamaan alussa esittämiimme hypoteeseihin:

Hypoteesi 1: Testiryhmien välillä happi-inhibiittio -ryhmä ja Resiini-ryhmä edustavat vahvimpia sidostyyppisiä.

Hypoteesi 2: Tyypillisin murtumatyyppi on kohetiivinen murtuma

6.1 Sidoslujuuksien tulosten tulkintaa

Tavoitteenamme oli etsiä vahvin sidos everStick-kuidun ja akryylin välille, joten keskittyään ensin vertailemaan ryhmien 1-5 tuloksia toisiinsa eri näkökulmista. Seuraavaan taulukkoon (10) on listattu keskiarvot sidontalujuuksien vahvuudesta suuruusjärjestyksessä ensimmäiseen sarakkeeseen. Muihin sarakkeisiin on listattu muut vertailtavat arvot, joiden tulosten kannalta positiiviset ääriarvot on korostettuna vihreällä värillä.

Taulukko 10. Sidontalujuuksien keskiarvot suuruusjärjestyksessä verrattuna muihin lukuihin.

	Keskiarvo suuruus järjestyksessä	Keski- hajonta %	Adheesiivi- sia murtumia	Ryhmän numero	Ryhmän kuvaus
1.	28	21	0 %	7	Täysakryyli
2.	17	50	40 %	6	Vertailu-kuitu
3.	12	33	30 %	5	Hiekkapuhallus
4.	11	27	60 %	2	Monomeeri
5.	10	40	100 %	1	Happi-inhibiittio
6.	9	44	40 %	4	Rocatec
7.	6	67	10 %	3	Resiini
	13,3	40,3	40 %	Kaikkien ryhmien keskiarvo	
	9,6	42,2	56 %	ever-Stick ryhmien keskiarvo	

Ensimmäisen hypoteesimme kannalta mielenkiintoisia ovat everStick -kuidutettujen ryhmien (1-5) tulokset. Hypoteesimme mukaan ryhmien 1 (happi-inhibitio) ja 4 (rocatec) tuloksista löytäisimme lupaavia tuloksia everStickin ja akryylin sidoksesta, mutta tulokset eivät näytä tukevan hypoteesiamme.

Keskiarvojen mukaan hiekkapuhallus (ryhmä 5) muodostaa everStickin ja akryylin välistä sidoksista lujimman. Seuraavaksi vahvin on monomeerilla käsitelty ryhmä 2. Samasta näkökulmasta tarkasteltuna heikoin ryhmä 3 (resin) tarvitsi voimaa rikkoutumiseen puolet vähemmän kuin vahvin ryhmä 5. Ryhmät jotka nousevat esiin matalan keskihajontansa puolesta ovat hiekkapuhallusryhmä (5) ja monomeeri-ryhmä (2). Nämä kaksi ryhmää näyttävät siis olevan lupaavia kahden ensimmäisen kriteerimme puolesta.

Tulokset osoittavat myös sen, että millään everStick -kuidun pintakäsittelytavalla ei saada yhtä vahvaa sidoslujuutta keskimäärin kuin vertailuryhmänä toimineen Stick -kuidun liitos akryylin kanssa näyttäisi olevan. Keskihajonnan suuruus ryhmässä 6 antaa kuitenkin syytä epäillä akryylin vahvistuskeinon luotettavuutta; kaikki tulokset eivät ole johdonmukaisesti yhtä hyviä ryhmän sisällä. Myös toisena kontrolliryhmänä ollut yhtenäisen akryylikappaleen taivutuslujuudet ovat vahvempia kuin mikään tutkittavista ryhmistä 1-5.

Studentin T-testien mukaan tilastollisesti merkittäviä tuloksia saatiin vain heikoimman (resin, ryhmä 3) ja vahvimman (hiekkapuhallus, ryhmä 5) ryhmän tuloksien välillä. Lisäksi kaikki testiryhmien tulokset olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä verrattuna kontrolliryhmän, (akryyli,ryhmä 7) kanssa ja merkitseviä tuloksia saatiin myös vertailuryhmän kanssa. Näiden tulosten perusteella voisi todeta, että tällä testimenetelmällä, tällä otosmäärällä ja suurehkolla tulosten hajonnalla eivät tulokset ole kovinkaan luotettavia tilastollisesti.

6.2 Murtumatyyppien antama informaatio

Totesimme alussa, että kuitulujitteella on tarkoitus lujittaa ainetta, jolloin liitos kuitulujitteen ja akryylin välillä tulisi olla vahvempi kuin kumpikaan liitettävistä aineista. Näin ollen oletuksena oli, että liitokset murtuisivat kohesiivisesti, jolloin joko kuitulujite tai akryyli murtuisi ennen liitossaamaa. Siksi oletimme että kohesiiviset murtumatyyppit olisivat kokeessamme yleisempiä kuin adhesiiviset (hypoteesi 2). Murtumatyyppin ana-

lysoiminen on kuitenkin moniulotteisempaa ja se antaa usein lisäinformaatiota sidoksesta kun otamme huomioon testien muut tulokset.

Kolmas tutkimuskohteemme eli murtumatyyppi ei siis voi toimia ainoana kriteerinä tuloksia analysoitaessa. Kohesiivinen murtuma ei ole itsessään parempi kuin adhesiivinen murtuma, vaikka se viittaakin siihen, että sidossauma on ollut lujempi kuin yhdistettyjen materiaalien oma sidoslujuus. Adhesiivinen murtuma suurella taivutusvoimalla on toivottavampi kuin kohesiivinen murtuma pienellä rasitusvoimalla. Jälkimmäisessä tapauksessa voi olla mahdollista, että esim. pintakäsittelytapa on heikentänyt kuidun sisäistä rakennetta. Murtumatyyppi voi antaa lisäinformaatiota, mutta pelkästään sen perusteella ei voi valita parasta käsittelytapaa kuidulle.

Esimerkiksi ryhmässä 3 (resin) kuidun ja akryylin sidoksessa tapahtui adhesiivisia murtumia vain kymmenessä prosentissa testikappaleita. Ryhmän sidoslajuuden keskiarvo on kuitenkin alhainen mikä tarkoittaa, edelliseen kappaleeseen viitaten oletettavasti sitä, että kuidun käsittelytapa on vaikuttanut sidoksen kestävyteen heikentävästi. Lisäksi, koska kohesiivinen rakenne antoi periksi jo hyvin pienillä voimilla, emme tiedä kuinka korkeita voimia itse liitos olisi voinut kestää. Tämä tulosten tarkastelunäkökulma ei siis anna vastausta varsinaisen sidoksen lujuuteen.

Lisäinformaatiota murtumatyyppi antaa myös ryhmästä 1: sidoslajuuskeskiarvoltaan melko keskimääräinen ryhmä 1 (happi-inhibiitio) murtui sataprosenttisesti adhesiivisesti, mikä kyseenalaistaa ryhmän tulosten lupaavuutta yleensä.

Sen minkä everStick-kuituryhmien murtumatyypeistä voimme kuitenkin vahvistaa on hiekkapuhallusryhmän (5) verrattain vahva sidossauma; Ryhmän sisäinen keskiarvo oli ryhmien 1-5 sisällä vahvin, ja ryhmän prosentuaalinen adheesiomurtuma on 30, mikä on verrattain pieni. Se merkitsee sitä, että 70% murtumista ryhmän 5 testikappaleista tapahtui kuidun sisäisessä rakenteessa. Tämä ei nostata epäilyä kuidun rakenteen heikkoudesta, sillä murtuman aiheuttaneet voimat ovat olleet verrattain suuria. Sen sijaan informaatio vahvistaa tuntumaa siitä, että kuidun ja akryylin välinen sidos on hyvä, koska sen murtamiseen tarvitaan enemmän voimia kuin muiden everStick-kuituryhmien ja siltikin kuidunsisäinen rakenne on antanut periksi ennen liimasidosta.

Monomeeri -ryhmää tarkasteltaessa voi huomata, että eri arviointikriteerit huomioon ottaen vaikuttaa siltä, että sillä on melko tasalaatuiset tulokset. Liitokset olivat keskimääräisessä mittauksessa toiseksi vahvimpia, vain 2MPa heikompia verrattuna hiekkapuhallettujen (keskimääräisesti vahvimmin sidostuneiden) kappaleiden sidoslujuuteen. Ryhmällä on myös pienin keskihajonta (3). Hajontaa kuvaavasta diagrammista voidaan lisäksi todeta, että joukossa on myös lähes yhtä vahvoja sidoksia kuin hiekkapuhallus -ryhmässä. Kuitenkin monomeeri -ryhmän murtumatyypit painottuvat adhesiivisiin 60 % tuloksella, mikä tarkoittaa, että liitos petti ennen liitettyjen materiaalien koheesiota.

6.3 Hypoteesien toteutuminen

Hypoteesi 1: Ryhmien 1-5 välillä happi-inhibitio (ryhmä 1) ja Rocatec-käsitelty ryhmä 4 edustavat vahvimpia keskimääräisiä sidoslujuuksia.

- Ei toteudu.

Sen sijaan ryhmät 2 (monomeeri) ja 5 (hiekkapuhallus) vaikuttavat kaikki arviointikeinot huomioon ottaen varteenotettavimmilta everStickin ja korjauskryylin sidostuskeinojen kannalta.

Hypoteesi 2: Tyypillisin murtumatyyppi on kohesiivinen murtuma

- Ei toteudu. Niukasti alle puolet, 44 %, everStick-testikappaleista irtosi kohesiivisesti.

7 Pohdinta

Tässä kappaleessa arvioidaan kokeen tulosten merkityksellisyyttä ja yleistettävyyttä. Lisäksi analysoimme tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä ja virhemahdollisuuksia. Ohessa arvioimme lisätutkimustarpeita aiheelle.

7.1 Tulosten merkitys

Merkityksellistä on se, että näyttää siltä, ettei mikään everStick-kuidun ja korjausakryylin välinen sidos ole niin vahva kuin Stick-kuidun ja korjausakryylin.

Mikäli asiaa halutaan vielä jatkossa tutkia, voisi tutkimukset keskittää hiekkapuhallus- ja monomeeri-käsittelyyn, jotka saivat aikaan parhaan keskimääräisen sidoslujuuden. Myös Resin-käsittelyä on syytä tutkia edelleen, sillä akryylin ja kuitulujitteen sidos pysyi ehjänä valtaosassa testikappaleita joten luotettavaa sidoslujuuden keskiarvoa emme saaneet laskettua ryhmästä.

Kuten seuraavassa kappaleessa tulemme huomioimaan, on koe melko suppea antaaakseen vakuuttavaa näyttöä, ja siksi lisätutkimusta aiheesta kaivataan ennen kuin kattavaa luotettavaa lausuntoa voi antaa.

7.2 Tutkimuksen rajoitteet ja luotettavuus

Tuloksissa oli huomattavissa suuri keskihajonta. Opinnäytetyön ohjaajan Pasi Alanderin mukaan (suullinen tiedonanto 11.3.2015) näille sidoslujuustesteille on tyypillistä, että testisarjat eivät ole tasalaatuisia, koska testikappaleita valmistettaessa on paljon muuttuvia tekijöitä. Meidän testisarjassamme valmistuksen aikana ongelmia aiheutti everStickPOST kuidun valokovetus testinapin pintaan ja tappien irtoaminen kuidunpinnalta muottina toiminutta muoviputkea irrotettaessa. Suuren hajonnan syynä voi siis osaksi olla virheelliset kappaleet testijoukossa. Seuraavissa kappaleissa pohdimme tarkemmin, mitkä seikat ovat mahdollisesti vaikuttaneet testikappaleiden laatuun.

7.2.1 Valokovetus

Kuitujen käsin kiinnittäminen ja kovettaminen hammasteknikon apuvälineillä osoittautuivat vaikeaksi. Huomattiin, että valokovettajan tehokkuudella on suuri merkitys everStick -kuidun kiinnittymiseen akryylin pinnalle. EverStick-kuidun valokovettaminen käytettävissä olevilla laitteilla ei onnistunut tarpeeksi tehokkaasti. Käyttämämme käsi-kovetin oli teholtaan niin heikko, että kuidun kiinnittäminen alustaan vaati vielä loppukovetuksen toisessa kovettimessa. Syynä voi myös olla, ettei kovettimen huollosta oltu huolehdittu, jolloin esimerkiksi lamppu ei ollut enää riittävän tehokas kovettamaan everStick -kuitua. Mikäli hammasteknikolla on huonot valokovettimet, ei everStickin käyttö ole niin helppoa ja nopeaa, että teknikko saisi suurta etua vaihtaessaan monivaiheisemman Stick -kuidun käytön everStickiin.

Käyttämällä kahta valokovetinta saimme kuitenkin everStick –kuidut kiinnitettyä testialustoihin, eikä everStick- kuitu irronnut missään tapauksessa kokonaan testialusta. Ei voida myöskään olla täysin varmoja, onko valokovettimen tehokkuus voinut myös osaltaan vaikuttaa kuidun rakenteeseen niin, että se olisi syynä suureen määrään kohesiivaa murtumia. Edelleen, emme ole varmoja siitä, ettei loppukovetus vakuuimissa olisi voinut sabotoida happi-inhibitiokerroksen muodostumista ryhmässä 1 vaikuttaen sen tuloksiin.

7.2.2 Virhemahdollisuudet sidoslujustestejä suoritettaessa

Koetta suoritettaessa huomattiin kuinka kriittistä kuitujen säilytys ennen käyttöä on. Testimateriaalien kuidut joita käytettiin varsinaista koetta edeltävissä valmistavissa kokeissa, eivät tarttuneet alustoihin. Kyseessä saattoi olla se, että niiden parasta ennen –päivämäärä odotti vain kuukauden päässä tapahtumasta, tai se, että ne oli mahdollisesti säilytetty väärin; esimerkiksi liian lämpimässä tai valolle alttiina. Varsinaisessa kokeessa käytettiin kuitenkin käyttökelpoisia kuituja.

Toinen virhemahdollisuuden paikka on testitapin juuren pinta-alassa. Kaikki testattavat tapit tarkastettiin silmävaraisesti sen varalta, ettei akryyli ollut tapin valun yhteydessä levinnyt juuresta kasvattaen pinta-alaa. Jos haluttaisiin olla äärimmäisen tarkkoja pinta-alan suuruudesta, tulisi testitapit tutkia mikroskoopin avulla pientenkin akryylin leviämien varalta. Tuloksiin voi vaikuttaa myös tapin juureen juuttunut pikaliima, jolla liimattiin valumuottina toiminut muoviputki kuidun pintaan kiinni. Tässä kokeessa mikro-

skooppia ei käytetty, mutta mikäli halutaan virhemarginaali minimoida, olisi se suositeltavaa. Mikroskoopilla olisi ollut myös hyvä tarkastella katkenneet tapit, jotta olisi nähty, onko tapin juureen jäänyt huokosia. Ne ovat voineet myös heikentää tapin sidostumista everStick –kuidun pintaan.

7.2.3 Tutkimuksen luotettavuus

Voimme todeta, että tämän tutkimuksen keskihajonnan suuruuteen syynä voi olla, että testattavaa joukkoa ei tarkastettu riittävän tarkasti. Tulostaulukoita tarkkailemalla voidaan todeta, että joukossa oli selvästi heikompia ja vahvempia testikappaleita. Nämä lisäsivät tulosten keskihajontaa merkittävästi. Testauksia tehdessä tuloksia olisi pitänyt tarkkailla kriittisemmin ja poistaa joukosta selvästi heikot ja tutkia heti, mikä mahdollisesti on ollut syynä tuloksen heikkouteen. Samoin selvästi vahvimpien testikappaleiden kohdalla olisi ollut syytä tarkkailla, onko siinä jotain poikkeavuuksia muihin kappaleisiin verrattuna. Emme lähteneet poistamaan poikkeavia tuloksia enää jälkikäteen, koska emme olisi voineet enää tarkastella poikkeamiin johtaneita syitä.

Suurella keskihajonnalla oli luultavasti myös merkitystä T-testien tuloksiin, koska tilastollisesti merkittäviä tuloksia saatiin vain verrattaessa tuloksellisesti ääripäitä. Ainoastaan merkittävän suuri ero ryhmien keskiarvon välillä riitti tilastollisesti merkittävään tulokseen. Tutkimuksia on jatkettava, jotta saadaan johdonmukaisemmat tulokset ja päätelmät. Tulevissa tutkimuksissa suosittelemme käyttämään suurempaa otantaa, jotta saadaan luotettavampia tuloksia keskiarvojen ja –hajonnan osalta.

7.3 Kiitokset

Opinnäytetyön tekijät haluavat kiittää StickTech - yritystä opinnäytetyön tilauksesta ja runsaasta avusta kokeen suorittamisen aikana.

Lähteet

- Aitto-oja, Sanna ja Laine, Leena. Opetusmateriaali. Liimat - tartu kiinni.
<<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/toiminta.htm>>. (luettu 10.8.2014)
- Alander, Pasi 2010. Yhden hampaan lisääminen ja vahvistamien everStickC&B-kuidulla. Hammasteknikko 3/10. 4-10.
- Alander, Pasi 2014. Tutkimussuunnitelma/ suullinen tiedonanto. Huhtikuu 2014
- Alander, Pasi 2015. Suullinen tiedonanto. Puhelinkeskustelu. 13.2.2015
- Holopainen, Martti ja Pulkkinen, Pekka 2002. Tilastolliset menetelmät. Dark Oy Vantaa.
- Kekki, Olga ja Lo, Mia 2007. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Lastumäki, Tapani 2002. CAD/CAM-kuitukomposiitin kehittäminen hammasteknologian sovellutuksiin. Projektityö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia.
- Lastumäki, Tapani ja Vallittu, Pekka 1999. Muovit hammasprotetiikassa. Hammasteknikko 3/99. 4-10
- Matinlinna, Jukka 2007. Silaanit, zirkoniat ja adheesio hammastekniikassa. Hammasteknikko 4/07. 14-17
- Narva, Katja K., Lassila, Lippo V.J. ja Vallittu, Pekka K. 2004. Flexural fatigue of denture base polymer with fiber-reinforced composite reinforcement. Teoksessa Narva, Katja 2004. Fibre-reinforced Denture Base Polymer. Clinical Performance and Mechanical Properties. Väitöskirja. Sarja – Ser. D osa – Tom. 630. Medica –Odontologia. Turun yliopisto. Turku. Saatavilla myös sähköisesti: Composites: Part A 36 (2005) 1275–1281. <<http://www.sciencedirect.com>> (Luettu 18.8.2014)
- Stick Tech Oy 2010. Käyttöohje. Stick ja StickNet –kuitulujitteet. Stick Tech. 3007 updated 2010-03

Stick Tech Oy 2011. Esite. EverStick and Stick fibre reinforcements for dental laboratory. Stick Tech. ES 5:1018 edition 2011-04.

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. EverStick tuotteet.
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=11953>>. Luettu 19.8.2014

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. everStick ja Stick -tuotteet.
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=products-fi>> Luettu 6.4.2015

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. everStick®C&B - kaikkiin komposiittisiltoihin
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=16013>>. Luettu 20.8.2014

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. Mistä kaikki alkoi?
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=10097>>. Luettu 11.8.2014

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. Tutkimuksia ja tuotekehitystä.
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=13631>> Luettu 11.8.2014

Stick Tech Oy 2008. Verkkodokumentti. Yritys.
<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=company-fi>> Luettu 11.8.2014

Uusitalo, Hannu 1999. Tiede, tutkimus ja tutkielma. WSOY Juva.

Liitteet

Liite 1. Pasi Alanderin laatimat näytealustan ja alusmateriaalin valmistusohjeet

1. Näytealusta kostuu muovi- tai metalliputkesta, joka valetaan täyteen akryyliä. Putken halkaisija voi olla noin 25 mm. Näytealustan korkeus voi vaihdella 10 – 25 mm välillä. Näitä voi tehdä lisää kopioimalla valmiita alustoja vaikka silikonilla. Silikonimuottiin valetut alustat voivat olla kokonaan akryyliä.
2. Akryyliin voidaan porata kolo tutkittavalle materiaalille hammasteknikon käsiporalla. Kolon syvyys kannattaa olla vain noin 0,5 - 1mm ja leveys voi olla noin 5 mm. Tällaisen kolon pystyy täyttämään kahdella everStickC&B kuidulla tai everStickPOST 1,5 kuidulla jotka ovat samaa materiaalia. Vain kuitujen pituus eroaa. Tällä kertaa teille lähetettiin everStickPOST 1,5 kuituja, koska näitä oli nyt paremmin saatavilla ja ne ovat valmiiksi pätkitty lyhyiksi paloiksi. Käyttäkää hanskoja kun poraatte vanhat kuidut alustasta pois. Lasikuitu kutittaa jonkun verran jos sitä poraa ilman hanskoja.
3. Kaksi kuitua voi valokovettaa koloon yhtä aikaa. Kuidut voi painaa paikalleen läpinäkyvällä Refix silikoni-instrumentilla ja pinta tasoitetaan vielä kevyesti hiomapaperilla. HUOM! happi-inhibitio ryhmässä Refix silikonia ei saa käyttää, se estää happi-inhibitiokerroksen muodostumisen. Samoin hionta on kielletty, koska se poistaa happi-inhibitiokerroksen.
4. Kuidun paikalleen laittamisen jälkeiset työvaiheet tulisi aloittaa mahdollisimman pian. Tällä mallinnetaan tilannetta, jossa hammasteknikko tekee nämä työvaiheet yhdellä kertaa. 1) kovettaa everStickC&B kuidun muotoonsa, 2) tekee vahvikkeen pintakäsittelyn heti perään, 3) laittaa vahvikkeen ja akryylin paikalleen ja 4) kovettaa painekattilassa. Jos työvaiheita ei pysty tekemään peräkkäin, tulisi odotusajat vakioida samanpituisiksi kaikissa ryhmissä

Liite 2. Koetappien valmistusohje StickTechiltä

Tarkista että ruiskumuotti on kunnossa (reuna tasainen ja sisämitta 3,6 mm). Eristä muotin sisäpinta tarvittaessa. **HUOM! Muotin materiaali piti vaihtaa pieneen letkuun!** Paina sormilla muotti näytealustan päälle ja liimaa muotti kauttaaltaan kiinni alustaan. Tämä estää akryylin valumasta ulos muotin alitse ja pitää muotin paikallaan, kun tapit kovetetaan painekattilassa. Kaksi näytetappia voi sijoittaa yhteen näytealustaan.

1. Valmista pieni määrä akryyliä. Tee aina samalla seos suhteella.
2. Annostele akryyliä huolellisesti ruiskumuotin sisälle. Polymeroi akryylin ohjeiden mukaan.
3. Poista näyte näytetapin muotista vetämällä ruiskumuotti varovasti pois tapin päältä. Jos tapin juuressa on ylimääräistä muovia, poista se kirurgin veitsellä näytetapin juuresta.
4. Mittaa vähintään yhden tapin halkaisija ryhmää kohden.
Ruiskulla tehdyn tapin halkaisija on noin 3,6 mm, mistä laskettuna pinta-ala on 10,2 mm² ($\pi \times 1,8 = 10,2 \text{ mm}^2$).
5. Näytteet merkitään tunnustenumeroilla, niin että ryhmät eivät sekoitu. Näytteiden testaus tehdään aikaisintaan yhden vuorokauden päästä viimeisen näytteen valmistamisen jälkeen. Kaikkien ryhmien säilytysaika ennen testaamista tulisi olla suunnilleen samanpituisen.
Näytteistä mitataan sidoslujuus (Newton). Mittauksen jälkeen murtumisen tarvittu voima siirretään Excel-taulukkoon tulosten käsittelyä varten. Murtumistyyppit dokumentoidaan myös.

Liite 3. Pasi Alanderin laatimat vinkit testialustojen valmistuksessa

Tämä seikat tulee ottaa huomioon näytteitä tehtäessä ja testattaessa:

1. Näytealusta on hiottu vinoon (esim. ylä- ja alapinta eivät ole samansuuntaiset).
 - a. Tappimuotti ei ole tasaisesti näytealustan pinnalla. → Tappiin käytetty muovi pursuaa muotin alta ja sidosalue suurenee.
 - b. Testikärki ei asetu tasaisesti näytealustan pintaa vasten. → Testikärki kuormittaa epätasaisesti näytetappia ja jopa hankaa näytealustan pintaa, mikä lisää tarvittavan voiman määrää (voima-arvot vääristyvät).
2. Näytealustaan laitetaan alusmateriaalia yli näytealustan ylätasoon. Testausta on vaikea suorittaa koska testikärki ei asetu tasaisesti näytealustan pintaa vasten.
4. Tappiin käytettyä muovia ei paineta kunnolla paikalleen. → Sidos ei ole paras mahdollinen ja voima-arvot vääristyvät, nappi saattaa jopa irrota ennen aikaisesti. Tuloksissa tulisi raportoida myös kaikki ennenaikaisesti rikkoutuneet näytteet.
5. Testi kärki on liian kaukana näytealustasta. Mitä kauempana tapin juuresta testikärki koskettaa tappia sitä vähemmän voimaa tapin irrottamiseen tarvitaan.
6. Testikärki ja näytealusta eivät ole kiinnitetty samansuuntaisesti. → Testikärki kuormittaa epätasaisesti näytetappia ja tämä vääristää voima-arvoja.
7. Valokovetusajat vaihtelevat ryhmien välillä.
8. Säilytysajat vaihtelevat ryhmien välillä. Jos testaus tehdään liian pian (alle 24 h) näytteen valmistamisesta on sillä negatiivinen vaikutus sidoslujuus arvoihin
10. Alusmateriaalin ja näytetapin tekemisen välinen aika vaihtelee ryhmien välillä. Pitkä säilyttäminen vaikuttaa alusmateriaalin pinnassa olevaan happi-inhibitio kerrokseen sidoslujutta laskevasti.
11. Jos kuituja käytetään alusmateriaalina, tulee niiden suunta olla sama jokaisessa testissä. Tämä otetaan huomioon testattaessa.
12. Ilmakupla tapin alustan välissä. Sidospinta-ala pienenee ja kupla on mahdollinen murtuman alkamiskohta.

Koneeseen asettaminen tarkkaa:

1. Kuitu pystysuunnassa
2. Anturin asettaminen tarkasti lähelle tapin pintaa, mutta ei saanut koskettaa tappia
3. Tasainen kiinnitys, ettei nappi pääse heilumaan testauksen aikana.

Liite 4. Pasi Alanderin laatimat käyttöohjeet Lloyd LRX Plus rasiustestilaitteelle

Paina laitteen vasemman puoleisesta nuolesta *Test*.

- a. Käynnistä tietokone ja avaa NEXYGEN ohjelma tehtäväpalkista.
- b. Valitse ohjelmasta *File, Open, Tests*, ja se pohja, jollaista näytettä testaat.
- Sidoslujuus ISO 29022
- c. Tallenna pohja sopivalla nimellä (*File, Save as*)
- d. Paina F5 (tai valitse *Insert, New Test*), jolloin testausikkuna aukeaa näytölle.
- e. Tuplaklikkaa hiirellä oikealla olevan asetusikkunan päällä.
- f. Kirjoita kohtaan *Sample information* näyte-erän tiedot.
- g. Mittaa työntömitalla yhden näytetapin halkaisija
 - a. ISO 29022 standardin mukaisen tapin halkaisijan tulee olla noin 2,38 mm, mistä laskettuna pinta-ala on $4,45 \text{ mm}^2$ ($\pi \times 1,19^2 = 4,45 \text{ mm}^2$).
 - b. Bencor Multi T testin mukaisen tapin halkaisija on 3,6 mm, mistä laskettuna pinta-ala on $10,2 \text{ mm}^2$ ($\pi \times 1,8^2 = 10,2 \text{ mm}^2$).
- h. Klikkaa *section* kohdassa olevan plussan päällä, jolloin aukeaa ikkuna, johon kirjoitetaan pyöreän näytetapin halkaisija 1,19 mm tai 1,8 mm. Muut tiedot asetuksissa ovat automaattisesti oikein.
- i. Klikkaa jossain muussa kohdassa näyttöä, jolloin ikkunan aktivointi purkautuu.
- j. Paina F5 (tai valitse *test, start test*).
- k. Kirjoita *Batch Reference* kohtaan näyte-erän tiedot.
- l. Kirjoita *Sample Reference* kohtaan näytteen numero (1).
- m. Aseta näyte näytealustan pidikkeen keskelle sille varattuun kohtaan.
- n. Aseta näytealustan pidike pyöreälle testauspöydälle. Tarvittaessa laita kaksipuolista teippiä näytealustan pidikkeen pohjaan.
- o. Jos näyte ei mahdu testikärjen uraan, nosta painin ylöspäin laitteen nuolinäppäimellä (näppäin jossa on yksi nuoli ylöspäin).
- p. Kun näyte mahtuu, niin paina se kevyesti testikärkeä vasten. Tarkasta että kärki ja näytealusta ovat samansuuntaiset. Tarvittaessa löysää testauspöydän kiristystä ja säädä pöytää pyörittämällä sitä.
- q. Laske painin alaspäin (yksi nuoli alaspäin) kunnes se koskee tappia, mutta ei taivuta sitä vielä lainkaan. Tarkasta että tappi on testikärjen keskellä, tarvittaessa pyöritä näytealustaa niin että näytetappi on testikärjen keskellä
- r. Kun näytetappi on kohdallaan, kiristä näytealustan pidikkeen kiristysruuveilla näytealusta paikalleen.
- s. Nollaa laitteen *Load* ja *Deflectio* painamalla \emptyset .
- t. Paina nollauksen jälkeen joko OK tai enter näppäimistöä, niin testi käynnistyy.
- u. Näytteen testauksen loputtua paina alt + F4, jolloin näyteikkuna sulkeutuu ja tulosikkuna aukeaa.
- v. Tallenna näytteen tulokset painamalla Ctrl + s tai valitsemalla *File, save*.
- w. Poista pohjasta aikaisemman testauksen tulos: Aktivoi tulos hiiren vasemmalla näppäimellä. Paina aktivoidun solurivin kohdalla hiiren oikeaa näppäintä ja valitse delete, kyllä
- x. Tallenna uudelleen painamalla Ctrl + s tai valitsemalla File, save.
- y. Toista kohdasta f alkaen ja jatka testaamista seuraavalla näytteellä
- z. Muista kirjoittaa *Sample Reference* kohtaan uusi näytteen numero (2).

Jatka kuten ensimmäisen näytteen testauksessa. Muista tallentaa tulokset jokaisen näytteen taivutuksen jälkeen. Kun viimeinen näyte on testattu, tulosta tulokset *Results* (alhaalla vasemmalla). (Alander, 2013)

[6] Lopetustoimet

Sammuta ohjelma ja laitteen virta.

Liite 5 Sidoslujuustestien tulokset

Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	13:17:30	ryhmä 1	1	7,1	41,617412	5,8616073
29.4.2014	13:23:07	ryhmä 1	2	7,1	128,98026	18,166234
29.4.2014	13:28:58	ryhmä 1	3	7,1	39,219517	5,5238757
29.4.2014	13:34:47	ryhmä 1	4	7,1	68,141788	9,5974349
29.4.2014	13:37:57	ryhmä 1	5	7,1	49,941404	7,0340006
29.4.2014	13:40:39	ryhmä 1	6	7,1	99,95429	14,078069
29.4.2014	13:42:13	ryhmä 1	7	7,1	64,92421	9,1442549
29.4.2014	13:45:03	ryhmä 1	8	7,1	92,976936	13,095343
29.4.2014	13:49:25	ryhmä 1	9	7,1	58,311327	8,212863
			Keskiarvo		72	10
			Keskihajonta		30	4
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	13:51:36	ryhmä 2	1	7,1	98,4314	13,863577
29.4.2014	13:54:38	ryhmä 2	2	7,1	76,194873	10,731672
29.4.2014	13:57:35	ryhmä 2	3	7,1	61,648551	8,6828946
29.4.2014	13:59:30	ryhmä 2	4	7,1	90,206043	12,705076
29.4.2014	14:01:58	ryhmä 2	5	7,1	65,723368	9,2568124
29.4.2014	14:05:52	ryhmä 2	7	7,1	22,792202	3,2101693
29.4.2014	14:07:36	ryhmä 2	8	7,1	88,344446	12,44288
29.4.2014	14:09:19	ryhmä 2	9	7,1	89,823705	12,651226
29.4.2014	14:10:44	ryhmä 2	10	7,1	96,773966	13,630136
29.4.2014	14:16:12	ryhmä 2	6	7,1	103,60536	14,592305
			Keskiarvo		79	11
			Keskihajonta		24	3
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	10:16:01	ryhmä 3	1	7,1	53,467665	7,5306571
29.4.2014	10:19:01	ryhmä 3	2	7,1	36,526218	5,1445378
29.4.2014	10:22:01	ryhmä 3	3	7,1	11,696442	1,6473862
29.4.2014	10:26:10	ryhmä 3	4	7,1	33,711261	4,7480649
29.4.2014	10:28:30	ryhmä 3	5	7,1	81,680705	11,504325
29.4.2014	10:29:46	ryhmä 3	6	7,1	1,4538933	0,2047737
29.4.2014	10:31:38	ryhmä 3	7	7,1	91,762862	12,924347
29.4.2014	10:33:28	ryhmä 3	8	7,1	28,792643	4,0553018
29.4.2014	10:34:45	ryhmä 3	9	7,1	61,641937	8,6819629
29.4.2014	10:37:44	ryhmä 3	10	7,1	34,138665	4,8082627
			Keskiarvo		43	6
			Keskihajonta		29	4
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	10:42:00	ryhmä 4	1	7,1	55,945854	7,8796977
29.4.2014	10:45:47	ryhmä 4	2	7,1	113,60842	16,001186
29.4.2014	10:49:55	ryhmä 4	3	7,1	45,006891	6,3389987
29.4.2014	10:52:54	ryhmä 4	4	7,1	95,916154	13,509318
29.4.2014	10:54:29	ryhmä 4	5	7,1	24,434242	3,4414426
29.4.2014	10:56:02	ryhmä 4	6	7,1	57,764125	8,1357923
29.4.2014	10:57:52	ryhmä 4	7	7,1	32,568116	4,5870586
29.4.2014	11:00:07	ryhmä 4	8	7,1	77,995857	10,985332

29.4.2014	11:03:10	ryhmä 4	9	7,1	53,854264	7,5851076
29.4.2014	11:07:01	ryhmä 4	10	7,1	58,709758	8,2689799
			Keskiarvo		62	9
			Keskihajonta		27	4
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	12:33:02	ryhmä 5	1	7,1	45,338854	6,3857541
29.4.2014	12:35:31	ryhmä 5	2	7,1	41,00663	5,7755816
29.4.2014	12:50:38	ryhmä 5	3	7,1	82,941764	11,681939
29.4.2014	12:52:29	ryhmä 5	4	7,1	121,91949	17,171759
29.4.2014	12:54:32	ryhmä 5	5	7,1	101,36676	14,277009
29.4.2014	12:59:45	ryhmä 5	6	7,1	99,473746	14,010387
29.4.2014	13:01:24	ryhmä 5	7	7,1	37,19167	5,2382634
29.4.2014	13:05:29	ryhmä 5	8	7,1	107,36565	15,121922
29.4.2014	13:08:07	ryhmä 5	9	7,1	106,39023	14,984539
29.4.2014	13:13:24	ryhmä 5	10	7,1	101,97778	14,363067
			Keskiarvo		84	12
			Keskihajonta		31	4
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
29.4.2014	9:22:39	ryhmä 6	1	9,6	191,34148	19,931404
29.4.2014	9:31:22	ryhmä 6	2	9,6	136,15187	14,182487
29.4.2014	9:40:26	ryhmä 6	3	7,1	107,22895	15,10267
29.4.2014	9:47:25	ryhmä 6	4	7,1	67,48194	9,5044986
29.4.2014	9:50:39	ryhmä 6	5	7,1	156,36551	22,023311
29.4.2014	9:55:25	ryhmä 6	6	7,1	49,866585	7,0234627
29.4.2014	9:58:41	ryhmä 6	7	7,1	185,63961	26,146424
29.4.2014	10:03:47	ryhmä 6	8	7,1	32,040622	4,5127637
29.4.2014	10:07:49	ryhmä 6	9	7,1	96,215615	13,551495
29.4.2014	10:10:06	ryhmä 6	10	7,1	208,44037	29,357798
			Keskiarvo		123	16
			Keskihajonta		62	8
Date	Time	Batch Reference	Sample Reference	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Maximum Load (MPa)
9.5.2014	13:03:44	ryhmä 7	2	7,1	175,32641	24,69386
9.5.2014	13:09:18	ryhmä 7	3	7,1	211,76529	29,826097
9.5.2014	13:11:33	ryhmä 7	4	7,1	205,19513	28,900722
9.5.2014	13:14:49	ryhmä 7	5	7,1	248,11433	34,94568
9.5.2014	13:20:24	ryhmä 7	6	7,1	202,68696	28,54746
9.5.2014	13:24:32	ryhmä 7	7	7,1	154,53794	21,765906
9.5.2014	13:28:12	ryhmä 7	8	7,1	147,49328	20,773702
9.5.2014	13:29:56	ryhmä 7	9	7,1	244,09375	34,379402
9.5.2014	13:39:35	ryhmä 7	10	7,1	269,20567	37,916291
9.5.2014	13:42:45	ryhmä 7	1	7,1	162,86402	22,938594
			Keskiarvo		202	28
			Keskihajonta		42	6