



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Opinnäytetyö

**Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja
vahvistava vaikutus**

Kuosmanen Matti

Laboratorioala

2009

Laboratorioala	
Tekijä: Matti Kuosmanen	
Työn nimi: Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistava vaikutus	
Ohjaajat: Yliopettaja Jouko Vihanto ja FT Eija Säilynoja	
Opinnäytetyön valmistumisajankohta: Toukokuu 2010	Sivumäärä: 32 sivua ja 3 liitesivua
<p>Työn tarkoituksena oli tutkia Stick Tech Oy:n everStick-kuitulujitteen vahvistavaa vaikutusta hammaslääketieteessä käytettäviin yhdistelmämuoveihin. Stick Tech Oy:n everStick-kuitulujite on lasikuidusta ja huokoisesta polymeeristä valmistettu materiaali, joka sopii mekaanisten ominaisuuksiensa ansiosta hammaslääketieteen sovelluksiin. Työssä oli myös tarkoituksena havainnoida everStick-kuitulujitteen ja kaupallisten yritysten valmistamien yhdistelmämuovien yhteensopivuuseroja mittaamalla näytteiden mekaanisia ominaisuuksia.</p> <p>Tutkimus aloitettiin syyskuussa 2008, jolloin valmistettiin näytteet kaupallisten yritysten valmistamista yhdistelmämuoveista ja everStick-kuitulujitteesta ISO 10477 -standardin mukaisesti. Näytteille mitattiin kolmipistetaivutustestissä kuormankantokyky, taivutuslujuus sekä taivutusmoduuli. Näitä ominaisuuksia vertailemalla tutkittiin kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistavaa vaikutusta ja seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen näytteitä heikentävää vaikutusta. everStick-tuotteen vedenottokyky ja liukoisuus veteen mitattiin gravimetrisesti.</p> <p>Työn tuloksista selvisi, että yhdistämällä everStick-kuitulujite hammaslääketieteessä käytettäviin yhdistelmämuoveihin, saadaan yhdistelmämuovien taivutustestissä mitattavat ominaisuudet vahvistumaan moninkertaisesti. Vesisäilytyksen todettiin heikentävän kuitulujitetun yhdistelmämuovin mitattuja ominaisuuksia hieman.</p> <p>StickTech Oy:n everStick-kuitulujitteen ja kaupallisten yritysten valmistamien yhdistelmämuovien välisiä yhteensopivuuseroja todettiin olevan jonkin verran. Tutkimuksessa havaittiin erojen johtuvan enimmäkseen yhdistelmämuovien välisistä eroista koostumuksessa ja esimerkiksi kaikkien eri valmistajien samaan tarkoitukseen käytettävät yhdistelmämuovit todettiin ominaisuuksiltaan melko samankaltaisiksi.</p>	
Hakusanat: Kuitulujite, kolmipistetaivutus	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto, Lemminkäisenkatu	

Degree Programme: Laboratory Technology	
Author: Matti Kuosmanen	
Title: The strengthening effect of reinforcement fibers in dental composites	
Instructors: Jouko Vihanto, Principal Lecturer, and Eija Säilynoja, PhD	
Date: May 2010	Total number of pages: 32 pages and 3 annex pages
<p>The aim of this thesis was to study the strengthening effect of everStick reinforcement fiber in dental composites and also to study the differences in compatibility between the everStick product and dental composites manufactured by commercial enterprises. The everStick reinforcement fiber product consists of fiberglass and porous polymer material and has such mechanical properties that it is suitable for use in dental applications.</p> <p>The study was started by preparing the samples from dental composites and everStick reinforcement fibers in accordance with the ISO 10477 standard. The samples were measured with the three-point bending test for their load-bearing capacity, bending stress and modulus of bending. The strengthening effect of reinforcement fibers in dental composites was examined by comparing the measured properties of composite samples with the properties of fiber-reinforced composite samples. The effects of a seven day water storage test on fiber-reinforced composites were also examined by comparing. The water solubility and water uptake of the everStick product were measured gravimetrically.</p> <p>The strengthening effect of reinforcement fibers in dental composites was clear. The maximum load-bearing capacities for the dental composites increased significantly by combining the reinforcing fibers with the composite. The seven day water storage had a slightly weakening effect on the mechanical properties of the fiber-reinforced composite.</p> <p>The differences in compatibility between the everStick product and dental composites from different manufacturers were found to be minor. The results tell that the use of everStick in dental composites improves the mechanical properties of dental composites and that it has no problems in compatibility with the dental composites that were used as test samples in this study.</p>	
Keywords: mechanical properties, everStick	
Deposit at: TUAS Library, Lemminkäisenkatu	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	YHDISTELMÄMUOVIT	8
2.1	Matriisi	8
2.2	Täytepartikkelit	9
2.3	Liitännäsmolekyylit	10
3	KUITULUJITTEET YHDISTELMÄMUOVEISSA	11
4	TYÖN SUORITUS	12
4.1	Työn tarkoitus	12
4.2	Menetelmä	12
4.2.1	Näytteiden valmistus	13
4.2.2	Kolmipistetaivutustesti	13
4.2.3	Vesisäilytystesti	15
4.2.4	Vedenottokyky ja liukoisuus veteen	15
4.3	Työssä käytetyt laitteet	16
4.4	Työssä käytettävät materiaalit	16
4.4.1	Kaupalliset yhdistelmämuovit	16
4.4.2	Kuitulujite	18
5	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	19
5.1	Kuormankantokyky	19
5.1.1	Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistava vaikutus	22
5.1.2	Vesisäilytyksen yhdistelmämuoveja heikentävä vaikutus	23
5.2	Taivutuslujuus	23
5.3	Taivutusmoduuli	26
5.4	Vedenottokyky ja liukoisuus veteen	29

6	YHTEENVETO	30
----------	-------------------	-----------

7	LÄHTEET	31
----------	----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. Työssä käytetyt laitteet

Liite 2. Kuvia katkenneista näytteistä

Liite 3. Näytteiden tilavuudet ja massat

KUVAT

<i>Kuva 1. Bis-GMA:n kaava⁶</i>	9
<i>Kuva 2. TEGDMA:n kaava⁶</i>	9
<i>Kuva 3. UDMA:n kaava⁶</i>	9
<i>Kuva 4. Kolmipistetaivutus</i>	13
<i>Kuva 5. Laskukaavat taivutuslujuudelle sekä taivutusmoduulille</i>	14
<i>Kuva 6. Laskukaava vedenottokyvylle</i>	15
<i>Kuva 7. Laskukaava liukoisuudelle veteen</i>	16

KAAVIOT

<i>Kaavio 1. Flow-muovien kuormankantokyky</i>	20
<i>Kaavio 2. Yleisalueen muovien kuormankantokyky</i>	20
<i>Kaavio 3. Yhdistelmämuovien kuormankantokyky</i>	21
<i>Kaavio 4. Flow-muovien taivutuslujuus</i>	24
<i>Kaavio 5. Yleisalueen muovien taivutuslujuus</i>	25
<i>Kaavio 6. Muiden muovien taivutuslujuus</i>	26

<i>Kaavio 7. Flow-muovien taivutusmoduuli</i>	27
<i>Kaavio 8. Yleisalueen muovien taivutusmoduuli</i>	27
<i>Kaavio 9. Muiden muovien taivutusmoduuli</i>	28

TAULUKOT

<i>Taulukko 1. Flow-yhdistelmämuovien tiedot</i>	17
<i>Taulukko 2. Yleismuovien tiedot</i>	17
<i>Taulukko 3. Muiden muovien tiedot</i>	18
<i>Taulukko 4. Kuitulujite</i>	18
<i>Taulukko 5. Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistava vaikutus</i>	22
<i>Taulukko 6. Vesisäilytyksen vaikutus näytteisiin</i>	23
<i>Taulukko 7. Näytteen vedenottokyky</i>	29
<i>Taulukko 8. Näytteen liukoisuus veteen</i>	29

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kuitulujitteen yhdistelmämuovia vahvistava vaikutus. Syy opinnäytetyön aihevalintaan oli Stick Tech Oy:n toimeksianto. Stick Tech Oy on yritys, joka kehittää, valmistaa ja markkinoi kuitulujitteita hammaslääketieteen tarpeisiin. Toimeksiannon tarkoitus on selvittää everStick-tuotteen yhteensopivuutta kaupallisten yritysten valmistamien yhdistelmämuovien kanssa. Erityisesti tarkoituksena on tutkia onko yhteensopivuuksissa eroja eri yhdistelmämuovien ja/tai valmistajien välillä. Työssä valmistetaan näytteet kaupallisten yritysten valmistamista yhdistelmämuoveista sekä niihin liitettävästä Stick Tech Oy:n everStick-kuitulujitteesta. Näytteiden ominaisuuksia mitataan kolmipistetaivutustestin avulla ja vesisäilytystestillä.

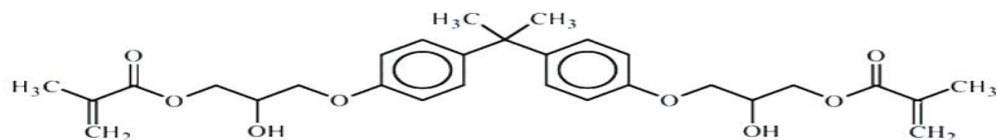
Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritetaan Stick Tech Oy:n laboratoriotiloissa. Opinnäytetyön kokeellisen osuuden laboratoriomittausten tuloksista on tarkoitus tehdä päätelmiä kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistavasta vaikutuksesta ja tarkastella yhdistelmämuovien ja kuitulujitteen yhteensopivuseroja mekaanisten ominaisuuksien osalta.

2 YHDISTELMÄMUOVIT

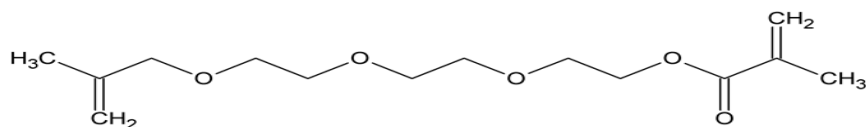
Hammaslääketieteen käyttämät yhdistelmämuovit koostuvat yleensä hartsipohjaisesta monomeerimatriisista ja epäorgaanisesta täyteainematriisista. Näiden lisäksi yhdistelmämuoviin voidaan lisätä liitännäsmolekyylejä lujittamaan kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaisten komponenttien välisiä sidoksia, ja näin ollen parantamaan yhdistelmämuovin mekaanisia ominaisuuksia.¹ Initiaattori on yhdistelmämuovin osa, jonka avulla matriisissa saadaan aikaan polymerisaatioreaktio, kun siihen kohdistetaan ulkopuolista energiaa. Nykyään käytetyt yhdistelmämuovien monomeerit perustuvat jo 1950-luvulla kehitettyihin muoveihin, joiden ominaisuuksissa on heikkouksia, kuten esimerkiksi kovettumisen aikana tapahtuva kutistuminen. Hammaslääketieteellisten polymeerien ominaisuuksiin parannusta on tutkittu ja yksi ratkaisu voi olla uudentyypisen monomeerin, dendriimerin käyttö polymeroituvien monomeeriseosten osana. Dendriimerin oletetaan muodostavan paremmin verkkoutunut, paremmin ristisilloittunut ja lujemmin polymeroitunut rakenne täyteainehiukkasten väliin.^{2,3}

2.1 Matriisi

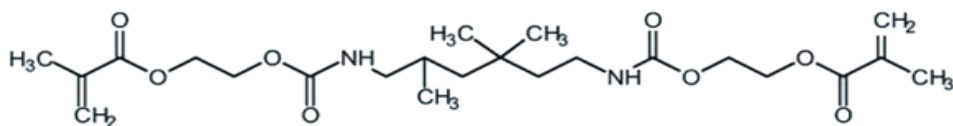
Orgaanisena matriisina hammaslääketieteen käyttämissä yhdistelmämuoveissa käytetään yleensä metakrylaatteja ja niiden johdannaisia. Metakrylaatit ovat akryylihapon metyyliestereitä. Metakrylaatit voidaan polymerisoida näkyvän valon tai UV-valon avulla. Hammaslääketieteessä käytetyissä yhdistelmämuoveissa matriisi koostuu yleensä metakrylaateista (esimerkiksi etyleeniglykolidimetakrylaatti (EGDMA), trietyleeniglykolidimetakrylaatti (TEGDMA), uretaanidimetakrylaatti (UDMA)) tai epoksidiakrylaateista (esimerkiksi, bisfenoli-A-glysidyylidimetakrylaatti (Bis-GMA) sekä bisfenoli-A-etyylidimetakrylaatti (Bis-EMA)). Nykyään useimmiten käytettyjä orgaanisen matriisin metakrylaatteja ovat Bis-GMA, TEGDMA sekä UDMA.^{4,5} Rakennekaavat Bis-GMA:lle, TEGDMA:lle sekä UDMA:lle näkyvät kuvissa 1, 2 ja 3.



Kuva 1. Bis-GMA:n kaava⁶



Kuva 2. TEGDMA:n kaava⁶



Kuva 3. UDMA:n kaava⁶

2.2 Täytepartikkelit

Täytepartikkelit ovat yhdistelmämuovissa orgaanista matriisia vahvistava komponentti. Ensimmäisen toimivan hartsipohjaisen hammaslääketieteessä käytetyn yhdistelmämuovin kehitti Rafael Bowen 1960-luvulla. Bowenin yhdistelmämuovi koostui metakrylaattimonomeerisysteemistä, jossa täytemateriaalina oli silikapulveria. Silikapulveri sitoutuu polymeeriin ja tasapainottaa sen rakennetta.⁷

Hammaslääketieteessä käytettävien täytepartikkelien materiaalin pitää sopia hampaiden väriin ja läpikuultavuuteen esteettisistä syistä. Erilaiset lasipartikkelit sopivat tähän tarkoitukseen ja siksi esimerkiksi strontium-, barium- ja borosilikaattilasit käytetään yhdistelmämuoveissa täytepartikkelimateriaalina. Yhdistelmämuovin mekaanisia ja fysikaalisia ominaisuuksia voidaan muokata haluttuun suuntaan täytepartikkelien materiaalilla, koolla, muodolla ja määrällä.⁸

2.3 Liitantomolekyylit

Liitantomolekyyleillä pyritään parantamaan yhdistelmämuovin rakenneosien sitoutumista toisiinsa. Liitantomolekyyleillä, esimerkiksi silaanimolekyyleillä, pinnoitetaan epäorgaaniset täyteainepartikkelit, jotta epäorgaaninen komponentti saadaan luotettavasti sidottua orgaaniseen hartsimatriisiin. Kuitulujitteena yhdistelmämuoveissa usein käytettävä lasikuitu pinnoitetaan silaanimolekyyleillä, joiden aktiiviset sidokset reagoivat polymeroituvan hartsin kanssa muodostaen tiiviin rakenteen hartsin ja kuitujen välille.⁵

3 KUITULUJITTEET YHDISTELMÄMUOVEISSA

Kuitulujitteet ovat yhdistelmämuovimateriaaleissa käytettäviä kuituja, joilla pyritään parantamaan yhdistelmämuovin orgaanisen matriisin ominaisuuksia. Hammaslääketieteessä käytetyimpiä kuitulujitteita ovat lasikuitulujitteet ja niistä erityisesti E-lasista (electronical glass) valmistetut lujitekuidut. Kuitulujitetut yhdistelmämuovit ovat materiaaleja, joiden ominaisuuksia voidaan muokata tarpeiden mukaisiksi. Erityisen hyväksi ominaisuudeksi kuitulujitetuissa yhdistelmämuoveissa voidaan laskea niiden käyttösovellukset hammasluuta säästävissä hammashoitotekniikassa.⁹

Kuitulujitetun yhdistelmämuovin ominaisuuksiin vaikuttavat kuidun ominaisuudet, määrä, muoto, suuntaus sekä sijainti, mutta myös polymeerin ominaisuudet, kuitujen sitoutuminen polymeerimatriisiin ja kuitujen impregnoituminen polymeerimatriisilla. Kuitulujitettujen yhdistelmämuovien kehitys keskittyy näiden osa-alueiden optimointiin ja kaikkien rakenteiden yhteisvaikutuksen tutkimiseen.¹⁰

4 TYÖN SUORITUS

Työn suoritus tapahtui valmistamalla ensin mittauksissa tarvittavat näytteet tutkimuksessa käytettävistä yhdistelmämuovimateriaaleista ja kuitulujitteesta. Näytteiden valmistuksen ja esikäsittelyn jälkeen suoritettiin tutkittavien mekaanisten ominaisuuksien mittaukset.

4.1 Työn tarkoitus

Työn tarkoituksena oli selvittää yrityksen valmistaman everStick-kuitulujitteen vaikutusta hammaslääketieteessä käytettävien yhdistelmämuovien mekaanisiin ominaisuuksiin. Tarkoituksena oli myös selvittää everStick-kuitulujitteen ja kaupallisten yhdistelmämuovien yhteensopivuutta sekä yhteensopimattomuutta. Työ sisälsi mitattavien näytteiden valmistuksen standardin¹¹ mukaiseksi, sekä mittaukset materiaalintestauslaitteella. Työssä käytetyt kaupalliset hammaslääketieteen yhdistelmämuovit saatiin näytteinä yrityksiltä.

Työn tarkoituksena oli myös selvittää seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen vaikutusta kuitulujitetun yhdistelmämuovin mekaanisiin ominaisuuksiin. Lisäksi tutkittiin työssä käytetyn kuitulujitteen everStick C&B-kuidun vedenottokyky sekä liukoisuus veteen.

4.2 Menetelmä

Työssä valmistetaan mitattavat näytteet kuitulujitteesta ja näytemateriaaleista, jonka jälkeen ne mitataan. Mittaustuloksista lasketaan tarvittavat tiedot ja ominaisuudet, joita havainnollistetaan kuvioiden avulla. Tuloksia tarkastellaan eri valmistajien ja eri käyttötarkoituksen mukaisten yhdistelmämuovien eroavaisuuksien varalta ja niistä tehdään päätelmiä.

4.2.1 Näytteiden valmistus

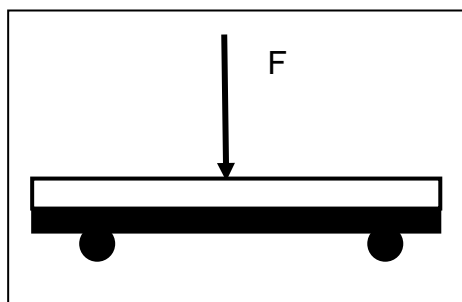
Näytteet valmistettiin hammaslääketieteessä käytettävistä yhdistelmämuoveista, joita saatiin kaupallisilta yrityksiltä. Näytemateriaaleista valmistettiin materiaalintestauksessa käytettävän standardin¹¹ mukaisia kappaleita eli ns. tulitikkunäytteitä. Näytteitä valmistettiin kahdenlaisia, joista toiset koostuivat pelkästään yhdistelmämuovista ja toisiin lisättiin vahvistava kuitulujite. Näytteet kovetettiin käsikäyttöisellä valokovetinlaitteella. Näytteiden valmistuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota siihen, ettei yhdistelmämuovin ja kuitulujitteen väliin tai yhdistelmämuovin sisälle jäisi ilmakuplia, sillä ilmakuplat heikentävät näytteen mekaanisia ominaisuuksia. Taivutustestissä näytteessä olevat ilmakuplat voivat aiheuttaa yhdistelmämuoviin halkeamia, jotka johtavat yhdistelmämuovin murtumiseen.

Vesisäilytystestin näytteet laitettiin vesisäilytykseen (+ 37 °C) seitsemäksi vuorokaudeksi ennen niille suoritettavaa taivutuslujuustestiä.

Kuitulujitteen liukoisuus veteen ja vedenottokyvyn selvittämiseen tarvittavat näytteet valmistettiin myös standardin¹¹ mukaisen valmistusohjeen mukaan.

4.2.2 Kolmipistetaivutustesti

Kolmipistetaivutustestissä materiaalintestauskone mittaa voimaa, joka taivutuksessa kohdistuu näytteeseen. Kuvassa 4 on havainnollistettu kolmipistetaivutuksen periaate.



Kuva 4. Kolmipistetaivutus

Testissä kuitulujitettua yhdistelmämuovia kuormitetaan materiaalintestauskoneella. Koneen kuormituspää painaa tukien päällä olevaa näytettä alaspäin aiheuttaen näytteeseen puristusjännitystä ja vetojännitystä. Näytteen kuormituspään puoleiseen pintaan (yläpinta) kohdistuu puristusjännitystä ja tukien puoleiseen pintaan (alapuoli) kohdistuu vetojännitystä. Näytteet asetetaan mittalaitteeseen, niin että kuitulujite on vetojännityksen puolella. Testissä koneen mittaaman murtokuorman avulla lasketaan näytteen taivutuslujuus ja taivutusmoduuli. Koesauvan mitat ja tukiväli valitaan siten, että taivutusmomentin taipuma on sauvan kuormankantokyvyn kannalta kriittinen kuormituskomponentti.¹² Kuvassa 5 esitetään laskukaavat taivutuslujuudelle (σ_{xu}^f), sekä taivutusmoduulille (E_x^f). Korjauskerrointa S ei oteta tässä työssä huomioon. Tässä työssä koesauvan mitat ovat hammaslääketieteessä käytettäviä materiaalia säätelevän kansainvälisen standardin¹¹ mukaiset.

a.	taivutuslujuus: $\sigma_{xu}^f = (3F_u L) / (2bh^2)$
	merkkien selitykset: F_u = murtokuorma b = koesauvan leveys h = koesauvan paksuus L = tukiväli
b.	taivutuskimmomoduli: $E_x^f = [(FL^3) / (4bh^3w)] * (1+S)$
	merkkien selitykset: F = voima kuorma/taipuma- kuvaajasta w = taipuma kuorma/taipuma- kuvaajasta L = tukiväli h = koesauvan paksuus b = koesauvan leveys S = korjauskerroin
c.	korjauskerroin: $S = (3h^2 E_x^f) / (2L^2 G_{xz})$
	merkkien selitykset: h = koesauvan paksuus E_x^f = taivutuskimmomoduli L = tukiväli G_{xz} = koesauvan liukumoduli xz-tasossa

Kuva 5. Laskukaavat taivutuslujuudelle sekä taivutusmoduulille

4.2.3 Vesisäilytystesti

Vesisäilytystestissä tutkitaan seitsemän vuorokautta vesisäilytyksessä olleiden näytteiden ominaisuuksia verrattuna tavallisiin näytteisiin. Vesisäilytys suoritettiin muoviputkilossa, jossa oli 10 ml vettä. Putkia pidettiin säilytyksen ajan + 37 °C lämpötilaan säädetyssä lämpökaapissa. Säilytyksen jälkeen näytteet kuivattiin pintapuolisesti ennen mittausta. Mittaus suoritettiin standardin¹¹ mukaisesti.

4.2.4 Vedenottokyky ja liukoisuus veteen

Vedenottokyky mitataan Stick Tech Oy:n C&B-kuitulujitteelle. Näytteet valmistetaan samalla muotilla kuin kolmipistetäivutustestiä varten tehdyt näytteet. Näytteiden mitat mitataan työntömitalla tilavuuden laskemiseksi. Näytteet punnitaan vuorokausi valokovetuksen jälkeen (m_1) ja laitetaan vesisäilytykseen (+ 37 °C) seitsemäksi vuorokaudeksi. Vesisäilytyksen jälkeen näytteet kuivataan pintapuolisesti ja punnitaan (m_2), jonka jälkeen ne kuivataan lämpökaapissa (+ 37 °C). Näytteiden annetaan kuivua niin kauan, kunnes ne saavuttavat vakioapainonsa. Kuivatut näytteet punnitaan (m_3) ja punnitustuloksista voidaan laskea näytteille vedenottokyky sekä näytemateriaalin liukoisuus veteen. Laskukaavat vedenottokyvylle (ρ_{ws}) sekä liukoisuudelle veteen (ρ_{sl}) on esitetty kuvissa 6 ja 7.

$$\rho_{ws} = (m_2 - m_3) / V$$

Merkkien selitykset:

m_2 = näytteen massa mikrogrammoina vesisäilytyksen jälkeen

m_3 = kuivatun näytteen massa mikrogrammoina

V = Näytteen tilavuus kuutiomillimetreinä

Kuva 6. Laskukaava vedenottokyvylle

$$\rho_{s1} = (m_1 - m_3) / V$$

Merkkien selitykset:

m_1 = alkuperäisen näytteen massa mikrogrammoina
 m_3 = kuivatun näytteen massa mikrogrammoina
 V = Näytteen tilavuus kuutiomillimetreinä

Kuva 7. Laskukaava liukoisuudelle veteen

4.3 Työssä käytetyt laitteet

Työssä käytetyt laitteet ja niiden tiedot ovat esitetty liitteessä 1.

4.4 Työssä käytettävät materiaalit

Työssä käytettiin materiaalina kaupallisten yritysten valmistamia yhdistelmämuoveja, joita käytetään hammaslääketieteessä erilaisiin hoitotarkoituksiin.

4.4.1 Kaupalliset yhdistelmämuovit

Taulukoissa 1, 2 ja 3 on esitetty työssä käytettävien yhdistelmämuovimateriaalien koostumuksesta ja rakenteesta tietoja. Taulukot ovat jaettu muoviryhmittäin siten, että taulukossa 1 esitetään flow-muovit, taulukossa 2 yleismuovit ja taulukossa 3 etu- ja taka-alueen muovit sekä laboratoriomuovit.

Taulukko 1. Flow-yhdistelmämuovien tiedot

Valmistaja	Tuote	Orgaaninen matriisi	Täytepartikkelien määrä / painoprosentteina	Täytepartikkelien koko
GC Corporation	Gradia Direct Flo		75	0,7 µm
Kuraray	Clearfil Majesty	TEGDMA	81	
Saremco	ELS	BisGMA	59	0,7 µm, max 2,6 µm
Ivoclar vivadent	Tetric EVO	BisGMA, UDMA, D ₃ MA	57,5	0,04 µm... 3 µm
3M ESPE	Filtek Supreme XT	BisGMA, TEDGMA	65	

Flow-muoviryhmään kuuluvat yhdistelmämuovit ovat matalan viskositeettinsa ansiosta helposti käsiteltäviä ja niiden sisältämä täytepartikkelien määrä on yleensä pienempi kuin muilla yhdistelmämuoviryhmillä. Tähän ryhmään luokiteltujen yhdistelmämuovien kuormankantokyky ja muut testattavat ominaisuudet ovat siksi mahdollisesti muihin ryhmiin verrattuna heikompia. Kaikkien muovien kohdalla ei saatu selvitettyksi niiden sisältämien täytepartikkelien kokoa.

Taulukko 2. Yleismuovien tiedot

Valmistaja	Tuote	Orgaaninen matriisi	Täytepartikkelien määrä / painoprosentteina	Täytepartikkelien koko
Saremco	ELS	BisGMA / BisEMA		0,7 µm, max 2,6 µm
Voco	Amaris		80	
Voco	Grandio		87	10 nm... 100nm
GC Corporation	Gradia Direct refill unitip	UDMA		
Ivoclar vivadent	Tetric EvoCeram		82 - 83	0,04 µm... 3 µm
3M ESPE	Filtek Supreme XT		78,5	0,02 µm... 2 µm

Taulukossa 2 on esitetty yleismuovien ryhmään luokitellut yhdistelmämuovit, joiden käyttötarkoitus on koko suun alueella olevien hammaslääketieteellisten hoitoratkaisujen paikka- ja korjausmateriaalina.

Taulukko 3. Muiden muovien tiedot

Valmistaja	Tuote	Orgaaninen matriisi	Täytepartikkelien määrä / painoprosentteina	Täytepartikkelien koko	Muoviryhmä
Kuraray	Clearfil Majesty Esthetic	BisGMA			Etualue
Kuraray	Clearfil Majesty Posterior	BisGMA, TEDGMA	92	0,02 µm... 1,5 µm	Taka-alue
3M ESPE	Sinfony		50	0,5...0,7 µm	Laboratorio

Muiden muovien ryhmään on luokiteltu suun etualueen hoitoihin tarkoitettu yhdistelmämuovi. suun taka-alueen hoitoihin tarkoitettu yhdistelmämuovi sekä laboratoriossa käytettäväksi tarkoitettu yhdistelmämuovi. Taka-alueen yhdistelmämuovin on tarkoitus olla suuria purentavoimia kestävä muovi ja sen sisältämien täytepartikkelien määrä onkin suuri esimerkiksi etualueen yhdistelmämuoviin verrattuna.

4.4.2 Kuitulujite

Työssä käytetään kaupallisten yritysten yhdistelmämuovien lisäksi Stick Tech Oy:n valmistamaa kuitulujitetta. Käytetyn kuitulujitteen tiedot esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Kuitulujite

Materiaali	Valmistaja	Tuote	Tuotenumero	Eränumero
Kuitulujite	Stick Tech Oy	everStick C&B	100006	2080610-ES-212

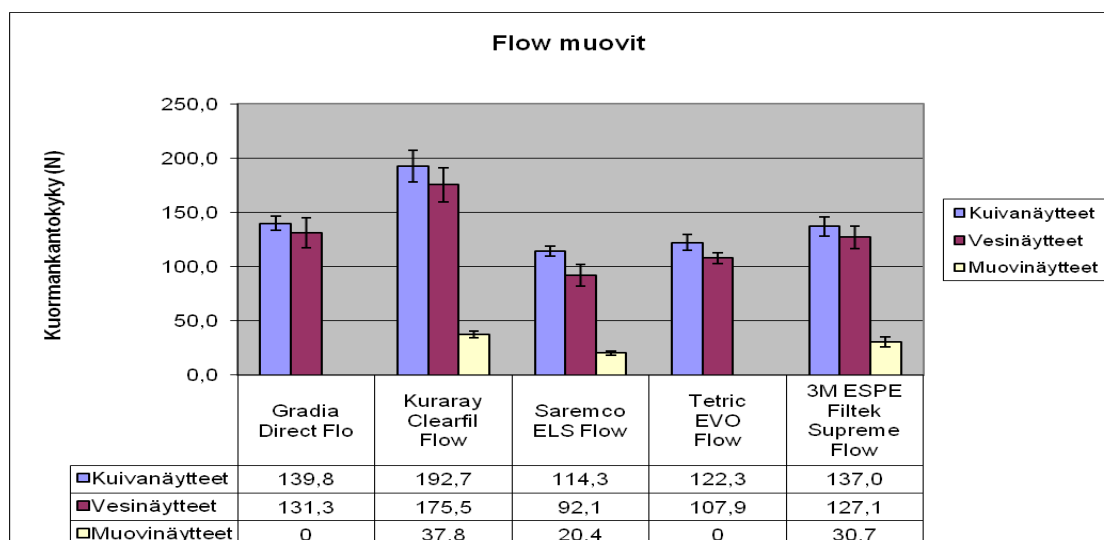
5 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tässä työssä kaikille valmistetuille näytteille suoritettiin kolmipistetäivutusmittaus, jonka tuloksista laskettiin muut ominaisuudet. Tutkimuksessa saadut tulokset tarkastellaan jaoteltuna yhdistelmämuovien käyttötarkoituksen mukaisiin ryhmiin. Näitä ryhmiä ovat flow-muovit, universaalit muovit sekä muut muovit. Tutkimuksessa mitattuja ominaisuuksia ovat maksimaalinen kuormankantokyky, taivutuslujuus maksimikuormapisteessä sekä taivutusmoduuli. Näitä ominaisuuksia tarkastellaan, kun näytteenä on pelkkä yhdistelmämuovi, kuitulujitettu yhdistelmämuovi tai kuitulujitettu yhdistelmämuovi seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen jälkeen. Näin ollen pystytään mittaustuloksien avulla vertaamaan kuitulujitteen yhdistelmämuovia vahvistavaa vaikutusta sekä seitsemän vrk:n vesisäilytyksen vaikutusta näytteiden ominaisuuksiin. Työssä käytetyn kuitulujitteen liukoisuus veteen ja vedenottokyky mitattiin myös seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen jälkeen.

5.1 Kuormankantokyky

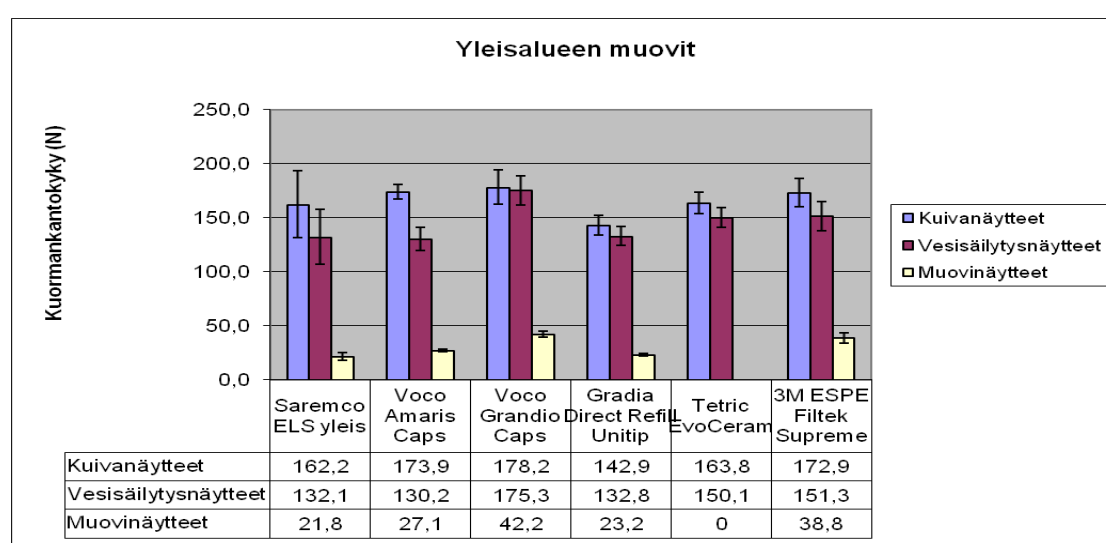
Maksimaalinen kuormankantokyky kertoo, kuinka paljon näyte kestää kuorman aiheuttamaa voimaa säilyen ehjänä. Mittaus suoritetaan materiaalintestauslaitteella kolmipistetäivutuksena, joka kohdistaa tukien päälle asetettuun näytteeseen mitattavan määrän painoa/voimaa. Tunnetun kuormankantokyvyn avulla voidaan näytteelle laskea muita hammaslääketieteellisesti tärkeitä ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. taivutuslujuus sekä taivutusmoduuli.

Kaaviosta 1 voidaan tarkastella flow-ryhmän yhdistelmämuovien maksimaalisten kuormankantokykyjen eroavaisuuksia pelkän yhdistelmämuovin, kuitulujitetun yhdistelmämuovin sekä vesisäilytyksen jälkeisen kuitulujitetun yhdistelmämuovin välillä.



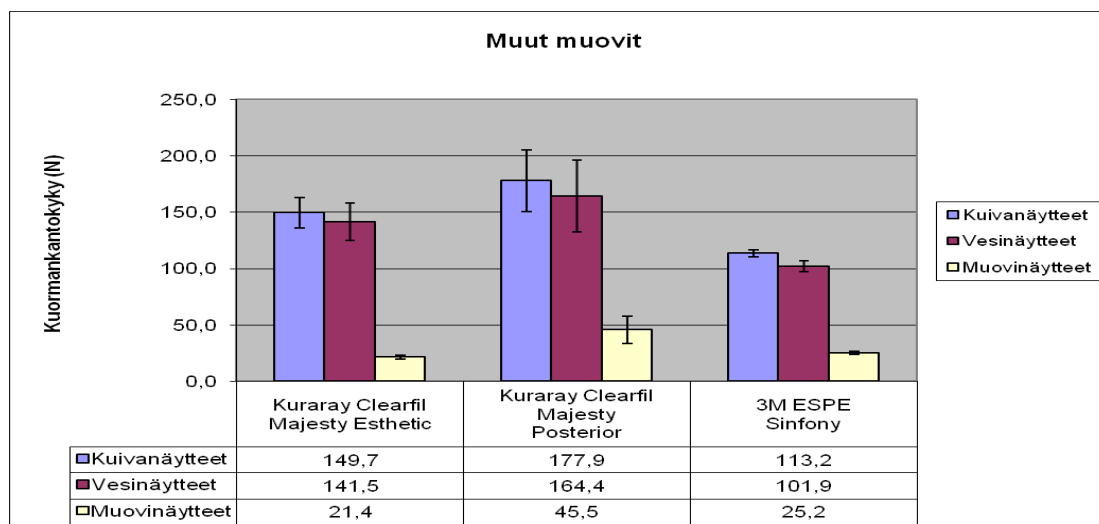
Kaavio 1. Flow-muovien kuormankantokyky

Kaikista kaupallisista muoveista ei saatu tarpeeksi näyttemateriaalia työn täydelliseen suorittamiseen, joten niiden kohdalla jouduttiin pelkästä yhdistelmämuovista koostuneet näytteet jättämään valmistamatta. Näiden kyseisten muovien (Gradia Direct Flo sekä Tetric EVO Flow) kohdalla kuitulujitteen yhdistelmämuovia vahvistavaa vaikutusta ei siis ole pystytty tutkimaan. Ensisilmäyksellä voidaan todeta kuitulujitteen vahvistavan yhdistelmämuoveja moninkertaisiksi kuormankantokyvyn osalta. Vesisäilytyksen (7 vrk) taasen voidaan todeta hieman heikentäneen näytteiden kuormankantokykyä.



Kaavio 2. Yleisalueen muovien kuormankantokyky

Kaaviossa 2 nähdään Tetric EvoCeram-muovinäytteen tuloksena nolla, koska siitä ei ollut tarpeeksi materiaalia tarjolla muovinäytteiden täydelliseen valmistamiseen. Tulosten keskihajonnoista Saremcon ELS yhdistelmämuovi on selvästi suurin ja se voidaan selittää näytteen valmistuksessa pienten ilmakuplien jäämisellä yhdistelmämuovin ja kuitulujitteen väliin.



Kaavio 3. Yhdistelmämuovien kuormankantokyky

Kaaviossa 3 on esitetty kolmen eri käyttötarkoituksen mukaisen yhdistelmämuovin kuormankantokyky pylväsdiagrammina. Kuraray Clearfil Majesty Esthetic-yhdistelmämuovia käytetään hammaslääketieteen sovelluksissa lähinnä suun etualueen hampaiden vaurioiden korjaamiseen tai muualla lähinnä pintakorjaukseen. Saman valmistajan Posterior-yhdistelmämuovia taas käytetään taka-alueen hoitoratkaisuissa. 3M ESPE Sinfony on yhdistelmämuovi, josta valmistetaan laboratoriossa potilaalle tarkoituksen mukainen pala tai rakenne korjausta varten. Kaaviosta nähdään mittaustulosten olevan odotetun mukaisia, sillä suurin kuormankantokyky on mitattu suun taka-alueen hampaisiin tarkoitettulla eli suurille rasitusvoimille altistuvalla Kuraray Clearfil Majesty Posterior yhdistelmämuovilla.

5.1.1 Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistava vaikutus

Vertaamalla kunkin näytteen muovi- ja kuivanäytettä voidaan laskea kuitulujitteen yhdistelmämuovia vahvistava vaikutus. Kuormankantokyvyn vahvistumisprosentit ovat taulukoituna taulukossa 5. Vahvistumisprosentti kertoo kuinka monta prosenttia kuitulujitetun yhdistelmämuovinäytteen mitattu kuormankantokyky on pelkän yhdistelmämuovin kuormankantokykyyn verrattuna.

Taulukko 5. Kuitulujitteen yhdistelmämuoveja vahvistava vaikutus

Vahvistumisprosentti	Näyte
743	Saremco ELS yleis
699	Kuraray Clearfil Majesty Esthetic
643	Voco Amaris Caps
616	Gradia Direct Refill Unitip
560	Saremco ELS Flow
509	Kuraray Clearfil Flow
449	3M ESPE Sinfony
446	3M ESPE Filtek Supreme Flow
445	3M ESPE Filtek Supreme
422	Voco Grandio Caps
391	Kuraray Clearfil Majesty Posterior
ei saatavilla	Gradia Direct Flo
ei saatavilla	Tetric EvoCeram
ei saatavilla	Tetric EVO Flow

Taulukosta 5 nähdään vahvistumisprosentteja tarkastelemalla, että kuitulujitettujen näytteiden maksimaaliset kuormankantokyvyt ovat moninkertaisesti suurempia kuin pelkkää yhdistelmämuovia sisältävien näytteiden vastaavat. Pienimmät vahvistumisprosentit ovat näytteillä, joiden muovinäytteillä on ollut suurimmat kuormankantokyvyt (taka-alueen ja universaalit yhdistelmämuovit) ja suurimmat vahvistumisprosentit ovat näytteillä, joiden muovinäytteillä on ollut pienimmät kuormankantokyvyt (flow ja etu-alueen yhdistelmämuovit). Kuitulujite on siis vahvistanut yhdistelmämuoveja ja tasoittanut niiden kuormankantokykyjen eroja.

Valmistajien välille ei yhteensopivuudessa merkittäviä eroja ole havaittavissa, mutta 3M ESPE:n valmistamat yhdistelmämuovit (Sinfony, Filtek Supreme ja Filtek Supreme Flow) ovat kaikki vahvistuneet prosentuaalisesti lähes saman verran.

5.1.2 Vesisäilytyksen yhdistelmämuoveja heikentävä vaikutus

Taulukossa 6 esitetään kuinka paljon kuitulujitettujen yhdistelmämuovinäytteiden kuormankantokyky on heikentynyt seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen jälkeen. Heikentymäprosentti kertoo kuinka monta prosenttia vesisäilytetyn näytteen maksimaalinen kuormankantokyky on kuivanäytteen kuormankantokyvystä.

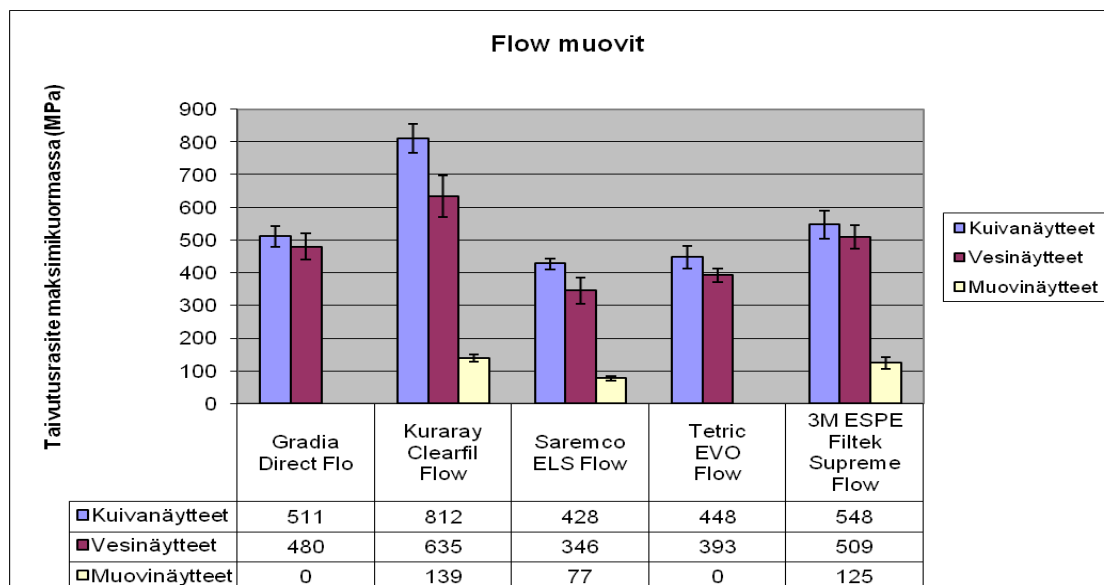
Taulukko 6. Vesisäilytyksen vaikutus näytteisiin

Heikentymä (%)	Näyte
25	Voco Amaris Caps
19	Saremco ELS Flow
19	Saremco ELS yleis
13	3M ESPE Filtek Supreme
12	Tetric EVO Flow
10	3M ESPE Sinfony
9	Kuraray Clearfil Flow
8	Kuraray Clearfil Majesty Posterior
8	Tetric EvoCeram
7	3M ESPE Filtek Supreme Flow
7	Gradia Direct Refill Unitip
6	Gradia Direct Flo
5	Kuraray Clearfil Majesty Esthetic
2	Voco Grandio Caps

Vesisäilytystestin tuloksista nähdään, että näytteet, joissa on ollut kuitulujitteen lisäksi Saremcon valmistamaa yhdistelmämuovia, ovat heikentyneet kuormankantokyvyltään enemmän kuin muiden valmistajien tuotteet. Vähiten heikentyneissä näytteissä on ollut Gradian yhdistelmämuovia. Vocon valmistamat yhdistelmämuovit ovat tutkittujen näytteiden ääripäitä. Amaris on heikentynyt eniten (25 %) vesisäilytyksessä ja Grandio taas vähiten (2 %).

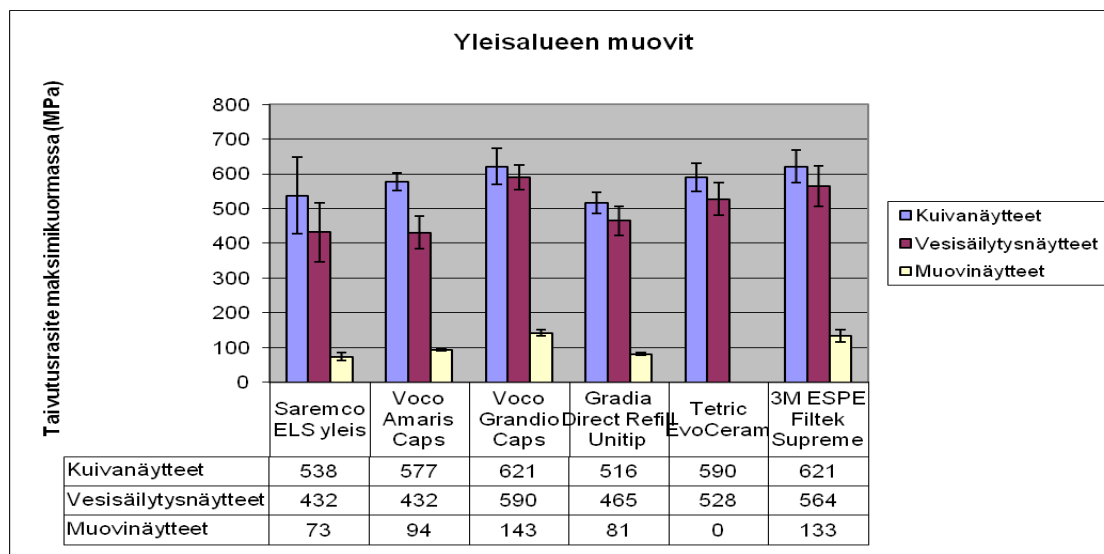
5.2 Taivutuslujuus

Taivutuslujuus maksimikuormassa kertoo kuinka suuri taivutuslujuus kohdistuu näytteeseen sen maksimaalisen kuormankantokyvyn kohdalla, ja samalla siis kuinka paljon näyte kestää taivutuslujuutta enimmillään.



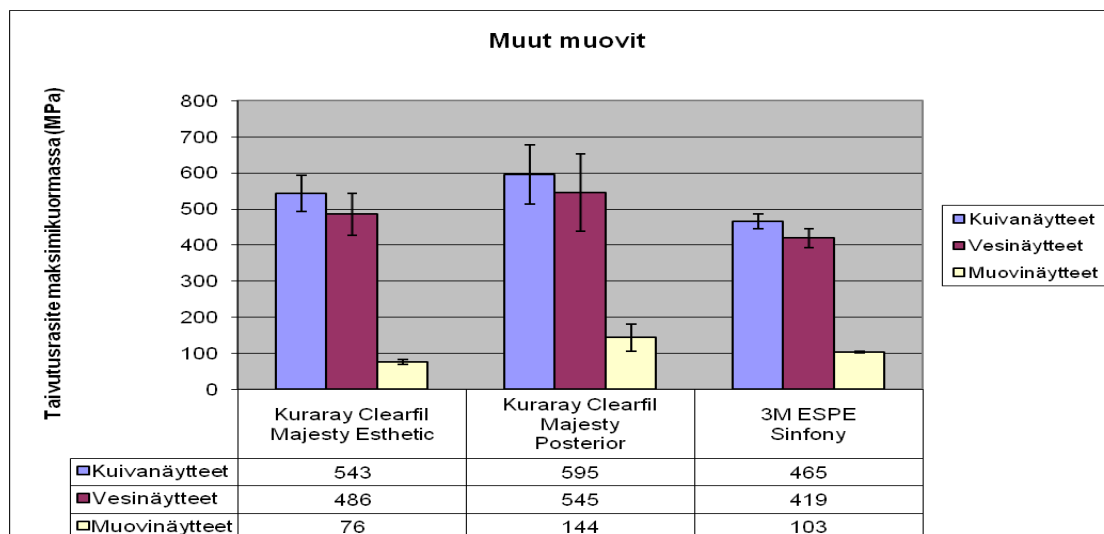
Kaavio 4. Flow-muovien taivutuslujuus

Kaaviosta 4 nähdään, että kuitulujitetut näytteet kestävät moninkertaisesti suurempaa taivutuslujuutta kuin muovinäytteet. Vesisäilytys on heikentänyt näytteitä ja taivutusrasitteet eivät yllä yhtä suuriin arvoihin kuin kuivanäytteille mitatut taivutusrasitteet. Kaaviosta voidaan havaita, että kuitulujite on vahvistanut eniten ja vesisäilytys heikentänyt eniten Kurarayn Clearfil Flow-yhdistelmämuovista valmistettuja näytteitä.



Kaavio 5. Yleisalueen muovien taivutuslujuus

Kaaviossa 5 on esitetty yleisalueen muoveiksi luokiteltujen näytteiden tulokset taivutusrasitteelle. Kuitulujitteen vahvistava vaikutus näkyy selvästi tuloksissa ja huomattavia eroja eri valmistajien yhdistelmämuovien ja kuitulujitteen yhteensopivuuden välillä ei ole. Saremco:n ELS yhdistelmämuovin tuloksissa on muita suurempi keskihajonta ja kolmipistetäivutustestin aikana havainnoitiin joidenkin näytteiden kohdalla muovin ja kuitulujitteen osittainen delaminaatio eli irtoaminen toisistaan taivutuksen aiheuttamana. Liitteessä 2 on kuvattuna kaksi näytettä, jotka ovat hajonneet taivutustestissä eritavalla. Toinen näyte on taipunut niin kauan kunnes kuitulujitteen kuidut ovat antaneet periksi ja alkaneet katkeilla, kun taas toisen näytteen muovi on murtunut ja osittain delaminoitunut kuitulujitteesta.

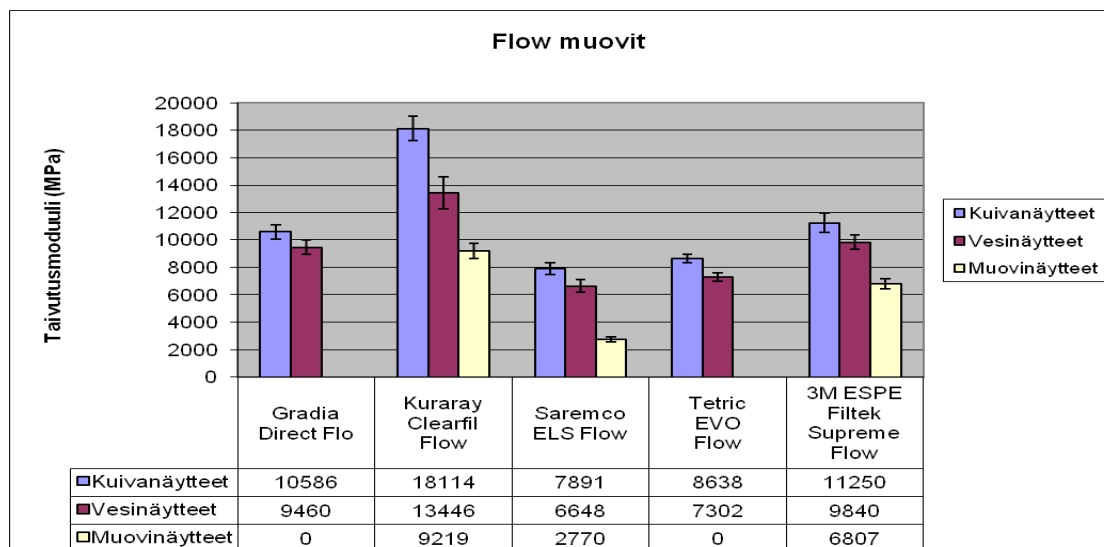


Kaavio 6. Muiden muovien taivutuslujuus

Kaaviosta 6 nähdään, että ilman kuitulujitetta Kuraray Clearfil Majesty Esthetic-yhdistelmämuovin kestävä taivutuslujuus on ollut lähes puolet Kuraray Clearfil Majesty Posterior-yhdistelmämuovin sietämästä taivutusrasitteesta. Tämä on oletusten mukaista, sillä Esthetic yhdistelmämuovia suositellaankin käytettäväksi sovelluksissa, joissa se kohdistuu pienemmille rasitusvoimille kuin Posterior yhdistelmämuovi. Esthetic viittaa esteettisyyteen ja käytännössä eritoten suun etualueen hampaiden hoitoihin, kun taas posterior on tarkoitettu suun taka-alueen hampaiden korjaushoitoihin. Kuitulujitettuna Kurarayn valmistamien yhdistelmämuovien kestävät taivutusrasitteet eivät enää eroa niin selkeästi, vaan ero on tasoittunut.

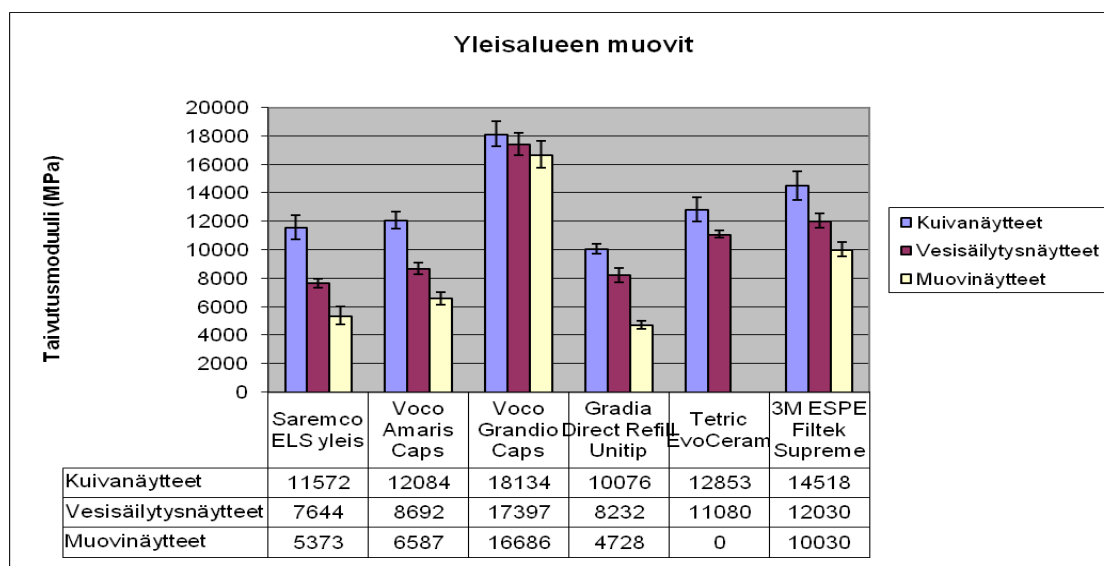
5.3 Taivutusmoduuli

Taivutusmoduuli havainnollistaa näytteen taivutuslujuutta eli jäykkyyttä. Näytekappaleen suuri taivutusmoduulin arvo kertoo sen olevan elastisilta ominaisuuksiltaan jäykkä. Eri yhdistelmämuovit voivat siis kestää mekaanista rasitusta yhtä paljon, mutta erota kuitenkin taivutusmoduuliltaan toisistaan. Hammaslääketieteellisissä sovelluksissa materiaalin jäykkyyden olisi hyvä olla lähellä hammasluun jäykkyyttä, jotta materiaalin jäykkyys ei rasittaisi liikaa hammasluuta.



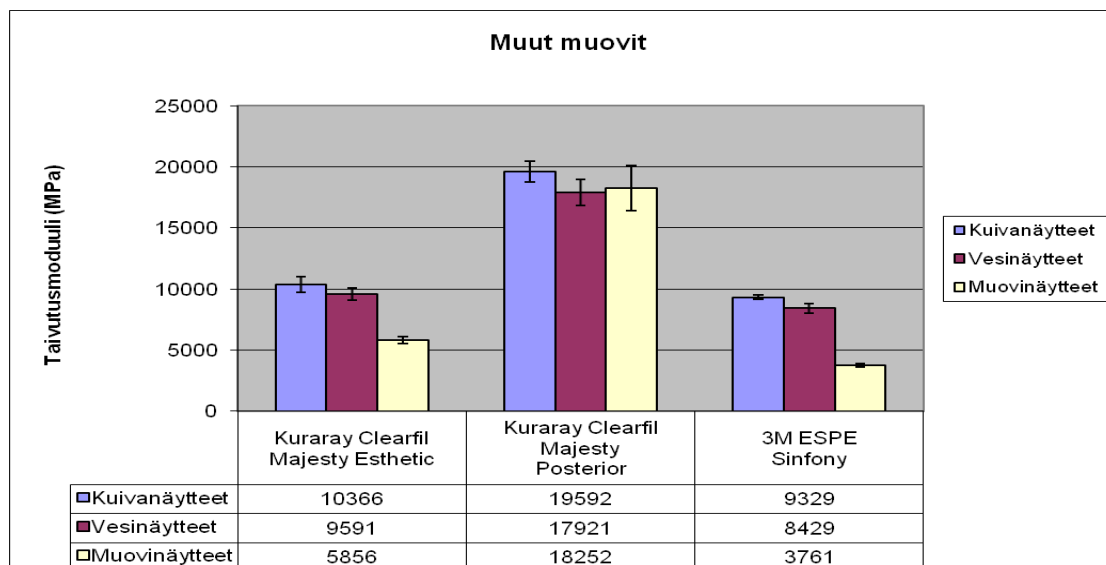
Kaavio 7. Flow-muovien taivutusmoduuli

Kaaviosta 7 nähdään taivutusmoduulin arvot flow-muoviryhmän näytteille. Tulokset kertovat, että kuitulujite on vahvistanut yhdistelmämuovien taivutusmoduulin arvoa ja vesisäilytys on vaikuttanut heikentävästi kuitulujitetun yhdistelmämuovin taivutusmoduulin arvoon. Selkeästi suurin taivutusmoduuli on mitattu Kurarayn valmistamalle Clearfil Majesty Flow-yhdistelmämuoville.



Kaavio 8. Yleisalueen muovien taivutusmoduuli

Kaaviossa 8 on selkeästi yksi muita taivutusmoduuliltaan suurempi yhdistelmämuovi. Voco Grandio Caps on jäykkä yhdistelmämuovi kuten kaaviosta huomataan ja niinpä kuitulujitteen vahvistava vaikutus jää pieneksi.



Kaavio 9. Muiden muovien taivutusmoduuli

Kaaviossa 9 on kaikki mitatut näytteet huomioiden taivutusmoduuliltaan suurimman arvon saanut yhdistelmämuovi (Kuraray Clearfil Majesty Posterior). Tulos on johdonmukainen, sillä kyseinen yhdistelmämuovi on tarkoitettu kestämaan myös suuret purentavoimat. Kuitulujitteen vahvistava vaikutus on tämän muovin kohdalla mittausten keskiarvoa pienempi, johtuen juuri itse yhdistelmämuovien jäykkyydestä.

5.4 Vedenottokyky ja liukoisuus veteen

Liitteessä 3 on esitettynä näytteiden mitat ja massat niiden vedenottokyvyn ja liukoisuuden veteen laskemista varten. Taulukossa 7 on esitettynä tulokset näytteen vedenottokyvystä ja taulukossa 8 on tulokset näytteen liukoisuudelle veteen.

Taulukko 7. Näytteen vedenottokyky

C&B-kuidun vedenottokyky	
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	23,01
Keskihajonta ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	3,84
Suhteellinen keskihajonta (%)	17

Vedenottokyky kertoo kuinka paljon vettä näyte on ottanut itseensä vesisäilytyksen aikana.

Taulukko 8. Näytteen liukoisuus veteen

C&B-kuidun liukoisuus veteen	
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	4,16
Keskihajonta ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	2,41
Suhteellinen keskihajonta (%)	58

Näytteen liukoisuus veteen kertoo kuinka paljon näytteen massasta on liuennut veteen vesisäilytyksen aikana.

6 YHTEENVETO

Kaupallisten yritysten valmistamien ja hammaslääketieteen käytössä olevien yhdistelmämuovien lujittaminen Stick Tech Oy:n everStick-kuitulujitteella kasvatti näytteiden kuormankantokykyä moninkertaiseksi. Kolmipistetaivutustestissä näytteet käyttäytyivät suureksi osaksi siten, että taivutusvoimat aiheuttivat näytteen kuitulujitteen kuitujen katkeamista ja yhdistelmämuovin taipumista. Osalla näytteistä havaittiin kuitenkin myös poikkeavaa käyttäytymistä, kuten kuitulujitteen ja yhdistelmämuovin irtaantumista toisistaan sekä yhdistelmämuovin murtumista ja lohkeamista. Poikkeuksellisten tapausten voidaan arvioida johtuneen muun muassa näytteiden valokovetuksen aikana eri kerrosten väliin tai yhdistelmämuoviin jääneistä pienistä ilmakuplista, jotka aiheuttavat materiaalin ominaisuuksiin heikentymiä. Tällaiset näytteet ovat aiheuttaneet mittaustuloksiin normaalia suurempaa keskihajontaa. Kuitulujitteen käytöllä saatiin yhdistelmämuovien kuormankantokyvyssä olleita suuruuseroja hieman tasoitettua, sillä kuitulujitteen vahvistava vaikutus todettiin yleisesti tarkasteltuna suuremmaksi alun perin kuormankantokyvyltään heikommilla yhdistelmämuovituotteilla.

Seitsemän vuorokauden vesisäilytyksen havaittiin heikentävän hieman näytteiden eli kuitulujitettujen yhdistelmämuovien mekaanisia ominaisuuksia kuten maksimaalista kuormankantokykyä. Aiemman tutkimuksen¹ perusteella tiedettiin, että kuitulujitettujen yhdistelmämuovien taipumaominaisuudet heikentyvät hieman jo lyhyenkin vesisäilytyksen aikana. Mitatut tulokset kertovat näin tapahtuneen myös tässä työssä mitatuille näytteille. Tutkimus osoittaa, että taipumaominaisuudet heikkenevät suurimmaksi osaksi ensimmäisen neljän viikon vesisäilytyksen aikana, mutta eivät enää juurikaan sen jälkeen. Opinnäytetyölle varattu aika ei riittänyt pidempiaikaiselle tutkimukselle vesisäilytyksen vaikutuksista kuitulujitettuihin yhdistelmämuoveihin..

7 LÄHTEET

1. Vallittu, Pekka; Ruyter, I. Eystein; Ekstrand, Karl 1998: Effect of Water Storage on the Flexural Properties of E-Glass and Silica Fiber Acrylic Resin Composite, The International Journal of Prosthodontics, Vol. 11, No. 4
2. Dyer, Scott; Lassila, Lippo V.J.; Jokinen, Mikko; Vallittu, Pekka 2004: Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite, Elsevier Ltd, Amsterdam, The Netherlands
3. Viljanen, Eeva 2006: Uusi hammaspaikka-aine dendrimeeristä, Suomen Hammaslääkärilehti, 13
4. Jolanki, Riitta; Alanko, Kristiina 2005: Ihoa herkistävät aineet. Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä, Helsinki: Työterveyslaitos
5. Hannula, Laura 2007. Everstick-tuotteen stabiilisuustestaus. Opinnäytetyö. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne.
6. ESSTECH, Inc., Resins. (Viitattu 9.5.2009) Saatavissa: <http://esstechinc.thomasnet.com/category/resins>
7. National Institute of Dental and Craniofacial Research, Building a Better Dental Composite. (Viitattu 4.12.2009) Saatavissa: <http://www.nidcr.nih.gov/Research/ResearchResults/InterviewsOHR/TIS082006b.htm>
8. DentalComposites.Com, Composite Fillers (Viitattu 29.9.2009) Saatavissa: <http://www.dentalcomposites.com/composite%20fillers.htm>
9. Vallittu, Pekka 2003: Fibre-reinforced Composites In Minimal Invasive Prosthodontics, Quintessence Copenhagen, ISBN 87-91289-00-9

10. Curtis V. Richard; Watson F. Timothy 2008: Dental biomaterials imaging, testing and modelling, Woodhead publishing limited, Cambridge England, ISBN 978-1-84569-296-4

11. ISO 10477:2004(E)

12. Saarela, Olli; Airasmaa, Ilkka; Kokko, Juha; Skrifvars Mikael; Komppa, Veikko 2007: Komposiittirakenteet, Muoviyhdistys RY, ISBN 9789519271286

laite	lämpötila / °C	valmistaja	tyyppi	sarjanumero	tarkkuus	kalibroitu
kylmäkaappi	+ 2...+ 8	Porkka		200105- 103818.001		
lämpökaappi	+ 37	Termaks				
materiaalintestauskone		Lloyd instruments	LRX Plus	016105	2,0mV/V +/- 0,05%	31.10.2007
valokovetin		Spring heath products	The Cure TC-01	20297		
analyysivaaka		Precisa Gravimetrics AG	XT220A	V36984		

Kuvassa on esitetty kolmipistetaivutustestin jälkeen otettu kuva kahdesta eri näytteestä, joista ylempi taipunut ja katkeillut kuitulujitteen kohdalta ja alempi on delaminoitunut sekä murtunut osittain.



Alla olevissa taulukoissa on näytteiden mitat vedenottokyvyn ja liukoisuuden veteen laskemista varten.

rinnakkaisnäyte	korkeus (mm)	leveys (mm)	pituus (mm)	tilavuus (mm ³)
1	2,00	2,00	25,00	100,00
2	1,95	2,00	25,00	97,50
3	1,98	2,00	25,00	99,00
4	1,99	2,00	25,00	99,50
5	2,00	2,00	25,00	100,00
6	2,00	2,00	25,00	100,00
7	2,00	2,00	25,00	100,00
8	1,99	2,00	25,00	99,50

Alla olevassa taulukossa on esitettyinä näytteiden punnitut massat eri vaiheista m_1 (alkuperäinen massa), m_2 (massa vesisäilytyksen jälkeen) ja m_3 (kuivatun näytteen massa).

rinnakkaisnäyte	massa, m_1 (μg)	massa, m_2 (μg)	massa, m_3 (μg)
1	$1,764 \cdot 10^5$	$1,780 \cdot 10^5$	$1,760 \cdot 10^5$
2	$1,595 \cdot 10^5$	$1,610 \cdot 10^5$	$1,587 \cdot 10^5$
3	$1,654 \cdot 10^5$	$1,673 \cdot 10^5$	$1,650 \cdot 10^5$
4	$1,677 \cdot 10^5$	$1,691 \cdot 10^5$	$1,671 \cdot 10^5$
5	$1,721 \cdot 10^5$	$1,747 \cdot 10^5$	$1,716 \cdot 10^5$
6	$1,755 \cdot 10^5$	$1,771 \cdot 10^5$	$1,752 \cdot 10^5$
7	$1,759 \cdot 10^5$	$1,781 \cdot 10^5$	$1,759 \cdot 10^5$
8	$1,691 \cdot 10^5$	$1,713 \cdot 10^5$	$1,688 \cdot 10^5$