

Opinnäytetyö (AMK)

Hammasteknikko (AMK)

2018

Akseli Haapalainen, Mirjami Linja

HIGH IMPACT -AKRYYLIT SUOMESSA

– kuitujen tarpeellisuus HI-akryyleissa sekä
vertailu perinteiseen keittoakryyliin

Akseli Haapalainen, Mirjami Linja

HIGH IMPACT -AKRYYLIT SUOMESSA

- kuitujen tarpeellisuus HI-akryyleissa sekä vertailu perinteiseen keittoakryyliin

High impact (HI) -akryylit ovat huonosti tunnettuja ja vähän käytettyjä akryylilaatuja Suomessa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on lisätä tietoutta HI-akryyleista sekä tutkia, miten HI-akryylit poikkeavat ominaisuuksiltaan perinteisestä keittoakryylistä. Lisäksi työssä selvitettiin, tuoko kuituvahvistaminen lisähyötyä myös HI-akryyleihin. Opinnäytetyön pääpaino oli materiaalien mekaanisessa testaamisessa.

Työssä testattiin akryyliin taivutuslujuutta ja murtositkeyttä testitikkujen avulla. Tikkuja testattiin kuivana heti valmistamisen jälkeen ja kahden kuukauden vesisäilytyksen (38 °C) jälkeen. Testejä varten valmistettiin tikkuja kahdesta HI-akryylista (Selacryl Impl High-Impact ja IvoBase High Impact) sekä perinteisestä keittoakryylista (ProBase Hot). Selacryl Implasta ja ProBase Hotista valmistettiin myös kuidulla (Stick) vahvistettuja tikkuja. Tikkuja valmistettiin kuusi kappaletta jokaiseen testiryhmään.

HI-akryyliin taivutuslujuusarvot olivat hieman suurempia kuin keittoakryyliillä. ProBase Hot:n taivutuslujuus oli 86,6 MPa ja kuituvahvistettuna 106,8 MPa. Selacryl Implan taivutuslujuus oli 102,8 MPa ja kuidulla 117,2 MPa sekä IvoBasen 91,6 MPa. Taivutuslujuuden kimmokertoimet olivat keittoakryyliillä korkeammat (2,9 MPa ilman kuitua ja 3,6 MPa kuidulla) kuin HI-akryyleilla (2,8; 3,1 ja 2,7 MPa). HI-akryylit taipuivat selvästi enemmän ennen katkeamista kuin perinteinen keittoakryyli. Keittoakryyli katkesi keskimäärin 4,5 mm taivutuksen jälkeen, kun HI-akryylit kestivät vähintään 7 mm taivutuksen. Osa HI-tikuista ei katennut testin suurimmalla, 12 mm taivutuksella. Testissä olleet HI-akryylit taipuivat enemmän ja olivat kestävämpiä kuin testissä mukana ollut keittoakryyli. Toisin sanottuna perinteinen keittoakryyli on materiaalina jäykempi mutta heikompi kuin HI-akryylit.

Murtositkeyden osalta molemmat HI-akryylit vastaavat kuituvahvistettua keittoakryyliä kimmokertoimen arvon ollessa 2,3 MPa m^{1/2}. Vahvistamattoman keittoakryyliin murtositkeysarvo oli 1,3 MPa m^{1/2}, ja kuituvahvistetun HI-akryyliin 3,8 MPa m^{1/2}. ISO 20795-1:2013 -standardin murtositkeysvaatimus HI-akryyleille on 1,9 MPa m^{1/2}.

Testissä mukana olleet HI-akryylit olivat joustavampia ja kestävämpiä kuin perinteinen keittoakryyli, tai yhtä kestäviä kuin kuituvahvistettu keittoakryyli. Kun HI-akryyliä vahvistettiin kuituvahvikkeella, sen lujuusominaisuudet paranivat.

ASIASANAT:

High impact -akryyli, kuitu, filleri, taivutuslujuus, murtositkeys, kolmipistetaivutustesti, kimmokerroin

Akseli Haapalainen, Mirjami Linja

HIGH IMPACT -ACRYLICS IN FINLAND

- necessity of glass fiber reinforcement in HI-acrylics and a comparison to traditional heat-curing acrylic

High impact (HI) -acrylics are poorly known and rarely used acrylic grades in Finland. The aim of this thesis is to increase the knowledge about HI-acrylics and to study how the properties of HI-acrylics differ from a traditional heat-curing acrylic via material testing. In addition, it was investigated whether glass fiber reinforcement would further enhance HI-acrylics. The main emphasis is on these comparative tests.

In this thesis, bending strength and fracture toughness of acrylics were tested using test bars. The test bars were tested both as dry immediately after preparation and after about two months of storage in water (38 ° C). For the tests, test bars were prepared from two HI-acrylics (Selacryl Implä High-Impact and IvoBase High Impact) as well as a control group from traditional heat-curing acrylic (ProBase Hot). Fiber-reinforced (Stick) test bars were also made from Selacryl Implä and ProBase Hot. Six specimens were prepared for each test group.

The values of bending strength were higher with HI-acrylics than with heat-curing acrylic, but the scale remained quite the same. ProBase Hot had a bending strength of 86.6 MPa and with a fiber reinforcement of 106.8 MPa. Bending strength of Selacryl Implä was 102.8 MPa and with fiber reinforcement of 117.2 MPa, while IvoBase performed of 91.6 MPa. The flexural modulus were higher (2.9 without fiber and 3.6 MPa with fiber) with the heat-curing acrylic than with those of HI-acrylics (2.8, 3.1 and 2.7 MPa). On the other hand, HI-acrylics were much more flexible before breaking. The heat-curing acrylic broke on average of 4.5 mm of bending while HI-acrylics survived at least 7 mm of bending. Some HI-bars did not break with the maximum bending of 12 mm. HI-acrylics used in this test were more flexible and more stronger when compared with heat-curing acrylic used in this test. The heat-curing acrylic maintains its form until breakage while HI-acrylics bend more under load. Therefore, traditional heat-curing acrylic breaks more easily.

Fracture toughness of both HI-acrylics correspond to fiber-reinforced heat-curing acrylic with a value of 2.3 MPa m^{1/2}, while the value of un-reinforced heat-curing acrylic was 1.3 MPa m^{1/2}. Fiber-reinforced HI-acrylics performed 3.8 MPa m^{1/2}. The standard ISO 20795-1:2013 defines the criteria for HI-acrylics at 1.9 MPa m^{1/2}.

High impact acrylics used in this test were more flexible and stronger than traditional heat-curing acrylic or at least as strong as the traditional heat-curing acrylic with fiber reinforcement. The addition of fiber also greatly improved the properties of HI-acrylics.

KEYWORDS:

High impact -acrylic, flexural strength, fracture toughness, filler, glass fiber, three-point bending test, modulus

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TAUSTAT	10
2.1 High impact -akryylit	10
2.2 Kuituvahvistamisen tarpeellisuus käytettäessä HI-akryylia	11
2.3 Markkinoilta löytyviä high impact -akryyleja	12
3 TUTKIMUSMATERIAALIT JA -RYHMÄT	13
3.1 Tutkimuksen toteutus	15
3.2 Tutkimusryhmät ja testikappaleet	16
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	26
4.1 Taivutuslujuus	28
4.2 Taivutuslujuuden kimmokerroin	30
4.3 Taipuma	30
4.4 Murtositkeys	31
4.5 Kysely hammaslaboratorioille	35
5 TULOKSET JA ANALYYSI	36
5.1 Taivutuslujuus	36
5.2 Taivutuslujuuden kimmokerroin	39
5.3 Taipuma	40
5.4 Murtositkeys	42
5.5 Kysely hammaslaboratorioille	45
6 POHDINTAA	47
6.1 HI-akryylien paremmuus testeissä	47
6.2 Jatkotutkimuksia	48
6.3 HI-akryylista kilpailuvaltti	49
6.4 Opinnäytetyön opetus	49
7 EETTISYYS JA LUOTETTAVUUS	50
LÄHTEET	51

LIITTEET

- Liite 1. Markkinoilla olevia high impact -akryyleja.
- Liite 2. Opinnäytetyön toteutuksessa käytetyt materiaalit ja laitteet.
- Liite 3. Esiinnousseita ongelmia testikappaleiden valmistuksessa.
- Liite 4. Kysely high impact (HI) -akryylien yleisyydestä.
- Liite 5. Selacryl Impla ja kuidut.

KAAVAT

Kaava 1. Taivutuslujuus (ISO 20795-1).	29
Kaava 2. Taivutuslujuuden kimmokerroin (ISO 20795-1).	30
Kaava 3. Murtositkeyden kimmokerroin (ISO 20795-1).	32
Kaava 4. x:n arvosta riippuva geometrinen funktio (ISO 20795-1).	32
Kaava 5. Kappaleeseen tehdyn uran + viillon ja korkeuden suhde (ISO 20795-1).	33

KUVAAJAT

Kuvaaja 1. Tyypilliset taivutuslujuuskäyrät kuivasäilytetyille testikappaleille.	37
Kuvaaja 2. Tyypilliset taivutuslujuuskäyrät vesisäilytetyille testikappaleille.	38
Kuvaaja 3. Tyypilliset murtositkeysikäyrät kuivasäilytetyille testikappaleille.	44
Kuvaaja 4. Tyypilliset murtositkeysikäyrät vesisäilytetyille testikappaleille.	45

KUVAT

Kuva 1. Havainnekuva fillereistä murtuman pysäyttäjänä.	11
Kuva 2. ProBase® Hot. Ivoclar Vivadent.	13
Kuva 3. Selacryl Impla High-Impact. Alphadent NV.	14
Kuva 4. IvoBase® High Impact. Ivoclar Vivadent.	14
Kuva 5. Lucitone® HIPA. Dentsply Sirona.	15
Kuva 6. Ohjelmoitava histologinen saha.	18
Kuva 7. Mallikappale, jossa kolme yhteenliitettyä testitikkua.	19
Kuva 8. Yksilöllinen lusikkajäljennös mallikappaleesta vahaa varten.	19
Kuva 9. Silikoniset muotit testitikuille.	20
Kuva 10. Silikonimuoteilla valmistetut kyvetinpuolikkaat.	20
Kuva 11. Teflonmuotti murtositkeystikkujen valmistusta varten.	23
Kuva 12. Murtumauran porauslaite.	24
Kuva 13. Laikanterän pyöreä U-mallinen ura.	24
Kuva 14. Partaterällä viilletty ura ja testitikon paksuus viillon kohdalla.	25
Kuva 15. Kolmipistetaivutustestin periaate.	26
Kuva 16. Kolmipistetaivutuksessa kappaleeseen vaikuttavat voimat suuntineen.	27
Kuva 17. Testilaitteisto kolmipistetaivutukseen.	27

Kuva 18. Kolmipistetaitvutustesti.	28
Kuva 19. Taivutuslujuustestin asetelma.	29
Kuva 20. Murtositkeystestattavaan kappaleeseen tehtiin 3 mm syvä esiviilto.	31
Kuva 21. Murtuman eteneminen esiviillosta.	32
Kuva 22. Murtopinnasta suoritettut mittaukset.	33
Kuva 23. Murtositkeystesti.	34
Kuva 24. Selacryl Implan murtopinnasta kuidut erottuvat selkeästi.	43
 Liite 5	
Kuva 25. Selacryl Impla. Kuivasäilytetty kuituvahvistettu testikappale.	1
Kuva 26. Selacryl Impla. Vesisäilytetty kuituvahvistettu testikappale.	2
Kuva 27. Selacryl Impla. Vesisäilytetty testikappale ilman kuituvahviketta.	2

KUVIOT

Kuvio 1. Testikappaleiden keskimääräiset taivutuslujuudet.	36
Kuvio 2. Testikappaleiden taivutuslujuuden keskimääräiset kimmokertoimet.	39
Kuvio 3. Testikappaleiden keskimääräiset taipumat.	41
Kuvio 4. Testikappaleiden murtositkeyden keskimääräiset kimmokertoimet.	42

TAULUKOT

Taulukko 1. Testiryhmät. Jokaiseen ryhmään kuului 6 testikappaletta.	16
Taulukko 2. Tutkittujen materiaalien testitulokset.	48

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

LYHENTEET

HI	High impact
IB	IvoBase
MPa	Megapascal, paineen yksikkö SI-järjestelmässä
PBH	ProBase Hot
SI	Selacryl Impla
TCBC	Turun Kliininen Biomateriaalikeskus (engl. Turku Clinical Biomaterials Centre)

SANASTO

Filleri	Akryylin ominaisuuksiin vaikuttava täyteaine
Moduli	Kimmokerroin (engl. modulus) kuvaa materiaalin haurautta. Suurempi arvo kertoo materiaalin sitkeydestä tai jäykkyydestä, pienempi hauraudesta
Murtositkeys	Materiaalin kyky vastustaa halkeaman etenemistä
Taivutuslujuus	Materiaalin kyky vastustaa venyttäviä ja puristavia voimia
Väsymislujuus	Materiaalin kohdistuvan toistuvan rasituksen sietokyky
Youngin moduli	Ks. moduli

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Turun AMK:n Hammastekniikan koulutusohjelman opintoja. Opinnäytetyö käsittelee hammasproteesien pohjalevy materiaaliksi tarkoitettuja high impact (HI) -akryyleja. Tässä työssä esitellään HI-akryylien eroavaisuuksia tavallisiin akryyleihin, luodaan katsaus markkinoilta löytyviin HI-akryyleihin, verrataan perinteisen kuumapolymeroituvan akryylin (keittoakryyli) taivutuslujuutta ja murtositkeyttä HI-akryylin vastaaviin, sekä arvioidaan HI-akryylin kuituvahvistamisen tarpeellisuutta suoritettujen testien pohjalta.

Suun olosuhteissa akryylista valmistetut proteesit joutuvat toistuvan rasituksen alaisiksi, mutta myös äkillisten, suurten voimien kohdistuminen hammasproteeseihin on yleistä. Yksittäinen voimakas puraisu tai proteesin tippuminen aiheuttavat materiaaliin äkillisesti kohdistuvan kertavoiman, jonka vaikutuksesta proteesi voi särkyä. Erityisesti molaarialueella purentavoimat voivat olla hyvinkin suuria.

HI-akryylit ovat suomalaisessa hammastekniikassa erittäin heikosti tunnettuja ja vähän käytettyjä aineita, eikä kuiduilla vahvistetusta HI-akryylista ole julkaistu minkäänlaisia tutkimuksia suomeksi. Sen sijaan tutkimuksia, joissa HI-akryyleja on vertailtu tavallisiin akryyleihin, on julkaistu myös suomeksi. Tavallisia akryyleja joudutaan usein vahvistamaan, esimerkiksi kuiduilla tai metallirakenteilla, jotta ne kestäisivät purentavoimia ja suun olosuhteita. Vertailut, tutkimukset ja analyysit, joissa kuituvahvikkeen vaikutusta HI-akryylin mekaanisiin ominaisuuksiin olisi selvitetty, ovat hyvin vähäisiä.

Lähteinä tässä opinnäytetyössä käytettiin hammasteknisen alan kotimaisia sekä kansainvälisiä julkaisuja, aiheeseen liittyvää kansainvälistä standardia, asiantuntijahaastatteluja, Turun AMK:n hammastekniikan koulutusohjelman luentoja, itse suorittamaamme kyselytutkimusta sekä teknisten tietojen osalta valmistajien materiaaleja. Lähdemateriaaleista jätettiin pois valmistajien omat vertailut ja mainokset, sillä näistä ei useinkaan saanut luotettavasti selville alkuperäistä lähdettä tai testien suorittajaa. Lähteiksi on pyritty etsimään ajantasaista tietoa ja mahdollisimman luotettavia julkaisuja, mutta HI-akryylien vähäisen käytön vuoksi myös lähdemateriaalia oli käytettävissä niukasti. Erilaisia HI-akryyleja on ollut tarjolla jo vuosikymmeniä, joten niiden käytön vähäisyys ja huono tunnettuus herättää miettimään, mistä niiden tuntemattomuus johtuu.

Opinnäytetyön tavoitteena on edistää high impact -akryylien tunnettuutta Suomessa. Lisäksi tavoitteena on esittää arvio, tarvitseeko HI-akryyleja vahvistaa lasikuidulla, vai olisivatko ne sellaisenaan riittävän hyviä materiaaleja korvaamaan perinteiset akryylit hammasprotetiikassa.

Tässä opinnäytetyössä käydään lyhyesti läpi HI-akryylien historiaa ja selvennetään niiden eroavaisuuksia tavallisiin akryyleihin, esitellään markkinoilla olevia HI-akryyleja, pohditaan kuituvahvikkeiden merkitystä, sekä esitellään hammaslaboratorioille suoritetua kyselyä ja sen tuloksia. Opinnäytteen pääpaino on mekaanisissa vertailutesteissä. Työssä esitellään testitikut ja niiden valmistusmenetelmät, sekä testimenetelmät ja niistä saatujen tulosten analysointi. Valitut testimenetelmät ja valmistettujen tikkujen säilytystapa ennen testaamista perustellaan. Lopuksi arvioidaan, onko kuituvahvistaminen tarpeellista käytettäessä HI-akryyliä, sekä esitetään aiheeseen liittyviä jatkotutkimuskohteita.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TAUSTAT

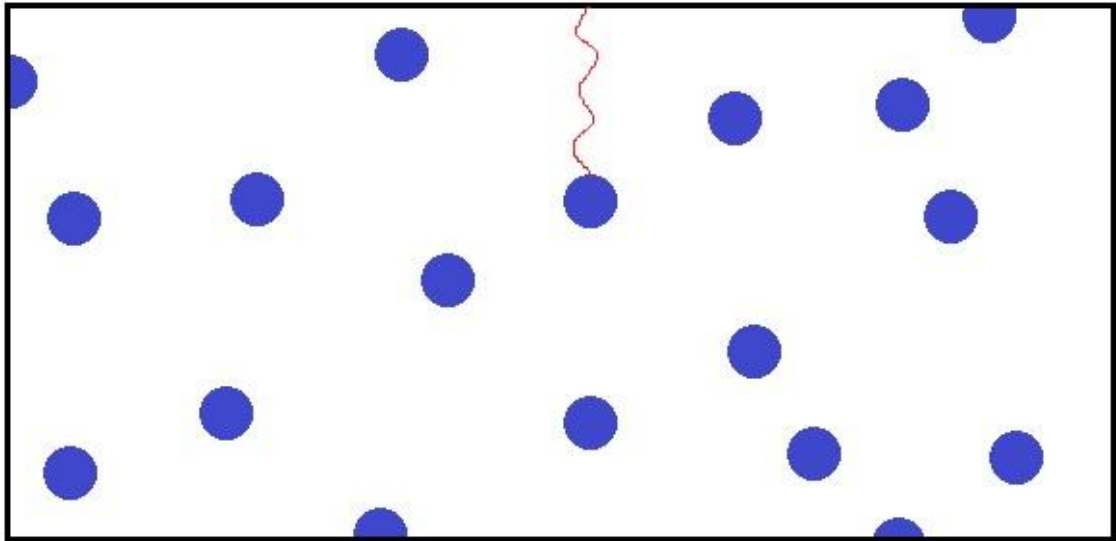
Tässä tutkimuksellisessa opinnäytetyössä selvitettiin high impact (HI) -akryylien ominaisuuksia verrattuna perinteiseen keittoakryylin kolmipistetäivutustestien avulla. Testeissä selvitettiin testikappaleiden taivutuslujuus sekä murtositkeys. Työssä arvioitiin myös HI-akryylien vahvistamisen tarpeellisuutta lasikuituvahvikkeella. Lisäksi opinnäytetyössä luotiin katsaus markkinoilta löytyviin HI-akryyleihin, sekä selvitettiin suppean kyselyn avulla niiden tunnettuutta ja käytön yleisyyttä hammasteknisissä töissä Suomessa.

2.1 High impact -akryylit

Termillä high impact viitataan yleisesti akryyleihin, joiden mekaanisia ominaisuuksia on pyritty parantamaan erilaisilla täyteaineilla eli fillereillä (Vojdani et al. 2012, Asopa et al. 2015). Fillerit parantavat ensisijaisesti akryylin väsymislujuuksia (engl. fatigue strength) eivätkä niinkään iskunlujuuksia (engl. impact strength), joka voi täyteaineiden käytön vuoksi jopa laskea (Vojdani et al. 2012). Nimitystä high impact voidaankin pitää osittain harhaanjohtavana. Hammasproteettisissa töissä akryyleihin liittyvää high impact -termiä ei ole käännetty suomeksi ja lähinnä sopivaa käännöstä on Muovitermit-kirjassa (Muovi-yhdistys ry 1992) termi *high impact polystyrene*, joka on käännetty iskunkestäväksi polystyreeniksi. Hammasproteettisten akryyliä tapauksessa iskunkestävyys ei ole kuitenkaan sopiva käännös ja sopivan suomenkielisen termin puuttuessa tässä työssä käytetään englanninkielistä termiä high impact (HI).

HI-akryyleille on määritetty standardissa ISO 20795-1:2013 murtositkeystesti, jota tavallisille akryyleille ei edellytetä. Mikäli akryylin valmistaja haluaa markkinoida akryylian HI-akryylinä, sen tulee suoriutua murtositkeystestistä standardin määrittämien arvojen mukaisesti. Murtositkeyden on oltava vähintään $1,9 \text{ MPa m}^{1/2}$ (ISO 20795-1). Aiemmin HI-akryyleille ei ollut määritetty erityisiä vaatimuksia, joten useat valmistajat markkinoivat akryylejaan HI-akryyleina ennen standardin päivittämistä (Lassila 2018). Akryylian vahvistava ominaisuus HI-akryyleissa perustuu akryyliseokseen lisättyihin filleripartikkeleihin. Nämä partikkelit pysäyttävät proteesiakryyliin käytön aikana syntyvät mikrohalkeamat (Asopa et al. 2015, Jagger et al. 2003) (Kuva 1). HI-akryyleihin seostettavina fillereinä käytetään mm. kumirouheita, zirkoniajauhetta, metallipölyjä, erilaisia kuituja

sekä polyeteeniä (Asopa et al. 2015, Vojdani et al. 2012). Tässä työssä testatuista akryyleista ei saatu selvitettyä, millainen fillerityyppi akryyliin on seostettu.



Kuva 1. Havainnekuva fillereistä murtuman pysäyttäjänä.

HI-akryylit eivät ole uusi keksintö, vaan tuotteita on tullut markkinoille pikkuhiljaa muiden pohjalevymateriaalien kanssa. Ne ovat kehittyneet vuosien saatossa aivan kuten muutkin akryylimateriaalit. (Khindria et al. 2009, Tandon et al. 2010.)

2.2 Kuituvahvistamisen tarpeellisuus käytettäessä HI-akryyliä

Hammastekniikan irtoproteettisissa töissä, kuten osa- ja kokoproteeseissa, pohjalevyn materiaali on pääsääntöisesti kylmä- tai kuumapolymeroitua akryyliä (Protetiikan perusteiden luennot, hammastekniikka, Turun AMK). Helpon muokattavuuden, kiillottuvuuden sekä verrattain halvan materiaalin haittapuolena on sen särkymisherkkyys. Perinteisiä akryyleja on tavallisesti vahvistettu metallisin rakentein, yleensä metallilangasta tai -verkosta taivutetulla kappaleella. Enenevässä määrin nykyisin käytetään myös erilaisia kuituja, joko korvaamaan metallirakenteita tai yhdessä niiden kanssa (Protetiikan perusteiden luennot, hammastekniikka, Turun AMK). Tässä opinnäytetyössä suoritetuilla testeillä tutkittiin, onko hammasteknisissä töissä käytettävä HI-akryyli sellaisenaan niin kestävä materiaalia, ettei sitä ole tarpeen vahvistaa kuiduilla kuten kylmä- ja keittoakryyleja, vai tuoko kuitu tarpeellista lisävahvistusta myös HI-akryyleihin.

2.3 Markkinoilta löytyviä high impact -akryyleja

Suomessa markkinoidaan vain kolmea eri HI-akryyliä: Selacryl Impli High-Impact (Alphadent NV), Lucitone® HIPA High Impact Pour Acrylic Denture Base (Dentsply Sirona) ja IvoBase® High Impact (Ivoclar Vivadent). Liitteessä 1 on Suomesta saatavilla olevien HI-akryyliä lisäksi listattuna ulkomailla markkinoitavia HI-akryyleja. Tuotevalikoima on ulkomailla suurempi, mutta kylmä- ja keittoakryyleita suppeampi.

On myös huomattava, etteivät kaikki HI-akryyleina markkinoitavat tuotteet täytä standardin ISO 20795-1 HI-akryyleille asettamia vaatimuksia. Toisaalta kaikki valmistajat eivät markkinoi tuotteitaan HI-akryylina, vaikka materiaali täyttäisi standardin vaatimukset, koska valmistaja ei ole auditoinut tuotetta HI-akryyliksi. (Lassila 2018.)

3 TUTKIMUSMATERIAALIT JA -RYHMÄT

Opinnäytetyössä vertailtiin HI-akryylien taivutuslujuutta ja murtositkeyttä hammaslaboratorioissa yleisesti käytettävään ProBase Hot -keittoakryyliin (Kuva 2). ProBase Hot -keittoakryyli valittiin mukaan verrokiksi, koska sitä oli jo koulullamme käytettävissä. Testattaviksi HI-akryyleiksi valikoituivat lopulta Suomessa myytävät akryylit: perinteisellä tavalla valmistettava Selacryl Impl High-Impact -keittoakryyli (Kuva 3) sekä Ivoclar Vivadentin IvoBase-injektiolaitteella polymeroitava IvoBase High Impact (Kuva 4). Tarkoituksena oli sisällyttää testeihin myös Lucitone® HIPA kylmäakryyli (Kuva 5), mutta saata-
vuusongelmien ja testien aikataulutuksen vuoksi se jäi pois. Kaikki tärkeimmät opinnäytetyössä käytetyt materiaalit ja laitteet on lueteltu liitteessä 2.



Kuva 2. ProBase® Hot. Ivoclar Vivadent.



Kuva 3. Selacryl Impla High-Impact. Alphadent NV.



Kuva 4. IvoBase® High Impact. Ivoclar Vivadent.



Kuva 5. Lucitone® HIPA. Dentsply Sirona.

3.1 Tutkimuksen toteutus

Vertailua varten valmistettiin testitikkuja kaikista kolmesta eri akryylista. IvoBase High Impact -akryyliä lukuun ottamatta jokaiseen testiryhmään tehtiin tikkuja sekä ilman kuitua että kuituvahvikkeella. IvoBase High Impact -akryylista ei muista materiaaleista poiketen valmistettu kuidulla vahvistettuja ryhmiä, sillä kuidun asemointi luotettavasti osoittautui haastavaksi, eikä vertailukelpoisten tikkujen valmistusta näin ollen voitu varmistaa. Hankaluuksista kuidun asemoinnissa on kerrottu tarkemmin liitteessä 3.

Kuituna käytettiin Stick-lasikuitua (GC). Tikut jaettiin heti valmistuksen jälkeen kuivana testattaviin sekä vesisäilytyksen jälkeen testattaviin. Vedessä säilytettävät tikut asetettiin kannelliseen muovirasiaan ja rasioita säilytettiin 38 °C (± 1 °C) vakio-lämpötilassa lämpökaapissa (Memmert), jolla simuloitiin suun olosuhteita. Tikkuja säilytettiin vedessä kaksi kuukautta, jotta jäännösmonomeeripitoisuus laskisi varmasti sille tasolle, ettei pidempi säilytys enää pienentäisi monomeeripitoisuutta merkittävästi (Vallittu et al. 1995). Valmiit tikut testattiin kolmipistetaivutuslaitteella (LR30K Plus, Lloyd Instruments), jolla selvitettiin tikkujen taivutuslujuus sekä murtositkeys. Tikkujen valmistuksessa ja testauksessa sovellettiin ISO-standardia 20795-1:2013. Testitulokset taulukoitiin ja niiden perusteella arvioitiin HI-akryylien ominaisuuksia perinteisen keittoakryyliin verrattuna sekä kuituvahvikkeen tarpeellisuutta.

3.2 Tutkimusryhmät ja testikappaleet

Testattavia ryhmiä muodostui yhteensä 20. Jokaisessa testiryhmässä oli 6 tikkua, jotta valmistuksessa ja testauksessa mahdollisesti sattuvien poikkeamien vaikutus testituloksiin saataisiin minimoitua. Testejä varten tarvittiin siten yhteensä 120 kappaletta testitikkua; 60 tikkua sekä taivutuslujuustestiä että 60 tikkua murtositkeystestiä varten. Tikkujen valmistuksesta haluttiin suoriutua mahdollisimman vaivattomasti, joten lopulta testitikut päädyttiin valmistamaan perinteisellä kyvettiteknikalla hyödyntäen silikonin joustavuutta ja uudelleenkäytettävyyttä. Tikkujen valmistusta kokeiltiin monella eri tavalla, mutta lähes kaikissa menetelmissä ilmeni jonkinlainen ongelma. Liitteessä 3 on kerrottu tarkemmin näistä menetelmistä ja kohdatuista haasteista. IvoBase-injektointilaitteella valmistettavat kappaleet tehtiin laitteen edellyttämällä tekniikalla. Testattavat ryhmät on lueteltu Taulukossa 1.

Taulukko 1. Testiryhmät. Jokaiseen ryhmään kuului 6 testikappaletta.

Taivutuslujuus, kappaleet 3,3 x 10 x 64 mm	Murtositkeys, kappaleet 4 x 8 x 39 mm
Kuivasäilytys ProBase Hot ProBase Hot + kuitu Selacryl Impla Selacryl Impla + kuitu IvoBase	Kuivasäilytys ProBase Hot ProBase Hot + kuitu Selacryl Impla Selacryl Impla + kuitu IvoBase
Vesisäilytys ProBase Hot ProBase Hot + kuitu Selacryl Impla Selacryl Impla + kuitu IvoBase	Vesisäilytys ProBase Hot ProBase Hot + kuitu Selacryl Impla Selacryl Impla + kuitu IvoBase

Taivutuslujuus

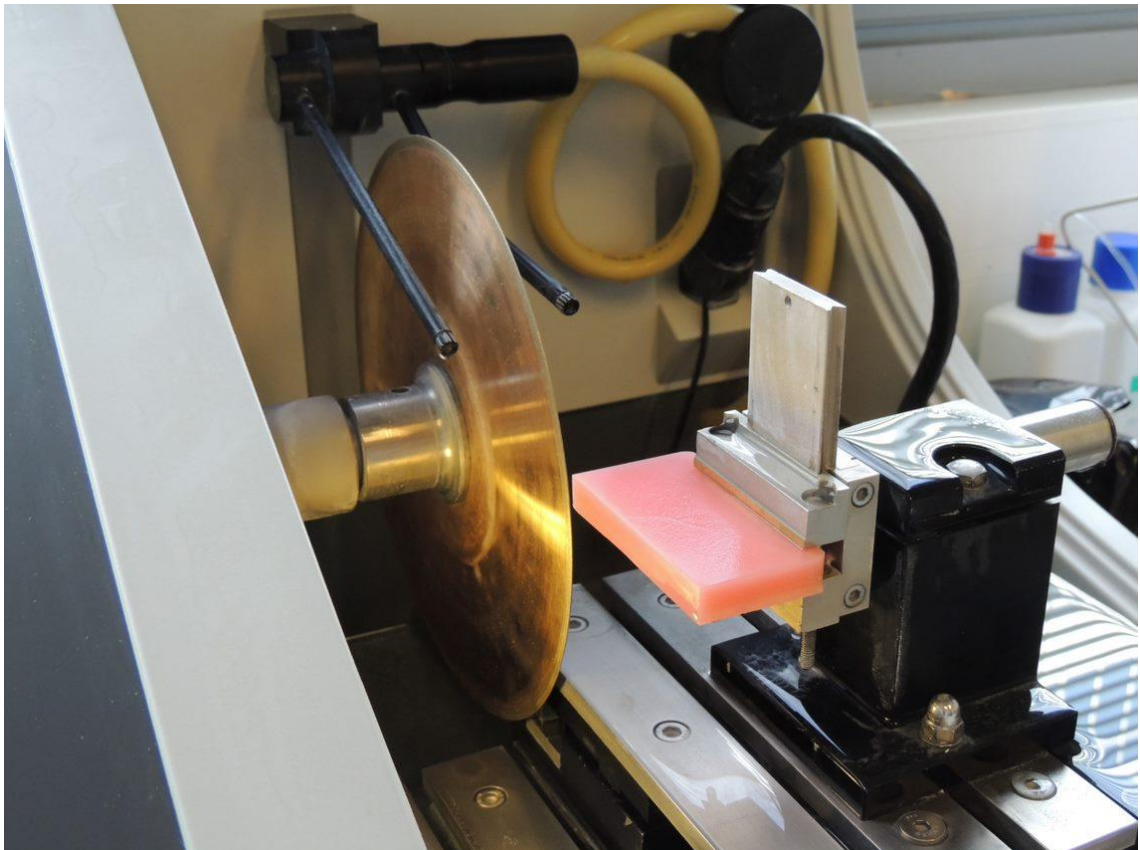
Taivutuslujuuden vertailua varten kaikista testattavista akryyleista valmistettiin ISO 20795-1 -standardin mukaisia tikkuja, joiden mitat olivat 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm) x 10 mm ($\pm 0,2$ mm) x 64 mm. Valmiit tikut testattiin kolmipistetaivutuslaitteella. Kaikki taivutuslujuuden testiryhmät on koottu Taulukkoon 1. Standardin ISO 20795-1 mukaan tikkujen valmistus tulee suorittaa tekemällä akryylistä iso levy, josta sahataan oikean kokoisia tikkuja. Menetelmä ei sovi kuidullisten tikkujen valmistamiseen, sillä kuitujen asemointi akryylilevyyn siten, että jokaiseen levystä sahattuun tikkuun tulisi tasamäärä kuituja, olisi mahdotonta. Standardin mukaista tekniikkaa haluttiin kuitenkin käyttää kuiduttomien testitikkujen valmistamiseen, vaikka kuidulliset tikut pitikin valmistaa eri tavalla.

Kuiduttomat testikappaleet

Vahalevy valmistettiin kaatamalla sulaa asetteluvahaa (Orbis) puhtaaseen, eristämättömään muovirasiaan. Rasian mitat olivat 11 mm x 71 mm x 71 mm. Vahan jäähmetyttyä rasia siirrettiin jääkaappiin, jossa vaha kovettui täysin ja supistui hieman. Supistunut, kylmä vahakappale irtosi rasiasta vaivatta. Vahalevy aseteltiin Moldano Blau -kovakipsillä (Kulzer) täytettyyn kyvetinpuolikkaaseen. Sininen kipsi valittiin apukipsinä käytettävän valkoisen kipsin sijaan suuremman tarkkuuden sekä paremman kestävyysvuoksi. Valkoisen kyvettikipsin tarkkuus ja kestävyys olisi myös riittänyt akryylilevyn valmistukseen, sillä akryylilevystä sahattujen tikkujen kaikki pinnat hiottiin myöhemmässä vaiheessa.

Kipsin kovetuttua se eristettiin saippualliuoksella ja kyvetin toinen puolikas asetettiin paikalleen. Kyvetti täytettiin loppuun samalla kipsillä ja suljettiin kannella. Toisenkin puoliskon kovetuttua vahat spoolattiin pois ja kipsi eristettiin Separating Fluid -eristysnesteellä (Ivoclar Vivadent). Eristetty kyvetti täytettiin valmistajan ohjeen mukaan sekoitetulla akryylimassalla. Täytön jälkeen kyvetti suljettiin ja prässättiin ilman koeprässäystä 100 bariin paineeseen ja polymeroitiin valmistajien ohjeiden mukaisesti. Nämä työvaiheet toistettiin samanlaisina kaikille akryyleille. Injektoitavan IvoBase High Impact -akryylin valmistuksessa on pieniä eroja järjestelmän oman kyvetin johdosta, mutta periaate siinäkin on sama. Myös sen kyvetoinnissa noudatettiin valmistajan ohjetta tarkasti.

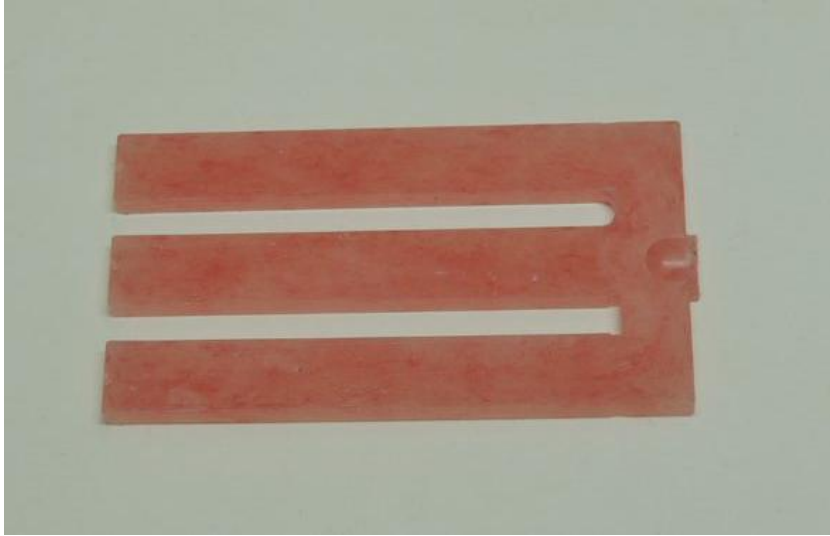
Kyvetin jäädyttyä se avattiin ja akryyli irrotettiin kipsistä. Akryylilevy asetettiin histologiseen sahaan (Secotom-15/-50, Struers ApS) (Kuva 6) ja saha ohjelmoitiin leikkaamaan sopivan paksuisia tikkuja. Tikut viimeisteltiin vielä hiomalla ne vesihiomalaitteella (LaboPol-21, Struers ApS) oikean levyisiksi, paksuisiksi ja pituisiksi hiomapaperin karkeudella P1200. Mittatarkkuus varmistettiin työntömitalla. Vesisäilytysryhmiä varten laitettiin puolet jokaisen eri akryyliryhmän valmiista tikusta merkittyy astiaan, jossa oli vettä riittävästi peittämään tikut ja astiat asetettiin lämpökaappiin.



Kuva 6. Ohjelmoitava histologinen saha.

Kuidulliset testikappaleet

Kuidullisia testitikkuja varten L. Lassilalta saatiin polykarbonaatista valmistettu mallikappale (Kuva 7), jossa oli kolme oikean kokoista tikkuja päistään yhdistettyinä. Tälle kappaleelle tehtiin henkilökohtainen lusikka kemiallisesti kovettuvasta SR Ivolen -lusikkaakryylista (Ivoclar Vivadent) ja lusikalla otettiin tarkkuusjäljennös Affinis® Black Edition -silikonin (Coltène) avulla (Kuva 8). Jäljennös täytettiin sulalla asetteluvahalla ja vahan kovettua kappale irrotettiin hyvin varovasti lusikasta.



Kuva 7. Mallikappale, jossa kolme yhteenliitettyä testitikkua.

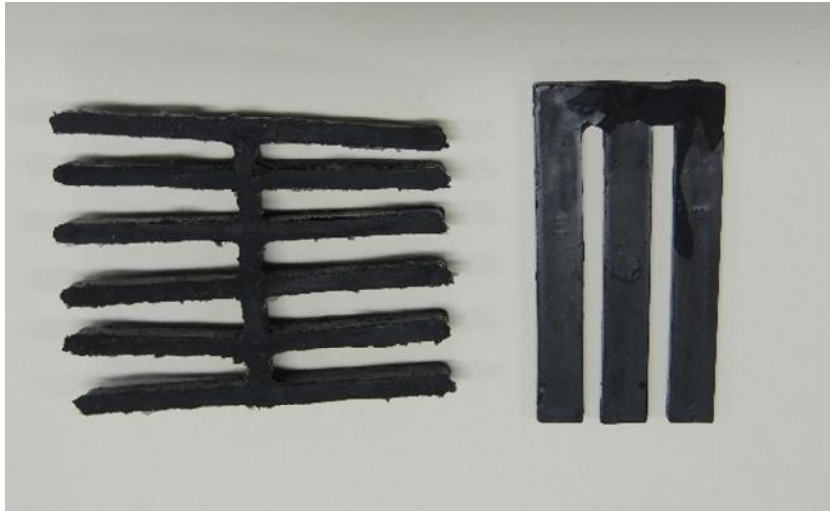


Kuva 8. Yksilöllinen lusikkajäljennös mallikappaleesta vahaa varten.

Kyvetointi suoritettiin laittamalla vahakappale tasaiselle pöytäpinnalle ja asettamalla kyvetinpuolisko tarkasti kappaleen ympärille. Kyvetinpuolisko täytettiin sinisellä kovakipsillä ja kansi asetettiin puoliskon päälle. Kipsin kovetuttua valos irrotettiin pöydästä pyörittämällä kyvetiä horisontaalisesti, ja kipsi eristettiin saippualliuoksella. Kyvetin toinen puolisko asetettiin paikalleen, täytettiin kipsillä ja suljettiin kannella tiiviisti. Toisenkin puoliskon kipsivalun kovetuttua kyveti spoolattiin ja vahat poistettiin huolellisesti. Tämän jälkeen molemmat puoliskot eristettiin eristysnesteellä.

Eristeen kuivuttua kyvetiin pursotettiin Affinis® Black Edition -silikonia, kyvetinpuoliskot asetettiin vastakkain ja prässättiin alle 10 barin paineella. Silikonin kovetuttua puoliskot

avattiin ja silikonikappale irrotettiin kyvetistä (Kuva 9). Näin syntynyttä silikonikappaletta käytettiin vahakappaletta vastaavalla tavalla uusien kyvettien valmistamiseen (Kuva 10). Joustavan silikonikappaleen etuna oli, ettei jokaista tikkua tarvinnut vahata erikseen, vaan samaa silikonikappaletta oli mahdollista käyttää uudestaan. Työtä nopeutti myös se, ettei vahoja tarvinnut spoolata pois. Jokaisesta eri akryylistä tarvittiin 12 kappaletta tikkuja, joten jokaista akryyliä varten tuli valmistella neljä kyvetiä.



Kuva 9. Silikoniset muotit testitikuille. Vasemmalla murtositkeys, oikealla taivutuslujuus.



Kuva 10. Silikonimuoteilla valmistetut kyvetinpuolikkaat.

Kuituvahvike

Kuituvahvikkeeksi valittiin Stick Tech Oy:n (GC) valmistama huokoisella PMMA:lla päällystetty Stick-lasikuitukimppu, sillä se on laajasti käytetty kuituvahvike. Kuitukimpusta leikattiin muutama millimetri valmistettavaa akryylikappaletta lyhyempi pätkä, jotta kuitu sopi muottiin ongelmitta ja sitä oli mielekästä käyttää. Lisäksi oikein kostutetut ja muottiin sijoitetut kuitukimput polymeroituvat akryyliin joukkoon niin hyvin, ettei hieman testikappaleen päistä lyhyempi kuitukimppu vaikuta testeissä testikappaleen keskelle kohdistettavaan rasiinukseen (Lassila 2018). Jokaiseen kuituvahvistettuun kappaleeseen sijoitettiin yksi kuitukimppu, yhden kuitukimpun sisältäessä 4000 yksittäistä kuitua (GC 2018). Yhden Stick-kuitukimpun keskimääräiset leveys- ja paksuusmitat ovat noin 1 mm x 2,1 mm, joten kuitukimpun poikkileikkauksen pinta-ala on noin 2,1 mm². Taivutuslujuustestikappaleen poikkipinta-ala on noin 33 mm², joten yhden kuitukimpun tilavuus testikappaleen kokonaistilavuudesta on noin 6,4 %. Kuitujen kostuttaminen kasvattaa kuitujen tilavuutta hieman, joten todellisuudessa kuitukimpun suhteellinen tilavuus testikappaleesta on suurempi.

Valmiiksi leikatut kuidut kostutettiin akryyliseoksella, jossa oli valmistajan suosittelemasta jauhe/nestesuhteesta 1/3 polymeerijauhetta suhteessa monomeerineesteeseen. Samaa suhdetta käytettiin kaikkien akryyliä kanssa. 1/3 -suhteeseen päädyttiin, jotta voitiin varmistua kuitujen täydellisestä kostumisesta ja jotta kaikki akryylit ja siten testikappaleet pysyisivät keskenään vertailukelpoisina. Kuitukimppu asetettiin muovikalvolle ja juoksevaa akryyliseosta kaadettiin kimpun päälle. Kuituja eroteltiin toisistaan spaattelilla painelemalla, jotta akryyliseos kostuttaisi tasaisesti jokaisen kuidun. Lopuksi muovikalvo käärittiin kostumisen ajaksi kuitukimpun ympärille tiiviisti, jottei akryylin pinta kuivuisi kostuttamisen aikana. Kuitukimppujen kostuessa valmistettiin itse akryyli valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kuidut saivat kostua kunkin akryylin tekeytymisen ajan.

Kuitukimpun asemointi

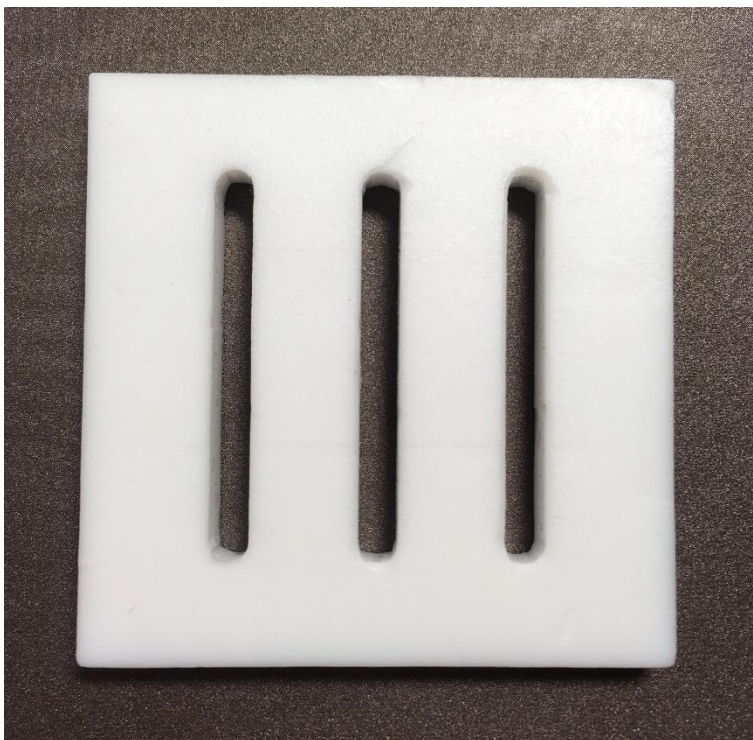
Kuidut haluttiin asettaa mahdollisimman lähelle tikkujen pohjaa, koska kolmipistetaivutustestissä kappaleen alapintaan kohdistuu vetojännitys. Vetojännityskeskittymään sijoittamalla kuitujen vahvistava vaikutus saadaan maksimoitua. Kostean, eristetyn kipsimuotin pohjalle asetettiin ohut kerros akryylimassaa. Tämän päälle aseteltiin kostutettu kuitukimppu ja muotti täytettiin loppuun akryylimassalla. Kyvetinpuolikkaat yhdistettiin ja

prässättiin 100 barin paineeseen ilman koeprässäystä. Prässätty kyvetti keitettiin kunkin valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Akryylin polymeroiduttua ja kyvetin jäähtyttyä akryyli purettiin kipsistä. Tikut porattiin irti toisistaan ja viimeisteltiin hiomalla hiomalaitteella oikean kokoisiksi. Vesisäilytysryhmiä varten tarvittavat tikut laitettiin vettä sisältäviin astioihin ja asetettiin säilytykseen lämpökaappiin.

Murtositkeys

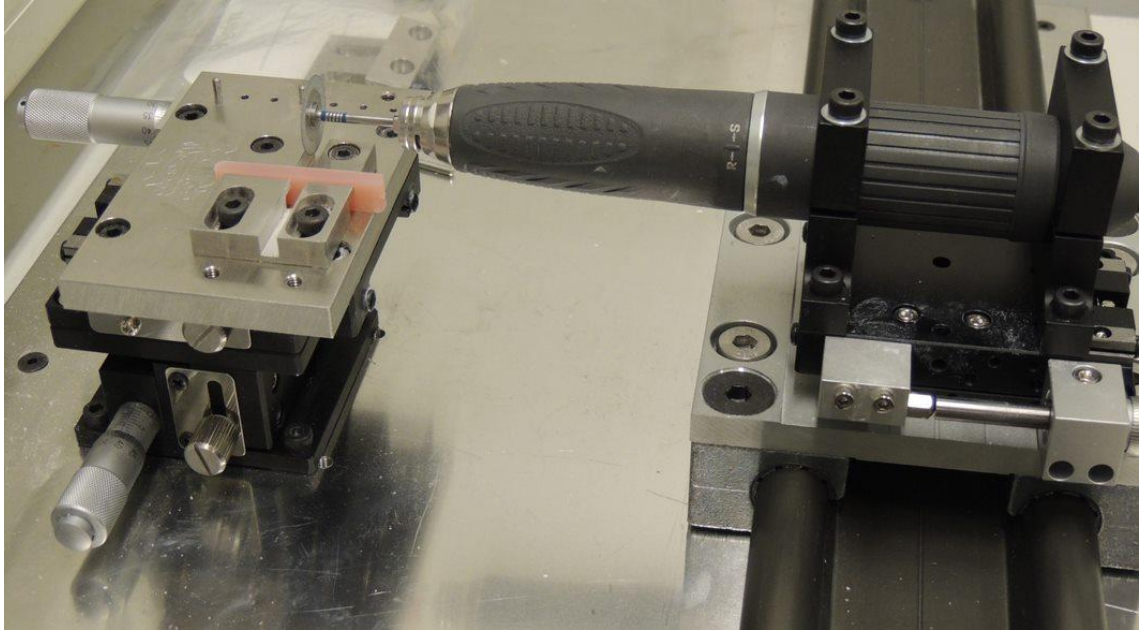
Murtositkeystestejä varten valmistettiin samoista materiaaleista pienempiä testitikkuja, joiden mitat olivat ISO 20795-1 -standardin mukaisesti 4 mm ($\pm 0,2$ mm) x 8 mm ($\pm 0,2$ mm) x 39 mm. Näitä testikappaleita varten saatiin L. Lassilalta teflonmuotti (Kuva 11), jossa oli kolme oikean kokoista rakoa. Muotti täytettiin asetteluvahalla ja vahan jähmettyttyä tikut irrotettiin muotista. Tikkuja valmistettiin yhteensä 12 kappaletta ja ne vahattiin päistään toisiinsa kiinni yhdeksi kappaleeksi. Taivutuslujuustikkuja vastaavalla tavalla valmistettiin silikonijäljennös tästä vahakappaleesta. Silikonisen kappaleen avulla (Kuva 9) valmisteltiin tarvittava määrän kyvettejä. Murtositkeystettiin tarvittavat tikut olivat sen verran pieniä, että kaikki 12 tikkua mahtuivat kerralla yhteen kyvetiin (Kuva 10). Tällä tavalla valmisteltiin kyvetit sekä kuiduttomia että kuidullisia tikkuja varten. Puolet yhdessä kyvetissä valmistetuista tikkuista testattiin kuivana ja puolet siirrettiin vesisäilytykseen. Tikkuja valmistettiin kolmipistetaivutustestiä vastaavat ryhmät. Testaaminen suoritettiin samalla kolmipistetaivutuslaitteella kuin taivutuslujuustestit. Taulukossa 1 on koottuna murtositkeystestin tutkimusryhmät.



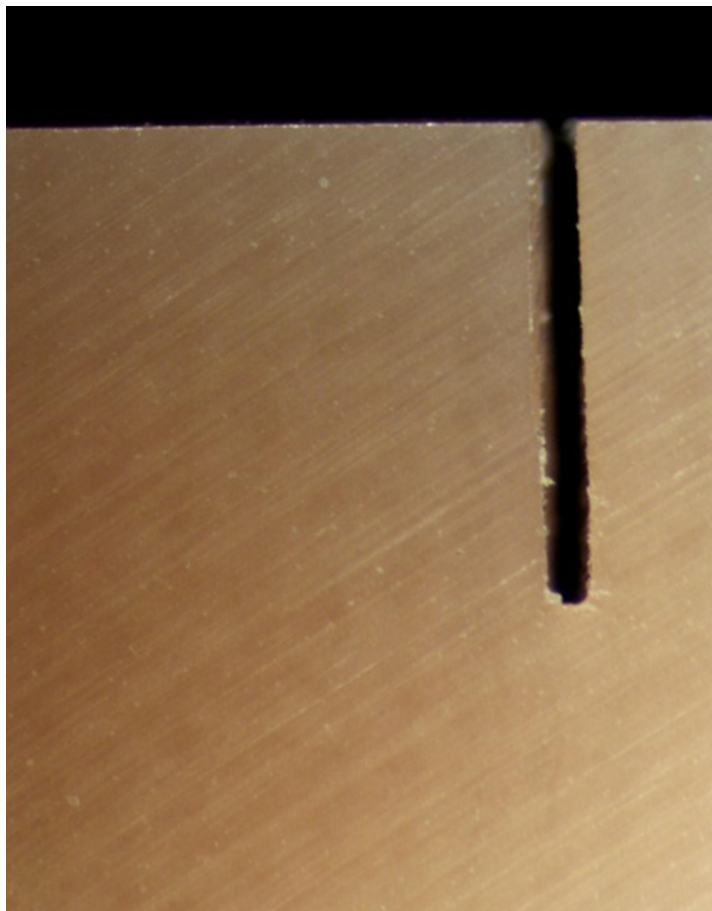
Kuva 11. Teflonmuotti murtositkeystikkujen valmistusta varten.

Kuiduttomien tikkujen kyvetit täytettiin kokonaan akryyllilla ja prässättiin 100 barin paineeseen. Polymerointi suoritettiin valmistajan ohjeistamalla tavalla. Kuidullisissa tikussa kuidut haluttiin jälleen lähemmäs tikun alapintaa, joten taivutuslujuustikkuja vastaavalla tavalla ohut kerros akryyliä asetettiin muotin pohjalle. Kostutettu kuitukimppu aseteltiin akryylin päälle ja loppumuotti täytettiin akryyllillä. Prässäys suoritettiin 100 barin paineeseen ja polymerointi valmistajan ohjeen mukaisesti.

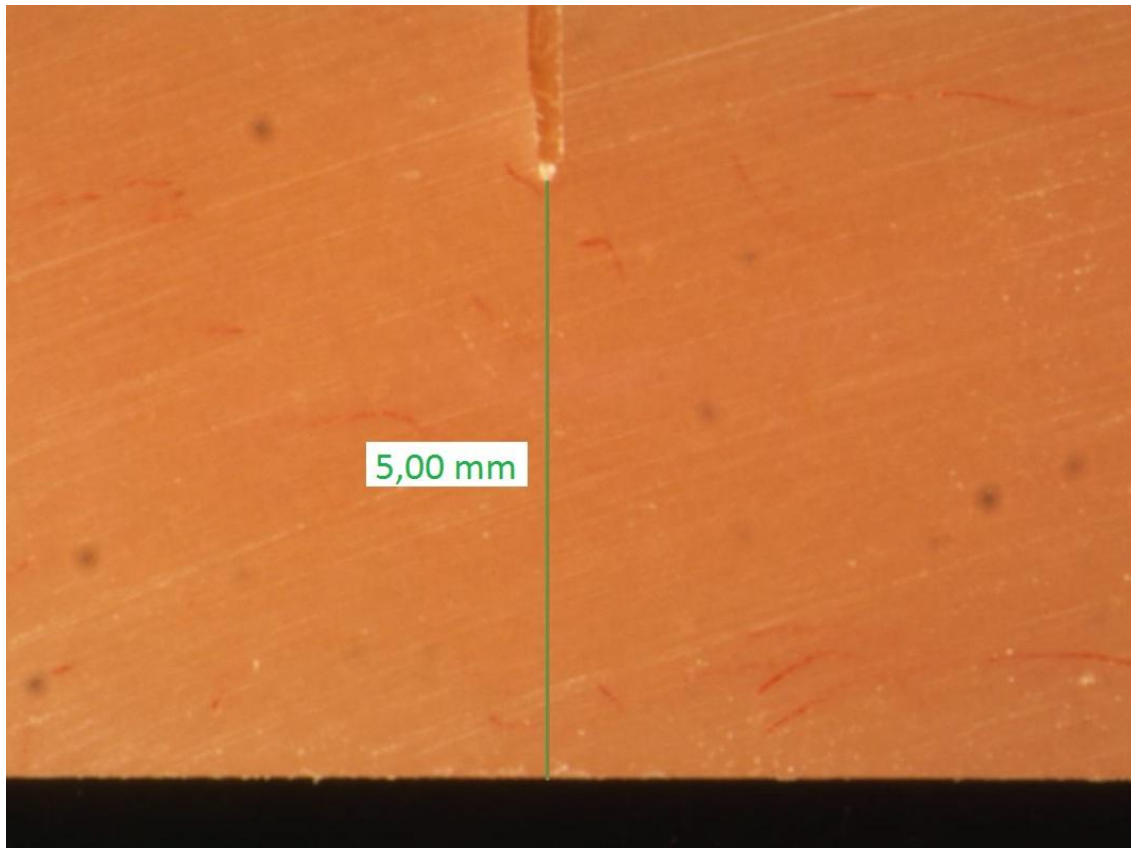
Kyvettien jäähtyttyä ne purettiin ja tikut porattiin irti toisistaan. Tikut hiottiin oikeaan mitaan hiomalaitteella. Standardin ISO 20795-1 mukaisesti tikkuihin tuli leikata 3 mm ($\pm 0,2$ mm) syvä ura murtumalinjaa varten. Ura tehtiin Turun Kliinisen Biomateriaalikeskuksen (TCBC) tiloista löytyvällä porauslaitteistolla (Kuva 12). Kuituvahvisteisten tikkujen kanssa vaadittiin tarkkuutta, jotta ura tuli varmasti eri puolelle tikkua, kuin missä kuidut olivat. Tämän jälkeen urien pohjaa viillettiin partaterällä 10 kertaa edestakaisin, jotta esiviillosta saataisiin varmasti terävä V-mallinen laikanterän pyöreän U-mallisen sijaan (Kuva 13). Kaikki viillot tarkistettiin mikroskoopilla (Wild M3Z, Wild Heerbrugg AG) ennen testausta (Kuva 14). Lopuksi puolet testitikuista laitettiin vedellä täytetyissä astioissa lämpökaappiin.



Kuva 12. Murtumauran porauslaite.



Kuva 13. Laikanterän pyöreä U-mallinen ura. Mikroskooppikuva.

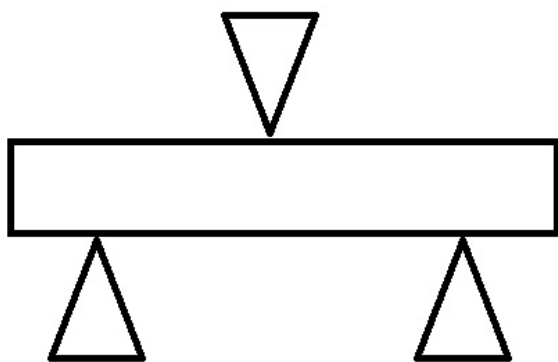


Kuva 14. Partaterällä viilretty ura ja testitikun paksuus viillon kohdalla. Mikroskooppikuva.

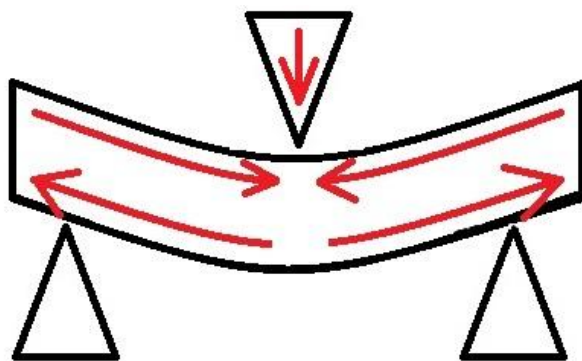
4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Akryyliä tutkittaviksi ominaisuuksiksi valittiin taivutuslujuus ja murtositkeys, joita testataan kolmipistetaivutustestillä. Iskulujuustestiä ei valittu testimenetelmäksi, koska sopivaa heilahdusvasaralaitteistoa ei ollut saatavilla. Varsinaisesti iskulujuutta testataan murtositkeystestillä, joten iskulujuustesti oli senkin takia luontevaa jättää pois testimenetelmistä (Lassila 2018). Iskulujuustestiä ei myöskään ole mainittu ISO 20795-1 -standardissa, mutta taivutuslujuus- ja murtositkeystestit ovat. Iskulujuustestillä määritetään kappaleen absorboima energia, joka kertoo kappaleen lujuudesta (Jaakkola 2009, 3–4).

Kolmipistetaivutustestissä kappaleella on alapinnalla kaksi tukipistettä, joiden varassa kappale lepää (Kuva 15). Testiasetelmassa tukipisteiden puoliväliin kohdistetaan voima kappaleen vastakkaiselle pinnalle, jolloin kappaleen tukipinnalle muodostuu venyttäviä voimia (testikappaleen alapuoli) ja vastakkaiselle pinnalle puristavia voimia (testikappaleen yläpuoli) (Kuva 16). (Biomateriaalitieteen luennot, hammastekniikka, Turun AMK; ISO 20795-1). Tukipinnan venyttävistä voimista käytetään termiä vetojännitys (engl. tension stress). Yläpinnassa vaikuttavista voimista käytetään nimitystä puristus- tai kompressiojännitys (engl. compression stress).



Kuva 15. Kolmipistetaivutustestien periaate.

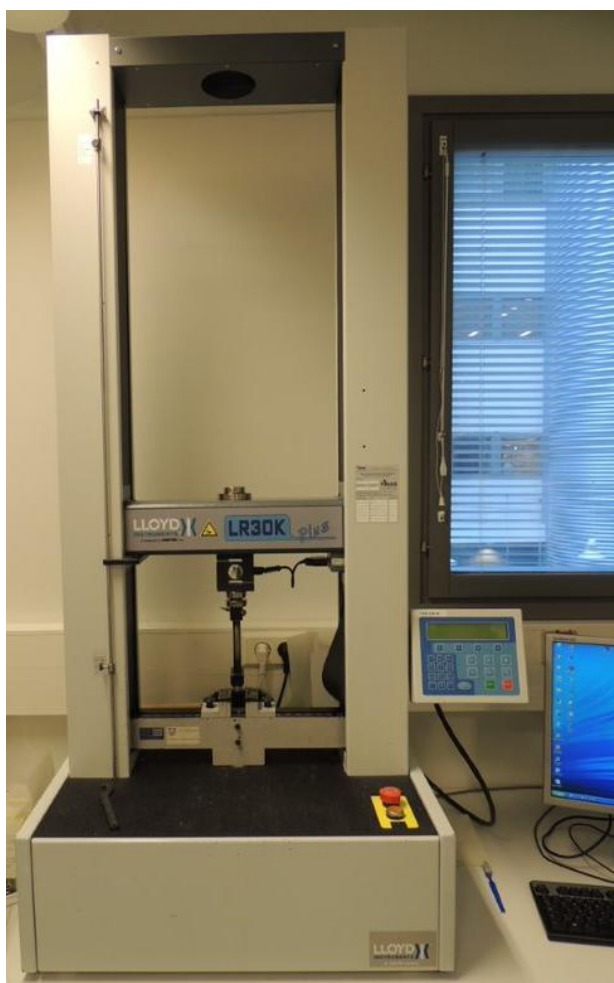


Yläpinnalla: puristusjännitys

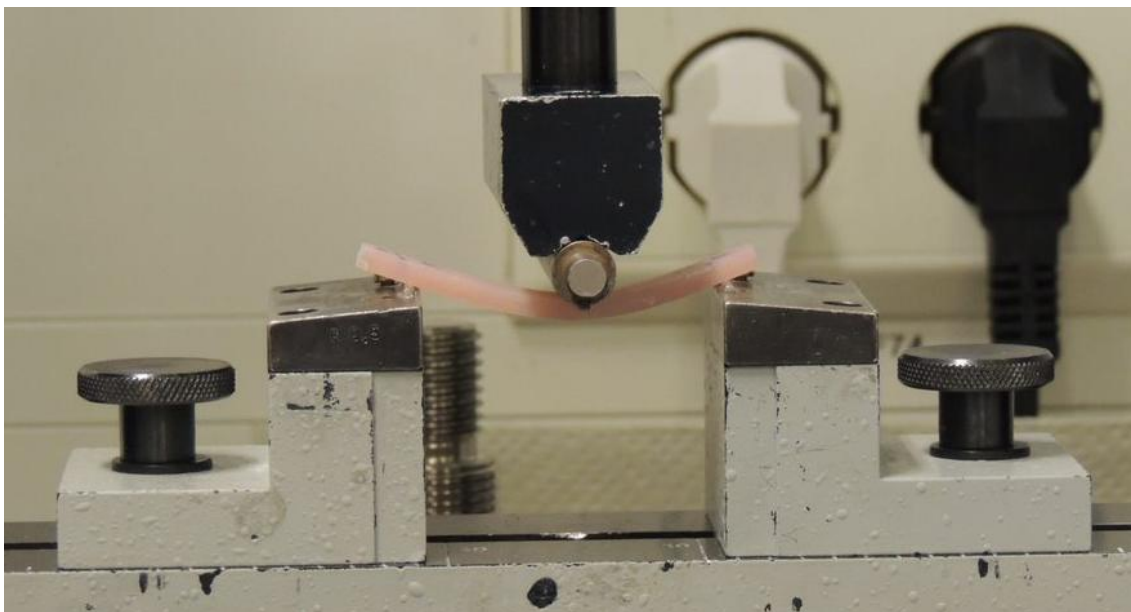
Alapinnalla: vetojännitys

Kuva 16. Kolmipistetaivutuksessa kappaleeseen vaikuttavat voimat suuntineen.

Koekappaleiden testaaminen tapahtui TCBC:n tiloissa Turussa. Asetimme testikappaleet kalibroituun kolmipistetaivutuslaitteeseen (Kuva 17) yksitellen (Kuva 18). Testit suoritettiin testiryhmittäin peräkkäisinä sarjoina. Peräkkäin suoritettuina testiolosuhteet pysyivät vakiona, millä pyrittiin varmistamaan testien vertailukelpoisuutta.



Kuva 17. Testilaitteisto kolmipistetaivutukseen.

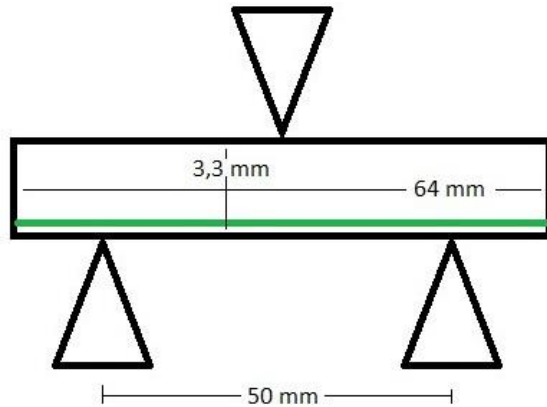


Kuva 18. Kolmipistetaivutustesti.

Testilaitteistoon syötettiin jokaisesta kappaleesta yksilölliset mitat, joiden perusteella laitteisto määrittä jokaiselle kappaleelle vertailukelpoiset tulokset. Taivutuslujuus ja murto-
sitkeys laskettiin saatujen tulosten perusteella. Molemmissa testeissä terän laskeutumis-
nopeus oli 5 mm/min, suurimman laskeutumisetäisyyden ollessa 12 mm. Osa taivutus-
lujuustestikappaleista ei särkeynyt maksimitaivutuksella.

4.1 Taivutuslujuus

Taivutuslujuus (engl. flexural strength) kertoo materiaalin kyvystä vastustaa sekä puris-
tavia että venyttäviä voimia. Kolmipistetaivutustestissä kappaleeseen kohdistuu näitä
molempia. Taivutuslujuus on hyvä mittari hammasprotetiikassa käytettyjen akryylilaatu-
jen testaamiseksi ja sitä käytetäänkin yleisesti testattaessa hammasteknisiä materiaa-
leja. Taivutuslujuustestissä testattavan kappaleen tukipisteiden etäisyys oli 50 mm ($\pm 0,1$
mm) (Kuva 19). (Biomateriaalitieteen luennot, hammastekniikka, Turun AMK; ISO
20795-1.)



Kuva 19. Taivutuslujuustestin asetelma. Vihreä palkki kuvaa kuidun sijaintia.

Taivutuslujuustestissä testataan materiaalin kykyä vastustaa siihen kohdistuvaa kerta-
rasitusta materiaalin pettämisspisteeseen asti. Vahvistetuissa kappaleissa kuituvahvike
sijoitetaan testattavan kappaleen alapinnan tuntumaan, jossa on suurin vetojännitys
(Kuva 19). (Biomateriaalitieteen luennot ja parentafysiologian luennot, hammastekniikka,
Turun AMK.)

Testikappaleelle määritettävä suurin taivutuslujuuden (engl. bending strength) arvo ker-
too materiaalin kyvystä vastustaa siihen kohdistuvaa voimaa ja voiman aiheuttamia muo-
donmuutoksia kappaleessa. Mitä suurempi taivutuslujuuden arvo on, sitä paremmin ma-
teriaali vastustaa voiman vaikutuksia. Taivutuslujuus ilmaistaan megapascalina (MPa)
ja lasketaan standardin ISO 20795-1 määrittämän yhtälön avulla (Kaava 1).

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Kaava 1. Taivutuslujuus (ISO 20795-1).

jossa

σ = taivutuslujuus (MPa)

F = suurin kappaleeseen kohdistuva voima (N)

l = kappaleen tukipisteiden välinen etäisyys (mm)

b = testattavan kappaleen leveys (mm)

h = testattavan kappaleen korkeus (mm)

4.2 Taivutuslujuuden kimmokerroin

Taivutuslujuuden kimmokerroin eli Youngin moduli (engl. flexural modulus) kertoo materiaalin sitkeydestä. Mitä korkeampi kimmokertoimen arvo, sitä sitkeämpää materiaali on. Vastaavasti alhainen arvo kertoo materiaalin hauraudesta. Sitkeä materiaali kestää taivutusta hyvin ja hauras materiaali puolestaan särkyy nopeasti taivutuksen alaisena. Myös kimmokertoimen arvo ilmaistaan megapascalina, mutta lasketaan seuraavan yhtälön (Kaava 2) avulla:

$$E = \frac{F_1 l^3}{4bh^3d}$$

Kaava 2. Taivutuslujuuden kimmokerroin (ISO 20795-1).

jossa

E = taivutuslujuuden kimmokerroin (MPa)

F_1 = kappaleeseen kohdistuva voima voima/taipumakuvaajan lineaarisesta kohdasta määritettynä (N)

l = kappaleen tukipisteiden välinen etäisyys (mm)

b = testattavan kappaleen leveys (mm)

h = testattavan kappaleen korkeus (mm)

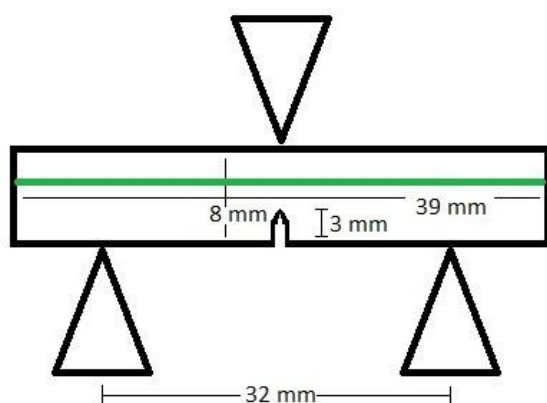
d = taipuma voiman F_1 kohdalla voima/taipumakuvaajassa (mm)

4.3 Taipuma

Taivutuslujuustestiin oli määritetty testauspään suurimmaksi liikkeeksi 12 mm. Mikäli kappale ei särkynyt 12 mm taivutuksella, testi päättyi. Taivutuksen uskottiin olevan riittävä, sillä taivutuslujuutta testaavien kappaleiden pituus oli 64 mm. Tällöin suurin taipuma olisi lähes 19 % kappaleen pituudesta, mikä tarkoittaa merkittävää muodonmuutosta.

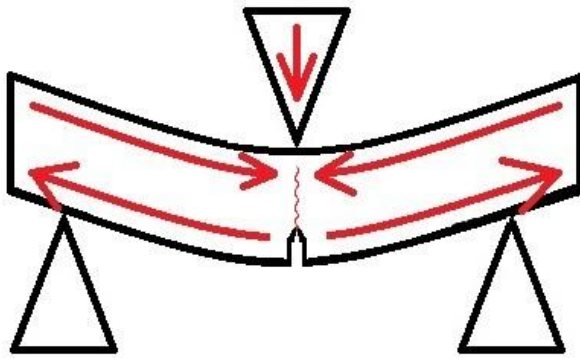
4.4 Murtositkeys

Murtositkeys (engl. fracture toughness) kuvaa aineen kykyä vastustaa murtuman etenemistä. Murtositkeystestissä selvitetään materiaalin kykyä vastustaa kappaleessa jo olemassa olevan halkeaman etenemistä. Vastustuskyky ilmaistaan murtositkeyden kimmo-kertoimena megapascalleissa. Murtositkeystestissä testattaviin kappaleisiin oli tehty esiviilto, joka toimii murtuman alkupisteinä (Kuva 20). Kyseessä oli siis modifioitu kolmipistetaivutustesti, sillä kappale oli erimuotoinen kuin taivutuslujuustestissä ja lisäksi se oli lovettu. Murtositkeystestissä testattavan kappaleen tukipisteiden etäisyys oli 32 mm ($\pm 0,1$ mm).



Kuva 20. Murtositkeystestattavaan kappaleeseen tehtiin 3 mm syvä esiviilto. Vihreä palkki kuvaa kuidun sijaintia.

Esiviillon avulla testi voitiin suorittaa hallitusti, koska murtuman syntymäpaikka oli etukäteen määritetty kuhunkin testattavaan kappaleeseen ja testitulokset eri kappaleiden välillä olivat siten vertailukelpoisia. Testissä mitattiin voiman määrää, joka vaadittiin kappaleessa jo olevan halkeaman kasvattamiseen ja kappaleen särkymiseen (Kuva 21). (Biomateriaalitieteen luennot, hammastekniikka, Turun AMK.)



Yläpinnalla: puristusjännitys

Alapinnalla: vetojännitys

Kuva 21. Murtuman eteneminen esiviillosta.

Murtositkeyden kimmokertoimen arvo laskettiin seuraavien kolmen yhtälön (Kaavat 3, 4 ja 5) avulla:

$$K_{ic} = \frac{f P_{max} l_t}{(b_t h_t^{3/2})} \cdot \sqrt{10^{-3}}$$

Kaava 3. Murtositkeyden kimmokerroin (ISO 20795-1).

jossa

K_{ic} = kimmokerroin (MPa m^{1/2})

f = funktion arvo

P_{max} = suurin kappaleeseen kohdistettu voima (N)

l_t = tukipisteiden väli (mm)

b_t = testattavan kappaleen leveys (mm)

h_t = testattavan kappaleen korkeus (mm)

ja

$$f(x) = 3x^{1/2} \frac{[1,99 - x(1 - x)(2,15 - 3,93x + 2,7x^2)]}{[2(1 + 2x)(1 - x)^{3/2}]}$$

Kaava 4. x :n arvosta riippuva geometrinen funktio (ISO 20795-1).

jossa

$f(x) = x$:n arvosta riippuva geometrinen funktio

sekä

$$x = a / h_t$$

Kaava 5. Kappaleeseen tehdyn uran + viillon ja korkeuden suhde (ISO 20795-1).

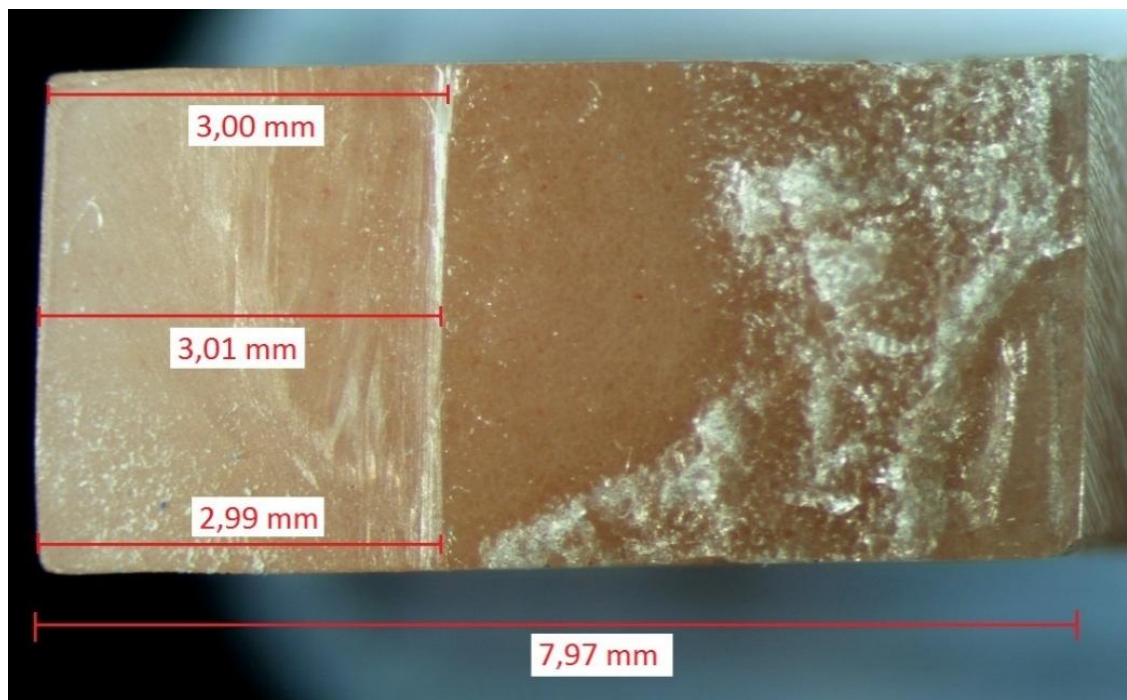
jossa

x = kappaleeseen tehdyn uran + viillon ja korkeuden suhde

a = kappaleeseen tehdyn uran ja viillon yhteissyvyys kolmen mittauskohdan keskiarvona (mm)

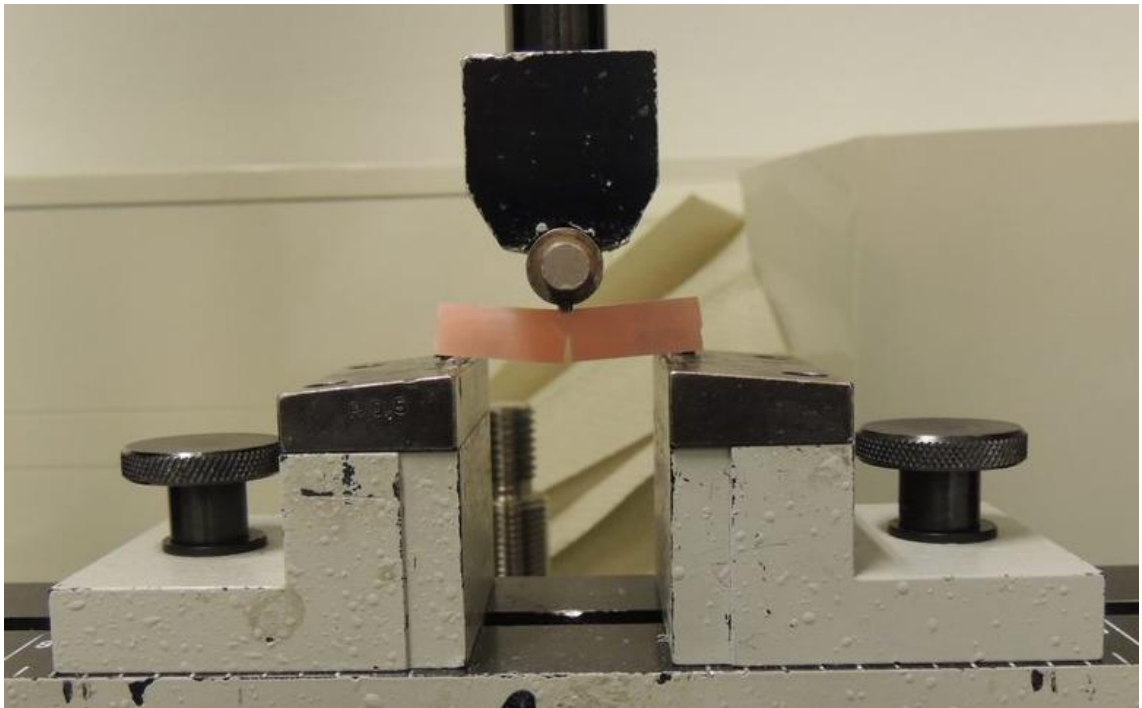
h_t = testattavan kappaleen korkeus (mm)

Uran ja sen pohjalle tehdyn viillon yhteissyvyys mitattiin mikroskoopilla kolmesta kohdasta (Kuva 22) ja laskuissa käytettiin näiden mittausten keskiarvoa. Mittaus suoritettiin murtositkeystestin jälkeen kappaleen murtopinnasta valomikroskoopilla.



Kuva 22. Murtopinnasta suoritettut mittaukset. Mikroskooppikuva.

Murtositkeyttä määrittävä testi (Kuva 23) on toinen hyvä indikaattori proteesiakryyliin testaukselle, koska kappaleisiin jää aina pieniä halkeamia. Tällaiset halkeamat toimivat alkupisteinä kappaleissa toistuvan rasituksen myötä kasvaville murtumille. Toistuvat kappaleeseen kohdistuvat voimat synnyttävät uusia ja kasvattavat materiaalissa jo olemassa olevia mikrohalkeamia, kunnes halkeamat kasvavat tarpeeksi suuriksi ja materiaali pettää. Proteesien kiillotuksella näitä halkeamia pyritään häivyttämään ja pienentämään, mutta viimeistelystä huolimatta mikroskooppisten halkeamien esiintyvyys kaikissa materiaaleissa on ominaisuus, josta ei ole mahdollista päästä täysin eroon. Täysin virheettömän kappaleen valmistaminen ei siis ole edes mahdollista. (Biomateriaalitieteen luennot, hammastekniikka, Turun AMK.)



Kuva 23. Murtositkeystesti.

Kuituvahvikkeen sijoittelu ei ole murtositkeystestikappaleissa optimaalinen, sillä kuidun käyttäytyminen testikappaleiden valmistusvaiheessa ei ole täysin hallittavissa. Kuidun vahvistavin vaikutus olisi aivan leikkausuran tuntumassa, mutta testikappaleiden valmistuksen aikana akryylin paksuutta ei ole mahdollista mitata tarkasti, eikä kuitua siten pysty sijoittamaan optimikohtaan. Varminta onkin sijoittaa vahvike lähemmäs kappaleen ylä- tai alapintaa ja leikata murtumaura vastakkaiselle pinnalle (Kuva 20). Mikäli murtumaura leikattaisiin kuituvahvikkeen kohdalta, leikattaisiin samalla kuituja poikki ja testitulokset vääristyisivät.

4.5 Kysely hammaslaboratorioille

Hammaslaboratorioille laadittiin kyselylomake, jonka avulla pyrittiin kartoittamaan hammaslaboratorioiden tietoutta HI-akryyleista sekä kokemuksia niiden käytöstä. Kyselylomakkeeseen päädyttiin, jotta kaikille kyselyyn vastaajille kysymykset tulisivat esitetyksi täysin samalla tavalla. Lomakkeella esitettiin seuraavat kysymykset:

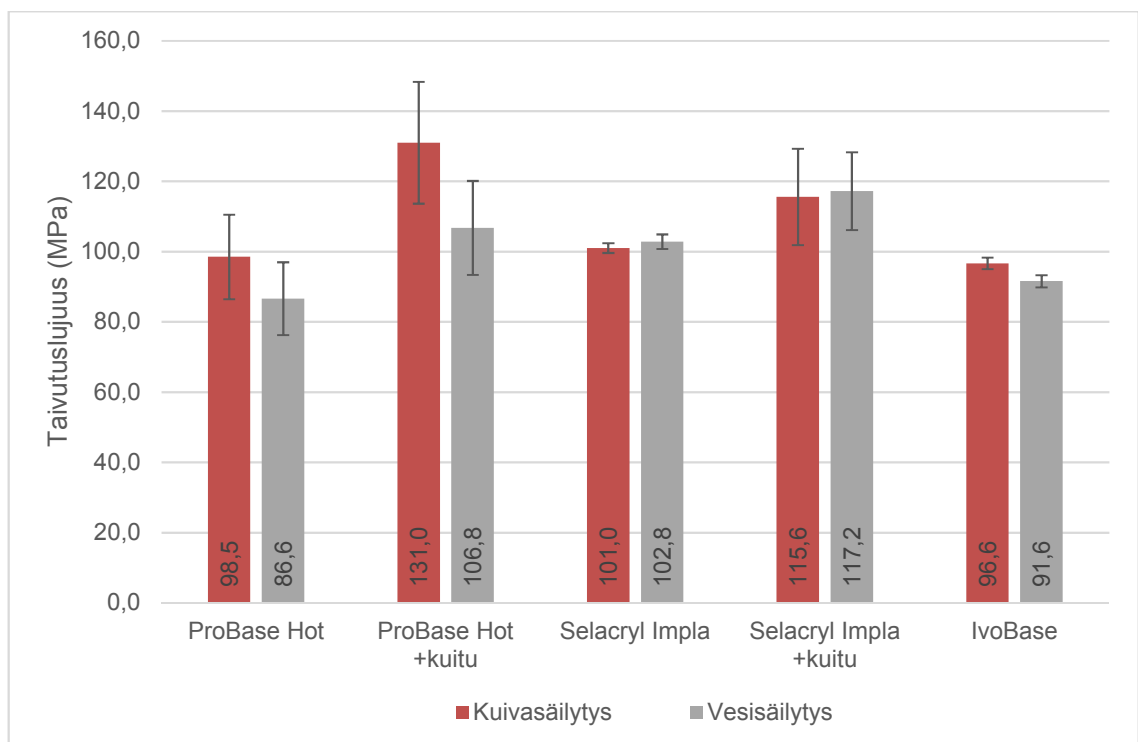
- Oletteko kuulleet aiemmin HI-akryyleista?
- Oletteko joskus käyttäneet HI-akryyleja?
- Käytättekö nykyisin HI-akryyleja?
- Jos käytätte HI-akryyleja, miksi käytätte niitä tavallisen akryylin sijaan?
- Jos tunnette HI-akryyleja, mutta ette käytä niitä, miksi ette?
- Jos ette enää käytä HI-akryyliä, miksi lopetit sen käytön?

Kaikkiin kysymyksiin pyydettiin vapaata kommenttia, ja lisäksi kolmeen ensimmäiseen kysymykseen vastaus joko Kyllä tai Ei -ruutuun. Kyselylomakepohja on esitetty liitteessä 4. Kyselylomakkeen lisäksi keskusteltiin Plandent Oy:n ja Ivoclar Vivadent:n edustajien kanssa HI-akryyliä myyntiluvuista verrattuna perinteisiin akryyleihin.

5 TULOKSET JA ANALYYSI

5.1 Taivutuslujuus

Kuviossa 1 on esitetty testatuille kappaleille keskimääräiset taivutuslujuuden arvot materiaaleittain. Palkin jana kertoo testikappaleiden keskihajonnan. Pieni keskihajonta kertoo testikappaleiden tasalaatuisuudesta. Suuri keskihajonta viittaa siihen, että testattujen kappaleiden suurimmat ja pienimmät taivutuslujuudet poikkeavat toisistaan runsaasti.



Kuvio 1. Testikappaleiden keskimääräiset taivutuslujuudet.

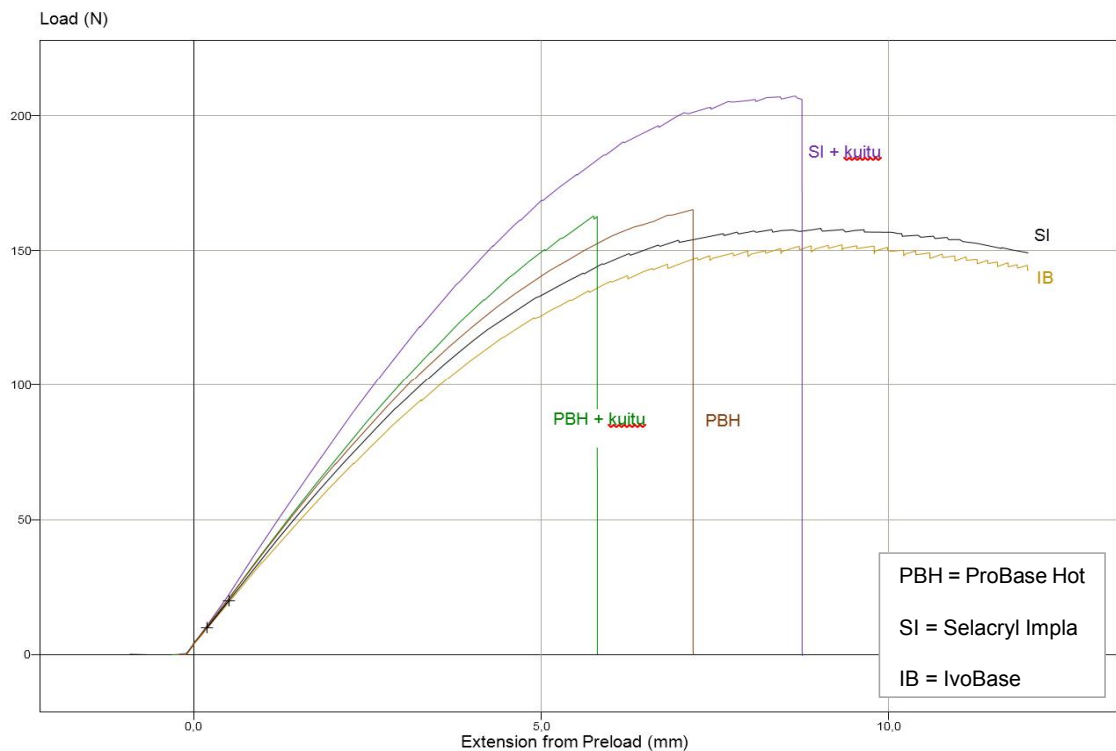
Taivutuslujuudessa testattavien materiaalien erot olivat suhteellisen pieniä. Kuidulla vahvistetut ryhmät olivat vahvempia kuin vahvistamattomat ryhmät. Kuituvahvike kasvatti ryhmän keskihajontaa. Kuituvahvistamattomina testikappaleina Selacryl Impla (SI) oli hieman IvoBasea (IB) ja ProBase Hotia (PBH) kestävämpi.

Kuivasäilytetyissä testikappaleissa ero heikoimman IvoBasen (96,6 MPa) ja vahvimman Selacryl Implan (101,0 MPa) välillä oli alle 5 %. Vesisäilytetyissä kappaleissa ero oli hieman suurempi, heikoimman ProBase Hotin (86,6 MPa) ja vahvimman Selacrylin (102,8

MPa) välisen eron ollessa 15,8 %. PBH:lla vaihtelu testikappaleiden välillä oli selkeästi suurempaa kuin muilla akryyleilla, ja kuituvahvike lisäsi vaihtelua entisestään.

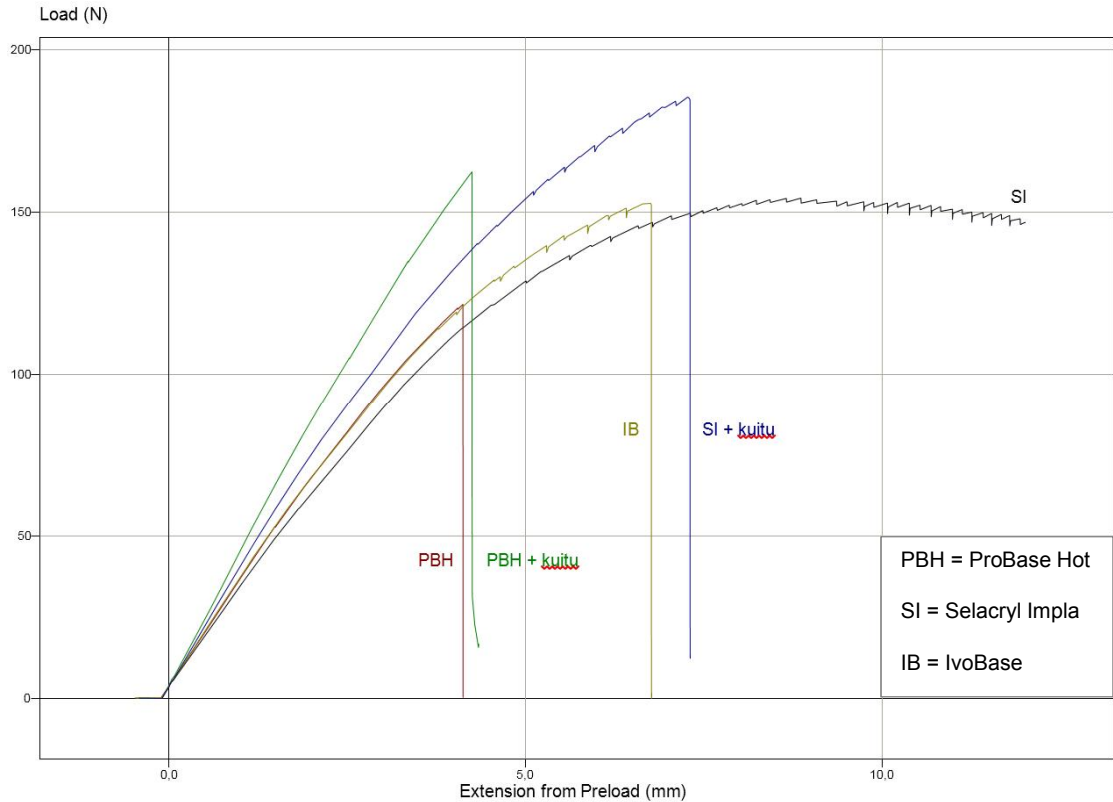
Kuituvahvikkeen lisääminen vahvisti ProBase Hotia merkittävästi; kuidulla vahvistetut kappaleet olivat keskimäärin 28,1 % vahvempia kuin kuiduttomat testikappaleet, kun huomioitiin sekä kuiva- että vesisäilytetyt ryhmät. Selacryl Implalla kuidun vahvistava vaikutus oli pienempi, noin 14,2 %. Kuidulla vahvistettu PBH oli testijoukon vahvin kuivasäilytetyssä ryhmässä, mutta myös testikappaleiden keskinäinen hajonta oli suurinta. Vesisäilytetyissä ryhmissä vahvin oli kuidulla vahvistettu Selacryl Impla.

Kuvaajissa 1 ja 2 esitetään testattavien materiaalien tyypilliset taivutuslujuuskäyrät kuiva- ja vesisäilytyksen jälkeen. Käyrät eivät edusta testiryhmien maksimi- tai keskiarvoja, vaan tavanomaisinta käyrän muotoa testikappaleen käyttäytymisestä taivutuksessa. Kuten kuvaajista käy ilmi, Selacryl Impla ja IvoBase sietävät suurempaa taivutusta kuin ProBase Hot, joten HI-akryyliin fillereitä voidaan pitää toimivina. Oletettavasti fillerit toimivat suunnitellusti ja ne hidastavat murtuman etenemistä. Tämä ilmenee HI-akryyliin suurempina taipuma-arvoina. Lienee myös mahdollista, että fillereillä modifioitujen materiaalin peittäminen vaaditaan useampia murtumia kuin perinteisellä akryyllilla, mikäli yksittäinen murtuma ei etene filleristä lainkaan.



Kuvaaja 1. Tyypilliset taivutuslujuuskäyrät kuivasäilytetyille testikappaleille.

Jyrkästi nouseva ja äkillisesti päättyvä käyrä kuvastaa jäykkää materiaalia, joka sietää muodonmuutosta, kuten taivutusta, huonosti. ProBase Hotin ja kuidulla vahvistetun Selacryl Implan esimerkkikuvaajat ilmentävät tällaisia materiaaleja. PBH:n osalta tulos on odotettu, koska perinteiset akryylit ovat tunnetusti särkymisherkkiä. Vahvistamattomat HI-akryylit eivät katkea, vaan taipuvat runsaasti.



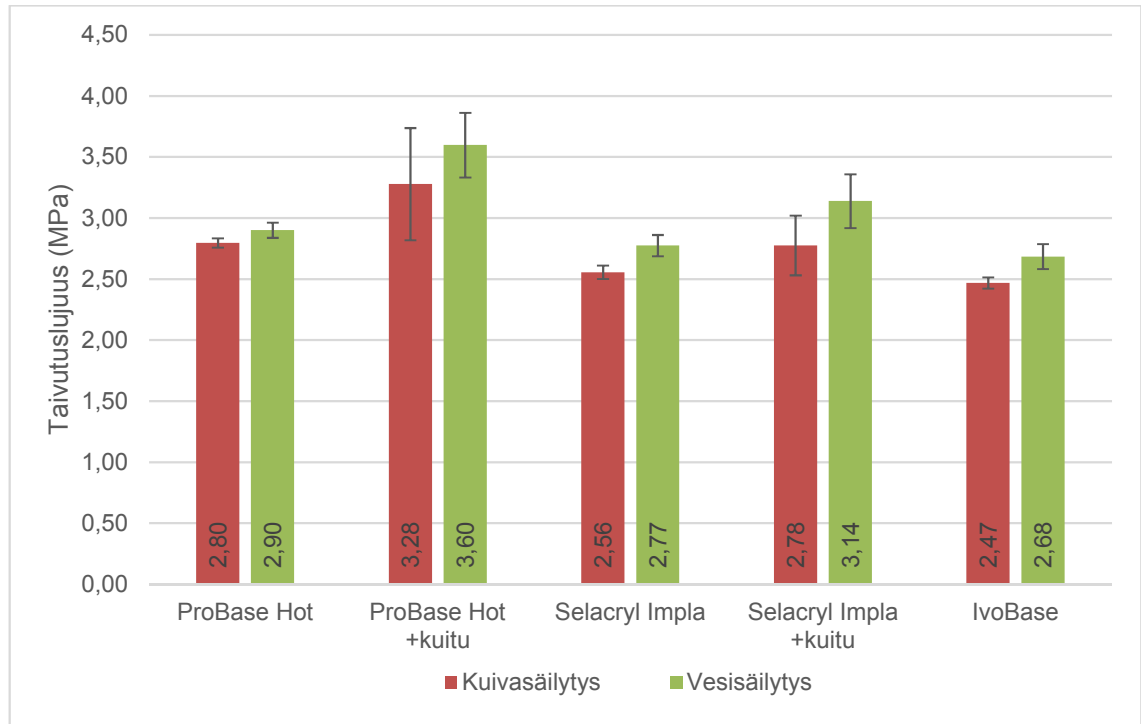
Kuvaaja 2. Tyypilliset taivutuslujuuskäyrät vesisäilytetyille testikappaleille.

Taivutuslujuustestikappaleissa kuidun asemointi oli optimaalinen, eikä kuvaajista (Kuvaajat 1 ja 2) ole havaittavissa pistettä, jossa murtuma kohtaa kuituvahvikkeen. Käyrät muodostavat yksittäisen huippukohtan, minkä jälkeen murtuma etenee äkillisesti koko testitukun läpi pysähtymättä kuituun. Tällainen selkeä murtuman kohtaamispaikka kuidun kanssa havaitaan murtositkeystestien tuloksissa, joissa kuidulla vahvistettujen testikappaleiden kuvaajissa muodostuu kaksi erillistä huippukohtaa (Kuvaajat 3 ja 4).

Kuituvahvisteisen Selacryl Implan osalta voitaneen olettaa kuitujen katkeilun saavan aikaan ketjureaktion, jossa usean kuidun yhtäaikainen pettäminen johtaa kuitujen läpi ympäröivään akryyliin etenevän halkeaman liikkuvan niin nopeasti, ettei fillereiden ehkäisevä vaikutus riitä pysäyttämään halkeaman etenemistä. Tämän murtumamekanismin tarkempaa tutkimusta emme suorittaneet.

5.2 Taivutuslujuuden kimmokerroin

Kuviossa 2 on esitetty taivutuslujuuden keskimääräiset kimmokertoimet kullekin testissä mukana olleelle akryylille. Palkin jana kuvaa testikappaleiden keskihajontaa.



Kuvio 2. Testikappaleiden taivutuslujuuden keskimääräiset kimmokertoimet.

Kuviossa 2 huomio kiinnittyy vesisäilytyksessä olleiden testikappaleiden kuivasäilytetyjä kappaleita suurempaan kimmokertoimeen. Kimmokertoimen nousu selittyy akryyliin polymeroinnissa jäävällä jäännösmonomeerilla, joka liukenee vesisäilytyksessä ympäröivään veteen. Kappaleeseen jäännösmonomeerin tilalle imeytyvä vesi toimii kappaleen plastisoijana ja lubrikanttina, jolloin kappaleeseen kohdistuvan voiman aiheuttama muodonmuutos saa molekyylit liikkumaan helpommin toistensa lomitse kappaleen sisällä. Kuivasäilytetyissä kappaleissa materiaaliin ei ole imeytynyt vettä, joten niissä molekyylit ovat tiukemmin toisiinsa sidottuina. Taivutuksessa ero tulee esiin vesisäilytetyin kappaleen pienempänä taipumana ennen murtumaa, jolloin kimmokerroin on suurempi. (Lassila 2018.) Vaikka jäännösmonomeerin pitoisuus polymeroituneissa akryyleissa on pientä, standardin ISO 20795-1 mukaan kylmäakryyleissa alle 4,5 % ja keittoakryyleissa alle 2,2 %, tulee tämän polymeroitumattoman monomeerin vaikutus testeissä selkeästi esille vesisäilytetyin kappaleen murtuessa herkemmin. Käytännössä vesisäilytetyjen

kappaleiden jäännösmonomeerien pitoisuudet ovat reilusti standardissa määritettyjä pienempiä, kuten Vallitun (Vallittu et al. 1995) tutkimuksesta käy ilmi.

Erot eri akryyleilla taivutuslujuuden kimmokertoimessa eivät olleet suuria. Vahvistamattomissa kuivassa säilytetyissä testikappaleissa ero heikoimman IvoBasen (2,47 MPa) ja vahvimman ProBase Hotin (2,80 MPa) välillä oli 13,3 %. Vesisäilytetyillä vahvistamattomilla kappaleilla ero heikoimman IB:n (2,68 MPa) ja vahvimman PBH:n (2,90 MPa) välillä oli vain 8,2 %.

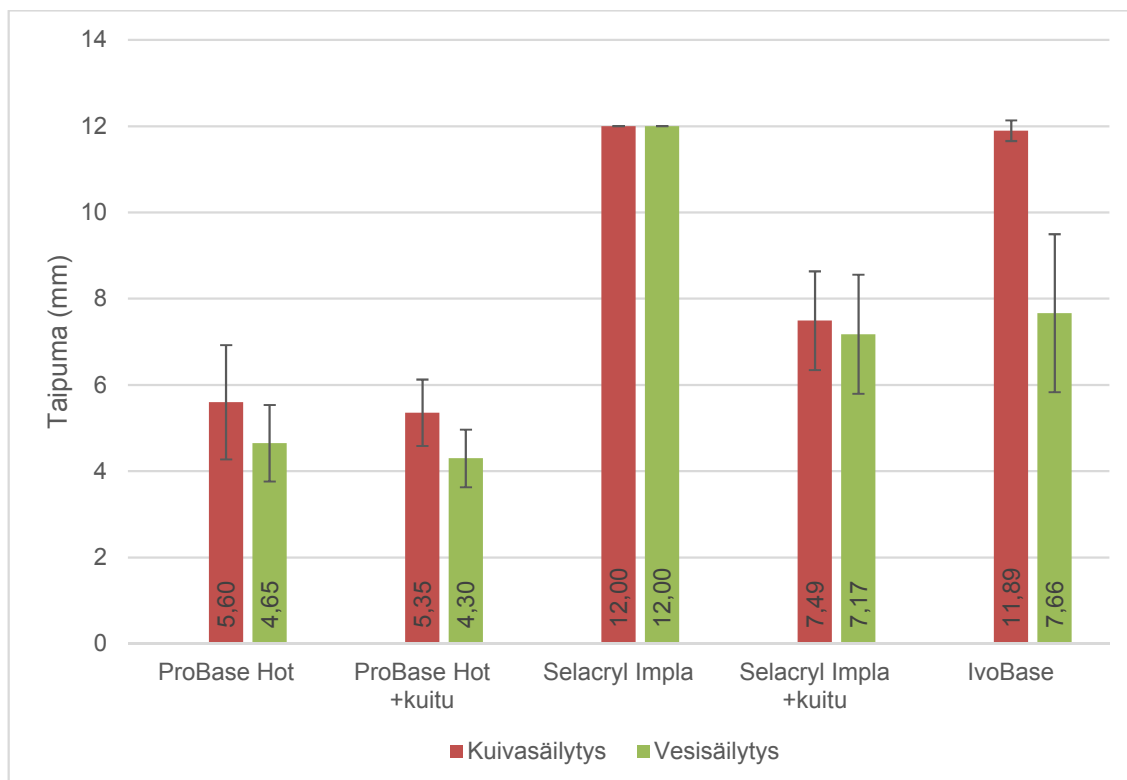
Vahvistetuissa kuivassa säilytetyissä kappaleissa ProBase Hot hyötyi kuidusta reilut 17,1 % (2,80 - 3,28 MPa) ja Selacryl Implan noin 8,5 % (2,56 - 2,78 MPa). Ero kuidulla vahvistetuissa vedessä säilytetyissä ryhmissä oli PBH:lla (2,90 - 3,60 MPa) 24,1 % ja SI:lla (2,77 - 3,14 MPa) 13,4 %. Vesisäilytetyssä kuidulla vahvistetussa PBH-akryylissa kuidun vaikutus toi siis noin neljänneksen lisän kimmokertoimeen, mitä voi pitää merkittävänä. IvoBase oli molemmilla säilytystavoilla (vesi tai kuiva) kimmokertoimeltaan heikoin akryyli. Kuituvahvikkeen asemointi toi jälleen kappaleisiin reilusti keskinäistä vaihtelua: PBH:ssa hajonta oli hieman SI:tä suurempaa. Vaikka vahvike aiheuttaa vaihtelua, se ei kuitenkaan heikennä materiaalia, vaan kaikki kuituvahvistetut kappaleet olivat vahvistamattomia testikappaleita kestävämpiä.

5.3 Taipuma

Kuviossa 3 on esitetty keskimääräiset taipumat eri testiryhmille. Palkin jana kuvaa keskihajontaa. ProBase Hot taipui kaikkein vähiten. Kuivaryhmässä kuitu pienensi taipumaa noin 4,4 % (5,60 mm - 5,35 mm) ja märkäryhmässä noin 8,1 % (4,65 mm - 4,3 mm). Kuidun vaikutus PBH:n taivutuslujuuteen oli siis vähäinen. Taipumaa ja taivutuslujuuden kimmokerrointa voidaan pitää jossain määrin kääntäen verrannollisina. Suuri taipuma viittaa siis alhaiseen taivutuslujuuden kimmokertoimeen ja pieni taipuma suureen taivutuslujuuden kimmokertoimeen, mutta väitteen vahvistaminen vaatisi lisätestejä.

Selacryl Implan vahvistamattomista kappaleista ei särkynyt yksikään, ei kuiva- eikä märkäryhmästä. SI:a voidaan siis pitää varsin plastisena akryylina, joka sietää hyvin suuriakin muodonmuutoksia. Kuidun vaikutus SI:n taipumaan oli dramaattinen, sillä kaikki vahvistetut testikappaleet katkesivat. Vahvistetussa kuivaryhmässä suurin taipuma katkea-

mishetkellä oli noin 9,2 mm keskiarvon ollessa noin 7,5 mm ja vahvistetussa vesiryhmässä suurin taipuma katkeamishetkellä oli noin 10,3 mm keskiarvon ollessa noin 7,2 mm.



Kuvio 3. Testikappaleiden keskimääräiset taipumat.

Osa IvoBasen kuivasäilytetyistä testikappaleista ei särkeä 12 mm taivutuksella. Tarkalleen ottaen kaksi testitikkua katkesi, molemmat aivan taivutuksen lopussa testipään laskeuduttua vähintään 11,3 mm. Loput testikappaleet eivät katkenneet. Märkäryhmästä kaikki IB:n tikut katkesivat. Kuivaryhmässä IB taipui keskimäärin noin 11,9 mm, ja vesiryhmässä noin 7,7 mm.

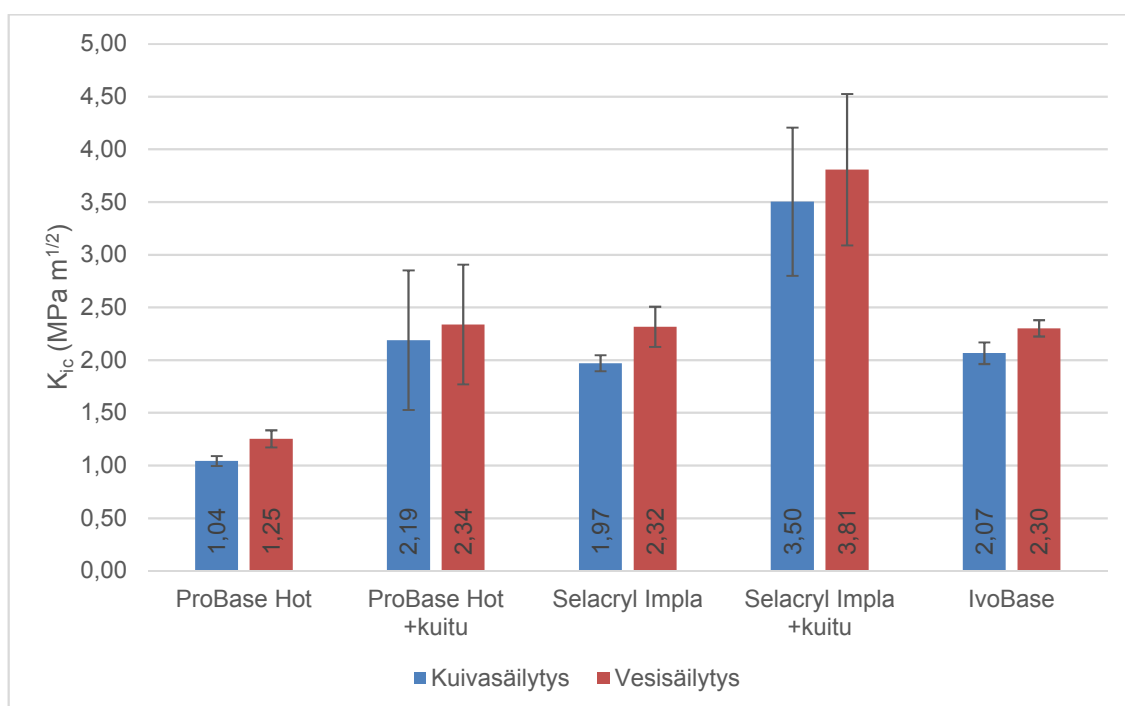
IvoBasen vedessä säilytetyissä testikappaleissa oli kaikkein suurin keskinäinen hajonta, kun muissa testeissä IB:n hajonta on ollut testijoukon pienimpiä. Suuri keskihajonta vesisäilytysryhmässä viitanee siihen, että akryyliin on jäänyt runsaasti polymeroitumaton monomeeria, joka on liennut veteen. Ihmetystä herättääkin, miksei kuivaryhmän IvoBasen hajonta ollut yhtä suurta. Kaikki tikut on valmistettu kahdessa erillisessä injektioinnissa valmistetuista akryylilevyistä, ja valmiit tikut on jaettu sattumanvaraisesti kuiva- ja vesisäilytettäviin. Hajontaa tosin kasvatti merkittävästi yksi tikku, joka ei katkenut testissä. Vesiryhmän katkeamattoman tikun huomioiminen keskihajonnassa nostaa

keskihajonnan yli kolminkertaiseksi ilman kyseistä tikkua laskettuun keskihajontaan verrattuna (1,83 vs. 0,51). Fyysistä poikkeavuutta kyseisessä tikussa ei havaittu.

HI-akryylit taipuivat merkittävästi enemmän kuin PBH. Kuituvahvisteisen Selacryl Implan vedessä säilytettyjen tikkujen taipuma oli HI-akryylien pienin, keskimäärin 7,1 mm. PBH:n suurin taipuma 5,6 mm oli vahvistamattomalla kuivassa säilytetyllä ryhmällä. HI-akryylien taipuma oli siis vähintään 26 % suurempi perinteiseen keittoakryyliin verrattuna.

5.4 Murtositkeys

Kuviossa 4 esitetään murtositkeyden kimmokerroin (K_{Ic}) keskimääräisenä jokaista testimateriaalia kohti. Palkin yläosan jana kertoo jälleen testikappaleiden keskihajonnan.

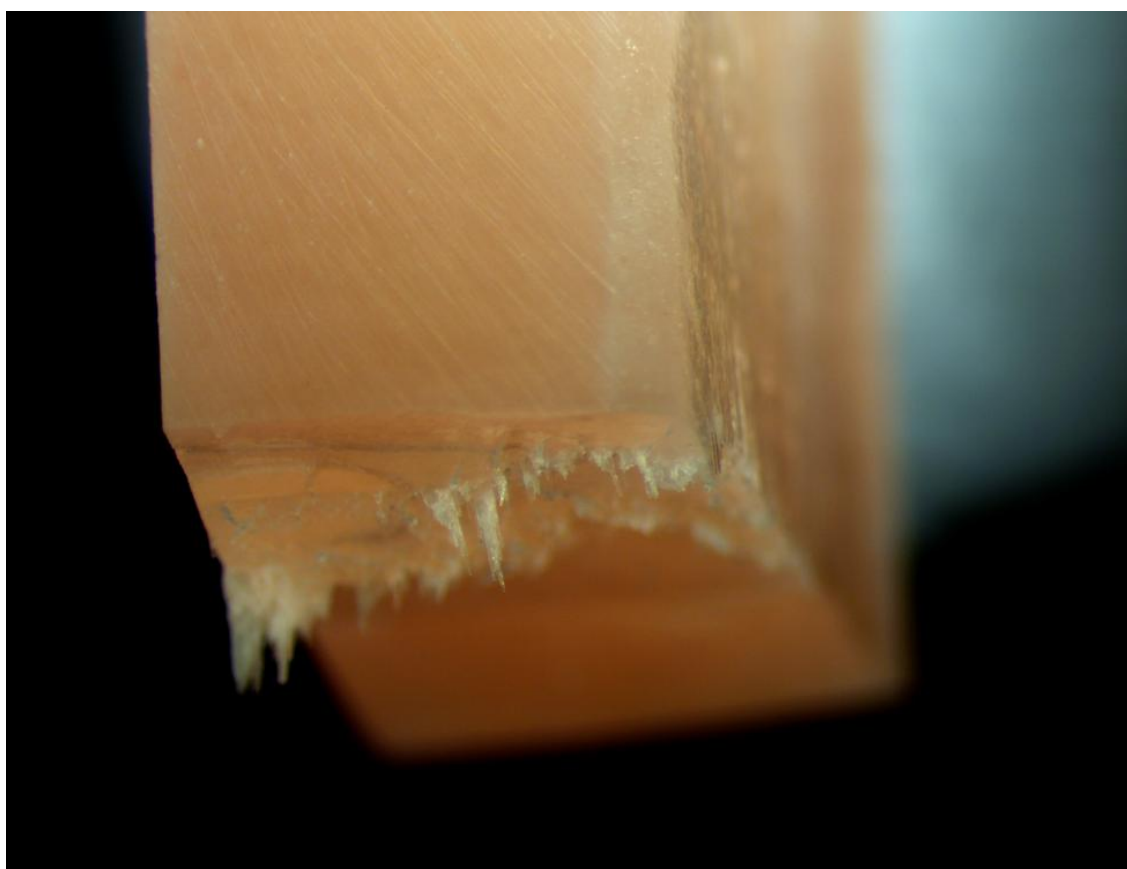


Kuvio 4. Testikappaleiden murtositkeyden keskimääräiset kimmokertoimet.

ProBase Hot oli murtositkeytensä perusteella testijoukon heikoin materiaali. Ilman kuituvahviketta PBH:n kimmokerroin oli noin puolet IvoBasen ja Selacryl Implan arvoista. Kuituvahvistettunakin sen murtositkeys oli vain samaa tasoa kuin HI-akryyliin vahvistamattomat kappaleet, mutta kuituvahvikkeen asettaminen aiheutti ProBase Hotin testikappaleisiin hyvin suurta vaihtelua.

Selacryl Implan murtositkeys nousi kuituvahvikkeen (Kuva 24) ansiosta merkittävästi, aivan kuten PBH:kin. Myös SI:n testikappaleisiin kuituvahvikkeen asemointi aiheutti suurta vaihtelua. Suhteellisesti vaihtelu Selacryl Implalla oli kuitenkin pienempää kuin ProBase Hotilla johtuen SI:n suuremmasta kimmokertoimesta. Absoluuttisesti keskihajonta oli vahvistetussa PBH:ssa hieman pienempi. Vahvistamattomissa testikappaleissa vaihtelu testikappaleiden välillä oli pientä kaikilla materiaaleilla.

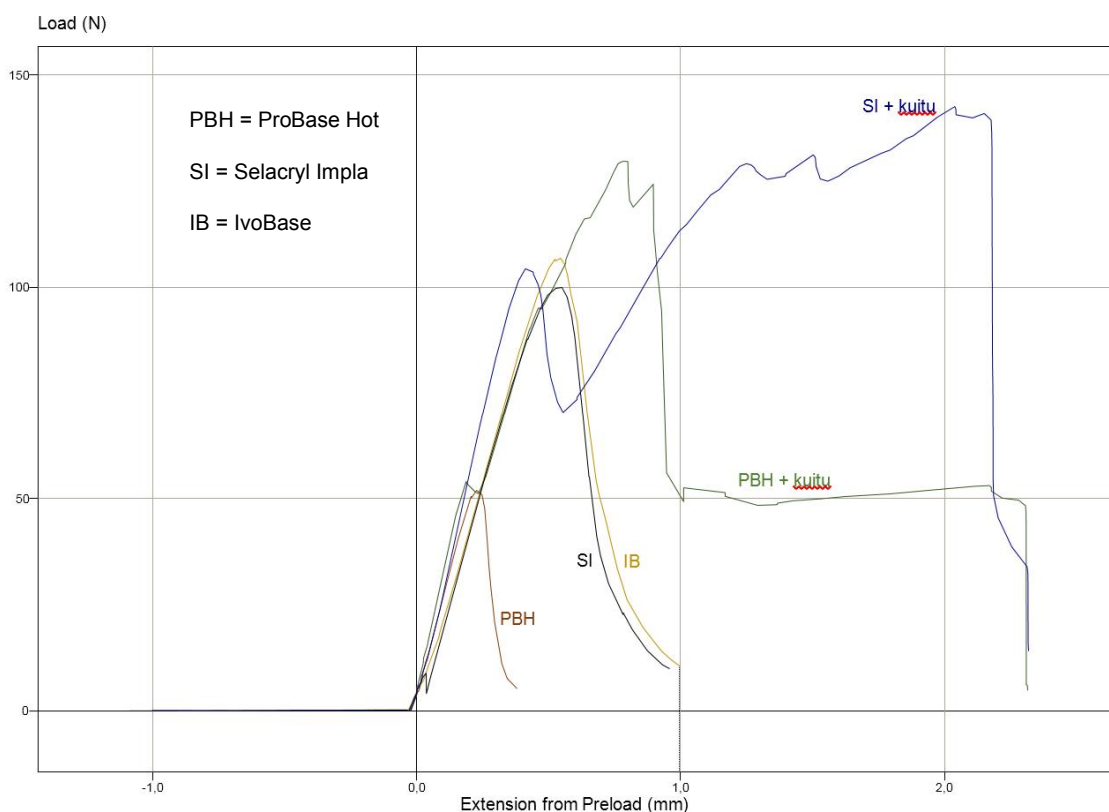
Murtopintaa mikroskoopilla tarkasteltaessa Selacryl Implan kuituvahvisteisissa kappaleissa havaittiin mustia pilkkuja, joita muista testikappaleista ei havaittu. Näistä pilkuista lisää liitteessä 5.



Kuva 24. Selacryl Implan murtopinnasta kuidut erottuvat selkeästi. Mikroskooppikuva.

Vesisäilytetyillä kappaleilla murtositkeyden kimmokertoimen arvo oli hieman kuivasäilytettyjä suurempi. Ilmiö johtuu veden imeytymisestä kappaleeseen ja havaittiin myös Kuviossa 2.

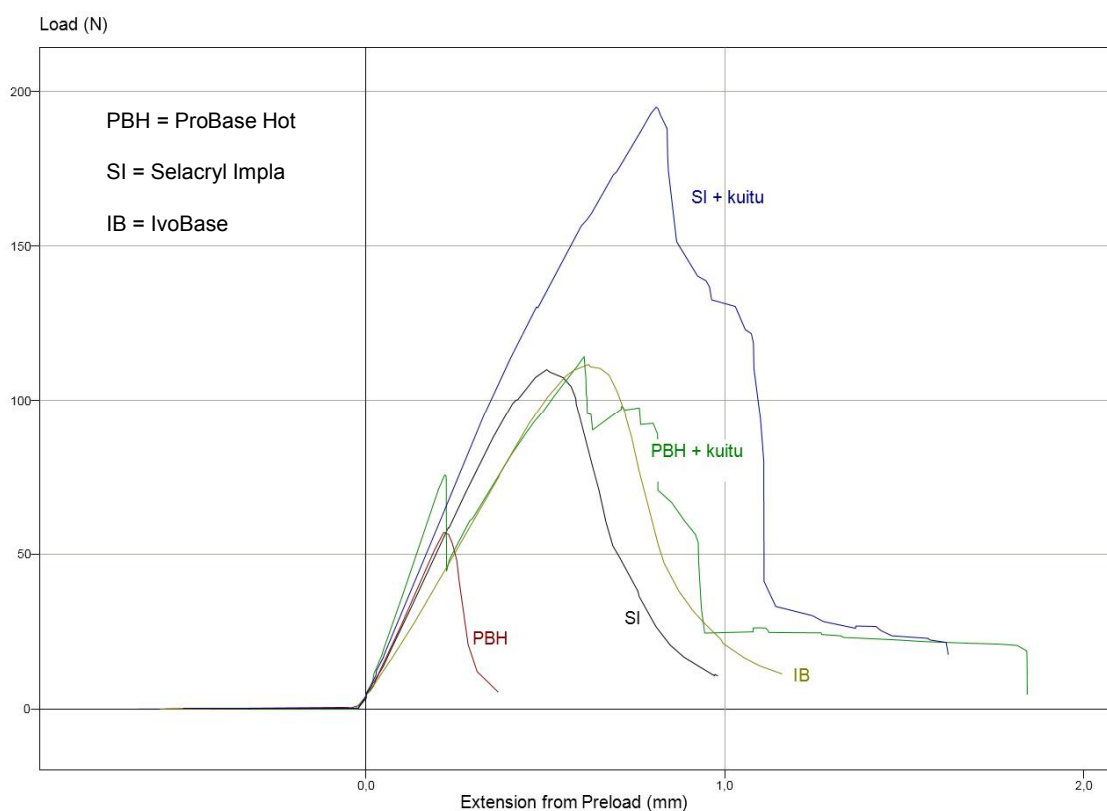
Kuvaajissa 3 ja 4 on esitetty materiaalien tyypillisimmät käyrät murtositkeystesteistä. Vahvistettujen kappaleiden murtokäyrien muodot poikkeavat selkeästi vahvistamattomista ja niistä on nähtävissä hyvin kuidun vaikutus. Kuidun asemointi ei esiviillon takia ole optimaalinen. Näissä kuvaajissa kuormituskäyrä nousee aluksi lähes lineaarisesti murtuman liikkeellelhtöön saakka. Murtuman lähtiessä etenemään kappaleessa käyrä kääntyy laskuun ensimmäisestä huippukohdasta ja murtuman kohdatessa kuidut käyrän suunta vaihtuu jälleen nousevaksi. Uusi käyrän huippu saavutetaan hetkenä, jolloin kuidut alkavat pettää. Käyrän kääntyessä jyrkkään laskuun merkittävä osa kuiduista on katkenut ja materiaali pettää lopullisesti. Erityisen hyvin ilmiön huomaa Selacryl Implan kuivasäilytetyistä kappaleista (Kuvaaja 3), jossa vahvistetun kappaleen käyrän ensimmäinen huippu on lähes samanlainen vahvistamattoman testikappaleen käyrän kanssa.



Kuvaaja 3. Tyypilliset murtositkeysikäyrät kuivasäilytetyille testikappaleille.

Sekä kuivassa että vedessä säilytettyjen testitikkujen joukosta kuituvahvisteiset erottuvat selkeästi kestävämpinä. Niissä kuitujen vahvistava vaikutus on merkittävä, ProBase Hotin tapauksessa noin kaksinkertainen. IvoBase ja vahvistamaton Selacryl Impla olivat käytännössä tasaväkiset, kun PBH vahvistamattomana oli selkeästi testijoukon heikoin materiaali. Kuvaajista 3 ja 4 voidaan myös huomata, että HI-akryylit sellaisinaan kestivät

suunnilleen yhtä paljon rasitusta kuin kuituvahvistettu PBH. Kuidun vahvistava vaikutus oli erittäin selkeä myös HI-akryyllilla.



Kuvaaja 4. Tyypilliset murtositkeysikäyrät vesisäilytetyille testikappaleille.

5.5 Kysely hammaslaboratorioille

Aiempien tietojen sekä kyselyn perusteella selvisi, että HI-akryylit ovat puutteellisesti tunnettuja ja vähän käytettyjä akryyllilaatuja suomalaisissa hammaslaboratorioissa. Kyselyn tulosten mukaan vain harvassa laboratoriossa on kuultu HI-akryyleista.

Kyselyyn vastanneista kahdeksasta laboratoriossa vain kolmessa HI-akryylit miellettiin terminä tutuksi, ja vain yhdessä niitä todettiin käytettävän, tai koskaan olleen käytössä. Tämäkin tieto tosin jäi epävarmaksi, koska laboratorion käytössä oli IvoBase-injektiolaite ja vastaaja oletti siinä käytettävän akryyllin olevan HI-akryyllia. IvoBase-injektiolaitteelle on kuitenkin olemassa useita eri akryyllilaatuja. Vastaajista yksikään ei siis varmuudella käyttänyt HI-akryyllia. IvoBase-injektiolaite oli käytössä kahdessa kyselyyn vastanneessa laboratoriossa. Muutamissa keskusteluissa teknikoiden kanssa kävi myös ilmi, että he

uskoivat tietävänsä mitä HI-akryylit ovat, mutta keskustelun edetessä selvisi, että he olivat sekoittaneet termin johonkin toiseen asiaan.

HI-akryylien käytön vähyyden tai käyttämättömyyden syiksi laboratorioista mainittiin, ettei niille koettu tarvetta, niiden oletettiin olevan kalliita, eikä niitä ole laboratoriolle mainostettu. Haettaessa kestävyyttä proteeseihin niitä vahvistettiin kuiduilla tai metallilangoilla. Myös IvoBase-injektiolaitteella valmistetut proteesit miellettiin tavallista akryyliä kestävämmäksi ja sen kanssa käytettiin tarvittaessa niin kuitu- kuin metallivahvikkeita. Kuituna käytettiin esikövetettua Stick-kuitua.

Mielenkiintoista oli tieto, ettei käytettävästä akryylista neuvoteltu työn tilanneen hammaslääkärin kanssa, vaan valinta suoritettiin itsenäisesti laboratoriossa. IvoBasea käytävissä laboratorioissa käytettiin myös muitakin kuin IvoBasella polymeroitavia akryyleita. Indikaationa IvoBase-injektiolaitteen käytölle ja siten vahvemmalle akryylille nähtiin ohuet ja vaativat rakenteet sekä tieto mielenterveyspotilaista. Haittapuolena IvoBase-akryylissä koettiin sen olevan pölyävämpää porattaessa.

Selvitettäessä Suomessa myynnissä olevia HI-akryyleja kävi selväksi, ettei tuotteita juuri käytetä ja sen takia myös valikoima on vähäinen. HI-akryyliä Suomessa kuvastaa hyvin siis myös laboratorioille suoritetun kyselyn tulokset, jotka ovat yhteneväiset yritysten edustajien näkemysten kanssa. Hammasteknisen alan tarvikkeita ja materiaaleja myyvien yritysten edustajien mukaan HI-akryyliä osuus akryyliä kokonaisuudessaan on käytännössä mitätön (Fredriksson 2018, Lindfors 2018). Esimerkiksi Plandent Oy:llä on vuosien saatossa ollut myynnissä useitakin erilaisia HI-akryyleja, mutta syystä tai toisesta ne eivät ole käyneet kaupaksi, joten ne ovat jääneet kysynnän puutteessa pois valikoimista (Fredriksson 2018).

6 POHDINTAA

6.1 HI-akryyliä paremmuus testeissä

ProBase Hot on monessa laboratoriossa käytössä oleva akryyli, mikä kertonee sen olevan luotettu ja hyväksi havaittu materiaali akryyliproteesien valmistukseen. Testitulosten perusteella HI-akryylit ovat kuitenkin varteenotettava vaihtoehto proteettisten töiden akryyliksi. Käytettävyydeltään ja valmistustavoiltaan HI-akryylit eivät poikkea perinteisistä akryyleista ja parempien mekaanisten ominaisuuksiensa johdosta niitä voi pitää hyvinä vaihtoehtoina. HI-akryyliä kanssa ei välttämättä tarvitse käyttää kuituja, sillä ne vaikuttavat vastaavan sellaisenaan kuituvahvistettua keittoakryyliä.

HI-akryyliä paremman taivutuslujuuden perusteella niiden voi olettaa sietävän keittoakryyliä paremmin purentavoimia ja purennasta proteesiin aiheutuvia muodonmuutoksia. Materiaalien suuremman joustavuuden ansiosta niiden ei pitäisi särkyä yhtä helposti kuin jäykän ja hauraan keittoakryylin. HI-akryyleja voidaan pitää parempina vaihtoehtoina myös murtositkeytensä perusteella, sillä HI-akryyleista valmistetut tikut suoriutuivat testeissä keittoakryyliä paremmin. HI-akryyleissa fillerit hidastavat murtuman kulkua, mikä ilmenee suurempana taivutuksen sietokykynä. HI-akryylista valmistettujen proteesien voidaan siis ajatella olevan pitkäikäisempiä.

Taivutuslujuudessa ja murtositkeydessä ei ole testituloksien perustella havaittavissa erityisen selkeää korrelointia. Kuvioiden 2 ja 3 perusteella keskimääräistä taipumaa ja taivutuslujuuden kimmokerrointa voidaan pitää jossain määrin kääntäen verrannollisina ja Kuvioiden 2 ja 4 perusteella kimmokertoimissa voidaan ajatella olevan lievää yhtäläisyyttä, mutta yksiselitteistä käsitystä materiaalien ominaisuuksista ei niidenkään perusteella ole mahdollista muodostaa. Kaikkien tutkittujen materiaalien testitulosten keskiarvot esitetään kootusti Taulukossa 2. Taulukkoon on lihavoitu jokaisen testin vahvimmat tulokset oranssilla ja heikoimmat tulokset sinisellä.

Taulukko 2. Tutkittujen materiaalien testitulokset.

	Taivutuslujuus (MPa)	Taivutuslujuuden kimmokerroin (MPa)	Taipuma (mm)	Murtositkeyden kimmokerroin (MPa m ^{1/2})
Kuivasäilytys				
ProBase Hot	98,5	2,8	5,6	1,0
ProBase Hot + kuitu	131,0	3,3	5,4	2,2
Selacryl Impl	101,0	2,6	12,0	2,0
Selacryl Impl + kuitu	115,6	2,8	7,5	3,5
IvoBase	96,6	2,5	11,9	2,1
Vesisäilytys				
ProBase Hot	86,6	2,9	4,7	1,3
ProBase Hot + kuitu	106,8	3,6	4,3	2,3
Selacryl Impl	102,8	2,8	12,0	2,3
Selacryl Impl + kuitu	117,2	3,1	7,2	3,8
IvoBase	91,6	2,7	7,7	2,3

6.2 Jatkotutkimuksia

Testien perusteella muodostunut kuva HI-akryyleista on varsin positiivinen. Testiin valitut materiaalit kuvastanevat yleisesti niin perinteisten kuin HI-akryyliin ominaisuuksia, mutta lisätutkimukset olisivat tarpeen ennen HI-akryyliin ylivoimaisuuden julistamista. Akryyleista, kuten muistakin materiaaleista, voidaan tutkia ominaisuuksia lähes loputtomiin. Hammasproteeseihin lähimmin liittyviksi jatkotutkimuskohteiksi voisivat soveltua hyvin HI-akryyliin kiilto ja kiillotettavuus, materiaalin värjäytyvyys käytössä sekä väsymisluku. Suoritetuissa taivutuslujuustesteissä ei selvitetty materiaalien pysyvää muodonmuutosta. Koska HI-akryylit kestivät suurempaa taivutusta särkymättä, tulisi selvittää, johtaako voimakas taivutus pysyvään muodonmuutokseen ennen kappaleen särkimistä. Taipuneen proteesin korjaaminen voi olla vaativaa, sillä tavallisesti korjaukset ovat halkeamien tai lohjenneiden palasten korvaamista, eikä proteesi tällöin ole venynyt. Mielenkiintoinen olisi myös vastaavasti suoritettu tutkimus suuremmalla materiaalijoukolla sekä käyttäen useampia kuitukimppuja vahvikkeena.

6.3 HI-akryylista kilpailuvaltti

Testien perusteella HI-akryyleja voidaan pitää kestävämpinä kuin perinteistä keittoakryy-
lia. Opinnäytetyön tekijöillä ei ole tiedossa, veloittavatko hammaslaboratoriot haastavista
ja erityistä kestävyyttä vaativista töistä eri taksoja akryylilaadun perusteella. Laborato-
rionhan voisi periä HI-akryyilia edellyttävistä töistä korkeampia hintoja kuin perinteisellä
akryyllilla valmistettavista töistä, jos niille pystytään lupaamaan pidempi käyttöikä. HI-ak-
ryylin käyttö voisi siis olla myös kilpailuvaltti, mikäli laboratorio voisi luvata valmistavansa
erityisen kestäviä proteeseja.

6.4 Opinnäytetyön opetus

Opinnäytetyömme opetti paljon. Valmistautuminen testien tekemiseen yllätti haastavuu-
dellaan, sillä alkuperäisen suunnitelman mukaan testikappaleet saataisiin valmistettua
nopeasti sarjatuotantona. Tarkoitus olikin valmistaa jokaisesta akryylista suuri määrä
testitikkuja, ja valita testeihin useita muitakin akryyleja kuin nyt testeissä mukana olleet.
HI-akryyleista saatavan tiedon niukkuus vaikeutti aiheeseen perehtymistä merkittävästi.
Testikappaleiden valmistusta aloittaessa ja toimivaa menetelmää tikkujen valmistami-
seen hakiessa todettiin tarve asiantuntijan avulle. Tikkujen testaaminen oli yksinkertai-
nen ja rutiinilla suoritettava työvaihe, mutta testitulosten tulkinnassa turvauduttiin jälleen
asiantuntijaan.

Jokainen vaihe vaati etukäteisselvittelyä ajateltua enemmän ja aiheeseen piti perehtyä
jatkuvasti lisää. Keskustelut ohjaajien ja asiantuntijoiden kanssa kuuluivat opinnäytetyö-
prosessiin ja olivat paikoin välttämättömiä ja auttoivat ratkaisevasti ymmärtämään mitä
oikeastaan tehtiin. Alkuperäinen aikataulu opinnäytetyön suorittamiselle venyi moneen
kertaan, kun aikaa selvitystyölle ja hankitun tiedon analysoinnille ei ollut varattu riittä-
västi. Aiheeseen perehtyminen oli paljon etukäteen ajateltua työläämpää, joten perus-
teelliseen valmistautumisen merkitys valkeni vasta työn edetessä. Myös käyttöohjeiden
lukemisen ja erityisesti sisäistämisen merkitystä voi korostaa onnistuneen lopputuloksen
varmistamiseksi.

7 EETTISYYS JA LUOTETTAVUUS

Kaikki testattavat akryylikappaleet valmistettiin noudattaen mahdollisimman tarkasti valmistajien ohjeita jokaisessa työvaiheessa. Akryylit valmistettiin vakioituissa olosuhteissa käyttäen yhden valmistuserän materiaaleja. Työnkulku testikappaleiden valmistamisen osalta on pyritty kuvaamaan tässä opinnäytetyössä mahdollisimman selkeästi. Testiaseitelma on ISO 20795-1 -standardin mukainen ja testilaitteiden kalibrointi on suoritettu ennen testausta. Tuloksia ei ole vääristelty ja testeistä ilmenneet seikat on pyritty kuvaamaan mahdollisimman selkeästi. Tuloksiin suhtauduttiin puolueettomasti ja ne myös esitettiin sellaisina. Tuloksia myös verrattiin muihin vastaaviin julkaistuihin tutkimuksiin ja tulosten todettiin olevan vertailukelpoisia.

Sopivaa työtapaa hakemalla pyrittiin siihen, että testitikkujen valmistaminen sujuisi toistettavasti, jottei työskentelymenetelmistä aiheudu virheitä lopputuloksiin. Toistettava työskentelymenetelmä tarkoitti samalla sitä, että tikut valmistettiin verrattain nopeasti. Näin ulkopuolisilla tekijöillä, kuten esimerkiksi ilmankosteudella ja ympäristön lämpötilalla, ei ehtinyt olla merkittävää vaikutusta lopputulokseen.

Tikkujen valmistuksen lisäksi myös testit suoritettiin testiryhmittäin peräkkäisinä sarjoina. Näin testiolosuhteet pysyivät vakiona, millä pyrittiin varmistamaan testien vertailukelpoisuutta. Kuivana testattavien ja märkänä testattavien tikkujen testien välillä tosin oli aikaa noin kaksi kuukautta, joten on mahdollista, että testiolosuhteet olivat hieman erilaiset kuivaryhmien ja märkäryhmien välillä.

Taivutuslujuustesteistä saadut tulokset ovat samaa luokkaa kuin Ozlemin (Ozlem et al. 2010) ja Leen (Lee et al. 2012) tutkimuksissa. Leen tutkimuksessa pohjalevyjen mekaanisista ominaisuuksista yhtenä testimenetelmänä käytetään murtositkeystestiä. Tämän opinnäytetyön testitulokset ovat hyvin samansuuntaiset Leen murtositkeystutkimuksen kanssa. Vaikka testattavat akryylit ovat eri tuotteita, testikappaleet ovat samankokoiset kuin Ozlemin ja Leen tutkimuksissa. Testitulosten suuruusluokan vuoksi tuloksia voi pitää vertailukelpoisina. Testikappaleiden valmistus ja testaaminen opinnäytetyössämme on siten suoritettu oikein.

LÄHTEET

Alander, P. 2018. Lehtori. Turun ammattikorkeakoulu. Keskustelut 2018.

Asopa, V.; Suresh, S.; Khandelwal, M.; Sharma, V.; Asopa, S.S. & Kaira, L.S. 2015. A comparative evaluation of properties of zirconia reinforced high impact acrylic resin with that of high impact acrylic resin. *The Saudi Journal for Dental Research*. Vol. 6, No 2, 146–151.

Fredriksson, L. 2018. Tuotepäällikkö. Plandent Oy. Keskustelu 14.4.2018.

Jagger, D.; Harrison, A.; Jagger, R. & Milward, P. 2003. The effect of the addition of poly(methyl methacrylate) fibres on some properties of high strength heat-cured acrylic resin denture base material. *Journal of Oral Rehabilitation*. Vol 30, No 3, 231–235.

Khindria S.K.; Mittal S.; Sukhija U. 2009. Evolution of denture base materials. *J Indian Prosthodont Soc*. Vol. 9, No 2, 64–69.

Lassila, L. 2018. Laboratorion johtaja. Turku Clinical Biomaterials Centre - TCBC. Keskustelut 2018.

Lee, H-H.; Lee, C-J. & Asaoka, K. 2012. Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. *Dental Materials Journal*. Vol 31, No 1, 157–164.

Lindfors, M. 2018. Business Unit Manager. Ivoclar Vivadent. Keskustelut 2018.

Muoviyhdistys ry. 1992. Muovitermit. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ozlem, G.; Fatma, U. & Idil, D. 2010. Comparison of the Transverse Strength of Six Acrylic Denture Resins. *Oral health and Dental Management in the Black Sea Countries*. Vol IX, No 1, 21–24.

SFS-EN ISO 20795-1:2013. Dentistry. Base polymers. Part 1: Denture base polymers (ISO 20795-1:2013). Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Stick- ja StickNET -seite. GC. Sisällöstä vastaa GC Europe. Viitattu 27.7. 2018. https://cdn.gceurope.com/v1/PID/stick/leaflet/LFL_Stick_-_SticNet_en.pdf.

Tandon, R.; Gupta, S. and Agarwal, S.K. 2010. Review on History of Complete Denture. *Indian Journal of Dental Sciences*. Vol. 2, No 2, 33–39.

Vallittu, P.K.; Miettinen, V. & Alakuijala, P. 1995. Residual monomer content and its release into water from denture base materials. *Dental Materials*. Vol. 11, No 5–6, 338–342.

Vojdani, M.; Bagheri, R. & Khaleidi, A.A.R. 2012. Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. *Journal of Dental Sciences*. Vol 7, No 3, 238–244.

Markkinoilla olevia high impact -akryyleja

Suomessa markkinoitavia high impact -akryyleja, soluissa valmistaja

Selexion Selacryl Impla High-Impact (Alphadent NV)

Lucitone® HIPA High Impact Pour Acrylic Denture Base (Dentsply Sirona)

IvoBase® High Impact (Ivoclar Vivadent)

Muulla kuin Suomessa markkinoitavia high impact -akryyleja, soluissa valmistaja

Lucitone 199 (Dentsply Sirona)

Diamond D® Heat Cure (Keystone Industries)

Excel Formula® Ultra-Hi Heat Cure Denture Base (Makevale)

Excel Formula® Hi-Impact Pourable Denture Base (Makevale)

EVIDENT™ High Impact Polymer (Esschem)

Nobiltone HIGH IMPACT Heat-Cure (Nobilium)

High Impact-45 Denture (Lang Dental)

HIFLEX-H – Heat Cured Denture Base (Prevest Denpro)

Implacryl High-Impact Dental Acrylic (Vertex-Dental)

Imperial High Impact Acrylic (MR. Dental)

Promolux High Impact (MERZ Dental)

Opti-Cryl High Impact Denture Acrylic (New Stetic)

NATURE-CRYL® SUPER HI IMPACT (GC)

Metrocryl HI (Metrodent)

ACRON HI (Kemdent)

Opinnäytetyön toteutuksessa käytetyt materiaalit ja laitteet

Materiaalit

Affinis® Black Edition -silikonin (Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Sveitsi)

Lucitone® HIPA High Impact Pour Acrylic Denture Base (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA)

Moldano Blau -kovakipsi (Kulzer GmbH, Hanau, Saksa)

Orbis asetteluvaha (Nordwest Dental GmbH, Münster, Saksa)

ProBase Hot (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

Selexion Selacryl Impla High-Impact (Alphadent NV, Waregem, Belgia)

Separating Fluid -eristysnesteellä (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

IvoBase® High Impact (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

SR Ivolen -lusikka-akryyli (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

Stick-lasikuitu (GC, Turku, Suomi)

Laitteet

Hiomalaite LaboPol-21 (Struers ApS, Ballerup, Tanska)

Histologinen saha Secotom-15/-50 (Struers ApS, Ballerup, Tanska)

IvoBase-injektiolaite (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

Kolmipistetaivutuslaite LR30K Plus, Lloyd Instruments (AMETEK, Berwyn, Pennsylvania, USA)

Lämpökaappi (Memmert, Schwabach, Saksa)

Mikroskooppi Wild M3Z (Wild Heerbrugg AG, nyk. Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Saksa)

Esiinnousseita ongelmia testikappaleiden valmistuksessa

Alkuperäinen suunnitelma oli valmistaa suuret määrät testikappaleita, jotta tutkittavien kappaleiden lukumäärän avulla saataisiin testeistä luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia. Testijoukosta selkeästi poikkeavat kappaleet voitaisiin tällöin hylätä virheellisinä ja analysoida vain keskihajonnan perusteella tasalaatuiset ja siten oikein valmistetut testikappaleet. Oli siis kehitettävä metodi, jolla olisi mielekästä ja nopeaa valmistaa tasalaatuisia testikappaleita sarjatuotantona.

Silikoni kyvetissä kipsin sijaan

Ajatuksena oli käyttää yhtä ja samaa kyvetiä kaikkien testitikkujen valmistamiseen täytämällä kyvetin toinen puolisko joustavalla silikonilla. Akryloidut tikut saisi helposti pulautettua silikonista hajottamatta sitä ja kyvetiä voisi käyttää uudestaan.

Testitikun mallikappale asetettiin tasaiselle metallipöydälle ja kyvetin puoliskon mallikappaleen ympärille. Puolisko täytettiin jäljennössilikonilla ja kansi suljettiin. Silikonin kovettua kyveti irrotettiin pöydästä pyöryttämällä sitä horisontaalisesti. Kyvetin toinen puolisko asetettiin paikoilleen, täytettiin kipsillä ja suljettiin kannella. Kipsin kovettua kyvetin puoliskot erotettiin toisistaan ja mallikappale irrotettiin silikonista. Malli jäljentyi silikonin hienosti, joten akrylointia testattiin seuraavaksi.

Kyvetissä oleva silikoni kuitenkin jousti niin paljon, että akrylointi ei tuottanut sopivia kappaleita. Silikonin venymisen takia testitikuista tuli muotopuolia, joiden mittasuhteet vääristyivät valtavasti. Silikonilla täytetty kyveti todettiin siten epäkelvoksi tavaksi valmistaa testitikkua akryylista.

Vahatikkua silikonimuotilla

Silikonin joustavuutta oli päätetty käyttää hyväksi tikkujen sarjatuotannossa ja seuraavaksi kokeiltiin valmistaa vahatikkua silikoniseen muottiin.

Mallikappale asetettiin avoimen astian pohjalle, jonka koko riitti varmistamaan, että mallikappaleen ympärille jäi tilaa muutama senttimetri kauttaaltaan. Astiaan valutettiin jäljennössilikonია noin kahden senttimetrin paksuinen kerros, jotta valmistettava silikonimuotti kestäisi käsittelyä. Silikonin kovetuttua mallikappale irrotettiin silikonista.

Sulaa asetteluvahaa kaadettiin valmistettuun silikonimuottiin. Vahaa lisättiin niin paljon, että supistumisen jälkeenkin muotti oli täynnä vahaa. Vahan pintaa tasoitettiin erilaisilla instrumenteilla, kuten metallilastalla ja kipsiveitsellä. Vahan jähmetyttyä täysin vahakappale irrotettiin muotista, jolloin voitiin todeta kappaleen alareunojen pyöristyneen. Sula vaha ei ollut täyttänyt muottia täydellisesti.

Alareunojen pyöristymisen takia kokeiltiin uutta lähestymistapaa. Silikonimuotti upotettiin hitaasti kuumaan, juoksevaan vahaan ja tällä menetelmällä vaha täyttikin muotin täydellisesti. Muotin pintaa tasoitettiin jälleen instrumenteilla. Vahan jähmetyttyä täysin vahakappale irrotettiin muotista ja sen alapinta todettiin kelvolliseksi, mutta nyt tasoitettu yläpinta oli epätasainen. Yläpinna epätasaisuutta ei havaittu aiemmassa kaadetun vahan tapauksessa luultavasti siksi, että alapinnan epätasaisuus oli niin huomiota herättävä. Yläpinnan epätasaisuuden todettiin johtuvan siitä, että pehmeä silikoni joustaa tasoinstrumentin alla niin paljon, ettei pinnasta saa tasaista. Myös silikonimuotilla vahasta valmistetut tikut todettiin epäkelvoksi tavaksi valmistaa testitikkujen aihioita

Kyvetoitu mallikappale

L. Lassilalta saatu mallikappale oli sen verran joustava, että päätettiin kokeilla saisiko sen avulla tehtyä kyvetin helposti ja nostettua kappale ehjänä ulos kipsistä. Mallikappale säilyikin ehjänä, kipsi ei.

Silikonisuihkeella eristetty alkuperäinen mallikappale asetettiin tasaiselle metallipöydälle. Kyvetinpuolikas laitettiin mallin ympärille ja kyvetti täytettiin sinisellä kipsillä ja suljettiin kannella. Kipsin kovetuttua kyvetinpuolisko irrotettiin pöydästä pyöräyttämällä sitä horisontaalisesti ja kipsi eristettiin saippualliuoksella. Kyvetin toinen puolisko aseteltiin paikalleen ja täytettiin sinisellä kipsillä sekä suljettiin kannella. Kipsin jälleen kovetuttua kyvetti avattiin ja mallikappale irrotettiin varovasti kipsistä. Kipsi kuitenkin lohkeili jonkin verran, joten päätettiin kokeilla eri kipsilaatuja. Yllättäen erikoiskova kipsi lohkeili vielä enemmän kuin sininen kipsi, ja samoin kävi valkoisen kipsin kanssa, joten kokeilua jatkettiin sinisen kipsin kanssa.

Kyvetin puoliskot eristettiin ja täytettiin akryylillä. Polymeroinnin jälkeen akrylikappale irrotettiin kipsistä, jolloin havaittiin akryylin tunkeutuneen myös kipsissä olleisiin pieniin ilmataskuihin, minkä seurauksena kipsiä lohkeili runsaasti. Uusi kyvetti valmistettiin painekattilan avulla, jolloin ilmataskujen määrä väheni kipsissä merkittävästi. Painekattilan avulla valmistetusta kyvetistä mallikappaleta irrotettaessa kipsiä lohkeili jälleen hieman, mutta akrylointia päätettiin kuitenkin kokeilla. Eristämisen jälkeen muotti täytettiin akryylillä ja polymeroitiin. Polymeroinnin jälkeen akryloitu kappale irrotettiin kipsistä, jolloin kipsiä murtui edelleen lisää. Akryloitu kappale oli mitoiltaan onnistunut, mutta kipsin murtumisen takia todettiin, että jokaista akrylointia varten pitäisi valmistaa uusi kyvetti. Niinpä kipsillä kopioitu mallikappale todettiin liian hitaaksi tavaksi valmistaa testikappaleita.

Loppujen lopuksi jokainen kyvetti jouduttiin kuitenkin tekemään erikseen. Kaiken lisäksi tikut piti joka tapauksessa hioa mittaansa, joten tämä tapa olisi ollut luultavasti helpoin.

Teflonmuotti

L. Lassilalta saatiin käyttöön pienemmille, murtolujuustesteihin tarkoitetuille kappaleille tarkoitetun teflonmuotin. Muotin materiaaliksi oli valittu teflon, koska akryylin pitäisi irrota teflonmuotista ongelmitta. Kokeilujen perusteella akryyli irtosi teflonmuotista kohtuullisen hyvin ilman eristystäkin, joten myös isommille, taivutuslujuutta testaaville kappaleille suunniteltiin ja teetettiin sopivat muotit.

Prässätessä ja keitettäessä teflonmuotti kuitenkin venyi helposti ja muutti muotoaan pysyvästi. Koska teflonmuotti ei kestänyt prässäystä, sitä ei voitu hyödyntää keittoakryylien kanssa. Lisäksi se eristi lämpöä niin hyvin, että viidestä rinnakkaisesta testikappaleesta vain reunimmaisat polymeroituivat keitettäessä, todennäköisesti eivät nekään täydellisesti. Keskimmäiset testikappaleet polymeroituivat vain osittain ja jäivät keittämisen jälkeen edelleen pehmeiksi. Muotti olisi vaatinut ympärilleen metalli- tai kovamuovivahvikkeen, jotta se ei antaisi periksi ja muuttaisi muotoaan prässätessä. Tällainen kehikko olisi toiminut vielä lisäeristeenä heikentäen entisestään akryylin polymerisoitumisastetta. Kylmäakryylin kanssa teflonmuotti olisi ollut toimiva, mutta testeihin ei lopulta päätynyt yhtään kylmäakryyliä. Teflonista akryyli siis irtosi kelvollisesti, mutta muiden esiintyneiden ongelmien takia teflonmuotti hylättiin.

Histologinen saha

TCBC:llä on histologinen saha, jolla voisi sahata isosta kappaleesta juuri oikean paksuisia tikkuja. Asiasta innostuttiin tietysti ja laitetta päätettiin kokeilla heti.

11 mm paksu vahalevy valmistettiin kaatamalla sulaa asetteluvahaa rasiaan, jonka mitat olivat 11 x 71 x 71 mm. Tarkoituksena oli valmistaa taivutuslujuustestiin soveltuvia tikkuja. Vahan pinnan jähmetyttyä rasia siirrettiin jääkaappiin, jotta siinä oleva vaha varmasti jähmettyisi ja supistuisi. Supistunut, kylmä vahakappale irtosikin kannesta vaivatta. Tästä vahalevystä sahattiin ohjelmoitavalla histologisella sahalla 3,5 mm leveitä kappaleita. Saha ei kuitenkaan ollut aivan tarkka, joten saha ohjelmoitiin sahaamaan 3,7 mm leveitä kappaleita. Sahauspinta jäi siistiksi ja kulmat teräviksi, kun leikattavan kappaleen nopeus sahanterää kohti oli tarpeeksi alhainen.

Nämä vahatikut vahattiin kolmen ja neljän yksilön kappaleiksi, tarkoituksena kyvetoida ne tasaisella pöytäpinnalla. Sahalla meni kuitenkin yhden tikun sahaamiseen useita minutteja, eikä sillä ollut mahdollista sahata koko kappaletta kerralla, vaan sahattavaa kappaletta oli siirrettävä välillä manuaalisesti. Histologisen sahan todettiin olevan liian hidas tikkujen sarjatuotantoon vahasta, koska tikut tulisi vielä kyvetoida ja spoolata, eli myös tällä tavalla käytännössä jokainen kyvetti tulisi valmistaa erikseen, kuten käytettäessä alkuperäistä mallikappaletta. Sahattuja tikkuja kuitenkin käytettiin kuidullisten testitikkujen kyvettien valmistamiseen.

Kuidut

Käytettävien kuitukimppujen määrä vaati pohdintaa ja testaamista. Montako kuitukimpua proteesissa on tavallisesti, monellako kimpulla testit olisi hyvä tehdä ja montako kimpua testitikkuihin ylipäänsä mahtuu. Eri lähteiden perusteella määrää oli mahdoton päättää, mutta lopulta meille suositeltiin kolmea kuitukimpua. Kolmen kuitukimppun laskeettiin sopivan testitikun sisään tilavuuteen nähden, joten ensimmäinen koe päätettiin tehdä. Kolmella hyvin kostutetulla kuitukimpulla nippu turposi sormenpaksuiseksi nakkimakkaraksi, joka ei mahtunut muottiin. Oli sanomattakin selvää, että kolme kimpua oli liikaa testitikkuihimme.

IvoBase -injektointi

IvoBase-injektioilaitteella päätettiin valmistaa muita akryylilaatuja vastaavia akryylilevyjä, joista voisi sahata oikean kokoisia tikkuja. Ensimmäisellä kerralla laitteeseen laitettiin vain yksi kapseli akryyliä. Injektoidessaan kone ilmoitti akryyliä olevan liian vähän. Akryylikappale jäi tietysti vajaaksi ja kuplaiseksi, eikä sitä voinut käyttää tikkujen valmistamiseen.

Injektointi ja kuidut

IvoBasen kanssa oli alun perin tarkoitus käyttää samanlaista kuituvahviketta kuin muisakin akryyleissa. Muutaman erilaisen yrityksen jälkeen todettiin, ettei kostutettua kuitukimpua ole kuitenkaan mahdollista saada asemoitua akryyliin luotettavasti ennalta päätettyyn kohtaan.

Eräässä menetelmässä kostuttamattoman kuitukimpun molempiin päihin asetettiin pieni tippa valokovetteista akryyliä, jolla yksittäiset kuidut sidottiin yhteen. Tätä menetelmää varioitiin muutamilla tavoilla, mutta kuitua ei silti saatu pysymään luotettavasti paikoillaan eivätkä kuidut kostuneet kunnolla. Yksi vaihtoehtoinen keino olisi ollut käyttää esikoveutettua kuitua, mutta se olisi vääristänyt testiä, koska muiden akryyliä kanssa esikoveutukselle ei ollut tarvetta. Esikoveutettua kuitua ei haluttu käyttää muidenkaan akryyliä kanssa, vaan kuidut haluttiin sijoittaa suoraan akryylin sekaan.

IvoBase-järjestelmässä monomeerinesteen ja polymeerijauheen suhde on vakio, sillä molemmat toimitetaan valmiskapseleissa. Järjestelmän automatiikan ja vakioitujen neste- ja jauheannosten takia oletettiin, että injektioimalla valmistettu akryyli on hyvin tasalaatuista ja myös kestävä. Testin kannalta esikoveutetun kuidun käyttö injektiojärjestelmässä koettiin siis epärealistiseksi, ja muuta toimivaa kuitujen asemointitapaa ei enää lähdetty ideoimaan aikataulullisista syistä. Sopivan kuitujen asemointitavan puuttuessa kuituvahvike päätettiin siis jättää kokonaan pois IvoBase-akryylista. Olisi kuitenkin ollut mielenkiintoista jatkaa selvittelyä ja kehittää tapa, jolla myös IvoBasesta olisi saatu valmistettua vertailukelpoisia kuituvahvistettuja testikappaleita.

Uusiin akryyleihin tutustuminen

Jostain syystä Lucitonen oletettiin toimivan samalla tavalla kuin muutkin kylmäakryylit, eikä käyttöohjeita luettu tarpeeksi huolellisesti. Lucitonen kanssa olisi kuitenkin pitänyt käyttää ihan erilaista metodologiaa. Lucitone vetäytyi tikkujen päistä ja muodosti keskelle kappaletta korkeamman kohdan. Ohjevihkoa tarkemmin tutkittaessa huomattiin, että Lucitoneille tulee valmistaa kappa esimerkiksi silikonista. Tätä testattiin pikaisesti ja se näytti toimivan. Testiin kuitenkin kului saamastamme pienestä näyte-erästä niin paljon, ettei ainetta riittänyt enää varsinaisten testitikkujen valmistamiseen. Toimitusongelmien vuoksi emme saaneet Lucitonia enää lisää riittävän ajoissa.

Kysely high impact (HI) -akryyliä yleisyydestä

Hei! Tällä lyhyellä kyselyllä on tarkoitus kartoittaa HI-akryyliä käytön yleisyyttä ja tunnettuutta suomalaisissa hammaslaboratorioissa. HI-akryyleilla tarkoitetaan mm. proteesien pohjalevyissä käytettäviä akryyleja, joiden iskunlujuusominaisuuksia on vahvistettu (tuotemerkkejä esim. Lucitone HIPA, NATURE-CRYL SUPER HI IMPACT). Kysely on osa Turun ammattikorkeakoulun hammastekniikan koulutusohjelman alla suoritettavaa opinnäytetyötä.

	Kyllä	Ei	Vapaa kommentti kysymykseen
Oletteko kuulleet aiemmin HI-akryyleista?			
Oletteko joskus käyttäneet HI-akryyleja?			
Käytättekö nykyisin HI-akryyleja?			
Jos käytätte HI-akryyleja, miksi käytätte niitä tavallisen akryylin sijaan?			
Jos ette enää käytä HI-akryyliä, miksi lopetit sen käytön?			
Mitä HI-tuotemerkkejä tunnette?			

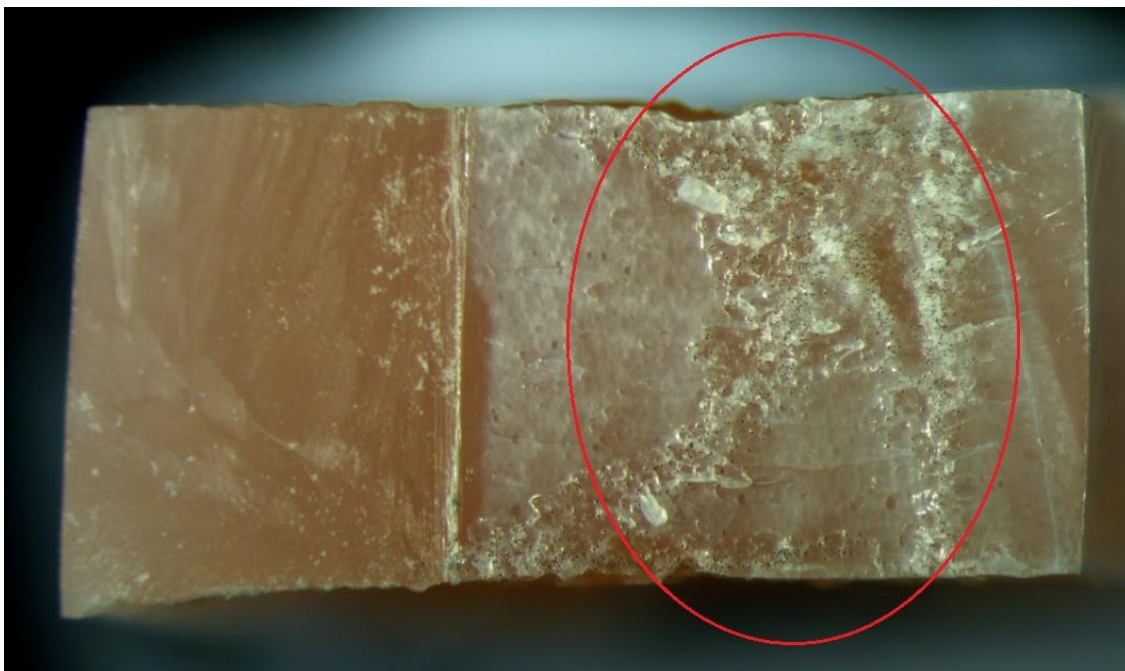
Muuta kommentoitavaa:

Selacryl Impla ja kuidut

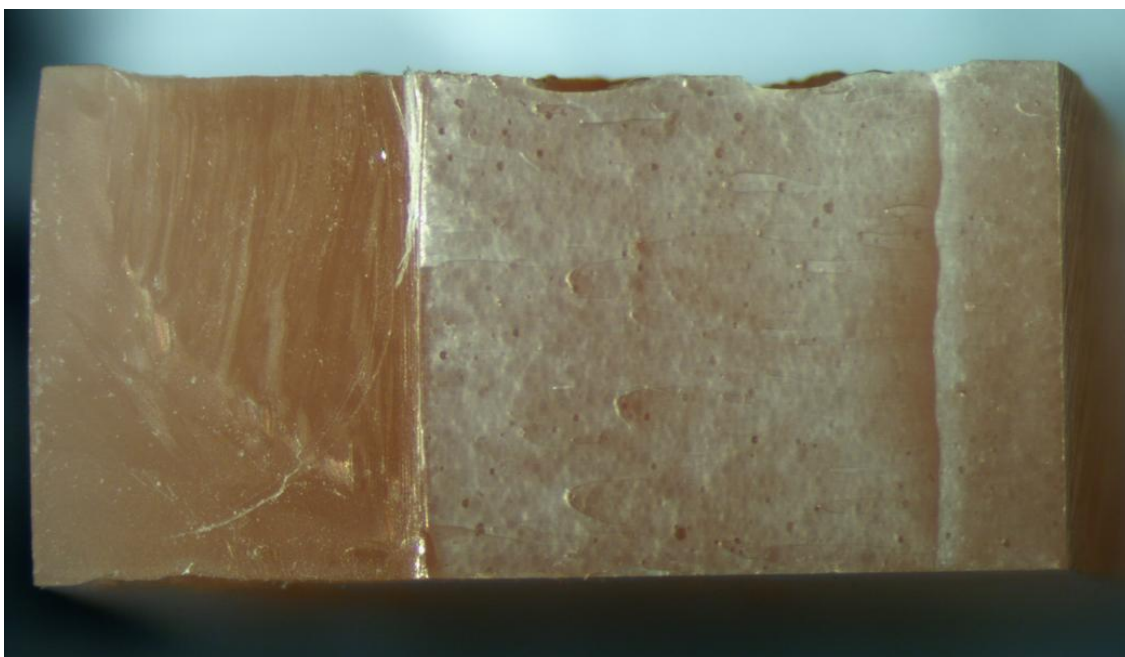
Selacryl Implan kuituvahvistettujen murtositkeystestikappaleiden murtopintaa mikroskoopilla tarkasteltaessa todettiin mustia pilkkuja (Kuva 25, Kuva 26). Pilkkuja oli kaikissa kuituvahvistetuissa sekä kuiva- että vesisäilytetyissä testikappaleissa. Muiden materiaalien testikappaleissa eikä Selacryl Implan kuituvahvistamattomissa (Kuva 27) kappaleissa vastaavia pilkkuja havaittu. Pilkkujen arveltiin olevan materiaalin reagointia kuituvahvikkeen kanssa, mutta lopullinen syy pilkkujen muodostumiselle jäi selvittämättä. Pilkkuja havaittiin vain murtopinnassa kuitujen seassa.



Kuva 25. Selacryl Impla. Kuivasäilytetty kuituvahvistettu testikappale. Mikroskooppikuva.



Kuva 26. Selacryl Impla. Vesisäilytetty kuituvahvistettu testikappale. Mikroskooppikuva.



Kuva 27. Selacryl Impla. Vesisäilytetty testikappale ilman kuituvahviketta. Mikroskooppikuva.