

Kati Karilahti ja Rakel Päivinen

# Valokovetteisella muovilla pinnoitettu lasikuitu lämpökovetteisen polymeerin vahvikkeena

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Hammasteknikko

Hammastekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

20.10.2015

Tekijät Otsikko  Sivumäärä Aika	Kati Karilahti, Rakel Päivinen Valokovetteisella muovilla pinnoitettu lasikuitu lämpökovetteisen polymeerin vahvikkeena 30 sivua + 1 liite Syksy 2015
Tutkinto	Hammasteknikko
Koulutusohjelma	Hammastekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Hammastekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pasi Alander Lehtori Kari Markkanen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, soveltuuko valokovetteisella muovilla pinnoitettu lasikuituvahvike (everStick) käytettäväksi lämpöpolymeroituvan muovin (keittoakryyli) kanssa. Opinnäytetyö on työelämälähtöinen, ja se toteutettiin yhdessä StickTech Oy:n kanssa.</p> <p>Työ toteutettiin valmistamalla koekappaleita, jotka testattiin kolmipistetaivutustestillä. Testiryhmiä oli viisi, joista yksi oli keittoakryylistä valmistettu kontrolliryhmä, toinen ryhmä oli vahvistettu Stick-kuiduilla ja muut oli vahvistettu everStick-kuiduilla. Jokaisessa ryhmässä oli yhdeksän testikappaletta, paitsi yhdessä ryhmässä kappaleita oli kahdeksan. Testikappaleet valmistettiin vakioituissa olosuhteissa, jotta tuloksista tulisi mahdollisimman luotettavia. Työt testattiin Stick Tech Oy:n testilaboratoriossa Turussa.</p> <p>Kolmipistetaivutustestissä mitattiin testikappaleiden kuormankantokyky, kimmomoduuli, taivutuslujuus ja taipuma. Näitä tuloksia tarkastelemalla tehtiin johtopäätöksiä valokovetteisen lasikuituvahvikkeen soveltuvuudesta käytettäväksi keittoakryylin kanssa. Vahvikkeen käytön etuja ja haittoja pohdittiin myös verrattuna perinteiseen Stick-kuituun.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että everStick soveltuu käytettäväksi keittoakryylin kanssa. Kuituvahvikkeen ja keittoakryylin välille syntyi kestävä sidos, joka kesti hyvin kolmipistetaivutustestissä. Vahvike osoittautui myös huomattavasti helpommaksi käyttää kuin perinteinen Stick-kuitu.</p> <p>Opinnäytetyön tulokset ovat merkittäviä työelämän kannalta, sillä tutkimustulokset saattavat muuttaa totuttuja työtapoja. Tutkimus on osa Stick Tech Oy:n tuotekehitystä.</p>	
Avainsanat	lasikuitu, everStick, Stick, keittoakryyli, kolmipistetaivutus

Authors Title Number of Pages Date	Kati Karilahti, Rakel Päivinen Strengthening Effect of a Polymer Impregnated Fiber-Reinforcement Composite with Heat-Curing Acrylic 30 pages + 1 appendix Autumn 2015
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Dental Technology
Specialisation option	Dental Technician
Instructors	Pasi Alander, Senior Lecturer Kari Markkanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study the strengthening effect of a polymer impregnated fiber-reinforcement composite (everStick) with heat-curing acrylic. This thesis was work-oriented and implemented with Stick Tech Ltd.</p> <p>We carried out this test by manufacturing test samples, which were tested with three-point bending test. There were five test groups: control, Stick and three everStick groups. Each group included nine test samples except one, which included eight test samples. We manufactured test samples in similar conditions to ensure the reliability of the test. Samples were tested in Stick Tech Ltd. laboratory in Turku.</p> <p>The measurements were carried out with load bearing capacity, flexural modulus, flexural strength and deflection. We made conclusions by analyzing these results. The pros and cons of using everStick were also compared to traditional Stick-fiber.</p> <p>The results showed that polymer impregnated fiber-reinforcement composite can be used with heat-curing acrylic. There was a good bond between the fiber-reinforcement and the heat-cured acrylic which gave good values in three-point bending test. The results showed also that everStick is easier to use than Stick-fiber.</p>	
Keywords	glass fiber, everStick, Stick, heat-curing acrylic, three-point bending test

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen tarkoitus	2
2.1	Yhteistyö Stick Tech Oy:n kanssa	2
2.2	Tavoitteet	2
2.3	Tutkimusmenetelmä	2
3	Tutkimuksen käsitteet	4
4	Polymetyylimetakrylaatti	6
5	Kuidut	8
5.1	Hiilikuitu	8
5.2	Stick-kuitulujite	9
5.3	everStickC&B-kuitulujite	9
5.4	Komposiitti	10
6	Aiemmat tutkimukset	13
7	Testikappaleet	15
7.1	Materiaalit ja laitteet	15
7.2	Valmistus	16
8	Tulokset	20
9	Pohdinta	25
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Kolmipistetaivutuksen tulokset	

## 1 Johdanto

Lasikuitu on lasista valmistettu kuitu, jota käytetään muun muassa muovien vahvikkeena (Kielitoimiston sanakirja 2015. s.v. lasikuitu). Stick Tech Oy on soveltanut lasikuituja hammastekniseen käyttöön, kuten irtoproteesien vahvistukseen. Yrityksen tuotteet perustuvat suomalaiseen innovaatioon. Halusimme tehdä työelämälähtöisen opinnäytetyön Stick Tech Oy:n kanssa, ja otimme yhteyttä tuotepäällikköön Pasi Alanderiin. Saimme heiltä tilauksen lähteä tutkimaan akryylin ja kuitujen sidostumista keskenään. Tarkoituksena oli selvittää, sopiiko alun perin hammaslääkäreiden käyttöön suunniteltu, valokovetteisella muovilla pinnoitettu kuitu (everStick) käytettäväksi lämpökovetteisen akryylin kanssa. Perinteisesti hammasteknikot ovat vahvistaneet lämpökovetteista akryyliä siihen suunnitellulla Stick-kuidulla, jonka käytössä on kuitenkin havaittu haasteita. Opinnäytetyön käytännön toteutus tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hammastekniikan opetustiloissa. Kolmepistetaivutus tehtiin Stick Tech Oy:n tiloissa. Testikappaleiden valmistukseen käytettävät kuidut tulivat Stick Tech Oy:ltä ja akryyli Plandent Oy:ltä.

Testasimme kehitteillä olevia kuituja, ja tutkimuksemme on osa yrityksen tuotekehitystä. Opinnäytetyöstä tulee olemaan hyötyä Stick Tech Oy:n jatkotutkimuksiin valokovetteisen kuidun käyttömahdollisuuksista. Tulokset saattavat muuttaa totuttuja käytäntöjä ja helpottaa hammaslaboratoriotyöntekijöiden työvaiheita.

Työn kannalta on tärkeää ymmärtää ja käytännössä toteuttaa laadukas sidos kuidun ja akryylin välille, jotta rasittava voima siirtyy akryylistä lujittavalle kuidulle. Työssämme keskitymme akryylin ja kuitujen kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin materiaalien toimiessa yhdessä ja erikseen.

## 2 Tutkimuksen tarkoitus

### 2.1 Yhteistyö Stick Tech Oy:n kanssa

Stick Tech Oy on vuonna 1997 perustettu turkulainen hammasalan yritys, joka valmistaa kuitulujitteita. Yrityksen tuotteet perustuvat Turun yliopiston professori Pekka Vallitun 1990-luvulla kehittämään teknologiaan. Ensimmäinen tuote, Stick-kuitu, tuli markkinoille vuonna 1997, jonka jälkeen tuotevalikoima on laajentunut ja monipuolistunut vuosi vuodelta. Nykyään Stick Tech Oy:n kuituja käytetään yli 40 maassa ympäri maailman. (Yritys 2008.)

Stick Tech Oy:n tuotteita on tutkittu laajasti eri yliopistoissa ja yritys on erityisen tiiviissä yhteistyössä Turun Yliopiston kanssa. Yrityksen tuotteista on julkaistu yli 200 tieteellistä artikkelia ja ne ovat hammaslääketieteen tutkituimpia kuitulujitteita. Stick Tech on osa japanilaista GC-konsernia, mutta tuotteiden valmistus tapahtuu edelleen Suomessa. (Yritys 2008.)

### 2.2 Tavoitteet

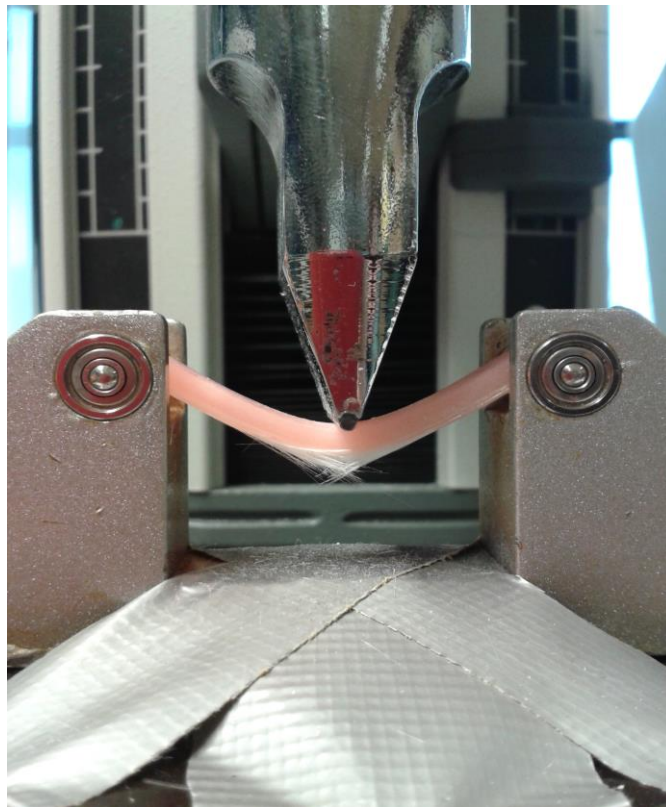
Tavoitteemme on saada aikaan kestävä sidos akryylin ja kuidun välille, niin että komposiitin fysikaaliset ominaisuudet paranevat selvästi. Jotta testin tulokset olisivat luotettavia, on tärkeää että Stick-kuidut kyllästetään huolellisesti käytettävällä polymeerillä. Toinen tavoite on saada selvää näyttöä everStick-kuidun käyttömahdollisuuksista keittoakryylin kanssa. Onnistunut testi vaikuttaa siihen, kuinka järkevää hankalaksi todetun Stick-kuidun käyttö tulee olemaan hammaslaboratorioissa. Tämän lisäksi saamme käsityksen, kuinka kannattavaa ja helppoa uusien kuitujen käyttö todellisuudessa tulisi olemaan.

### 2.3 Tutkimusmenetelmä

Työmme lähtökohtana oli tutkia valokovetteisella muovilla pinnoitetun kuidun sidostusta lämpökovetteiseen akryyliin. Stick Tech Oy:n puolelta tuli ohjeistus käyttää kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tässä tapauksessa teimme testattavista kuiduista ja lämpökovetteisesta akryylista testikappaleet. Kappaleille mitattiin kolmipistetäivutustes-

tissä kuormankantokyky, kimmomoduuli, taivutuslujuus ja taipuma (kuvio 1). Saaduista tuloksista tehtiin pylväsdiagrammit, joiden avulla arvoja on helpompi vertailla keskenään.

Työn olisi voinut tehdä myös käyttäen kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä esimerkiksi valitsemalla koekäyttäjiä, joiden kokemuksiin pohjautuen olisimme tehneet haastatteluja tai kyselyitä. Tällainen tutkimusmenetelmä ei olisi kuitenkaan palvellut tarkoitustamme saada varmoja lukuja ja tuloksia. Koekäyttäjät olisivat kukin tulkinneet käyttömukavuutta pohjautuen omiin mieltymyksiin ja tottumuksiin. Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä antaa puolueettoman ja tunteista riippumattoman tuloksen. Toisaalta tutkimuksessa jäävät pois juuri nämä käyttäjien omat kokemukset.



Kuvio 1. Testikappale kolmepistetaivutustestissä.

### 3 Tutkimuksen käsitteet

#### EGMA

- etyleeniglyolidimetakrylaatti, ristiinsitoja-aine, joka auttaa polymeeriketjuja sitoutumaan ristiin toistensa kanssa

#### E-LASIKUITU

- elektronisesta lasista valmistettu lasikuitu

#### HAPPI-INHIBITIOKERROS

- reagoimattomia hiili-hiilidoksia

#### IMPREGNOINTI

- kyllästää

#### INITIAATTORI

- kemiallisen reaktion alullepanija

#### IPN (interpenetrating polymer network) KIINNITTYMINEN

- lisättävän muovin monomeerit tunkeutuvat lineaarisen polymeerin rakenteen sisään, ja kiinnittyvät polymeeriketjujen väliin

#### KATALYSAATTORI

- nopeuttaa kemiallista reaktiota

#### KESTOMUOVI

- lineaarisesti sitoutuneita polymeereja

#### MMA

- metyylimetakrylaatti, neste, jota käytetään pääasiassa muovien valmistukseen

#### MPa

- megapascal, ilmaisee muun muassa jännityksen ja lujuuden suuruusluokkaa



## N

- newton, voiman yksikkö

## PMMA

- polymetyylimetakrylaatti, Yhteensitoutuneita metyylimetakrylaatti molekyyliä

## S-LASIKUITU

- silikaattilasista valmistettu lasikuitu

## VAPAAT RADIKAALIT

- aine, jolla on vapaa elektronipari ja joka avaa hiilten väliset kaksoissidokset

## 4 Polymetyylimetakrylaatti

Polymetyylimetakrylaattia on ollut suosituin irtoproteesien materiaali jo 1940-luvulta lähtien. Lasimaisen kirkas muovi usein pigmentoidaan muun muassa rautaoksidilla. Näin lopputuloksesta saadaan esteettisesti korkealaatuinen, ja proteesi naamioituu suun omaan pehmytkudokseen. PMMA on edullista ja helppo valmistaa. Sillä on myös heikkoutensa, kuten sen lujuusominaisuudet, ja polymerisaation aikainen kutistuvuus (21%). Ensimmäiset hammaslääketieteessä käytetyt polymetyylimetakrylaatit olivat molekyyliarakenteeltaan lineaarisia, kun taas nykyisin käytettävään akryyliin molekyylit ovat sitoutuneet ristikkäin kiinni toisiinsa. Vallitun tutkimukseen pohjautuen Narva toteaa PMMA:n polymerisaation olevan eksoterminen reaktio, eli energiaa vapauttava, jolloin sen sisäinen lämpötila kohoaa. Siksi on tärkeää, ettei työtä poisteta kyvetistä heti, jottei nopea jäähtyminen aiheuta proteesiin vääntymistä ja sisäistä stressiä. Tiivistelmää Katja Narvan väitöskirjasta, jossa hän yhdistää useiden tutkijoiden, esimerkiksi Pekka Vallitun, McCaben ja Komiyama K:n, tutkimustuloksia. (Narva 2004: 18–19.)

Pekka Vallittu (1994) kokoaa väitöskirjassaan monien tutkijoiden, kuten Davy KWM:n, Braden M:n, Mutlu G:n ja Kawano F:n julkaisuja, joihin pohjautuen hän toteaa, että metyylimetakrylaatti on metyyliakrylaatti hapon esterinä, joka polymeroituaan muodostaa polymetyylimetakrylaattia. PMMA:n valmistuksessa käytetään polymeerijauhetta ja monomerinestettä. Muutoin proteesien valmistus olisi mahdotonta, koska jos käytettäisiin pelkkää metyylimetakrylaattia (MMA), se kutistuisi polymeraation aikana voimakkaasti. PMMA-jauhe koostuu pienistä PMMA helmistä, jotka polymeerien, kuten etyyliakrylaatin, ja pehmentimien, kuten dibutyyliakrylaatin avulla liukenevat lähes täysin MMA nesteeseen. (Vallittu 1994: 29–30.)

Lämpöpolymeroituvan akryylin polymerisaatioreaktio lähtee käyntiin +60 °C yläpuolella. Polymerisointireaktio voidaan myös käynnistää ultraviolettivalolla, näkyvällä valolla tai kemiallisella aktivaattorilla. PMMA jauheeseen lisätään pieniä määriä polymerisaation initiaattoria, joka toimiakseen huoneenlämmössä vaatii amiini katalysaattorin. (Vallittu 1994: 29–30.) Narva toteaa Vallitun ja Ruyterin julkaisuun pohjautuen MMA-nesteeseen lisättävän myös ristiin sitoja-ainetta eli etyleeniglykolidimetyyliakrylaattia. Ne voimistavat PMMA:n pintamurtolujuutta sitomalla polymeeriketjuja ristiin toistensa

kanssa, parantaen sen väsymiskestävyyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. (Narva 2004: 19–20.)

Vallittu muiden tutkijoiden tekemien julkaisujen nojalla toteaa initiaattori bentsoyyli-peroksidi sisältävän 6,6 % aktiivista happea. Molekyyli hajoaa polymerisaatioreaktion käynnistyessä, ja sen aktiivinen happi muodostaa vapaita radikaaleja. Nämä muodostuvat, kun kemiallisesti aktivoitu PMMA sisältää kemiallisia aktivaattoreita, jotka reagoivat bentsoyyliperoksidin kanssa. Vapaat radikaalit puolestaan reagoivat MMA:n kanssa, luoden toinen toisiinsa monomeriset molekyylit kovalenttisten sidosten avulla. Polymerisaatio jatkuu reaktion loppumiseen. Tällöin akryyli keskimäärin kutistuu polymerisaation aikana 8 %. (Vallittu 1994: 30.)

Huoneen lämpötilassa PMMA:lla on melko korkea kimmomoduuli, noin 2400 MPa ja suhteellisen hyvä vetolujuus noin 59 MPa. On todettu, että PMMA jauheella on vain vähän vaikutusta valmiin polymeerin mekaanisiin ominaisuuksiin. Joidenkin tutkimusten mukaan ristiin sitoja-aine ei kuitenkaan vaikuttaisi paljoa PMMA:n lujuuteen, se saattaa sitoa jäännösmonomerejä polymeeriketjun metakrylaattiryhmiin. (Vallittu 1994: 32–33.) Muun muassa P Vallitun ja VM Miettisen julkaisun pohjalta Narva toteaa keittoakryylin olevan kestävämpää kuin valolla kovettuva akryyli, sillä sen polymerisaatioreaktioon osallistuu myös lämpö, joka kasvattaa PMMA:n molekyylipainoa ja vähentää jäännösmonomerien määrää. (Narva 2004: 20.)

## 5 Kuidut

Lasikuitu on laajasti käytetty vahvike, jota käytetään muun muassa vene- ja rakennusteollisuudessa. Murphyn teokseen pohjautuen Katja Narva toteaa lasikuitujen olevan yleisimmin käytettyjä vahvistavia kuituja. Väriltään kirkkaat lasikuidut sopivat hyvin proteesien vahvikkeiksi, myös silloin kun vaaditaan korkeaa estetiikkaa. Lasikuiduilla on erityisen hyvät iskua ja puristusta kestävät ominaisuudet, ja ne ovat suhteellisen elastisia. Ne venyvät tasaisesti stressin alaisena hajoamispisteeseen asti antamatta periksi, ja palautuvat alkuperäiseen mittaansa kun vetokuormitus poistetaan. Narva toteaa myös kyseisen ominaisuuden, sekä materiaalin korkean mekaanisen lujuuden, mahdollistavan suurten energiamäärien varastoimisen ja vapauttamisen. (Narva 2004: 22-23.)

Lasikuidut jaotellaan niiden kemiallisen koostumuksen mukaan. Kaikki kaupalliset jatkuvat lasikuidut on valmistettu silikaatti lasista (silicate glass). Materiaali sisältää pioksidia ( $\text{SiO}_2$ ), joka onkin yksi sen pääraaka-aineesta. Vanhin lasikuitutyyppi puolestaan on alkalilasi (alkali glass), jota ei enää käytetä yhdisteissä. Suurin osa kaikesta tuotetusta lasikuidusta on elektronista lasia (electrical glass). Sen mekaaniset ja elektroniset ominaisuudet ovat hyviä, mutta iskunkestävyys suhteellisen huono. Erityisesti ilmaileteollisuuteen kehitetty high strengt glass, omaa korkean lämpöstabiilisuuden ja vetolujuuden. Hammaslääketieteessä käytetyimmät lasikuidut ovat E- ja S-lasikuitua. (Vallittu 1994: 44; Narva 2004: 23.)

### 5.1 Hiilikuitu

Hiilikuitu on hiilikiteistä koostuva ohut ja luja kuitu (Kielitoimiston Sanakirja 2015 s.v. hiilikuitu). Selluloosapohjaiset hiilikuidut keksittiin jo 1880-luvulla. Hiilikuituja käytetään yleisesti vahvistamaan yhdisteitä, niiden hyvien ominaisuuksien vuoksi. Väriltään musta kuitu ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin esteettisestä näkökulmasta proteesien valmistukseen. (Vallittu 1994: 46.)

Hiilikuitua on saatavilla erilaisissa olomuodoissa amorfisesta hiilestä kiteiseen grafiittiin. Näin ollen myös kuidun kestävyys ym. ominaisuudet vaihtelevat valmistustavasta riippuen. Voidaan kuitenkin sanoa, että hiilikuitu kestää yleisesti ottaen hyvin rasitusta. (Murphy 1998: 66.)

## 5.2 Stick-kuitulujite

Stick-kuitulujite on yhdensuuntaisista E-tyyppin epoksisilanoituista lasikuiduista (kuvio 2), valmistettu vahvike, jonka kuidut on pinnoitettu huokoisella metakrylaattipolymeerillä. Silanointi edesauttaa pinnan kostumista (Tezvergil-Mutluay 2006: 17). Stick kuituun on sidostettu lisäksi dibentsoyyliperoksidia, joka happi-happi-sidoksen vuoksi käynnistää reaktion, jossa syntyy radikaaleja (dibentsoyyliperoksidi 2014. Wikipedia.) Kuitulujitetta voidaan käyttää valo-, kemiallis- ja kaksoiskoveteisten resiniin, yhdistelmämuovien ja nestejauheakryyliin kanssa. Stick-kuitu sopii osa- ja kokoproteesien, laboratoriovalmisteisten siltojen sekä nastakruunujen vahvistamiseen. Kuitujen määrä yhdessä nipussa on noin 4000. (Stick-tuotteet 2008.)



Kuvio 2. Käsittelemätöntä E-tyyppin lasikuitua.

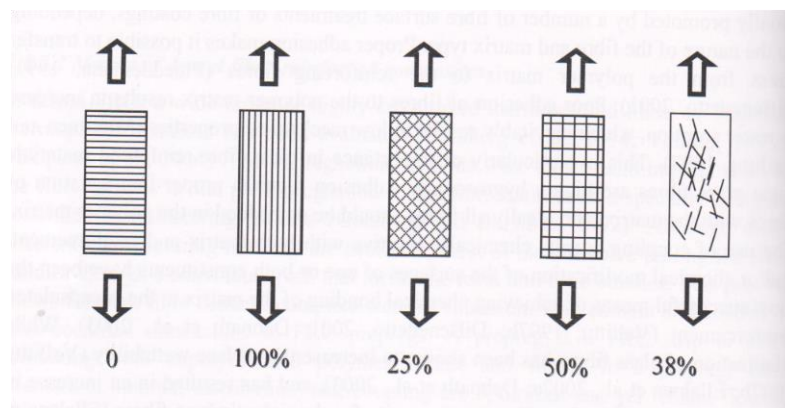
## 5.3 everStickC&B-kuitulujite

EverStickC&B on erityisesti yhdistelmämuovisiltojen vahvistamiseen tarkoitettu esikostutettu lasikuitulujite. Se koostuu yhdensuuntaisesta E-tyyppin epoksisilanoitusta kuitunipusta ja geelimäisestä bis-GMA ja PMMA-matriisista. Tämä niin sanottu happi-inhibitiokerros sisältää reagoimattomia C=C-sidoksia. Tämän ansiosta kuitu voi kiinnittyä polymeeri muoviin lujilla kovalenttisillä sidoksilla (Lastumäki – Vallittu 1999: 6). Koska everstick-kuidut sisältävät lineaarisia rakenteita, mahdollistaa se ainutlaatuisen sidoslujisuuden yhdistelmä-muoveihin, adhesiiveihin tai yhdistelmämuovisementteihin IPS (Interpenetrating Polymer Network) -kiinnittymisellä, vaikka happi-inhibitiokerros

menetettäisiinkin. Everstick kuituihin on imeytetty kamforikinonia ja 2-(dimetyyliamino) etyyliimetakrylaattia, jolloin kuiduista tulee valokovetteisia. (Tezvergil-Mutluay 2006: 12). Näiden kemikaalien ansiosta tuotetta on helppo käyttää, koska se on taipuisaa ja voidaan siten valokovettaa haluttuun asentoon. EverStickC&B on tarkoitettu hammaslääkäreiden ja laboratorioiden käyttöön. Kuitujen määrä yhdessä nipussa on noin 4000. (everStick-tuotteet 2008.)

#### 5.4 Komposiitti

Arzu Tezvergil-Mutluay kokoaa eri alan tutkijoiden, kuten Vallitun ja Ruyterin julkaisuja väitöskirjaansa, johon pohjautuen voidaan todeta, että kun kaksi eri materiaalia, lujittava kuitu ja sitova matriisi, yhdistetään, syntyneellä komposiitilla on sellaisia ominaisuuksia, jollaisia kummallakaan materiaalilla ei yksinään ollut. Eritoten komposiitin lujuus on huomattavasti suurempi kuin kummallakaan yhdistetyllä materiaalilla. Kuitulujitteiset komposiitit eroavat toisistaan sen mukaan, minkälaiset ominaisuudet yhdistettävillä materiaaleilla on, miten ne ovat geometrisesti järjestäytyneet, mikä on kuidun ja matriisin suhde, impregnoinnin laatu, kuidun adheesio matriisiin ja kuidun sijainti. Yhdensuuntaiset kuidut antavat kaikista suurimman lujuuden ja jäykkyyden. Kuitulujitteisen komposiitin lujuus kasvaa 100 prosenttisesti, kun siihen sitoutuneet kuidut ovat pitkiä ja yhdensuuntaisia (kuvio 3). (Tezvergil-Mutluay 2006: 17-18).



Kuvio 3. Kuorman kanssa yhdensuuntaiset kuidut antavat kappaleelle kaikista suurimman lujuuden ja jäykkyyden (Tezvergil-Mutluay 2006: 18).

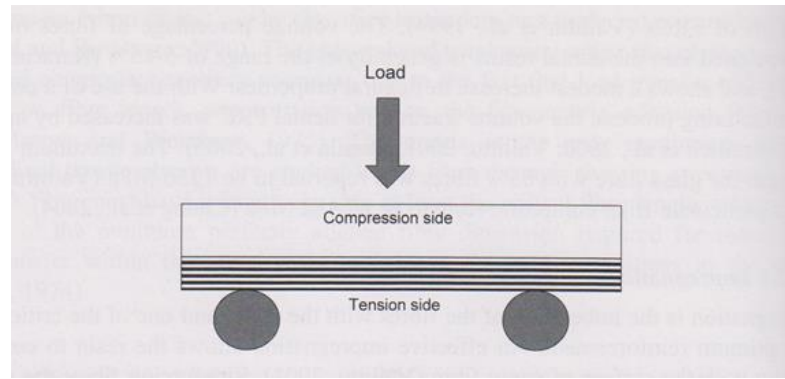
Vahvistettavaan polymeeriin tulevat kuidut voidaan kyllästyttää polymeerillä käsin. Stick-kuitu, jota tavallisemmin käytetään keittoakryliitöissä, käsitellään tällä tavalla.

Hammasteknikot ja laborantit kokevat, että kuitua on haasteellista saada kyllästettyä kunnolla polymeeri nesteen ja jauheen korkean viskositeetin takia. Toisaalta liian löysä seos aiheuttaa kutistumista, joka huonontaa mekaanisia ominaisuuksia. Ongelmaan on yritetty keksiä ratkaisu pinnoittamalla kuitu huokoisella PMMA:lla, jossa on kestmuovisia rakenteita. Jotta kuitua olisi helpompi käsitellä ja työvaiheita saataisiin vähennettyä, kehiteltiin toinen tapa esikyllästä kuitu mekaanisella prosessilla. Prosessin aikana geelimäinen PMMA ja dimetyyliakrylaatti matriisi pakotetaan kuitunipun sisään. Tämän ansiosta kuidut kostuvat täysin, huokosia tulee vähän ja kuitujen halkaisijaa voidaan kontrolloida. (Tezvergil-Mutluay 2006: 16-17.)

Riittävän adheesion ansiosta komposiittiin kohdistuva stressi siirtyy polymeeri matriisista vahvistaviin kuituihin. Huono adheesio altistaa komposiitin veden imeytymiselle, mikä lopulta aiheuttaa haurastumista. Hyvä adheesio edellyttää kuitujen täydellisen kostutuksen polymeerimatriisilla. Stick-kuiduissa käytettävä dibentsoyyliperoksidi on sidosaine. Sidosaineet kemiallisesti reagoivat sekä matriisin että kuidun kanssa ja/tai kemiallisesti muuttavat molempien tai jommankumman rakenneosan pintaa. Sidosaineet ovat parhain tapa yhdistää kemiallisesti matriisi ja kuitu. (Tezvergil-Mutluay 2006: 12-14.)

Kuitulujitetunkomposiitin ominaisuudet riippuvat kuidun ja matriisin suhteellisista osuuksista. Ideaalissa komposiitissa kuidunsuuntainen voima on verrannollinen kuidun ja matriisin tilavuuteen sekä yksilöllisiin ominaisuuksiin. Siispä kuitua lisäämällä saadaan lisättyä komposiitin taivutuslujuutta. Vallitun tutkimuksessa komposiitissa, jossa on 65% kuitua, maksimaalinen taivutuslujuus on 1250MPa. (Tezvergil-Mutluay 2006: 18-19.)

Kuitujen sijoittamisella on suuri vaikutus komposiitin lujuuteen. Paras lujittava vaikutus saadaan, kun kuidut sijoitetaan kappaleen vetojännityspuolelle (kuvio 4). (Tezvergil-Mutluay 2006: 19-20.) Kuitujen tulisi olla tasaisesti sitä ympäröivässä muovimatriisissa optimaalisen rasituskestävyyden aikaansaamiseksi. Jos kuituja voidaan muokata ennen polymeerimatriisin kovettamista, voidaan tehokkaasti hyödyntää kuitujen lujittava vaikutus. (Lastumäki 2002: 27.)



Kuvio 4. Kolmepistetaivutuksessa kuidut vahvistavat kappaletta eniten vetojännityspuolella (Tezvergil-Mutluay 2006: 20).



## 6 Aiemmat tutkimukset

Vallitun vuonna 1994 tehdyssä tutkimuksessa testattiin polymeroitumiskutistuman vaikutusta lämpökovetteisella akryyllillä päällystettyjen lasikuitukudosten vahvuuteen. Testikappaleiden poikittainen murtumalujuus ja polymerisaatiosta johtuva kutistuma mitattiin. Testissä selvisi, että akryyliseossuhde, joka kutistui ainoastaan vähän, paransi testikappaleen murtumalujuutta ja lisäsi akryylin määrää kuitukudosten seassa. (Vallittu 1994b.)

Vuonna 2004 tehdyssä tutkimuksessa verrattiin kymmentä yläleuan kokoproteesia vastaaviin, jotka oli vahvistettu esikyllästetyllä kudotulla E-lasikuidulla (Stick Net). Tutkimuksessa selvisi, että vahvistettujen proteesien iskunkestävyys oli merkittävästi suurempi kuin vahvistamattomien. (Kim – Watts 2004.)

Vallitun, Lassilan ja Lappalaisen vuonna 1994 tekemässä tutkimuksessa testattiin, vaikuttaako kuitujen määrä testattavien kappaleiden murtumalujuuteen. Testissä selvisi, että lisäämällä kuitujen määrää kappaleet kestivät paremmin. (Lappalainen – Lassila-Vallittu 1994.)

Vallitun ja Lassilan tutkimuksessa 1992 selvisi, että kuiduilla vahvistetut akryylikappaleet kestivät poikittaista voimaa 17–31 prosenttia paremmin kuin vahvistamattomat akryylikappaleet. Samassa tutkimuksessa havaittiin, että kuitujen pinnan käsittely siilaanilla vahvisti kappaleiden kestävyyttä. (Vallittu 1994: 44-45.)

Pekka Vallitun vuonna 1996 tekemässä tutkimuksessa mitattiin PMMA-muovista valmistetun proteesin mittojen tarkkuutta ja muuttumattomuutta, kun se vahvistetaan eri tavoin. Tutkimusryhminä oli kylmä- ja keittoakryylistä valmistettuja proteeseja, jotka vahvistettiin joko puoliympyränmuotoisella teräslangalla tai kokeellisella esikäsitellyllä E-lasikuituvahvikkeella. Osassa koekappaleista ei ollut lainkaan vahvistusta. Koekappaleita säilytettiin vedessä joko 1,2,7 tai 14 päivää. Testissä selvisi, että proteesin valmistusmateriaalit sekä vahvistusmateriaalit vaikuttivat kaikki proteesien tarkkuuteen. Parhaiten mittansa säilyttivät kylmäakryylistä valmistetut vahvistamattomat proteesit sekä keittoakryylistä valmistetut teräslangalla vahvistetut proteesit. Suurimmat muutokset tapahtuivat puolestaan keittoakryylistä valmistetuissa vahvistamattomissa proteeseissa, sekä keittoakryylistä valmistetuissa kuiduilla vahvistetuissa proteeseissa.

Tutkimuksen mukaan PMMA-muovin polymerisaatiosta johtuva kutistuminen aiheuttaa suurimmat muutokset tarkkuudessa proteeseissa, jotka on vahvistettu kuiduilla. (Vallittu 1996.)

## 7 Testikappaleet

### 7.1 Materiaalit ja laitteet

Testikappaleiden valmistukseen käytettiin Ivoclar Vivadentin ProBase Hot Polymer jauhetta (T01577) ja ProBase Hot Monomer nestettä (T22602), jotka saimme Plandent Oy:ltä. Kipsimuotit eristimme Candulorin ISO-K eristysaineella. Käytetyt kuituvahvikkeet olivat Stick-kuituja, everStickC&B-kuituja sekä kokeellisia valokovetteisia lasikuituvahvikkeita. Kuidut saimme Stick Tech Oy:ltä.

Tutkimuksessa käytetyt laitteet:

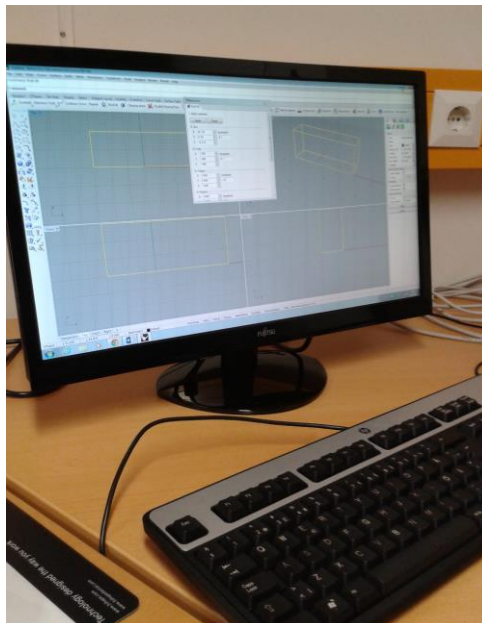
- Kolmipistetestausta laite (kuvio 5)
  - Valmistaja: Lloyd Instruments
  - Tyyppi: Lloyd LRX Plus
  - Sarjanumero:105675
  
- Valokovetin
  - Valmistaja: ESPE
  - Tyyppi: Visio Beta vario
  - Sarjanumero: 910023000538
  
- 3-D tulostin
  - Valmistaja: Stratasys
  - Tyyppi: Eden260V
  
- Keittolaite
  - Valmistaja: Manfredi
  - Tyyppi: acrydig 10
  - Sarjanumero: AD104



Kuvio 5. Kolmipistetestausta.

## 7.2 Valmistus

Testikappaleiden valmistus aloitettiin suunnittelemalla ne 3D-tulostimella. Suunnittelussa käytettiin Rhinoceros 5-ohjelmaa (kuvio 6). Testikappaleen pituus on 64 mm, leveys 10 mm ja korkeus 3,3 mm. Testikappaleet tulostettiin 3D-tulostimella kirkkaasta muovista.



Kuvio 6. Rhinoceros 5 3D-suunnitteluohjelman käyttöä.

Tämän jälkeen testikappaleet kipsattiin kyvetteihin. Yhteen kyvetteihin asetettiin kolme tikkua, kaikki samansuuntaisesti. Mallikappaleet siveltiin ohuelti vaseliinilla, jotta ne nousisivat kyvetistä helpommin. Kyvetin alaosa valettiin kovakipsistä, jotta se kestäisi paremmin mallikappaleiden poistamista, sekä prässäyksen aiheuttamaa painetta. Mallikappaleet upotettiin kovakipsiin siten, että niiden yläpinta tuli samalle tasolle kuin kipsin yläpinta. Kyvetin yläpuoli valmistettiin valkoisesta apukipsistä, sillä siihen ei kohdistu yhtä kovaa rasitusta kuin alapuoleen. Kipsattavat pinnat eristettiin toisistaan IsoFix 2000-eristysaineella. Kipsin kovetuttua testikappaleet poistettiin varovasti kyvetistä.

Ennen prässäystä kyvettejä pidettiin vahanhuhtelulaitteessa kaksi minuuttia. Kyvetit eristettiin niiden ollessa kuumia iso-K eristysaineella. Valmistus aloitettiin kontrolliryhmästä. Testitikkujen valmistukseen käytettiin BroBase-sarjan pinkkiä keittoakryyliä. Tarkoituksena oli käyttää akryylin valmistuksessa valmistajan suosittelemaa sekoitussuhdetta. Kyseisellä suhteella valmistettaessa akryylistä tuli todella paksua, joten sekoitussuhdetta muutettiin lisäämällä yksi millilitra monomeerinestettä. Näin varmistettiin akryylin tekeytyminen tasalaatuisiksi. Samaa sekoitussuhdetta käytettiin kaikkien testitikkujen valmistuksessa. Akryylin annettiin tekeytyä valmiiksi 15 minuuttia, jonka jälkeen se prässättiin kyvetteihin. Akryyliä sekoitettiin sopiva määrä aina kahteen kyvetteihin kerrallaan. Näin pystyttiin tekemään kappaleita rinnakkain mahdollisimman samalla tavalla. Työskennellessä käytettiin puuterioimattomia kertakäyttökäsineitä. Testitikut prässättiin 110 baarin voimalla. Lopuksi kyvetit keitettiin akryylin valmistajan ohjeiden mukaan.

Stick-kuituryhmän testikappaleet valmistettiin seuraavaksi. Kuidut leikattiin oikean mittaisiksi ja taivutettiin erilleen, jotta akryyli pääsisi kuitujen väliin. Stick-kuidut kostutettiin ohuella akryyliseoksella (kuvio 7). Kuidut asetettiin kirkkaan muovikalvon väliin ja akryyliseosta kaadettiin kuitujen päälle. Jokaiseen testikappaleeseen tuli kolme nippua kuitua. Kuitujen annettiin kostua seoksessa 15 minuuttia. Kuituja työstettiin muovin lävitse, jotta ne kostuisivat paremmin. Kostutetut kuituniput asetettiin muottien pohjalle, ja päälle prässättiin akryyli. Kuidut asetettiin mahdollisimman suoraan, jotta ne vahvistaisivat testitikkuja tehokkaasti vetojännityksen kannalta.



Kuvio 7. Perinteisen Stick-kuidun kyllästämistä neste-jauheakryyliseoksella muovikalvon sisällä.

EverStick-kuituryhmän valmistus aloitettiin leikkaamalla kuidut oikean mittaisiksi. Kuituja pyöritettiin hanskoilla suojatuin käsin pyöreiksi, niin ettei pinnalle jäisi epäpuhtauksia. Tämän jälkeen kuidut valokovetettiin ilman vakuuniam ESPE Visio Beta variovalokovetuslaitteessa 4 minuuttia. Kuituja pidettiin muovikalvon päällä, jottei happi-inhibitio kerros vahingoittuisi. Kovettuneet kuidut asetettiin kyvetin pohjalle (kuvio 8), ja akryyli prässättiin niiden päälle. Samaa valmistustapaa käytettiin kaikkien everStick-kuituryhmien kohdalla.



Kuvio 8. Kyvetiin valmiiksi asetellut valokovetteiset kuitulujitteet.

Kyvetit avattiin niiden ollessa täysin jäähtyneitä. Testitikut viimeisteltiin poraamalla mahdolliset epätasaisuudet kevyesti. Tikkuihin merkattiin pienellä merkillä yläpuoli, jotta ne osattiin asettaa kuidut alaspäin testilaitteeseen.

## 8 Tulokset

Testikappaleet mitattiin kolmipistetäivutustestillä Stick Tech Oy:n testilaboratoriossa Turussa. Saatuja tuloksia tarkastellaan kuormankantokyvyn, kimmomoduulin, taiputuslujuuden ja taipuman avulla.

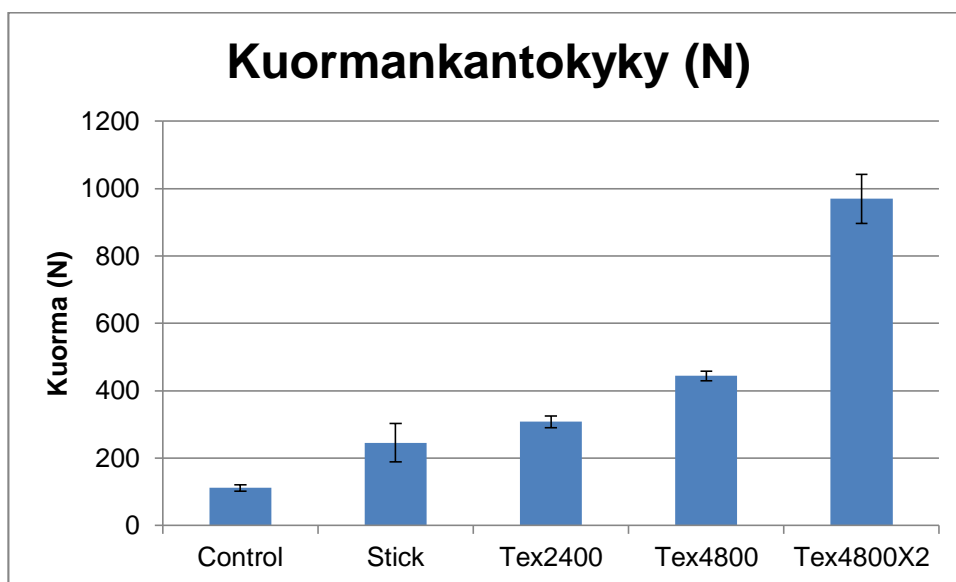
Tutkimusryhmät

1. Kontrolli keittoakryyli (Control)
2. Stick ja keittoakryyli (Stick)
3. everStickC&B ja keittoakryyli (Tex2400)
4. Kokeellinen everStick ja keittoakryyli (Tex4800)
5. Kokeellinen everStick ja keittoakryyli (Tex4800X2)

Kuormankantokyvyllä kuvataan sitä, kuinka paljon voimaa (N) testikappaleet kestivät hajoamatta. Taulukossa (taulukko 1) on verrattu kunkin ryhmän kuormankantokyvyn keskiarvoja toisiinsa. Mustalla janalla on merkitty kunkin ryhmän hajonta. Taulukosta voidaan päätellä, että keittoakryyli vahvistuu selkeästi kun siihen liitetään kuituja. Kontrolliryhmän kuormankantokyky oli keskimäärin 112 newtonia. Stick-kuiduilla vahvistettaessa koekappaleen kuormankantokyky parani 120 %. EverStick Tex2400-kuiduilla vahvistettaessa päästiin perinteistä Stick-kuitua parempiin tuloksiin kasvun ollessa 175 %. EverStick Tex4800-kuiduilla vahvistettujen koekappaleiden kuormankantokyky kasvoi 296 % verrattuna kontrolliryhmään. Ehdottomasti parhaisiin tuloksiin päästiin käyttämällä everStick Tex4800X2-kuituja. Tällöin kuormankantokyky kasvoi jopa 766 % verrattuna kontrolliryhmään.

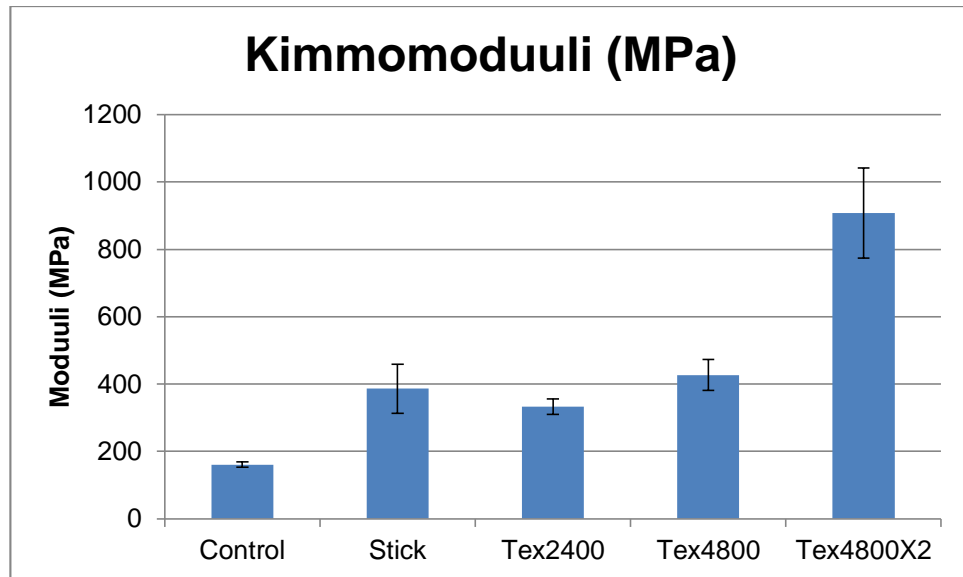


Taulukko 1. Testiryhmien kuormankantokyvyn keskiarvot.



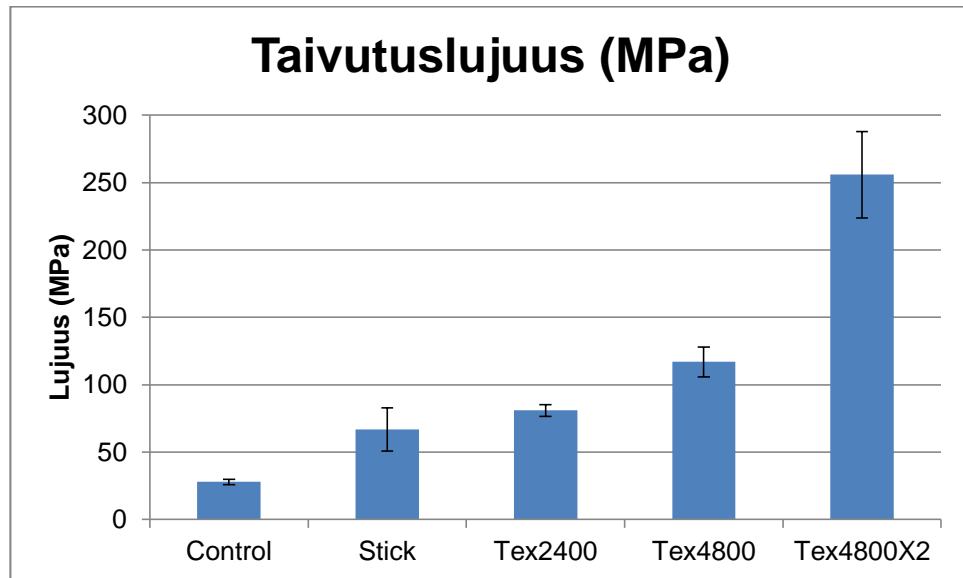
Kimmomoduuli on kerroin, jolla kuvataan materiaalin jäykkyyttä. Kertoimen yksikkö on pascal (Pa). Kimmomoduuli kertoo kappaleeseen kohdistuvan jännityksen suhteen sen aiheuttamaan suhteelliseen venymään. (Suomisanakirja 2015. s.v. kimmomoduuli.) Taulukossa (taulukko 2) on verrattu kunkin ryhmän kimmomoduulin keskiarvoja toisiinsa. Mustalla janalla on merkattu sarjojen hajonta. Taulukosta voidaan päätellä, että keittoakryylin kimmomoduuli vahvistuu selvästi, kun siihen lisätään kuituja. Stick-kuiduilla vahvistetut kappaleet olivat yli kaksi kertaa jäykempiä kuin vahvistamattomat akryylikappaleet. Kappaleiden kimmomoduuli kasvoi 140 % vahvistettaessa Stick-kuiduilla. EverStick Tex2400-kuiduilla vahvistetut kappaleet eivät päässeet aivan yhtä korkeisiin tuloksiin kuin Stick-kuidulla vahvistetut, mutta ero oli merkittävä verrattuna kontrolliryhmään. Kasvua kontrolliryhmään verrattuna oli 107 %. EverStick Tex4800-kuiduilla vahvistettaessa päästiin Stick-kuituja parempiin tuloksiin. Tällöin kimmomoduuli kasvoi 165 %. Ehdottomasti parhaisiin tuloksiin päästiin käyttämällä everStick Tex4800X2-kuituja. Tällöin koekappaleiden kimmomoduuli kasvoi jopa 464 % verrattuna kontrolliryhmään.

Taulukko 2. Testiryhmien kimmomoduulin keskiarvot.



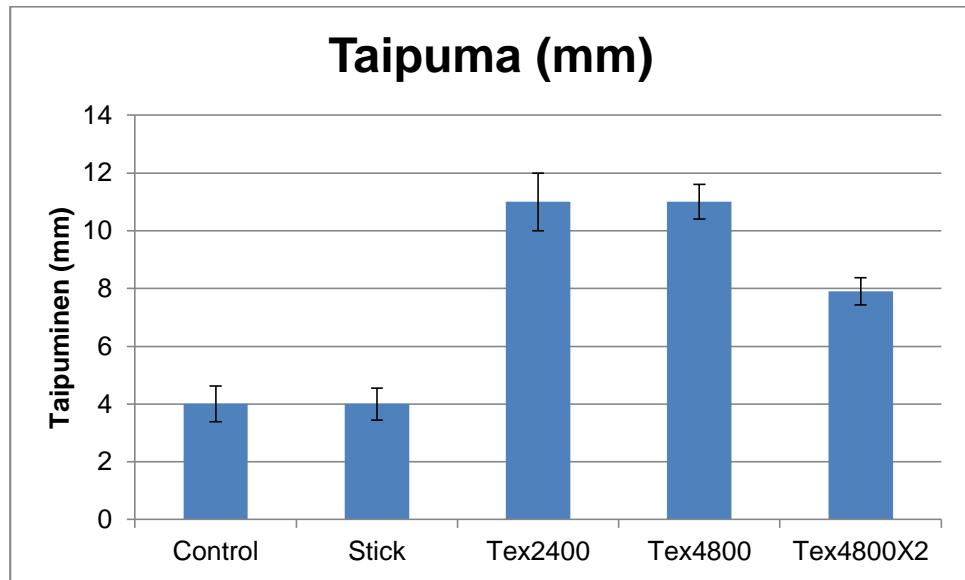
Taivutuslujuudella tarkoitetaan kappaleen kykyä kestää taivutusta ilman että se murtuu (Suomisanakirja 2015. s.v. taivutuslujuus). Taulukossa (taulukko 3) kuvataan koekappaleiden keskimääräistä taivutuslujuutta. Mustalla janalla on merkitty ryhmien hajonta. Taulukosta voidaan päätellä, että keittoakrylin vahvistaminen kuiduilla lisää kappaleiden taivutuslujuutta. Kontrolliryhmän kappaleiden taivutuslujuus oli 28 MPa. Stick-kuidulla vahvistettujen koekappaleiden taivutuslujuus kasvoi 139 % verrattuna kontrolliryhmään. EverStick Tex2400-kuidulla vahvistettujen koekappaleiden taivutuslujuus kasvoi puolestaan 189 %. Vielä korkeampiin tuloksiin ylsi everStick Tex4800-kuiduilla vahvistetut koekappaleet, joiden taivutuslujuus kasvoi kontrolliryhmään verrattaessa 318 %. Parhaimmat tulokset sai everStick Tex4800X2-kuiduilla vahvistetut koekappaleet, joiden taivutuslujuus kasvoi huikeat 814 % verrattuna kontrolliryhmään.

Taulukko 3. Testiryhmien taivutuslujuuden keskiarvot.



Taipumalla kuvataan kappaleen muutosta kuorman alla. Taulukossa (taulukko 4) kuvataan koekappaleiden keskimääräistä maksimitaipumaa. Mustalla janalla on merkitty sarjojen hajonta. Kontrolliryhmän koekappaleiden taipuma oli keskimäärin 4 mm. Stickkuiduilla vahvistettaessa, koekappaleiden maksimitaipuma ei kasvanut, vaan päättyi samaan keskiarvoon kuin kontrolliryhmä. EverStick 2400- ja everStick Tex4800-kuiduilla vahvistettaessa koekappaleiden taipuma kasvoi 175 %. EverStick Tex4800X2-kuituja käytettäessä maksimitaipuma kasvoi 98 % verrattuna kontrolliryhmään.

Taulukko 4. Testiryhmien taipuman keskiarvot.



Tarkat tulokset ryhmittäin löytyvät liitteistä (liite 1).

## 9 Pohdinta

Yksi opinnäytetyömme tavoitteista oli selvittää, voiko lämpökovetteisen akryylin ja everStick-kuidun välille muodostaa kestävää sidosta. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että everStick kuidut sitoutuvat hyvin sitä ympäröivään lämpöpolymeeroituvaa muovimatriisiin. Kuten kuviossa 9 näkyy, kuidut ovat pysyneet paikoillaan, eivätkä ole lähteneet liukumaan ulos muovimatriisista. Testikappaleen hajotessa kuidut itsessään hajoavat, mutta kuitujen ja muovin välinen liitos kestää. Kuidut on asemoitu oikeaan kohtaan testitikun pohjalle, sillä ne tulevat heti pintaan rasituksen kohdistuessa kappaleen vastapuolelle.



Kuvio 9. everStick-kuiduilla vahvistettu koekappale kolmepistetaivutuksen jälkeen.

Kuormankantokyvyn, kimmomoduulin ja taivutuslujuuden tuloksia tarkastellessa ryhmän Tex4800X2 tulokset ovat huomattavasti parempia kuin muiden ryhmien. Voitaisiin ajatella että ryhmän kuidut sopivat proteesien vahvistukseen paremmin kuin muut. Tex4800X2-ryhmän testikappaleet sisältävät kuitenkin huomattavasti enemmän yksittäisiä kuituja kuin Stick-kuituryhmän testikappaleet, jolloin niiden vertaaminen keskenään ei ole tasa-arvoista. Yksittäinen Stick-kuituvahvike sisältää saman määrän yksittäisiä kuituja kuin everStick Tex2400-kuituvahvike. Näitä kahta ryhmää vertaamalla saadaan todenmukaisempia tuloksia.

Toinen työmme tavoitteista oli saada näyttöä everStick-kuidun käyttömahdollisuuksista lämpökovetteisen akryylin kanssa. Stick- ja everStick Tex2400-ryhmien testikappalei-

den kuormankantokyvyn ja taivutuslujuuden arvot olivat melko saman suuruiset. EverStick-kuituja sisältävät testikappaleet olivat vain hiukan parempia, sillä kuidut maksimoivat rasituskestävyyden, mikäli ne ovat tasaisesti ympäröivässä muovimatriisissa. Lisäksi kuidut tulee asettaa oikein kohdistuvia voimia vastaan. Stick-kuituja käytettäessä on vaikeaa asettaa niitä tarkasti tai suoraan linjaan. Valokovetteisten kuitujen käsitteleminen ja asemointi on huomattavasti helpompaa, minkä takia ne saattavat soveltua paremmin proteesien vahvistukseen.

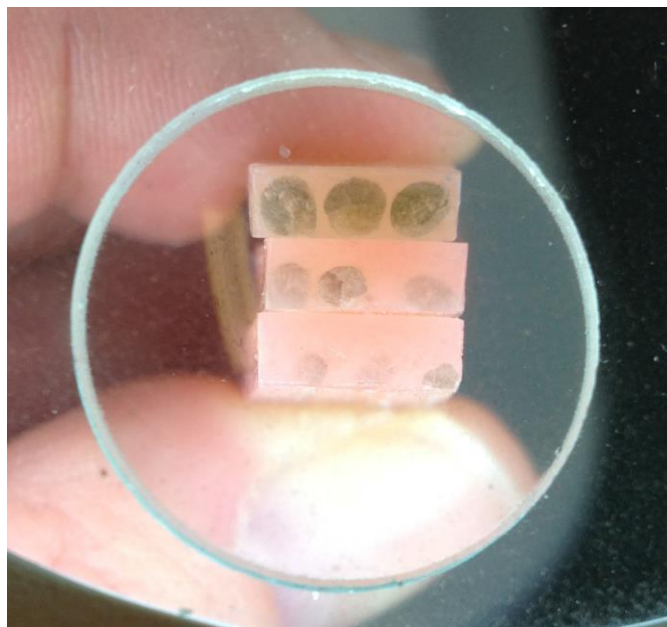
Stick-testitikuilla on suuri keskihajonta kaikissa mittaustuloksissa, sillä niiden tasalaatuisuus on vaikea varmistaa. Kuituniput kostutetaan käsin, jolloin yksittäiset kuidut pääsevät liikkumaan. Tällöin ei pystytä varmistamaan kuitujen optimaalista asemaa, vaikka testikappaleet valmistetaan täysin samalla tavalla.

Useissa hammasteknisissä töissä jäykkyys on toivottava ominaisuus. Varsinkin kokoja osaproteesien tulee olla tarpeeksi jäykkiä, jotta ne toimivat halutulla tavalla ja kestävät rasittavia voimia. Stick-kuituryhmän kimmomoduuli on hieman suurempi kuin everStick-kuituryhmä. Eli Stick-kuidut osoittautuivat jäykemmiksi kuin everStick-kuidut. Käytettäessä paksumpia everStick Tex4800- ja Tex4800X2-kuituja, saavutettiin kuitenkin jäykemmät kappaleet kuin Stick-kuituja käytettäessä. Toisaalta kaikkien everStick-kuituryhmien maksimitaipuma millimetreissä oli huomattavasti suurempi kuin Stick-kuitu- ja kontrolliryhmän.

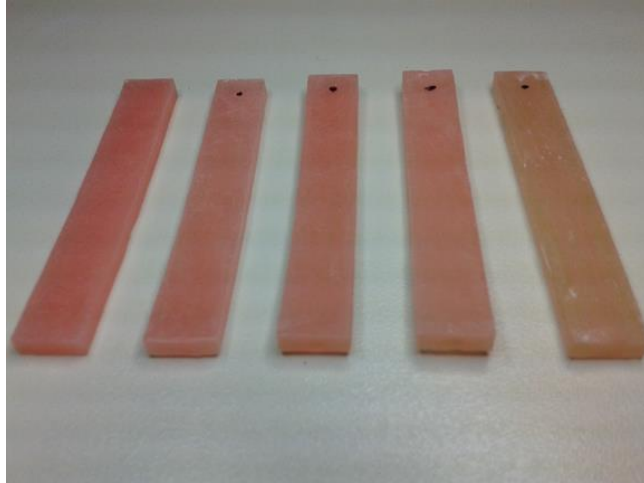
Aiemmissä tutkimuksissa on tullut selville, että E-lasikuidulla vahvistettujen proteesien iskunkestävyys oli merkittävästi suurempi kuin vahvistamattomien. Toisessa tutkimuksessa selvisi, että kuitujen määrän lisääminen vahvistaa kappaleen kestävyttä. Tästä tutkimuksesta saadut tulokset puoltavat aiempia tutkimuksia. Kuormankantokyvyn, kimmomoduulin ja taivutuslujuuden arvot paranivat mitä tahansa kuitua käytettäessä verrattuna kontrolliryhmään.

Vallitun vuonna 1996 tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että PMMA-muovin polymeerisaatiosta johtuvan kutistuman aiheuttavan suurimmat muutokset tarkkuudessa proteeissa, jotka oli vahvistettu kuiduilla. Vaikka tästä tutkimuksesta saatiin hyviä tuloksia everStick-testikappaleiden osalta, ei ole kuitenkaan näyttöä miten paljon vahvistettavat kappaleet kutistuvat. Vahvistetut testikappaleet vääntyivät jonkin verran, joka johtui lämpöpolymeerisoituvan akryylin kovettumiskutistumasta. Tällainen vääntyminen saattaa aiheuttaa ongelmia käytännön töissä.

Tex4800- ja Tex4800X2-kuidut ovat melko paksuja (kuvio 10). Näin ollen niiden käyttäminen proteesien vahvikkeena voi aiheuttaa ongelmia estetiikan, hygienian ja kestävyiden kannalta. Kuituja lisättäessä testikappaleiden väri muuttui haaleammaksi ja kuidut kuulsivat akryylin läpi, mikä saattaa vaikuttaa estetiikkaan (kuvio 11). Yleensä kuidut sijoitetaan työn heikoimpaan ja ohuimpaan kohtaan. Tex4800- ja Tex4800X2-kuituja käyttämällä rakenteesta tulee haluamattakin melko paksu. Testikappaleissa Tex4800 kuitujen tilavuusprosentti oli 30 ja Tex4800X2 oli 53 (taulukko 5). Kuituja asettaessa täytyy huomioida, että niiden ympärille jää tarpeeksi muovimatriisia vahvan komposiitin aikaansaamiseksi. Jos kuitujen ja muovimatriisin välinen adheesio on huono, komposiittiin kohdistuva stressi ei siirry heikosta muovista vahvistaviin kuituihin. Testitikkuja Tex4800x2 valmistettaessa muovimatriisia oli liian vähän suhteessa kuitujen tilavuuteen. Akryyli ei ryöminyt kunnolla kuitujen ympärille, jolloin adheesioista ei tullut toivotun kaltainen. Testitikkuihin jäi selkeitä ilmataskuja, ja osa kuiduista näkyi paljaana. Jos näin kävisi proteesissa, täytyisi työtä korjata sillä se olisi epähygieeninen. Ilmataskujen vuoksi kaikki testikappaleet eivät olleet täysin tasalaatuisia ja tämän takia taivutuslujuuden tuloksissa oli paljon keskihajontaa.

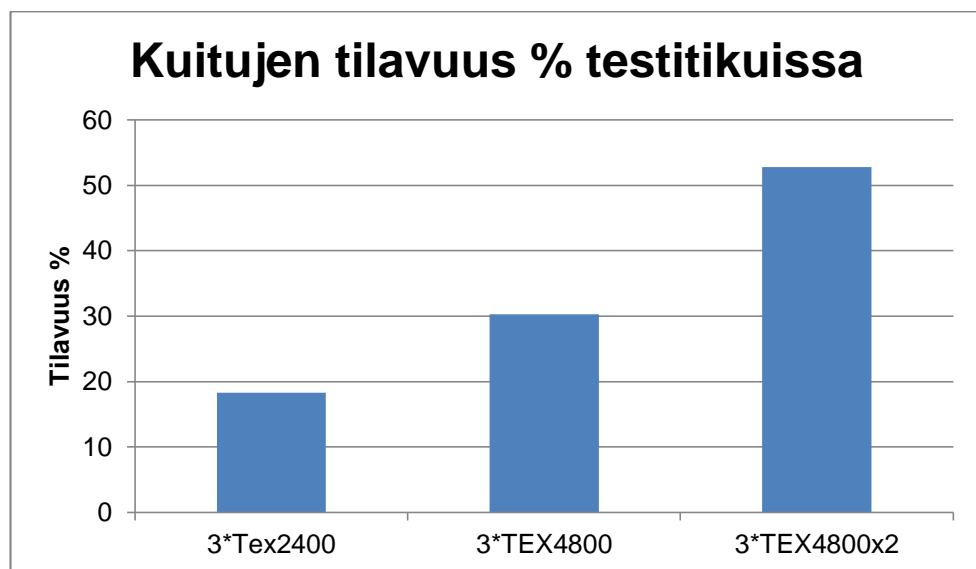


Kuvio 10. Kuitujen paksuuseroja. Ylhäällä Tex4800X2, keskellä Tex4800 ja alimmaisena everS-tick Tex2400.



Kuvio 11. Vasemmalta oikealle: kotrolliryhmä, Stick, everStickC&B, Tex4800 ja Tex4800X2. Kuvasta näkee, kuinka testikappaleiden väri muuttuu.

Taulukko 5. everStick-kuituvahvikkeiden tilavuus testikappaleissa.



On vaikeaa sanoa mikä kuiduista sopii parhaiten hammastekniseen käyttöön sillä jokainen työ on erilainen. Täytyy miettiä minkälaisia voimia proteesin kohdistuu, mistä suunnasta ja kuinka voimakkaita. Käytettävissä oleva tila saattaa myös vaikuttaa päätökseen. Toisinaan täytyy punnita ulkonäön ja käytännöllisyyden välillä. Paras ratkaisu olisi luoda erilaisia tuotteita eri käyttötarkoituksiin. Tuotteissa täytyy olla selkeästi ilmoitettu, minkälaisia ominaisuuksia sillä on ja mihin käyttöön se soveltuu parhaiten. Tällöin teknikoilla olisi riittävästi vaihtoehtoja luoda yksilöllisiä proteeseja, jotka palvelevat asiakkaiden tarpeita.



## Lähteet

Dibentsoyyliperoksidi 2014. Wikipedia. Verkkodokumentti

<<https://fi.wikipedia.org/wiki/Bentsoyyliperoksidi>> Luettu 27.3.2015.

everStick-tuotteet 2008. Stick Tech Oy. Verkkodokumentti.

<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=11953>> Luettu 27.3.2015.

Kielitoimiston sanakirja 2015. Hiilikuitu. Kotimaisten kielten keskus. Verkkodokumentti.

<<http://www.kielitoimistonsanakirja.fi/netmot.exe?motportal=80>>. Luettu 26.3.2015.

Kielitoimiston sanakirja 2015. Lasikuitu. Kotimaisten kielten keskus. Verkkodokumentti.

<<http://www.kielitoimistonsanakirja.fi/netmot.exe?motportal=80>>. Luettu 25.3.2015.

Kim, Sung-Hun - Watts, David 2004. The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete dentures fabricated with high-impact acrylic resin. Elsevier Inc. Verkkodokumentti. <[http://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(03\)00867-9/abstract](http://www.thejpd.org/article/S0022-3913(03)00867-9/abstract)>. Luettu 26.3.2015.

Lappalainen, Rolf - Lassila, Veijo - Vallittu, Pekka 1994. Acrylic resin-fiber composite—part I: The effect of fiber concentration on fracture resistance. Elsevier Inc. Verkkodokumentti. <[http://www.thejpd.org/article/0022-3913\(94\)90446-4/abstract](http://www.thejpd.org/article/0022-3913(94)90446-4/abstract)> Luettu 26.3.2015.

Lastumäki, Tapani 2002. CAD/CAM- kuitukomposiitin kehittäminen hammasteknologi- an sovellutuksiin. Helsinki: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia.

Lastumäki, Tapani - Vallittu, Pekka 1999. Muovit hammasprotetiikassa. Ham- masteknikko-lehti 54(3). 4-10.

Murphy, John 1998. Reinforced Plastics handbook. United Kingdom: Elsevier Science Ltd.

Narva, Katja 2004. Fibre-reinforced denture base polymer. Clinical performance and mechanical properties. Turku: Turun Yliopisto.

Stick-tuotteet 2008. Stick Tech Oy. Verkkodokumentti.

<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=3z23t34xhuy>> Luettu 27.3.2015.

Suomisanakirja 2015. Kimmomoduuli. Verkkodokumentti. <

<http://www.suomisanakirja.fi/kimmomoduuli>>. Luettu 17.4.2015.

Suomisanakirja 2015. Taivutuslujuus. Verkkodokumentti.

<<http://www.suomisanakirja.fi/taivutuslujuus>>. Luettu 22.4.2015.

Tezvergil-Mutluay, Arzu 2006. Dental fibre-reinforced composite resin in direct chair-side applications. Studies on thermal expansion, polymerization shrinkage and bonding characteristics in relation to fibre orientation. Turku: Turun Yliopisto.

Vallittu, Pekka 1994. Factors Contributing to the Fracture of an Acrylic Resin Based Denture. A study to improve the mechanical properties of polymethylmethacrylate with continuous fibres. Kuopio: Kuopion Yliopisto.

Vallittu, Pekka 1994b. Acrylic resin-fiber composite—part II: The effect of polymerization shrinkage of polymethyl methacrylate applied to fiber roving on transverse strength. Elsevier Inc. Verkkodokumentti. <[http://www.thejpd.org/article/0022-3913\(94\)90447-2/pdf](http://www.thejpd.org/article/0022-3913(94)90447-2/pdf)> Luettu 26.3.2015.

Vallittu, Pekka 1996. Dimensional accuracy and stability of polymethyl methacrylate reinforced with metal wire or with continuous glass fiber. Elsevier Inc. Verkkodokumentti. <[http://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(96\)90246-2/pdf](http://www.thejpd.org/article/S0022-3913(96)90246-2/pdf)> Luettu 25.3.2015.

Yritys 2008. Stick Tech Oy. Verkkodokumentti.

<<http://www.sticktech.com/document.asp?id=company-fi>> Luettu 27.3.2015.

## Kolmipistetaivutuksen tulokset

Batch	Reference	Sample	Maximum Load (N)	Deflection (mm)	Maximum Load (MPa)	Maximum Bending Modulus (MPa)
kontrolli		1 K	124,22071	4,043504	30,4214	163,28625
kontrolli		2 K	112,62882	3,565206	26,07149	155,62526
kontrolli		3 K	105,21892	3,381205	25,7679	164,27357
kontrolli		4 R	103,95049	3,434242	26,97677	171,97282
kontrolli		5 R	116,8524	4,898299	30,32502	149,6609
kontrolli		6 R	121,04285	3,754035	28,01918	155,92091
kontrolli		7 R	105,35151	5,114652	30,8647	171,7986
kontrolli		8 R	98,360751	4,203703	27,09663	161,18809
kontrolli		9 R	124,16725	3,92931	27,20977	156,89863
<b>keskiarvo</b>			<b>112</b>	<b>4,0</b>	<b>28</b>	<b>161</b>
<b>keskihajonta</b>			9,6	0,62	2,0	7,5
Stick		1 K	239,21666	3,776707	62,08045	342,86926
Stick		2 K	279,63956	3,598935	77,03569	455,46282
Stick		3 K	290,86735	5,361608	80,12875	388,36818
Stick		4 K	158,87843	3,63891	43,76816	294,44217
Stick		5 K	222,16135	3,522696	61,20147	390,3431
Stick		6 K	189,154	3,899456	52,10854	309,76879
Stick		7 R	350,47776	4,091995	96,55035	523,8925
Stick		8 R	259,54422	3,801062	71,49978	424,49365
Stick		9 R	221,72223	3,923684	61,0805	345,8565
<b>keskiarvo</b>			<b>246</b>	<b>4,0</b>	<b>67</b>	<b>386</b>
<b>keskihajonta</b>			57	0,56	16	73
Tex2400		1 K	317,91661	11,46146	77,85713	317,7286
Tex2400		2 K	312,80146	12,09258	86,1712	345,9948
Tex2400		3 K	269,28599	11,49233	74,18347	319,4906
Tex2400		4 K	329,60533	12,04649	80,71967	308,62271

Tex2400	5 K	327,14487	10,90821	80,11711	314,82361
Tex2400	6 K	293,53709	9,224756	76,17744	310,12692
Tex2400	7 R	303,49753	11,37444	83,60814	354,23731
Tex2400	8 R	312,29169	10,20395	86,03077	367,20598
Tex2400	9 R	306,41524	12,67208	84,41191	359,44575
<b>keskiarvo</b>		<b>308</b>	<b>11</b>	<b>81</b>	<b>333</b>
<b>keskihajonta</b>		18	1,0	4,3	23
Tex4800	1 K	428,06418	10,66901	99,08893	354,72311
Tex4800	2 K	427,87676	10,80707	104,7861	370,62225
Tex4800	3 K	444,14446	10,45389	108,7701	395,84142
Tex4800	4 R	466,47188	10,28216	128,5047	455,78821
Tex4800	5 R	437,89932	12,15387	120,6334	459,35681
Tex4800	6 R	456,25264	10,8478	125,6894	465,88739
Tex4800	7 R	429,56926	10,62404	118,3386	462,60361
Tex4800	8 R	459,19132	10,9558	126,499	449,63659
<b>keskiarvo</b>		<b>444</b>	<b>11</b>	<b>117</b>	<b>427</b>
<b>keskihajonta</b>		15	0,6	11	46
Tex4800x2	1 R	882,83814	7,515888	216,2053	732,87386
Tex4800x2	2 R	983,22976	7,905053	240,791	792,8183
Tex4800x2	3 R	901,3723	7,605809	208,651	697,00894
Tex4800x2	4 K	1069,8951	7,343411	294,7369	1078,0536
Tex4800x2	5 K	1007,0025	8,618712	277,4111	963,75936
Tex4800x2	6 K	973,42825	7,389025	268,1621	978,28859
Tex4800x2	7 K	1064,3146	8,543468	293,1996	993,5057
Tex4800x2	8 K	978,77181	8,06761	269,6341	1015,541
Tex4800x2	9 K	870,01955	8,058744	239,6748	918,27078
<b>keskiarvo</b>		<b>970</b>	<b>7,9</b>	<b>256</b>	<b>908</b>
<b>keskihajonta</b>		73	0,47	32	134