

Marika Heikura, Pauliina Kuosmanen, Janne Mettälä

Muovin ja metallin liittäminen

Hammastekniikassa käytettävien menetelmien testaaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Hammasteknikko

Hammastekniikka

Opinnäytetyö

22.10.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Marika Heikura, Pauliina Kuosmanen, Janne Mettälä Muovin ja metallin liittäminen: hammastekniikassa käytettävien menetelmien testaaminen 37 sivua + 15 liitettä 22.10.2015
Tutkinto	Hammasteknikko (AMK)
Koulutusohjelma	Hammastekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Hammastekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Kari Markkanen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kobolttikromin ja akryylin liitoksen kestävyyttä käyttäen erilaisia pintakäsittelymenetelmiä ja -aineita. Hammaslääkäri Kari Luotio otti yhteyttä Metropolian hammastekniikan koulutusohjelmaan keväällä 2014. Hän ehdotti opinnäytetyön aihetta ja tarjosi yhdeksi tutkittavaksi pintakäsittelyaineeksi yhdistelmämuovia.</p> <p>Hammaspoteetiikassa kobolttikromin ja akryylimuovin yhdistäminen on yleinen työvaihe. Näiden kahden erilaisen materiaalin yhdistäminen tuottaa kuitenkin ongelmia. Suun olosuhteissa lämpötilamuutokset ja saumaan pääsevä kosteus heikentävät materiaalien välistä liitosta. Syljen mukana kulkeutuva ruoka ja juoma aiheuttavat myös värjäytymiä. Yleisesti käytetty menetelmä retention aikaansaamiseksi on metallin hiekkapuhaltaminen ennen akrylointia. Pelkkä mekaaninen retentio ei kuitenkaan riitä, vaan materiaalien välille kaivataan myös kemiallista sidosta, jollaisen saavuttamiseksi markkinoilla onkin erilaisia sidosaineita.</p> <p>Testikappaleisiin käytettiin valmiita kobolttikromipellettejä, jotka kaikki hiekkapuhallettiin toisesta päästään. Hiekkapuhallettu pinta käsiteltiin jollakin testattavista pintakäsittelyaineista ja kaadettiin päälle kylmäakryyli, joka kovetettiin painekattilassa. Vertailuryhmänä käytettiin pelkästään hiekkapuhallettuja ja akryloituja kappaleita. Kylmäakryyliä käytettiin Meliodentin akryyliä. Käytetyt pintakäsittelyaineet ja -menetelmät olivat GC Metal Primer II, Rocatec, Rocatec Sinfonyn opaakilla päällystettynä sekä Danwille StarFill 2B yhdistelmämuovi, jonka alla käytettiin 3M ESPE Scotchbond -yhdistelmämuoviprimeria. Lisäksi jokaisesta testiryhmästä yksi kappale asetettiin vesiastiaan, johon lisättiin parin vuorokauden välein kuumaa vettä lämpötilan vaihtelun aikaansaamiseksi. Koekappaleet katkaistiin Metropolia AMK:n tekniikan ja liikenteen yksikössä vetolaitetta käyttäen. Katkaistujen kappaleiden liitospintoja tarkasteltiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM).</p> <p>Testituloksissa selkeästi korkeimmalle ylsi GC Metal Primer II. Muilla testatuilla menetelmillä ei keskenään ollut silmiinpistäviä eroja. Huomiota herättää se, etteivät Rocatecin ja yhdistelmämuovin tulokset ole juurikaan parempia, kuin pelkällä hiekkapuhalluksella saavutetut. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että metalliprimer oli tehokkain ja lisäksi helppo ja nopea tapa vahvistaa kobolttikromin ja proteesiakryylin välistä liitosta.</p>	
Avainsanat	kobolttikromi, akryyli, retentio, sidosaine

Authors Title	Marika Heikura, Pauliina Kuosmanen, Janne Mettälä Bonding Plastic to Metal: Testing Methods Used in Dental Technology
Number of Pages Date	37 pages + 15 appendices Autumn 2015
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Dental Technology
Specialisation option	Dental Technology
Instructor	Kari Markkanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to examine the bond strength between cobalt-chrome and acrylic by using different bonding agents and surface treatments. Dentist Kari Luotio contacted the Degree Program in Dental Technology at Metropolia University of Applied Sciences in spring of 2014. He proposed the subject for thesis, and suggested a composite resin for one of the bonding agents.</p> <p>Bonding cobalt-chrome and self-curing acrylic is a common work phase in dental prosthetics. It is important to create a bond that has good mechanical properties and endurance in oral environment. Bonding these two different materials is problematic. One commonly used method for increasing adhesion is to sandblast the metal surface before bonding. However the mechanical adhesion is usually not enough, so a chemical bond is needed and for that there are many solutions available.</p> <p>We used factory made cobalt-chrome ingots. The ingots were sandblasted at the other end and treated with bonding agents before applying acrylic and curing it under pressure. One group was left only sandblasted for control. The self-curing acrylic used in this study was Meliodent rapid repair and bonding agents and surface treatment methods were GC Metal Primer II, Rocatec, Rocatec with Sinfony opaque and Danwille StarFill 2B composite resin used with 3M ESPE Scotchbond composite resin primer. The test specimens were tested in Metropolia University of Applied Sciences in Kalevankatu campus.</p> <p>In test results the Metal Primer II performed clearly better than any other method. The other bonding agents and methods did not have significant differences in results compared with each other. Our results suggest that metalprimer was the most effective and the easiest method to strengthen the bond between cobalt-chrome and acrylic resin.</p>	
Keywords	cobalt-chrome, acrylic resin, retention, bonding agent

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aiemmin tutkittua	2
3	Tavoitteet	4
4	Tutkittavat materiaalit ja menetelmät	5
4.1	Kobolttikromi	5
4.2	Akryyli	5
4.3	Sidosaineet	6
4.3.1	Adheesio	6
4.3.2	Silaanit eli tartunta-aineet	7
4.3.3	Rocatec	7
4.3.4	Metalliprimetit	8
4.3.5	Yhdistelmämuovi	8
5	Tutkimuksessa käytetyt koneet ja välineet	10
5.1	Pyyhkäisyelektronimikroskooppi	10
5.2	Valokovetuslaitteet ja painekattila	10
5.3	Vetokone ja koekappaleen pidike	11
6	Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät	13
6.1	Työn kulku	14
6.2	Tutkimusaineisto	15
6.2.1	Hiekkapuhallus	15
6.2.2	Metalliprimetit	15
6.2.3	Rocatec	15
6.2.4	Yhdistelmämuovi	16
6.2.5	Hydrolyysi	16
6.3	Tutkimusmenetelmät	16
6.3.1	Rasitustestit vetolaitteella	17
6.3.2	Pyyhkäisyelektronimikroskooppi	18
7	Tutkimustulokset	19
8	Tulosten tarkastelu	27

8.1	Hiekkapuhallus	30
8.2	Metalliprimer -liitos	31
8.3	Rocatecliitos	31
8.4	Rocatec opaakilla -liitos	31
8.5	Yhdistelmämuoviliitos	32
8.6	Elimäki	33
8.7	Hydrolyysi	33
8.8	Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella	33
9	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Liitteet

- Liite 1. Hiekkapuhallus 11.12.2014
- Liite 2. Hiekkapuhallus 22.4.2015
- Liite 3. Metal primer 11.12.2014
- Liite 4. Metal primer 22.4.2015
- Liite 5. Rocatec 11.12.2014
- Liite 6. Rocatec 22.4.2015
- Liite 7. Rocatec + opaakki 11.12.2014
- Liite 8. Rocatec + opaakki 22.4.2015
- Liite 9. Yhdistelmämuovi 11.12.2014
- Liite 10. Yhdistelmämuovi 22.4.2015
- Liite 11. Yhdistelmämuovi 8.10.2015
- Liite 12. Jälkivalokovetettusarja 22.4.2015
- Liite 13. Hydrolyysi 22.4.2015
- Liite 14. Elimäkisarja 22.4.2015
- Liite 15. Akryyli 8.10.2015

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin akryylin ja kobolttikromin erilaisia kiinnitysmenetelmiä ja niiden kestävyttä. Tutkimuksella haettiin vastauksia kysymyksiin: Miten liitosta vahvistetaan? Mikä on yksinkertainen ja kohtuuhintainen menetelmä? Mikä on riittävä vahvuus ottaen huomioon suun olosuhteet? Taustatietoja tutkittavista materiaaleista ja menetelmistä etsittiin alan kirjallisuudesta ja tutustuttiin aiempiin vastaaviin tutkimuksiin. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä, koska haluttiin tarkkoja lukuja liitosten kestävydestä.

Akryylin ja kobolttikromin liitoksen tutkiminen ja kehittäminen on hammastekniikan kannalta merkittävä aihe. Materiaalien välisen liitoksen kestävyys ja tiiviys tuottavat kuitenkin ongelmia. Potilaan suussa proteesit altistuvat kovalle kuormitukselle, kosteudelle ja lämpötilavaihteluille. Ajan myötä muovin ja metallin väliseen saumaan pääsee sylkeä sekä nautittuja ruoka-aineita, mikä aiheuttaa värjäytymiä. Sauma voi myös kokonaan pettää, jolloin asiakas joutuu korjauttamaan laitteen hammastekniikolla.

Opinnäytetyön aihe on lähtöisin Hammaslääkäri Kari Luotiolta, joka otti yhteyttä Metropolian Hammastekniikan koulutusohjelmaan keväällä 2014. Luotio on aikaisemmin kehittänyt hammaslääketiedettä ja nyt tehnyt kokeiluja akryylin ja kobolttikromin liitoksen parantamiseksi. Hammastekniikan koulutusohjelma on aikaisemminkin tehnyt yhteistyötä Kari Luotioin kanssa erilaisten opinnäytetyöaiheiden muodossa..

2 Aiemmin tutkittua

Ohkubo ja kumppanit tutkivat metallien ja muovien liitosten kestävyyttä käyttäen viittä erilaista metalliprimeria. Mukana testeissä oli mm. GC:n Metal primer II. Kokeissa käytetyt metallit olivat titaani sekä kobolttikromi. Muovi oli kylmäakryyliä. Valettiin metalleista kiekkoja, jotka hiekkapuhallettiin ja käsiteltiin eri primerein ennen akryylin liittämistä. Kontrolliryhmänä käytettiin pelkästään hiekkapuhallettua ja akryloitua metallia. Osa koekappaleista altistettiin lämpimälle vedelle ennen testausta. Tulokset osoittivat, että primerit vahvistavat metallien ja akryylin välistä sidosta huomattavasti. Lämminvesikäsitteily heikensi kestävyyttä selvästi. (Ohkubo – Watanabe – Hosoi – Okabe 2000: 50–57.)

Bulbul ja Kesim pääsivät samansuuntaisiin tuloksiin testeissään. Metalleina he käyttivät titaania, kobolttikromia sekä kultaa, akryyleina keitto-, kylmä- sekä mikroaaltokovetteista akryyliä. Metalliprimereita oli kolme. (Bulbul – Kesim 2010: 303–308.)

NaBadalung, Powers ja Connelly tekivät monipuolisen tutkimuksen käyttäen erilaisia pintakäsittelymenetelmiä ja -aineita. Proteesiakryyleinä käytettiin kahta eri keittoakryyliä ja yhtä valokovetteista muovia. Metallina käytettiin nikkelin, kromin ja berylliumin seosta. Metallin pinnan esikäsitteilyä käytettiin hiekkapuhallusta, happoetsausta sekä silanointia. Silanointi tehtiin käyttämällä Rocatec -sidostamismenetelmää, jossa karhennettu pinta puhalletaan piidioksidipitoisella hiekalla ja sen jälkeen käsitellään silaanilla. Näiden käsittelyjen jälkeen koekappaleet akryloitiin suoraan tai käyttäen lisäksi erilaisia primereita. Yhtenä primereistä käytettiin inlay-paikkojen sementointiin tarkoitettua yhdistelmämuovia. Koekappaleita säilytettiin vuorokauden verran vedessä ennen testausta. Ilman primereita valmistettujen kappaleiden ryhmässä Rocatec- ja happoetsauskäsittelyt kestivät hiekkapuhallettuja huomattavasti paremmin. Primerilla käsiteltyjen ryhmässä pelkällä hiekkapuhalluksella esikäsitellyt kestivät myös huomattavasti huonommin kuin Rocatecilla ja happoetsauksella käsitellyt, paitsi kun tarkasteltiin valokovetteisen akryylin tuloksia. Valokovetteinen akryyli näyttää tarttuneen metalliin miltei yhtä hyvin pelkällä hiekkapuhalluksella kuin Rocatecilla tai happoetsauksellakin. Yhdistelmämuovi näyttää vahvistaneen liitoksia huomattavasti, oli pinta esikäsitteily pelkällä hiekkapuhalluksella, Rocatecilla tai happoetsauksella. Tulokset vaihtelivat paljonkin riippuen eri akryyleista ja muista käytetyistä aineista ja menetelmistä. Pääpiirteittäin tuloksista kuitenkin voitiin nähdä, että hiekkapuhalluksen lisänä kannattaa käyttää muitakin pintakäsittelymenetelmiä. (NaBadalung – Powers – Connelly 1998: 354–361.)

May ja kumppanit sidostivat keittoakryyliä titaanisauvoihin käyttäen Rocatecia. Vertailuryhmänä oli akryloitu, hiekkapuhaltamaton titaani. Hiekkapuhallus jätettiin pois, koska aiemmissa testeissä ei ollut huomattu erityisiä sidoksen lujuuseroja titaanin ja PMMA:n välillä, olipa metalli hiekkapuhallettu tai ei. Kappaleet testattiin ja tulokset kertoivat Rocatec -ryhmän liitosten olleen 68% vahvempia kuin pintakäsittelemättömällä ryhmällä. (May – Fox – Razzoog – Lang 1995: 428–431.)

3 Tavoitteet

Yleisesti käytetty toimenpide on kobolttikromin hiekkapuhaltaminen ennen akrylointia riittävän mekaanisen retention aikaansaamiseksi. Lisänä voidaan käyttää kemiallisesti sidostavia aineita, kuten primereita.

Opinnäyteyön tavoitteena oli tutkia kobolttikromin ja akryylin liittämistä toisiinsa eri menetelmin. Tutkimuksen tarkoituksena on myös löytää yksinkertainen tapa valmistaa liitos materiaalien välille. Testattiin eri vaihtoehtojen kestävyyttä, vertailtiin ja tarkasteltiin tutkimustuloksia. Työn hypoteesi oli työn tilaajan kokemuksen perusteella, että yhdistelmämuovi olisi kestävin. Aiemman tutkimuksen perusteella on saatu tuloksia, että yhdistelmämuovi vahvistaa metalliakryyliiitosta (NaBadalung – Powers – Connelly 1998: 354–361). Yhdistelmämuovin liitoksista on kuitenkin vähän tutkimuksia. Se on myös harvemmin käytetty liitosmenetelmä hammaslaboratorioissa, jonka vuoksi haluttiin tutkia juuri yhdistelmämuovia.

4 Tutkittavat materiaalit ja menetelmät

4.1 Kobolttikromi

Kromia sisältäviä epäjaloja valumetalleja on käytetty hammaslääketieteessä 70 vuoden ajan. Mm. korroosionkestävyys, lujuus, kimmokerroin, alhainen tiheys ja edullinen hinta ovat näiden metalliseosten etuja. Pääasiallisesti metallirunkoisten osaproteesien rungot valmistetaan kobolttikromiseoksista. Myös kiinteässä protetiikassa niitä käytetään laajalti. Kobolttikromiseokset sisältävät noin 60 % kobolttia ja 25–30 % kromia, joka suojaa korroosiolta. Lisäksi ne voivat sisältää pieniä määriä molybdeeniä, alumiinia, volframia, rautaa, galliumia, kuparia, piitä, hiiltä ja platinaa. Mangaani ja pii parantavat sulan metallin juoksevuutta, kun taas molybdeeni, volframi ja hiili toimivat pääasiallisia vahvistavina elementteinä. Kliininen seuranta on osoittanut, että osaproteesirunkometallit jotka sisältävät vähintään 85 % painostaan kromia, kobolttia ja nikkeliä, välttyvät kohtuullisesti korroosiolta suun olosuhteissa. Ollessaan ilman kanssa tekemisissä näiden metallien pinta passivoituu spontaanisti muodostaen ohuen, läpinäkyvän kromioksidikerroksen. Tämä suojaava kerros vähentää korroosion hyvin alhaiselle tasolle.

(O'Brien 1997: 259–261.)

4.2 Akryyli

Akryylimuoveja käytetään hammasprotetiikassa mm. proteesien valmistuksessa ja korjauksissa, kruunu- ja siltaproteesien fasadeissa, jäljennöslusikoissa, pohjalevyissä ja väliaikaisissa kruunuissa. Yleensä proteesiakryylit sekoitetaan polymeerijauheesta ja monomeerinesteestä. Suurin osa polymeerijauheista sisältää polymetyylimetakrylaattia (PMMA), johon on voitu sekoittaa pieniä määriä etyyliä, butyyliä tai muita alkyyylimetakrylaatteja muodostamaan rakennetta vahvistavia sidoksia. Jauhe sisältää myös initiaattoria, kuten bentsooyliperoksidia tai di-isobutyli-azo nitriliä, joka käynnistää monomeerinesteen polymerisoitumisen sen sekoituessa jauheeseen. Lisäksi jauhe sisältää akryylin väriin, kestävyteen ja lämpölaajenemiskertoimeen vaikuttavia aineita.

Monomeerineste on useimmiten metyyylimetakrylaattia. Toisinaan siihen on voitu lisätä muitakin monomeereja. Koska nämä monomeerit voivat alkaa polymeroitua lämmön, valon tai hapen vaikutuksesta, lisätään sekaan yleensä inhibiittoreita jotka estävät enenaikaista polymeroitumista ja näin parantavat nesteen säilyvyyttä.

Lisäksi neste sisältää usein aineita jotka lisäävät akryylin joustavuutta tai mahdollistavat polymeerien ristiinsitoutumisen. (Craig 1996: 500–503.)

Valmistettaessa akryyliä jonka halutaan polymeroituvan ennemminkin kemiallisesti kuin lämmön avulla, lisätään nesteeseen polymeroitumista kiihdyttäviä aineita. Lisäksi tällaisen kylmäakryyliksi tai itsestään kovettuvaksi kutsutun akryylin jauhe koostuu pienemmistä hiukkasista, kuin keittoakryylissä. Kun neste sekoitetaan jauheeseen suositellulla jauhe-neste -suhteella, saadaan hyvin juoksevaa massaa, joka voidaan kaataa muottiin ja kovettaa nopeasti paineessa. (Craig 1996: 500–503.)

4.3 Sidosaineet

4.3.1 Adheesio

Kun kaksi erilaista materiaalia kiinnittyvät toisiinsa vetovoiman vaikutuksesta, kutsutaan sitä adheesioksi. Adhesiivi on aine jolla saadaan aikaan adheesio. Tietyissä olosuhteissa sidostuminen voi tapahtua kun neste juoksee materiaalin pinnassa oleviin huokosiin ja halkeamiin. Kun neste kovettuu, syntyy mekaaninen lukittuminen ja voidaan saada aikaan voimakas sidos. Suurin osa pinnoista joihin adhesiivista sidostamista käytetään, ovat mikroskooppisesti tai makroskooppisesti karkeita. On olemassa vaara, että pinnan ja adhesiivin väliin jää ilmataskuja, vaikka kontaktipintaa pienennettäisiin. Jos karhea pinta kastellaan huolellisesti adhesiivilla, voidaan kasvattaa tehokkaan kontaktin pinta-alaa ja näin kasvattaa sidoksen lujuutta. Kun halutaan hyvä sidos, pinta pitää puhdistaa irtomateriaalista ja saostumista.

Hyvän liitoksen edellytyksiä:

- adhesiivin tulee kostuttaa kiinnittyvä materiaali kunnolla
- adhesiivilla tulisi olla sopiva viskositeetti jotta se leviäisi kunnolla kiinnittyvälle materiaalille
- adhesiivin tulisi kovettua ilman suuria tilavuuden muutoksia, laajenemista tai kutistumista
- kovin paksu adhesiivikerros huonontaa liitoksen vahvuutta
- kovettuneen adhesiivin vahvuus pitää huomioida

Liitoksen lujuutta testattaessa on kolme vaihtoehtoa

- liitos murtuu kun adhesiivi ja liitettävä materiaali irtoavat toisistaan (adhesiivinen murtuma)

- itse adhesiivi murtuu (kohessiivinen murtuma)
- liitettävä materiaali murtuu (kohessiivinen murtuma)

(Combe 1986: 116–117.)

4.3.2 Silaanit eli tartunta-aineet

Silanointi tarkoittaa sidostettavan materiaalin esikäsitteilyä silaanilla. Markkinoitavat silaanit ovat tavallisesti kestoaktivoituna vesi-alkoholiliuoksessa. Niillä voidaan sidostaa keskenään oleellisesti erilaisia materiaaleja toisiinsa kemiallisin, kovalenttisin sidoksien. Silaaneilla voidaan saada aikaan adheesio yhdistelmämuovi-metalli-, yhdistelmämuovi-posliini- sekä yhdistelmämuovi-yhdistelmämuovi-liitoksiin. Kemiallinen, kovalenttinen sidos saadaan aikaan kun silanoitava pinta ensin silikapinnoitetaan, eli päällystetään se piidioksidilla. Tämä tapahtuu hammaslaboratorioissa useimmiten Rocatec -systeemillä. Pinnoituksessa käytetään hiekkapuhallusta tietyn partikkelikoon hiekkalla, jossa alumiinitrioksidipartikkelit ovat silikapinnoitettuja. Tämä silikapinta siirtyy ja tarttuu käsiteltävän materiaalin pintaan. Käsitteilyn jälkeen pinta puhdistetaan irtohiekasta ja silanoidaan. Silaanit eivät ole varsinaisia liimaavia aineita. Niiden teho perustuu molekyyliarakenteeseen, jossa hiiliatomi (C) sitoutuu kovalenttisesti suoraan piiatomiin (Si). Hammastekniikassa puhutaan yleisesti käyttövalmiista esikäsitteilyneesteistä, jotka sisältävät 1-2-til % varsinaista aktiivista metakrylaattisilaania laimennettuna vesi-etanoliuokseen ja joiden pH on n. 4-6, siis lievästi hapan. (Matinlinna 2007: 14–17.)

4.3.3 Rocatec

Rocatec-sidostamismenetelmä tuli markkinoille Saksassa 1989. Sen mainostetaan mahdollistavan lujan liitoksen muovien, metallien ja keraamien välille ilman mekaanisia retentioita. Menetelmän teho perustuu silanointiin ja silikapinnoitukseen eli piidioksidikerrokseen. Aluksi pintakäsiteltävä alue puhdistetaan ja karhennetaan puhaltamalla se alumiiniok-sidihiekalla. Seuraavana puhalletaan pinta Rocatecin hiekkalla, jonka partikkelit ovat piidioksidilla päällystettyjä. Partikkelit iskeytyvät käsiteltävään pintaan jopa 1000 km/h -nopeudella, mikä saadaan aikaan tietyn mallisella hiekkapuhallussuulakkeella sekä vähintään 2,8 barin puhalluspaineella. Hiekan mukana piidioksidi uppoaa jopa 15µm syvyyteen, irtoaa partikkelista ja sulautuu käsiteltävään pintaan. (3M Espe 2012: 1–10.)

Seuraava vaihe on silanointi, joka mahdollistaa epäorgaanisen, silikapäälysteisen pinnan ja orgaanisen resiinin sidostumisen. Resiini voi olla esimerkiksi laminaattimuovi, opaakki tai mikä tahansa muu metakrylaattimonomeeria sisältävä muovi. Kemiallinen sidos saavutetaan kaksoismolekyylin avulla, joka reagoi kemiallisesti toisella päällään piioksidikerroksen ja toisella metakrylaattien kanssa. (3M Espe 2012: 1–10.)

4.3.4 Metalliprimetit

Metalliprimereiden tarkoituksena on saada muovi sidostumaan metalliin kemiallisesti. Esimerkiksi GC mainostaa Metalprimer II:n olevan helppokäyttöinen ja vesitiiviin liitoksen aikaansaava tuote. Tuotteen sisältämä tiofosfaatti reagoi kemiallisesti metallin ja metakrylaattien kanssa. Tuotteen avulla voidaan sidostaa pinnoitteita tai satula-akryyilia esimerkiksi valurunkoihin, metallipinteisiin, ortodonttisiin kojeisiin tai kruunujen ja siltojen rakenteisiin. (GC Europe n.d.)

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että primereiden käyttö hammasteknisten muovien ja metallien sidoksissa kasvattaa sidoksen lujuutta verrattuna esimerkiksi pelkkään hiekkapuhallukseen verrattuna. (Bulbul – Kesim 2010: 303–308 ; Ohkubo ym. 2000: 50–57.)

4.3.5 Yhdistelmämuovi

Hammaslääketieteessä käytettävät yhdistelmämuovit eli komposiitit sisältävät epäorgaanisia, kovia täyteainepartikkeleita jotka ovat kemiallisesti sidottuina resiinimatriksissa. Resiinimatriksi koostuu valikoiduista monomeereista. Täyteainepartikkelit ovat tyyppillisesti kvartsia, zirkoniumdioksidia, bariumlasia ja/tai amorfista piidioksidia. Komposiitit kovetetaan normaalisti käyttämällä sinisen ja ultraviolettialueen valoa riittävällä valointensiteetillä. Kovettunut, polymeroitunut komposiitti on hammastekniikan sekä hammaslääketieteen kannalta hyvät lujuusominaisuudet omaava materiaali.

Yksi käytetyimmistä monomeereista on BIS GMA, joka on olomuodoltaan hyvin viskoosia. Sen ohentamiseen käytetäänkin tavallisesti ohennemonomeereja, kuten EGDMA (etyleeniglykoli dimetakrylaatti) tai TEGDMA (trietyleeniglykoli dimetakrylaatti). (Mäntinlinna 2008: 4–7.)

Yhdistelmämuovin polymerisoitumisen eli kovettumisen aikana dimetakrylaattimonomeerien hiili-hiilikaksoissidokselliset päät ($=C=C=$) liittyvät toisiinsa. Kaksoissidokset purkautuvat ja niistä tulee yksinkertaisia, lyhyempiä, kovalenttisia hiilihiilidoksia ($-C-C-$). Tästä ilmiöstä johtuu komposiittien kovetuskutistuminen. Tässä reaktiossa dimetakrylaatit muodostavat kolmiulotteisen, voimakkaasti ristosilloittuneen molekyyli-rakenteen. Kovetuskutistuminen on normaalisti luokkaa 2-4 %. Kutistumaa ehkäisemään käytetään täyteaineita. Polymerisoitumisen edetessä komposiittimassan viskositeetti kasvaa, mistä johtuen vielä vapaat monomeerit voivat estyä reagoimasta. Komposiitin sisältämistä monomeerien dimetakrylaattiryhmistä jopa 25-50% voi olla osittain tai kokonaan reagoimattomina. Valmiiksi kovettuneissa hammaslääketieteen yhdistelmämuoveissa on 2-5% sen alkuperäisistä monomeereista edelleen reagoimattomina. Nykyään käytetään ennen kaikkea valokovetteisia komposiitteja. Kliinisessä käytössä on myös kaksoiskovetteisia komposiitteja, jotka kovettuvat valokovetuksella ja eräin itsestään käynnistyvin kemiallisin reaktioin. (Matinlinna 2008: 4–7.)

Tämän tutkimuksen testeissä käytettiin kaksoiskovetteista Starfill 2B – yhdistelmämuovia, jota käytetään hammastäyteenä sekä kiinnityssementtinä. Se sisältää bisfenoli-A-glysidyyli-metakrylaatti (BIS GMA) -nimistä monomeeria. (Danville materials n.d)

5 Tutkimuksessa käytetyt koneet ja välineet

5.1 Pyyhkäisyelektronimikroskooppi

Pyyhkäisyelektronimikroskooppi (sem) käyttää optisten linssien ja valon sijaan elektronisuihkua ja elektromagneettisia linsskejä kuvantuottamiseen. Tämän vuoksi pyyhkäisyelektronimikroskooppi pystyy 0.05 nanometrin tarkkuuteen kun optiset mikroskoopit yltyvät vain 1000 nanometrin tarkkuuteen. Pyyhkäisyelektronimikroskooppi koostuu elektronipylvästä, vakuumlaitteistosta sekä muusta laitteistosta ja ohjelmistosta. Mikroskoopin elektronykki muodostaa elektronisuihkun jolla tutkittavan kappaleen pintaa kuvannetaan. (An introduction to Electron Microscopy .n.d)

Pyyhkäisyelektronimikroskooppia pääsimme käyttämään Metropolian Kalevankadun toimipisteessä, missä projektiasiantuntija Oskari Ryti auttoi meitä kappaleiden kuvaamisessa. Pyyhkäisyelektronimikroskoopin avulla yritimme selvittää koekappaleiden pintaa mahdollisesti jääneitä aineita ja akryylin mahdollista murtopintaa.

5.2 Valokovetuslaitteet ja painekattila

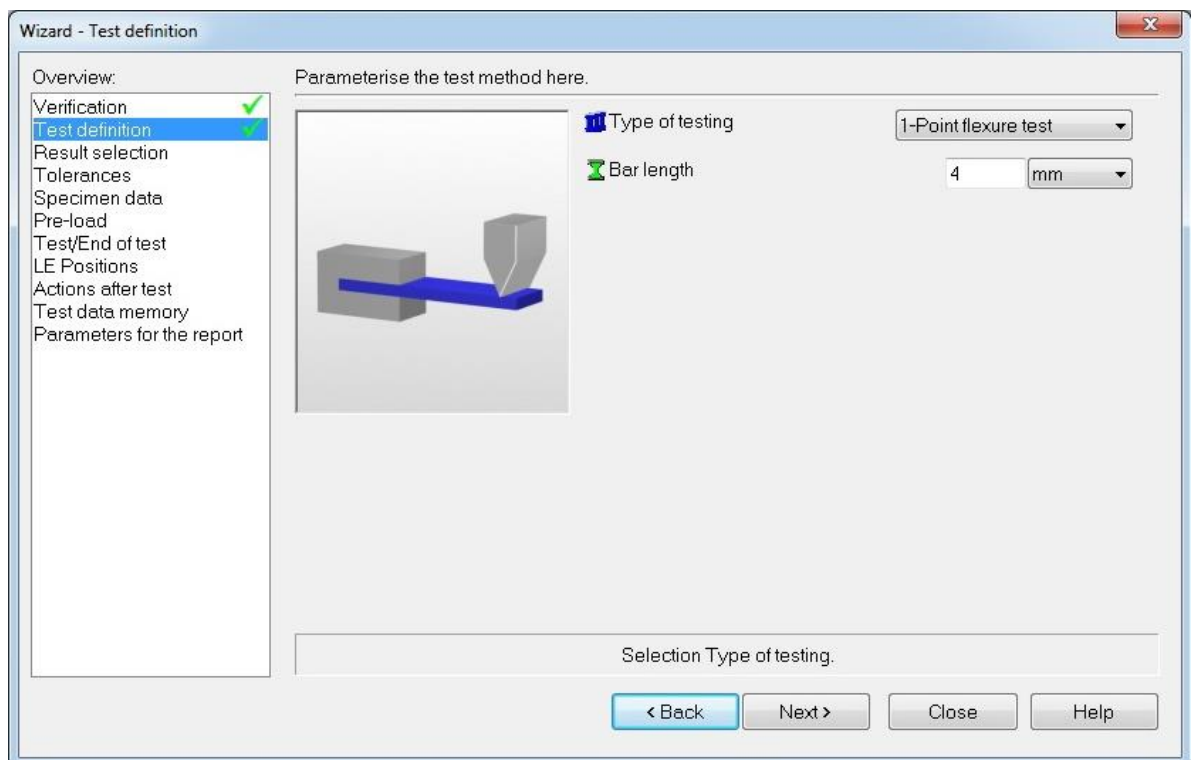
Valokovetteisten materiaalien kovetus tapahtuu valokovetuslaitteiden avulla. Laitteet tuottavat valon halogeenilamppujen, ledien, plasmakaaren tai laserien avulla. Eri valonlähteille yhtenäistä on kuitenkin että niiden tuottama valo on sinertävää. Valokovetteiset materiaalit reagoivat 400- 500 nm aallonpituudella niihin kohdistuvaan valoon käynnistämällä materiaalin olomuodon muutoksen ja kovettumisen. (Led Thechnology here to stay 2002).

Valokovettimia käytettiin sekä yhdistelmämuovimateriaalin että rocatec opaakilla -sarjan kovettamiseen. Yhdistelmämuovin kovettamiseen käytettiin kulzerin unilux ac ja dentacolor xs -laitteita. Rocatec opaakin kovettamiseen käytettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti Espe visio alfa -laitetta.

Painekattilaa käytetään hammastekniikassa akryylin kovetuksen yhteydessä. Painekattilan käyttö vähentää ilmakuplien aiheuttamaa huokoisuutta kovettuneessa akryylissä, parantaen näin akryylin laatua. (E. M. Bevan 1965.) Painekattilana käytettiin Dreven Polymax 5 painekattilaa.

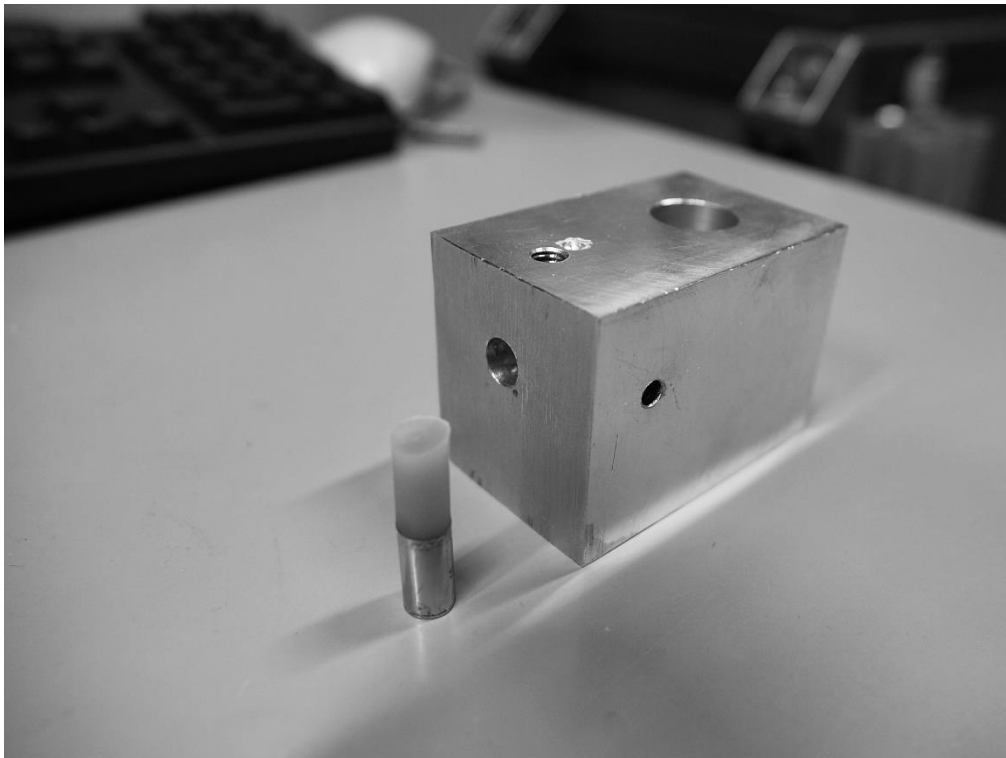
5.3 Vetokone ja koekappaleen pidike

Vetokoneella suoritettiin yksipiste taivutus (kuvio 1), painamalla koekappaleen akryyli-puolikasta, kunnes se irtosi kobolttikromista. Vetokoneeseen yhdistetty tietokone mittasi kappaleen rikkoutumiseen käytetyn voiman ja piirsi voima- sekä venymäkäyrät ja antoi tarkat arvot käytetylle voimalle. Myös vetokonetta käytettiin projektiasiantuntija Oskari Rytin ohjauksella Metropolian Kalevankadun toimipisteessä.



Kuvio 1. Kuvakaappaus testausohjelmasta.

Manuaalijyrsimellä tehtiin Koekappaleiden testauksessa käytetty koekappaleen pidike (kuvio 2). Pidike jyrsittiin alumiinista ja siihen tehtiin reikä koekappaletta varten sekä kiinnityskohta jolla pidike oli mahdollista kiinnittää vetolaitteeseen jolla testaus tehtiin. Pidike oli suunniteltu etukäteen tietokoneella 3D-mallinnusohjelmalla, mutta suunnitelmiin tehtiin muutoksia kappaletta jyrsittäessä. Ensimmäisen koesarjan jälkeen pidikkeeseen tehtiin vielä pieni muutos jolla koekappaleiden irrottaminen testauksen jälkeen helpottui.



Kuvio 2. Koekappaleen pidike ja koekappale.

6 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa testattiin 8 eri testisarjaa. Yhdistelmämuoviliitoksista tehtiin kolme sarjaa ja muista tärkeimmistä testisarjoista kaksi sarjaa. Kokeiluista tehtiin vain yhdet sarjat. Useamman testisarjan tutkiminen lisää testien luotettavuutta. Kaikissa sarjoissa oli samanlaiset kobolttikromi- ja akryyliosat, mutta niiden liitos oli valmistettu eri menetelmin. Liitoksia tehtiin kolmella eri tartunta-aineella, joista metalliprimer ja Rocatec ovat markkinoilla yleisesti käytettyjä, yhdistelmämuovi on harvemmin käytetty. Kaksi sarjaa olivat näiden sarjojen variaatioita, lisättiin opaakkikerros tai valokovetettiin kahteen kertaan. Yksi sarja oli tehty hiekkapuhaltamalla, mikä muodostaa vain mekaanisen retension. Hydrolyysisarjan avulla pyrittiin jäljittelemään suun olosuhteita. Sarjassa on viittä eri liitosmenetelmää, jokaista yksi kappale. Elimäki -sarja oli työn teettäjän laboratoriossa valmistettu ensimmäinen koesarja. Sarjassa on kolmea eri liitosmenetelmää.

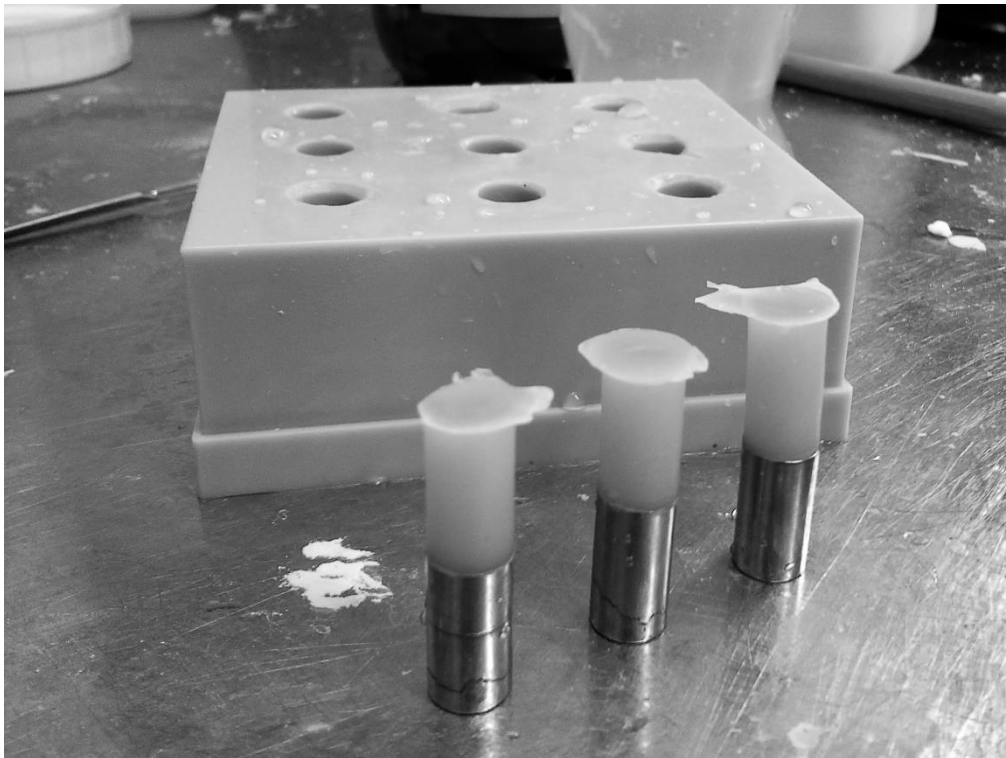
Kobolttikromi-akryyliiliitoksia pyrittiin testaamaan mahdollisimman luotettavin menetelmin. Testeissä käytettiin Zwick Z010 -vetokonetta (kuvio 3). Kun testisarjat katkaistaan samalla voimalla ja nopeudella, voidaan saada keskenään vertailtavia testituloksia. Vetolaitteella katkaistuja saumoja tutkittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopin avulla, jolla pyrittiin saamaan selville sauman materiaaliäämät. Niiden avulla voitiin arvioida oliko akryyli, kobolttikromi vai sauma peittänyt.



Kuvio 3. Vetokone ja siihen liitetty tietokone.

6.1 Työn kulku

Koekappaleet valmistettiin Metropolia AMK:n hammastekniikan koulutusohjelman tiloissa. Testisarjat olivat 4-8 koekappaleen sarjoja. Käytettiin valmiita koboltti-kromipellettejä, jotka käsiteltiin eri menetelmin ennen kylmäakryylin valuttamista niiden päälle. Akryylin valuttaminen tapahtui silikonista rakennettua muottia apuna käyttäen. Akryylin seossuhde oli Meliodentin käyttöohjeen suosittama 10 g jauhetta ja 7 ml nestettä. Lopuksi kovetettiin akryyli painekattilassa 6 barin paineessa, 45-asteisessa vedessä 15 minuutin ajan.



Kuvio 4. Koekappaleita ja muotti.

Koekappaleet testattiin Metropolia AMK:n tekniikan ja liikenteen yksikössä vetolaitteella. Siellä jrsittiin alumiinista myös kiinnitin testilaitteeseen, ja tutkittiin katkenneita kappaleita pyyhkäisyelektronimikroskoopilla.

6.2 Tutkimusaineisto

6.2.1 Hiekkapuhallus

Kobolttikromi-pelletin toinen pääty hiekkapuhallettiin 250 μ m alumiinioksidihiekalla 2 barin paineella noin 5 sekunnin ajan. Myös muiden testisarjojen kobolttikromipelletit on hiekkapuhallettu samalla tavalla ennen jatkokäsittelyä, paitsi Rocatec ja Rocatec opaakilla.

Hiekkapuhalletut kobolttikromi-pelletit asetettiin valmistamaamme silikonimuottiin, jonka jälkeen muotti käännettiin ympäri ja valutettiin akryyliliuos hiekkapuhalletun kobolttikromipelletin päälle. Muotti laitettiin painekattilaan.

6.2.2 Metalliprimer

Hiekkapuhalletut kobolttikromipelletit valeltiin ohuelti Metal primer II:lla valmistajan ohjeen mukaisesti. Sen jälkeen pelletit asetettiin silikonimuottiin ja akrylointi tehtiin kuten hiekkapuhallustestisarjassa.

6.2.3 Rocatec

Kobolttikromipellettiin puhallettiin piidioksidikerros Rocatec plus -hiekalla kauttaaltaan 5 sekunnin ajan 2.8 barin paineella. Piikerroksen päälle levitettiin silaania (espe sil, 3M Espe). Sen jälkeen pelletit asetettiin silikonimuottiin ja akrylointi tehtiin kuten hiekkapuhallustestisarjassa.

Rocatec opaakilla -sarjojen työn kulku suoritettiin silanointiin saakka kuten Rocatec-sarjassa, jonka jälkeen silaanin päälle levitettiin ohuelti Sinfonyn opaakkia. Opaakki kovetettiin valmistajan ohjeen mukaisesti visio alfa valokovetuslaitteella. Valokovetuksen jälkeen pelletit asetettiin silikonimuottiin ja akrylointi tehtiin kuten hiekkapuhallustestisarjassa.

6.2.4 Yhdistelmämuovi

Hiekkapuhallettuun kobolttikromipellettiin levitettiin yhdistelmämuoviprimeria, jonka merkki oli Scotsbond, 3M ESPE. Tämän jälkeen levitettiin kaksoiskovetteista erittäin juoksevaa Danvillen StarFill yhdistelmämuovia mahdollisimman ohut kerros primerin päälle ja valokovetettiin 2 minuuttia. Valokovetetun yhdistelmämuovin päälle levitettiin uusi ohuen ohut kerros muovia, jota ei valokovetettu. Odotettiin, että uuden kerroksen pinta alkoi ”nahkoittua”. Kun tämä reaktio oli tapahtunut, laitettiin kobolttikromipelletit silikonimuottiin ja suoritettiin akrylointi kuten muissakin testisarjoissa.

Jälkivalokovetettu sarja on muuten samanlainen kuin yhdistelmämuovisarja, mutta akryloinnin jälkeen sarjan koekappaleet käytettiin uudelleen valokovettimessa. Jälkivalokovetuksen pituus oli kaksi kertaa 90 sekuntia. Tämän lisäksi sarjan kappaleita pidettiin eripituinen aika pimeässä ennen akrylointia, numero 1 lyhyimmän ja numero 4 pisimmän ajan.

Elimäki -sarjassa testattiin 6:n kappaleen testisarja, joka oli valmistettu Elimäellä Kari Luotion opastuksella. Sarjassa on kolmea eri liitosmenetelmää, ne ovat yhdistelmämuovi, hiekkapuhallus ja metalliprimer.

6.2.5 Hydrolyysi

Tehtiin 5:n kappaleen testisarja, jossa pyrittiin jäljittelemään suun olosuhteita. Valittiin eri koesarjoista yksi kappale hydrolyysiin. Liitokset olivat hiekkapuhallus, metalliprimer, Rocatec, Rocatec opaakilla ja yhdistelmämuovi. Testi suoritettiin laittamalla kappaleet astiaan, missä oli valmiiksi 2,5dl vettä. Astiaan lisättiin kiehuvaa vettä 2,5dl tasaisin väliajoin 3 kertaa viikossa 7 viikon ajan.

6.3 Tutkimusmenetelmät

Testisarjat katkaistiin vetolaitteen yksipistetaivutusmenetelmällä, koska siinä voidaan toinen materiaali kiinnittää tukevasti kiinnittimeen ja toista päätä voidaan taivuttaa. Tällä menetelmällä materiaali katkeaa, kun siihen kohdistuu liian suuri voima.

Kaikki kappaleet katkesivat sauman kohdalta. Saumakohtia tarkasteltiin pyyhkäisy-elektronimikroskoopin avulla.

6.3.1 Rasiustestit vetolaitteella

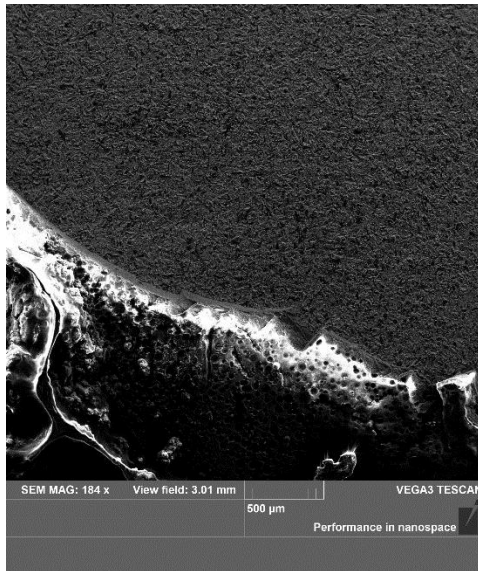
Testaukseen käytettiin tekniikan yksikön Zwick Z010 -vetokonetta, jolla voidaan mitata kappaleiden vetolujuutta. Tekniikan yksikössä jysyttiin myös tarkoitukseen soveltuva kiinnitin. Kiinnitin ruuvattiin koneen alustaan, koekappale asetettiin paikalleen ja koneen painin painoi kappaletta kasvavalla voimalla (kuvio 5). Painin liikkui nopeudella 2mm/sek. Lopulta liitos antoi periksi ja kappale hajosi. Kone tallioi hajottamiseen tarvittun voiman ja piirsi jännitysvenymäkäyrän.



Kuvio 5. Koekappale vetolaitteessa.

6.3.2 Pyyhkäiselektronimikroskooppi

Katkaistuja kobolttikromi-akryyliiitosten saumojia tutkittiin Tescan Vega 3 LMU pyyhkäiselektronimikroskoopilla, mikä sijaitsee myös tekniikan yksikössä. Kappaleen pinnasta pystyttiin havaitsemaan tarkemmin materiaaliäännöksiä pyyhkäiselektronimikroskoopin avulla (kuvio 6).



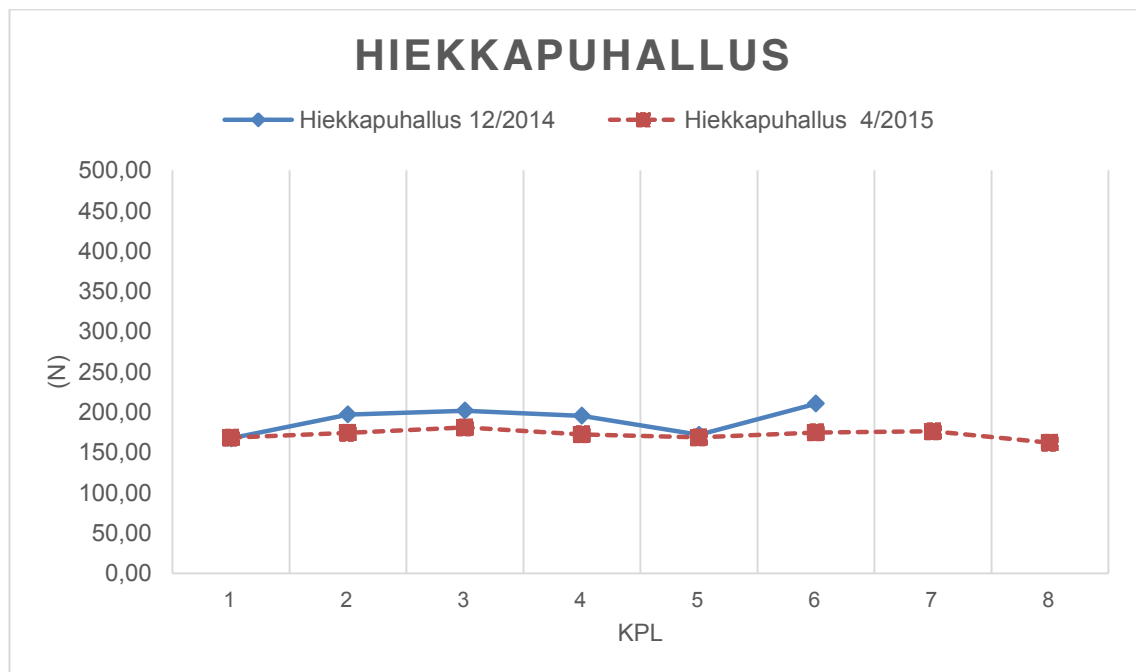
Kuvio 6. Elektronimikroskooppikuva yhdistelmämuovi -koekappaleen pinnasta.

7 Tutkimustulokset

Testisarjojen tutkimustulokset on esitetty seuraavissa taulukoissa ja kuvaajissa. Hiekkapuhallussarjan tulokset näkyvät taulukossa 1 ja kuviossa 7. Tulokset ovat 161,87–210,52 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteinä 1 ja 2.

Taulukko 1. Hiekkapuhallus. Tulokset Newtonina.

kpl	11.12.2014	22.4.2015
1	167,34	168,21
2	196,99	174,15
3	201,7	180,81
4	195,44	172,34
5	171,73	168,57
6	210,52	174,62
7		176,15
8		161,87

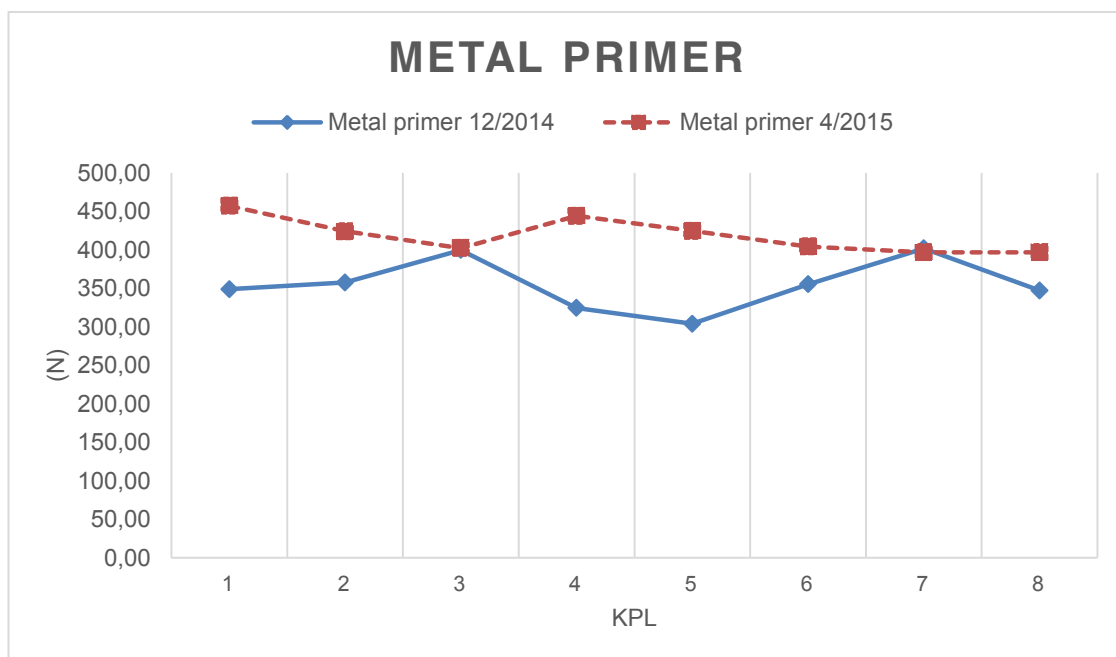


Kuvio 7. Hiekkapuhallussarjan murtumistulokset.

Metalliprimer -sarjan testitulokset on esitetty taulukossa 2 ja kuviossa 8. Tulokset ovat 303,90–457,19 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteinä 3 ja 4.

Taulukko 2. Metalliprimer. Tulokset Newtonina.

kpl	11.12.2014	22.4.2015
1	348,83	457,19
2	357,64	424,12
3	399,75	402,42
4	324,59	444,20
5	303,90	424,65
6	355,37	404,36
7	401,95	397,02
8	347,20	396,93

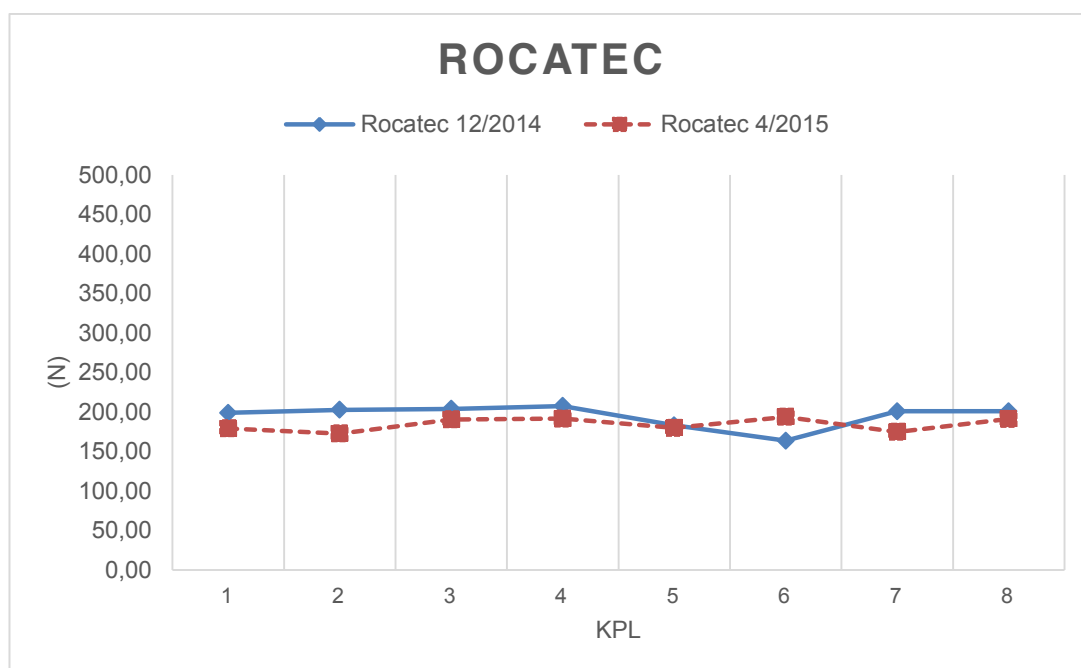


Kuvio 8. Metalliprimer -sarjan murtumistulokset.

Rocatec -sarjan testitulokset on esitetty taulukossa 3 ja kuviossa 9. Tulokset ovat 172,58–207,33 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteinä 5 ja 6.

Taulukko 3. Rocatec. Tulokset Newtonina.

kpl	11.12.2014	22.4.2015
1	198,67	179,13
2	202,61	172,58
3	203,85	190,49
4	207,33	191,46
5	182,84	179,71
6	163,38	193,7
7	200,73	174,66
8	200,81	191,02

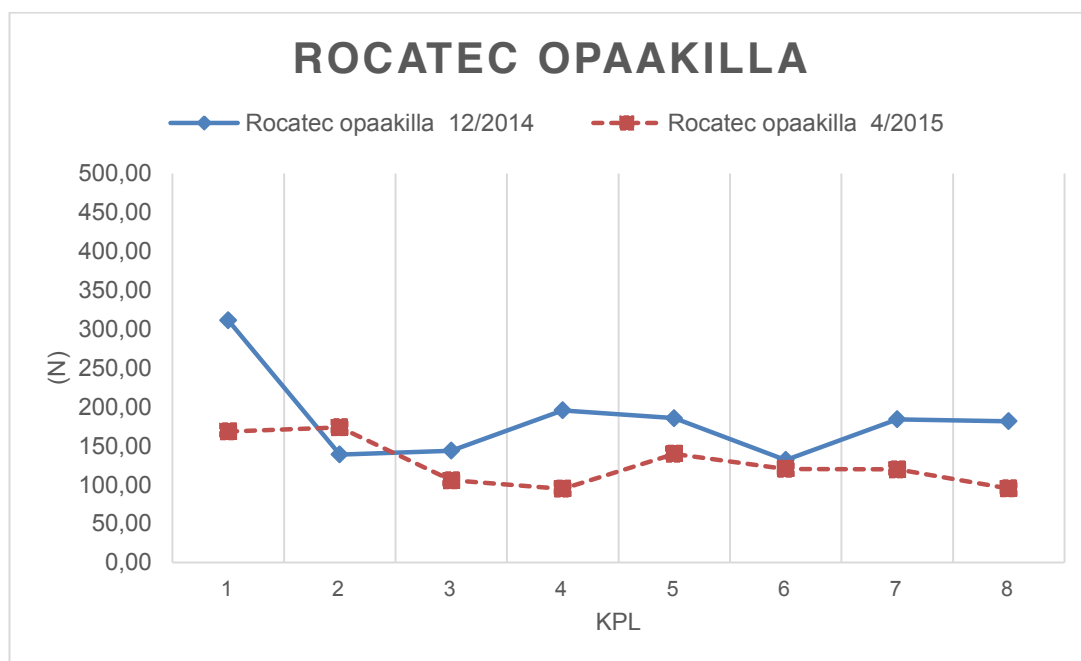


Kuvio 9. 11.12.2014 Rocatec -sarjan murtumistulokset.

Rocatec opaakilla -sarjan testitulokset ovat taulukossa 4 ja kuviossa 10. Tulokset ovat 94,58–311,40 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteinä 7 ja 8.

Taulukko 4. Rocatec opaakilla. Tulokset Newtonina.

kpl	11.12.2014	22.4.2015
1	311,4	168,4
2	138,8	173,6
3	143,74	105,67
4	195,5	94,58
5	185,34	139,46
6	131,64	120,18
7	184,02	119,54
8	181,48	95,03

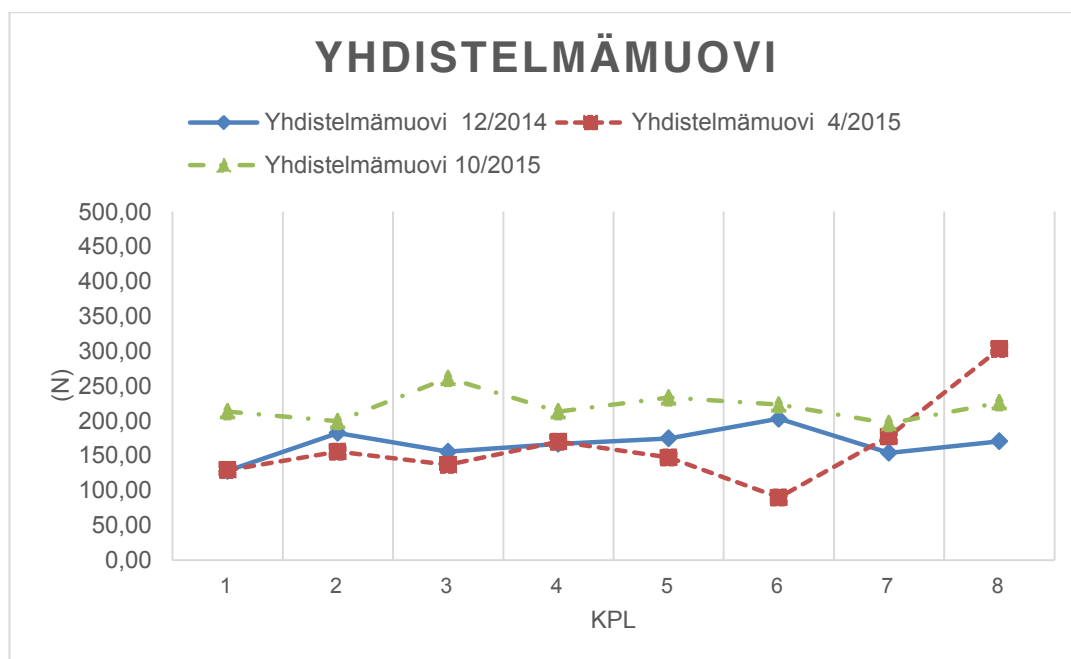


Kuvio 10. Rocatec opaakilla -sarjan murtumistulokset.

Yhdistelmämuovisarjojen testitulokset ovat taulukossa 5 ja kuviossa 11. 8.10.2015 testattu sarja on Kari Luotion valmistama Elimäen hammaslaboratoriossaan. Testisarjojen tulokset ovat 89,73–302,63 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteinä 9, 10 ja 11.

Taulukko 5. Yhdistelmämuovi. Tulokset Newtonina.

kpl	11.12.2014	22.4.2015	8.10.2015
1	127,79	128,95	213,00
2	182,33	155,32	199,00
3	155,53	136,55	261,00
4	166,73	169,65	213,00
5	174,53	147,13	233,00
6	202,86	89,73	223,00
7	153,76	177,42	196,00
8	170,45	302,63	226,00

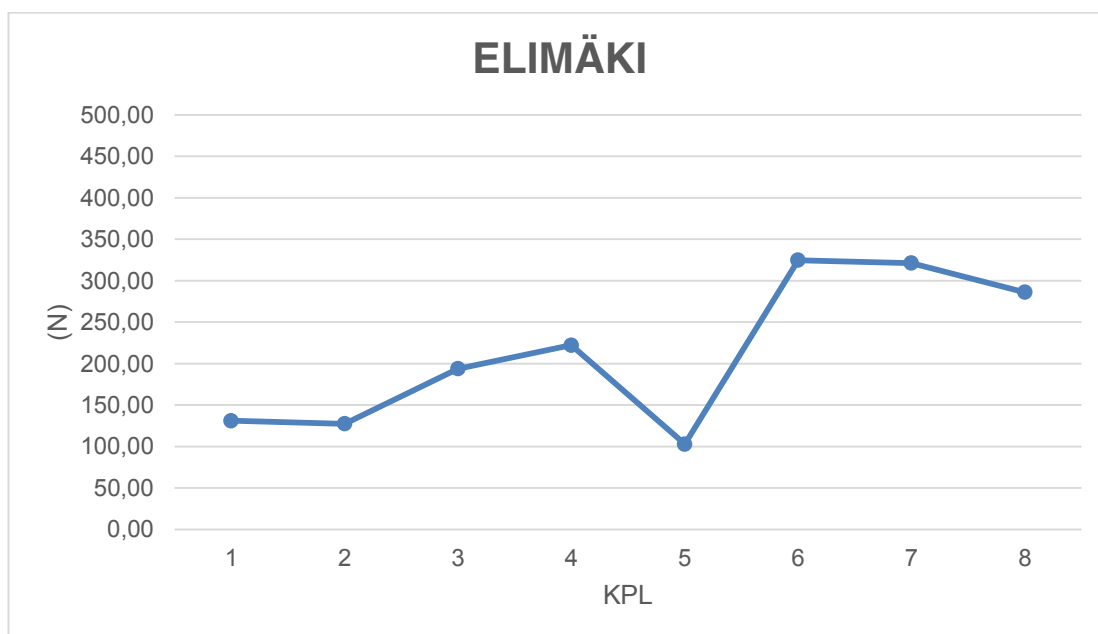


Kuvio 11. Yhdistelmämuovisarjan murtumistulokset.

Elimäki -sarjan tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuviossa 12. Testisarjojen murtumistulokset ovat 102,83–324,73 Newtonin välillä. Sarjan liitoksia on valmistettu kolmella eri menetelmällä, jotka on esitetty taulukossa 6. Tuloksia ei voi suoraan verrata toisiinsa eri liitostyyppien vuoksi. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteenä 14.

Taulukko 6. Elimäki. Tulokset Newtonina.

kpl	22.4.2015	LIITOSTYYPPI
1	131,04	yhdistelmämuovi
2	127,48	yhdistelmämuovi
3	193,79	yhdistelmämuovi
4	222,23	hiekkapuhallus
5	102,83	hiekkapuhallus
6	324,73	metal primer
7	321,37	metal primer
8	286,21	metal primer

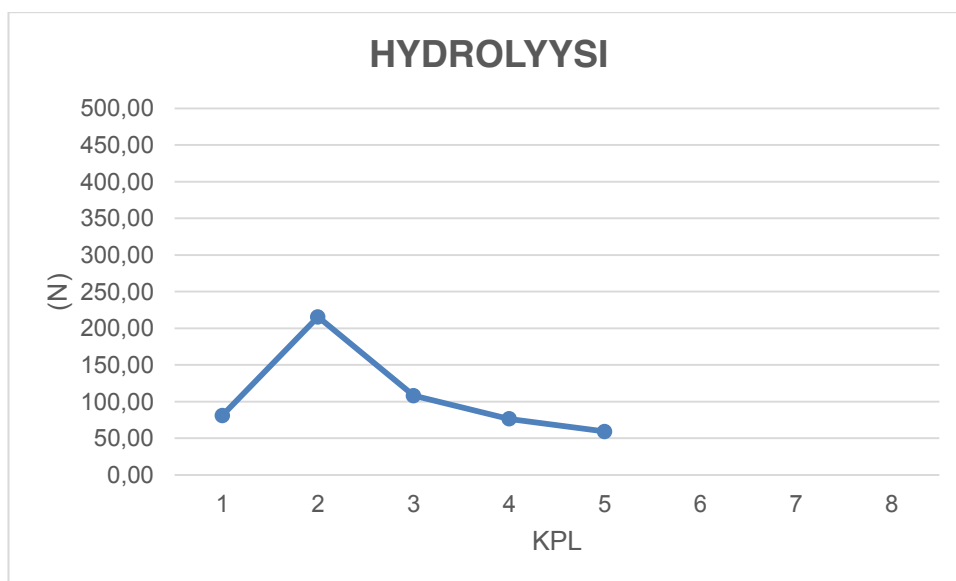


Kuvio 12. Elimäki -sarjan murtumistulokset.

Hydrolyysisarjan tulokset on esitetty taulukossa 7 ja kuviossa 13. Murtumistulokset ovat 59,26–215,68 Newtonin välillä. Sarjassa on viittä eri liitostyyppiä, jotka on kuvattu taulukossa 7. Sarjalla pyrittiin havainnoimaan suun olosuhteita. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteenä 13.

Taulukko 7. Hydrolyysi. Tulokset Newtonina.

kpl	22.4.2015	LIITOSTYYPPI
1	81,06	hiekkapuhallus
2	215,68	metal primer
3	108,22	rocatec
4	76,57	rocatec opaakilla
5	59,26	yhdistelmämuovi
6		
7		
8		



Kuvio 13. Hydrolyysisarjan murtumistulokset.

Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella -sarjan murtumistulokset on esitettyinä taulukossa 8 ja kuviossa 14. Tulokset ovat 104,28–252,66 Newtonin välillä. Vetolaitteen murtojännityskäyrät ovat nähtävissä liitteenä 12.

Taulukko 8. Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella. Tulokset Newtonina.

kpl	22.4.2015
1	104,28
2	183,05
3	252,66
4	171,96
5	
6	
7	
8	

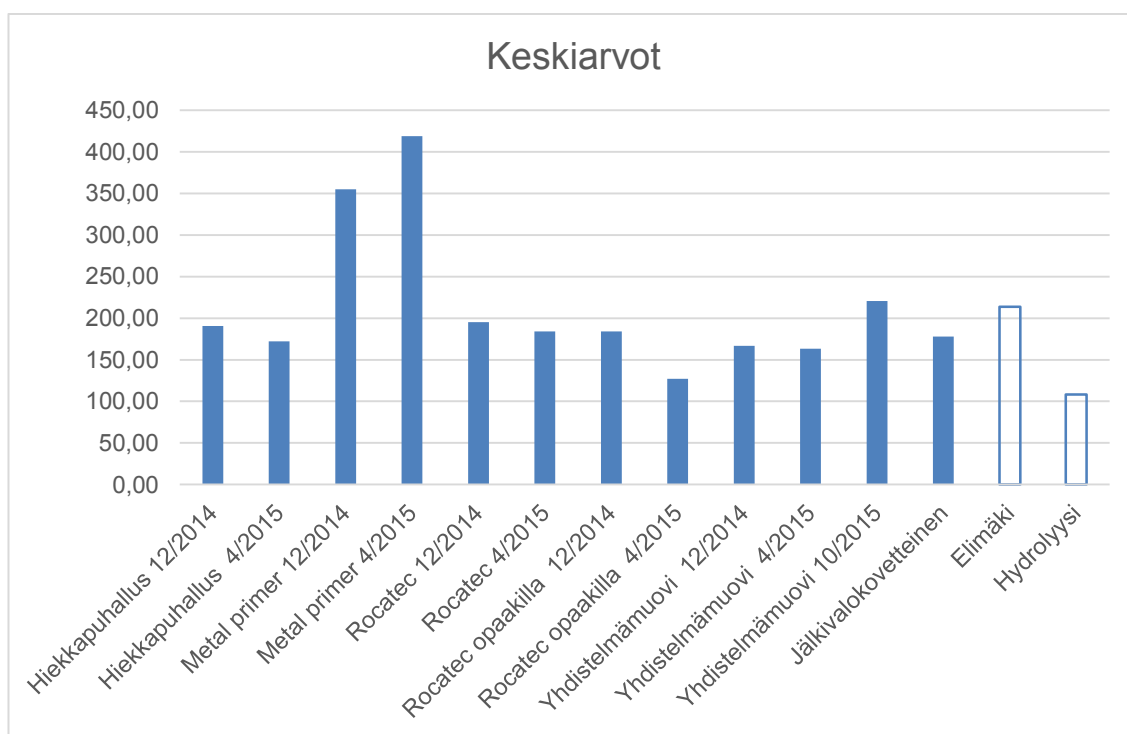


Kuvio 14. Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella -sarjan murtumistulokset.

8 Tulosten tarkastelu

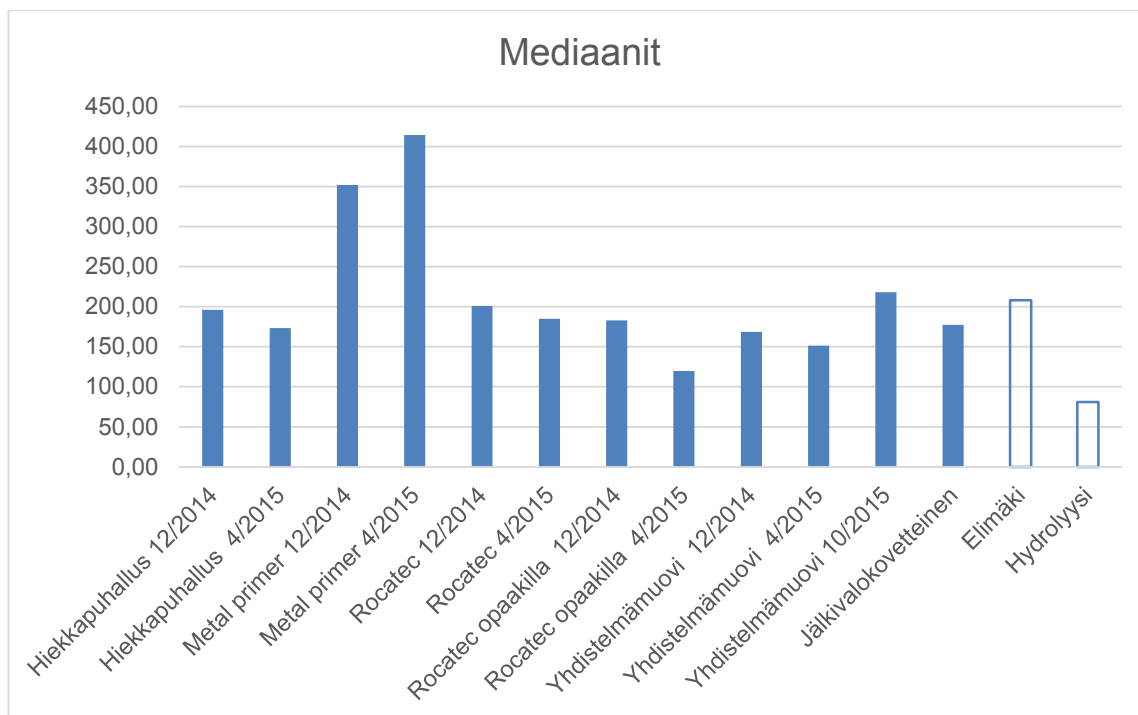
Kuten aiemmin on kerrottu Elimäki- ja Hydrolyysisarjat ovat koosteita eri liitosmenetelmistä. Ne eivät ole täysin vertailukelpoisia muiden sarjojen kanssa, koska muissa sarjoissa liitokset ovat toteutettu keskenään samalla menetelmällä. Tämä tulee huomioida tuloksia tarkastellessa.

Tulosten keskiarvot on kuvattu kuviossa 15. Keskiarvojen erot 12/2014 ja 4/2015 tehdyissä samoissa testisarjoissa ovat kohtalaisen lähellä toisiaan. Suurimmat keskiarvoerot on havaittavissa yhdistelmämuovisarjoilla (163,42–220,50 Newtonia), suurimman ja pienimmän sarjan keskiarvoilla on noin 26%:n ero. Metalliprimer -sarjoissa keskiarvojen erot ovat myös suurehkoja (354,90 ja 418,86 Newtonia), joka on noin 15 %.



Kuvio 15. Tulosten keskiarvot.

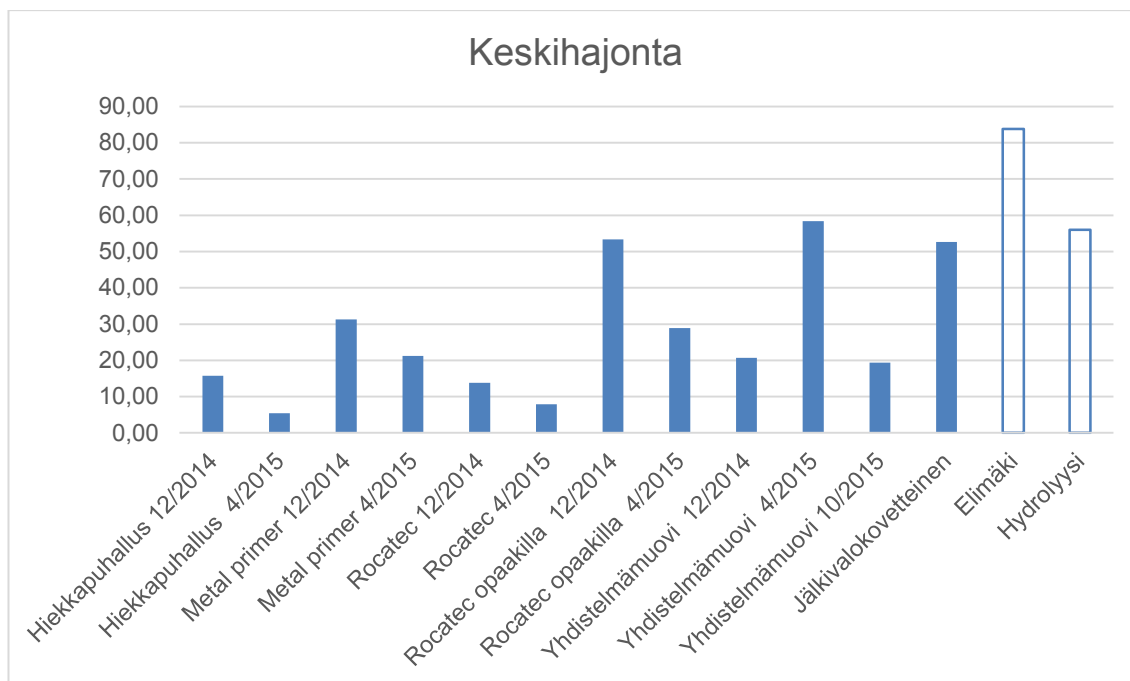
Mediaani on järjestetyn lukusarjan keskimääräinen luku (KvantiMotv). Kuvioista 15 ja 16 voidaan todeta, että keskiarvojen ja mediaanien pylväät noudattavat hyvin samaa linjaa. Näiden perusteella tuloksissa ei ole havaittavissa suuria yksittäisiä poikkeamatuloksia.



Kuvio 16. Tulosten mediaanit.

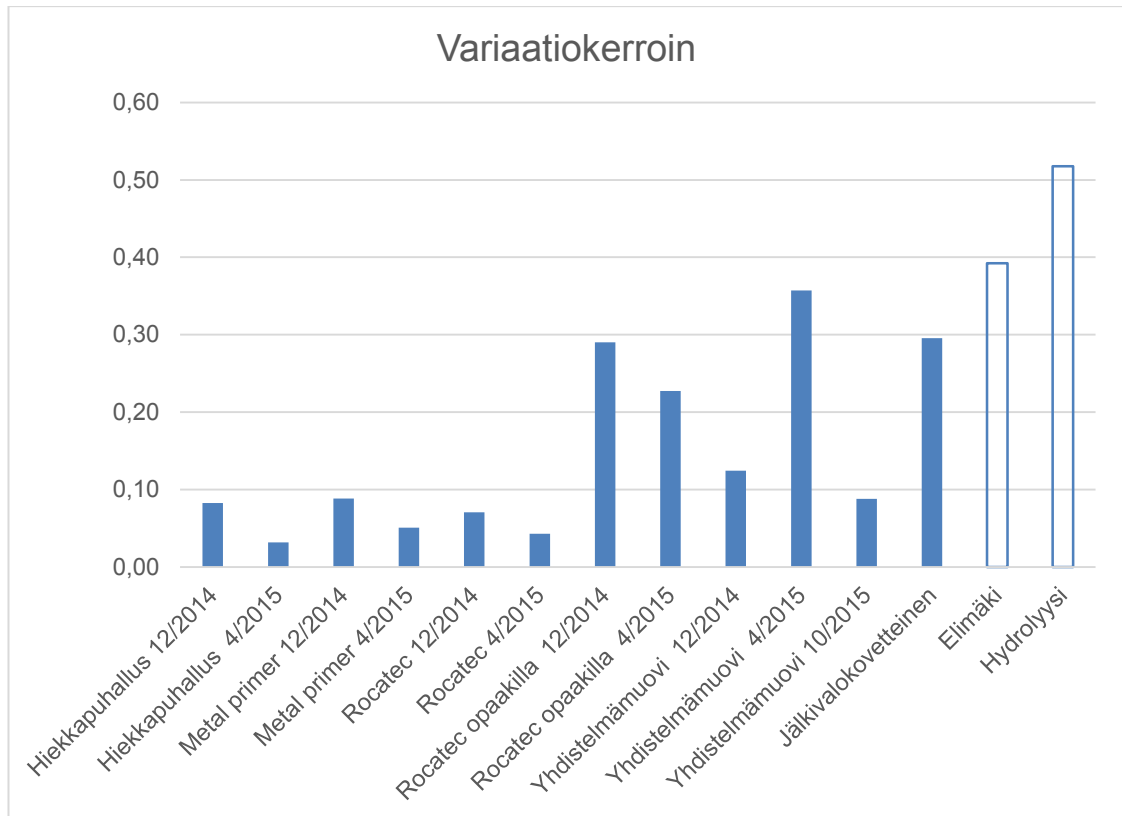
Tulosten keskihajonta esitetään kuviossa 17. Keskihajonta kuvaa sitä, kuinka kaukana yksittäiset muuttujan arvot ovat keskimäärin muuttujan keskiarvosta (KvantiMotv). Eliimäki- ja hydrolyysisarjoissa on eri liitosmenetelmiä, jonka vuoksi keskihajonnat ovat suuria.

Yhdistelmämuovi 4/2015 -sarjassa keskihajonta on suuri, arvo on 58,40 Newtonia. Tuloksen syynä ovat kaksi poikkeavaa testitulosta, jotka ovat 89,73 Newtonia ja 302,63 Newtonia. Muut sarjan testitulokset ovat 128,95–177,24 Newtonin välillä. Rocatec opaakilla 12/2014 keskihajonta on suurehko, 53,36 Newtonia. Tuloksissa on yksi poikkeava arvo, 311,40 Newtonia. Muut arvot ovat 131,64–195,50 Newtonin välillä. Myös jälkivalokovetteisen sarjan keskihajonta on keskimääräistä suurempi, se on 53,36 Newtonia. Sarjassa on 4 tulosta, joista pienin on 104 Newtonia ja suurin on 253 Newtonia. Vain kaksi keskimmäistä tulosta ovat lähellä toisiaan, eli 171,96 ja 183,05 Newtonia. Pienin keskihajontaluku on hiekkapuhallus 4/2015 -sarjalla, se on 5,42 Newtonia.



Kuvio 17. Tulosten keskihajonta.

Variaatiokerroin on hajontaluku, joka suhteuttaa keskihajonnan aineiston keskiarvoon. Se lasketaan jakamalla keskihajonta keskiarvolla (KvantiMotv). Kuvioista 18 voidaan havaita, että myös variaatiokertoimet ovat suurimpia Elimäki- ja Hydrolyysisarjoissa sarjojen eri liitosmenetelmien vuoksi. Seuraavaksi epätasaisimmat tulokset ovat Yhdistelmämuovi 4/2015 -sarjalla, jälkivalokovetteisella ja Rocatec opaakilla 12/2014, myös näiden keskihajonnat ovat keskimääräistä suurempia.



Kuvio 18. Tulosten variaatiokerroin.

8.1 Hiekkapuhallus

Hiekkapuhallusliitos kobolttikromin ja akryylin välillä on heikko. Lujin liitos hiekkapuhallusliitoksilla on 210,52 Newtonia, mikä on noin 56 % heikempi kuin testisarjojen parhaalla liitoksella. Molempien hiekkapuhallustestikertojen keskiarvot ja mediaanit ovat hyvin lähellä toisiaan (kuviot 15 ja 16), joten testauksissa ei ole huomattavaa poikkeamaa havaittavissa. Ensimmäisessä testisarjassa on testattu vain 6 kpl normaalin 8:n kappaleen sijasta, koska kahden testikappaleen liitokset hajosivat jo ennen testilaitteeseen asentamista. Hajoaminen johtuu inhimillisestä erheestä, kappaleita olisi voinut käsitellä hellävaraisemmin. Testikappaleiden liitokset pettivät, kun avasimme niitä paketista. Tästä voidaan päätellä, että liitos on käytännössäkin liian heikko. Tarkasteltaessa katkaistuja kappaleita voitiin huomata, että akryylipuolisko oli aivan ehjä eikä metalliin ollut jäänyt kiinni mitään. Murtuma oli tyypiltään adhesiivinen.

8.2 Metalliprimer -liitos

Metalliprimer -liitos kobolttikromin ja akryylin välillä osoittautui testausten perusteella lujimmaksi sidokseksi. Koko testisarjan paras testituloksensa saatiin aikaan metalliprimer -liitoksella 22.4.2015 otetussa sarjassa, tulos on 457,19 Newtonia. Molempien testikerrojen tulosten keskiarvot ja mediaanit ovat hyvin lähellä toisiaan, joten tuloksissa ei ole suuria poikkeamia. Testien keskihajonnat ovat 22,71 ja 33,49 Newtonia, mitkä sijoittuvat keskivaiheille verrattuna muihin testisarjoihin. Metalliprimerillä käsiteltyjä, katkaistuja kappaleita tutkiessa voitiin huomata murtuman olevan adhesiivinen. Akryyli oli irronnut siististi metallista. Myös Ohkubo ja kumppanit sekä Bulbul ja Kesim saivat testituloksissaan selville, että metalliprimerit parantavat huomattavasti kobolttikromiakryylisauhan liitoksen lujuutta (Ohkubo – Watanabe – Hosoi – Okabe 2000: 50-57; Bulbul – Kesim 2010: 303 – 308).

8.3 Rocatecliitos

Rocatecliitos kobolttikromin ja akryylin välillä on myös heikko. Testausten paras tulos on 207,33 Newtonia. Tulos on hyvin lähellä hiekkapuhallusliitoksen parasta arvoa. Testitulokset ovat hyvin tasalaatuisia. Keskiarvot ja mediaanit ovat hyvin lähellä toisiaan, kuin myös keskihajonnat ovat erittäin pieniä.

Aiempien tutkimusten perusteella rocatec on kuitenkin osoittautunut erittäin hyväksi akryyli-metalliliitosten vahvistajaksi (NaBadalung – Powers – Connelly 1998: 354 – 361; May – Fox – Razzoog – Lang 1995: 428 – 431). Näiden tutkimusten perusteella voidaankin päätellä, että käyttämämme Rocatec-laitteessa oli tekninen vika jo testisarjaa tehtäessä, joka havaittiin vasta myöhemmin. Katkaistut Rocatec -koekappaleet olivat siistejä, akryyli oli ehjää. Kobolttikrominapin päässä voi nähdä kenties ohuen kerroksen silaania. Murtuma oli adhesiivinen.

8.4 Rocatec opaakilla -liitos

Testisarjassa on Rocatecliitos kobolttikromin ja akryylin välillä, jossa on käytetty lisänä opaakkikerrosta. Tulokset näyttäisivät olevan lähes yhtä heikkoja kuin hiekkapuhallus- ja Rocatecliitokset. Rocatec opaakilla -testisarjojen lujin arvo on 311,40 Newtonia, mutta toiseksi lujin tulos on 184,02 Newtonia. Lujin testituloksensa poikkeaa liian huomattavasti muista testisarjojen arvoista, jotta tulosta voitaisiin pitää luotettavana.

Syytä poikkeamaan ei ole pystytty varmaksi selvittämään, muuta kuin paras tulos on saatu 11.12.2014 ensimmäisellä testikappaleella Rocatec opaakilla -sarjassa. On mahdollista, että poikkeama johtuu testilaitteesta ensimmäistä kappaletta testatessa. Päätelmää vahvistaa myös seuraava havainto. Yhdistelmämuoviliitoksissa on ensimmäisinä testattujen kappaleiden arvot huomattavasti heikompia kuin muiden, ja toisen testisarjan viimeinen on muihin tuloksiin verrattuna poikkeuksellisen luja. Keskiarvot ja mediaanit ovat lähellä toisiaan, mutta 11.12.2014 tehdyssä testisarjassa on testisarjojen toiseksi heikoin keskihajonta. Se on 57,04 Newtonia.

Katkaistuista koekappaleista voi heti tehdä huomion, kuinka opaakki on lähes täysin kiinni akryylissä, vain pieniä pisteitä näkyi metallissa. Muutoin metallissa näytti olevan ikään kuin härmäinen pinta, ehkäpä silaanikerros. Murtuma oli adhesiivinen.

8.5 Yhdistelmämuoviliitos

Yhdistelmämuoviliitoksessa on havaittavissa, että ensimmäiset testikappaleet kahdella ensimmäisellä testauskerroilla on heikompia kuin seuraavat testikappaleet. 22.4.2015 testauskerralla kolmanneksi viimeinen testitulokseksi on koko testisarjojen toiseksi heikoin, eli 89,73 Newtonia. Tulos on erittäin poikkeava ja heikko muihin verrattuna, syytä ei kuitenkaan ole pystytty selvittämään. 22.4.2015 testatun yhdistelmämuovin testitulokseksi on yhdistelmämuovimittauksista lujin, eli 302,63 Newtonia. Korkeimmat tulokset on saavutettu 8.10.2015 testatussa sarjassa, jonka keskiarvo on 220,50 Newtonia.

Testisarjojen keskiarvot ja mediaanit ovat lähellä toisiaan, mutta 22.4.2015 tehdyn testisarjan hajonta on kaikkien testisarjojen suurin eli 62,43 Newtonia. Tämä johtuu pienimmän arvon 89,73 Newtonia ja suurimman arvon 302,63 Newtonia suuresta erosta. Testisarjan laatu ei siis ole kovinkaan luotettava.

Katkaistujen testikappaleiden akryyli näytti melko ehjältä, mutta hieman epätasaiselta (kuvio 6). Ehkä yhdistelmämuovia oli ollut välissä paksuhko kerros. Sekä akryyli- että metallipuoliskoissa oli kiinni yhdistelmämuovia. Yhdistelmämuovin koheesio oli pettänyt.

8.6 Elimäki

Tässä sarjassa testattiin Elimäellä tehdyt koekappaleet. Niissä on kolmea eri liitosmenetelmää, jonka vuoksi koko sarja ei ole yhtenäinen. Sitä voidaan hyvin heikosti arvioida kokonaisuutena ja muiden testisarjojen kanssa. Sarjan tulokset ovat epätasaisia, mikä ilmenee myös korkeina keskihajonta ja variaatiokerroinlukuina (kuvio 17 ja 18).

Kun koesarjaa tarkasteltiin katkaisujen jälkeen, huomattiin että hiekkapuhallettu metallipinta näytti hieman sileämmältä, kuin tutkimusta tehneiden itse valmistamissa kappaleissa. Kenties Elimäellä käytettiin hiekkapuhalluksessa erilaista raekokoa ja/tai painetta. Yhdistelmämuovikappaleiden akryyli näytti myös hieman sileämmältä, mutta muovia oli silti kiinni molemmissa puoliskoissa. Olisiko yhdistelmämuovia tuolloin käytetty hieman vähemmän.

8.7 Hydrolyysi

Hydrolyysisarjan pelletit olivat viidellä eri liitosmenetelmällä valmistettuja pellettejä, jonka vuoksi tuloksia voidaan vain suuntaa antavasti vertailla muiden testimenetelmien kanssa. Testisarjojen heikoin tulos on tässä sarjassa, eli 59,26 Newtonia. Sarjan paras tulos on 215,68 Newtonia. Tuloksissa on muihin sarjoihin verrattuna paljon vaihtelua, koska keskihajonta ja variaatiokerroimet ovat korkeita (kuvio 17 ja 18). Jokainen hydrolyysin läpikäynyt katkaistu testikappale näytti murtuneen samalla lailla kuin muutkin oman ryhmänsä kappaleet.

8.8 Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella

Tulokset ovat samaa luokkaa, kuin yhdistelmämuovi -sarjalla. Testisarjassa on kaksi kertaa vähemmän toistoja, kuin yhdistelmämuovi -sarjassa. Tämän vuoksi ei voida suoraan vertailla tuloksia. Sarjan neljän toiston perusteella voidaan kuitenkin todeta, että jälkivalokovetus ei ole tuonut lisää vahvuutta liitoksiin. Yhdistelmämuovi jälkivalokovetuksella -ryhmän testikappaleet olivat ulkonäöltään samanlaisia kuin yhdistelmämuovi -ryhmässäkin. Yhdistelmämuovia oli kiinni sekä akryylissä että metallissa.

9 Yhteenveto

Ihmisen suun purentavoimat vaihtelevat yleensä 180 ja 300 N välillä, mutta jopa 500 N on mitattu (Kari Tyllilä 2007). Hammastekninen koje joutuu purentavoimien lisäksi kestämään lämpötilavaihteluita, kosteutta ja ravinnon aiheuttamia pH-arvon vaihteluita. Nämä kaikki tekijät heikentävät liitosta, joten sen alkuperäinen kyky kestää kuormitusta tulisi olla mahdollisimman suuri. Testasimme vetolaitteella myös kolmen akryylipelletin murtumislujuutta, arvot olivat 843, 941 ja 949 Newtonia (katso liite 15). Akryyli on kobolttikromiin verrattuna heikompi materiaali. Liitossauman olisi hyvä kestää saman verran kuin akryylin, mutta yksikään testisarja ei yltänyt riittävän korkeisiin tuloksiin.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mikä menetelmä parantaa eniten kobolttikromi-akryylisauman kestävyyttä. Paras testitulokset saatiin aikaan metalliprimereillä. Tutkimus tuotti samansuuntaiset tulokset, kuin aiempien tutkimusten perusteellakin oli saatu aikaan. Tutkijat olivat saaneet selville, että metalliprimereillä oli huomattavasti parantava merkitys kobolttikromi-akryyliiitoksille. (Ohkubo – Watanabe – Hosoi – Okabe 2000: 50–57 ; Bulbul – Kesim 2010: 303–308.) Aiempien tutkimusten perusteella myös Rocatec ja yhdistelmämuovi paransivat metalli-akryyliiitosten lujuutta (NaBadalung – Powers – Connelly 1998: 354–361 ; May – Fox – Razzoog – Lang 1995: 428–431). Yhdistelmämuovia oli käytetty vain yhdessä tutkimuksessa, jossa se paransi metalli-akryylisidosten lujuutta.

Rocatecin tulokset eivät olleet odotetun laisia, vaan huomattavasti heikompia. Odotuksia heikompia tuloksia saattaisi selittää Rocatec -laitteiston mahdollinen tekninen vika. Myöhemmin saatiin selville, että Rocatec -hiekkapuhalluslaitte oli ollut tukossa eikä ole sen vuoksi toiminut kunnolla. Asia tuli ilmi, kun samalla laitteistolla käsitellyn potilastyön sidos petti ja työ jouduttiin kiinnittämään uudestaan. Näin ollen Rocatec -testisarjojen tuloksia ei voida pitää luotettavina.

Hiekkapuhalluksen tulokset olivat heikkoja, ja vaikka hiekkapuhallus varmasti parantaa sidoslujuuksia verrattuna hiekkapuhaltamattomaan pintaan ei sen kestävyys kannata luottaa. Hiekkapuhallus vaatii siis seurakseen jokin muun kiinnitysmenetelmän, joko kemiallisen tai mekaanisen.

Yhdistelmämuovin tulokset eivät olleet odotetun laisia. Yhdistelmämuovin heikkouden lisäksi muita tulosten heikkouteen mahdollisesti vaikuttaneita tekijöitä ovat valokovetuslaitteiden aallonpituus, joka ei välttämättä ollut kyseiselle muoville täysin sopiva. Luoti-on valmistama 10/2015 sarja saavutti kuitenkin korkeammat arvot kuin tutkimusryhmän valmistamat sarjat. 10/2015 sarjan akryylissä oli havaittavissa ilmakuplia, minkä oletet-taisiin heikentävän lujuutta. Kyseinen sarja oli valmistettu kirkkaasta akryylista, joka voi olla vahvempaa kuin punainen akryyli. Eräs testisarja oli valmistettu kirkkaasta akryylis-ta vetokoneen säätöjä varten, siinä metalliprimer -sarjan tulokset olivat vahvempia kuin varsinaisissa testeissä saavutetut. Testisarjan valmistusmenetelmässä voisi olla myös laadunkehittelyn tarvetta.

Hydrolyysisarja oli lähinnä pieni lisätesti eikä sen tulokset ole luotettavia tai täysin ver-tailukelpoisia, jo pelkästään pienen otannan vuoksi. Tuloksista voidaan kuitenkin tehdä huomio, että kosteudella ja lämpötilavaihtelulla on suuri vaikutus eri sidosten kestävyyy-teen. Sama havainto on tehty myös aiemmissa tutkimuksissa (Ohkubo – Watanabe – Hosoi – Okabe 2000: 50–57).

Arvioitaessa liittämismenetelmien käytettävyyttä on otettava huomioon menetelmään käytetty aika, työn määrä ja tarvittavien laitteiden ja materiaalien kustannukset. Testitu-loksissa parhaiten pärjännyt Metal Primer II on helppo ja nopea käyttää. Aine on kallis-ta, mutta riittoisaa. Rocatec -laitteisto on arvokas ja menetelmänä primeria monivaihei-sempi. Myös yhdistelmämuovimenetelmä on monivaiheisempi ja täten alttiimpi virheille. Sekä yhdistelmämuovin että Rocatecin vaatimien erikoislaitteiden toimintahäiriöt voivat jäädä huomaamatta, jolloin liitos ei kestä toivotulla tavalla. Esimerkiksi valokovettimen tehon heikentyminen ajan myötä on vaikea havaita.

Kehittäviä jatkotutkimusaiheita voisi olla hydrolyysin jatkotutkimukset. Tulokset olivat yllättävän heikkoja, kuin olimme pyrkineet jäljittelemään suun olosuhteita kastelemalla testikappaleita lämpimällä vedellä. Myös yhdistelmämuoviliitosta voisi testata lisää. Voisi testata esim. kovetusta eri valokovettimilla ja pyrkiä vielä tasalaatuisempaan tes-tisarjan valmistusmenetelmään. Erilaisilla hiekoilla puhaltamista ja eri akryylejä voisi myös vertailla.

Lähteet

3M Espe. Rocatec bonding. Scientific product profile 2012. Verkkodokumentti.
<<http://multimedia.3m.com/mws/media/3167270/rocatectm-junior-bonding-system.pdf>>
Luettu 11.9.2015

An introduction to Electron Microscopy.n.d Fei. Verkkodokumentti.
<<http://www.fei.com/introduction-to-electron-microscopy/types/>>.
Luettu. 1.10.2015.

Bulbul, Mehmet – Kesim, Bulent 2010. The effect of primers on shear bond strength of acrylic resins to different types of metals. The journal of prosthetic dentistry 103 (5).

Combe, E.C. 1986 Notes on dental materials. New York: Churchill Livingstone Inc. 5. painos.

Danville materials. StarFill 2B. Käyttöohje.

E. M. Bevan, 1965. Procecing cold-curing acrylic resin under presure. Australian Dental Journa, June 1965.

GC Metalprimer II, Sidosaine kiinnittämään hammaslääketieteellisiä akrylaatteja metalliin. Verkkodokumentti.
<<http://plannet.pladent.com/productattachmentdownload/SanaStore/5639851447>>.
Luettu 29.8.2015

Led Thechnology here to stay 2002. 3M Espe. Verkkodokumentti.
<http://multimedia.3m.com/mws/media/1680930/led-technology.pdf?&fn=curing_light_supplement.pdf>.
Luettu 1.10.2015

NaBadalung, Darunee P. – Powers, John M. – Connelly, Mark E. 1998. Comparison of bond strengths of three denture base resins to treated nickel-chromium-beryllium alloy. The Journal of Prosthetic Dentistry 80 (3).

Matinlinna, Jukka Pekka 2007. Silaanit, zirkonia ja adheesio hammastekniikassa. Hammasteknikko 62 (4).

Matinlinna, Jukka Pekka 2008. Hammashoidon ja hammastekniikan komposiitit. Hammasteknikko 63 (2).

May, Kenneth B – Fox, Jalani – Razzoog, Michael E. – Lang, Brien R. 1995. Silane to enhance the bond between polymethyl methacrylate and titanium. The Journal of Prosthetic Dentistry 73 (5)

KvantiMotv. Hajontaluvut. Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto 2003. Verkkodokumentti.
<<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/hajontaluvut/hajontaluvut.html>>.
Luettu 8.10.2015.

O'Brien, William J. 1997. Dental materials and their selection. 2 painos. Quintessence Publishing Co, Inc.

Ohkubo, Chikahiro – Watanabe, Ikuya – Hosoi, Toshio – Okabe, Toru. 2000. Shear bond strengths of polymethyl methacrylate to cast titanium and cobaltchromium frameworks using five metal primers. Journal of Prosthetic Dentistry 83 (1).

Restorative dental materials 1996. Craig, Robert G. (toim.) St. Louis, Missouri: Mosby-year book Inc. 10. painos.

Tyllilä, Kari 2007. Elävän ja elottoman vaikea liitto. Verkkodokumentti.
<<http://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2007-08-01/Elävän-ja-elottoman-vaikea-liitto-3263495.html>>.
Luettu 8.10.2015

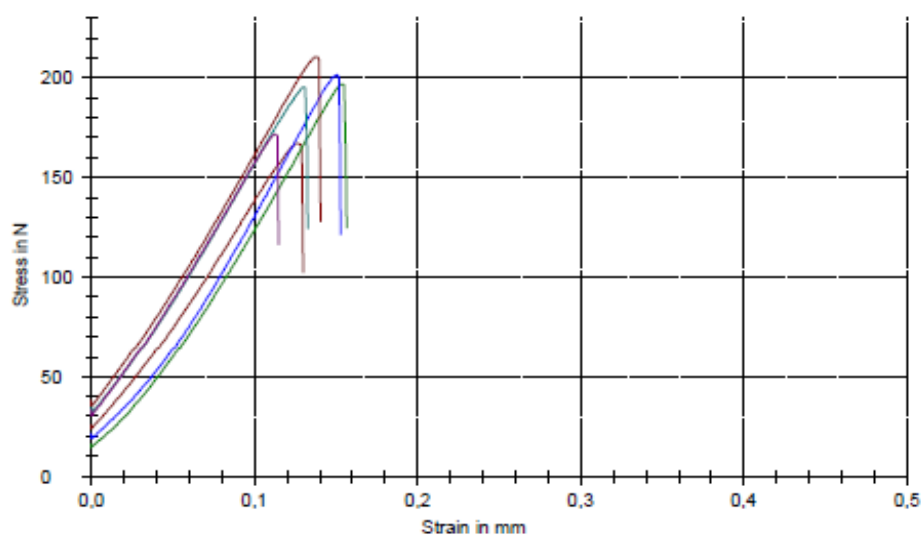
Liite 1. Hiekkapuhallus 11.12.2014

Parameter table:

Customer : ABB
Tester : R. Baaten
Test standard : ASTM D 2344
Material : Carbonfiber Composite - mat A - 20C
Load cell : 10kN
Extensometer : -
Specimen grips : nose: d=6,0mm, supports: d=3,0mm
Machine data : Control SN: 150869
Crosshead SN: 150869
Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	167,34
3	196,99
4	201,70
6	195,44
7	171,73
8	210,52

Series graph:

Liite 2. Hiekkapuhallus 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

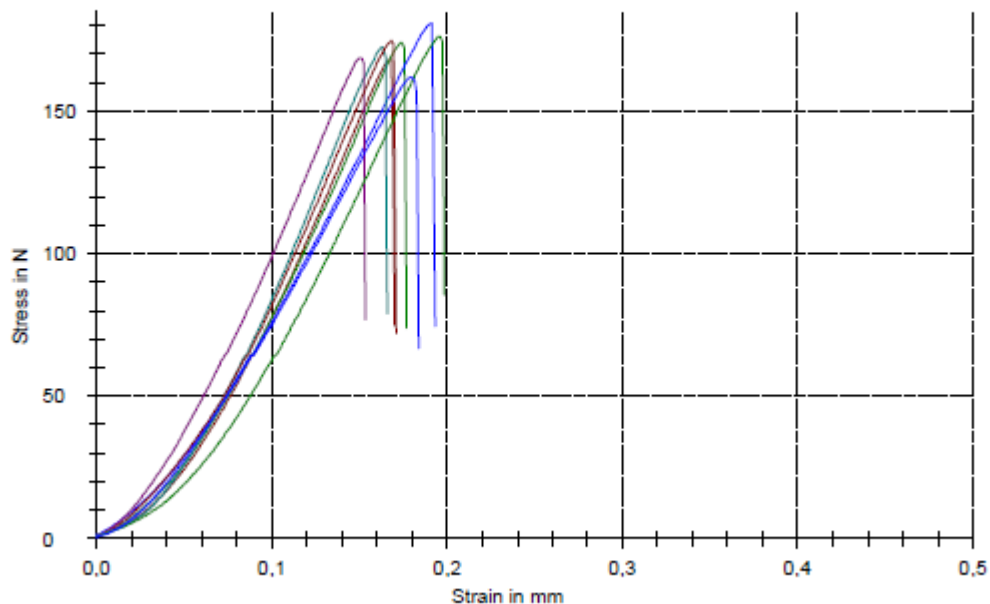
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips	:
Material	:	Machine data	:
		Control SN: 150869	
		Crosshead SN: 150869	
		Force SN: 150870 10 kN	

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	168,21
2	50,27	174,15
3	50,27	180,81
4	50,27	172,34
5	50,27	168,57
6	50,27	174,62
7	50,27	176,15
8	50,27	161,87

Series graph:

Liite 3. Metal Primer 11.12.2014

Zwick / Roell

Standard report

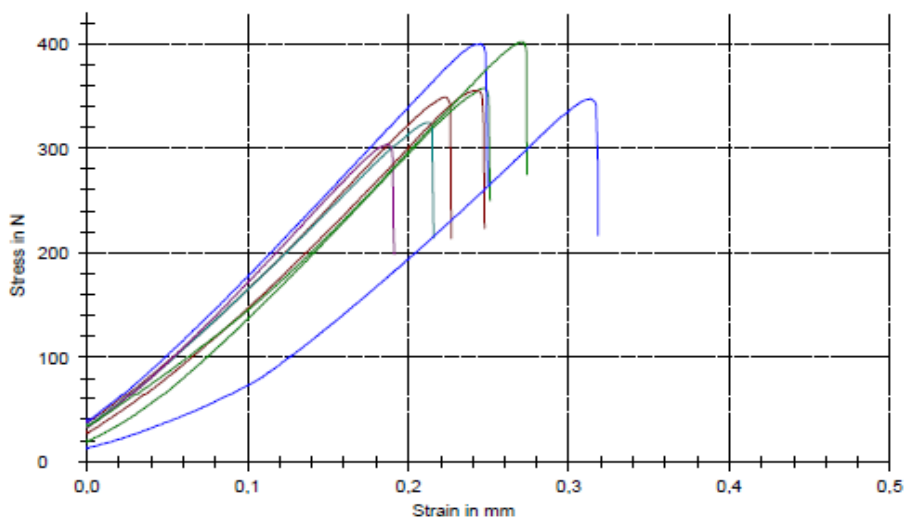
11.12.2014

Parameter table:

Customer : ABB
Tester : R. Baaten
Test standard : ASTM D 2344
Material : Carbonfiber Composite - mat A - 20C
Load cell : 10kN
Extensometer : -
Specimen grips : nose: d=6,0mm, supports: d=3,0mm
Machine data : Control SN: 150869
Crosshead SN: 150869
Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	348,83
2	357,64
3	399,75
4	324,59
5	303,90
6	355,37
7	401,95
8	347,20

Series graph:

Liite 4. Metal Primer 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

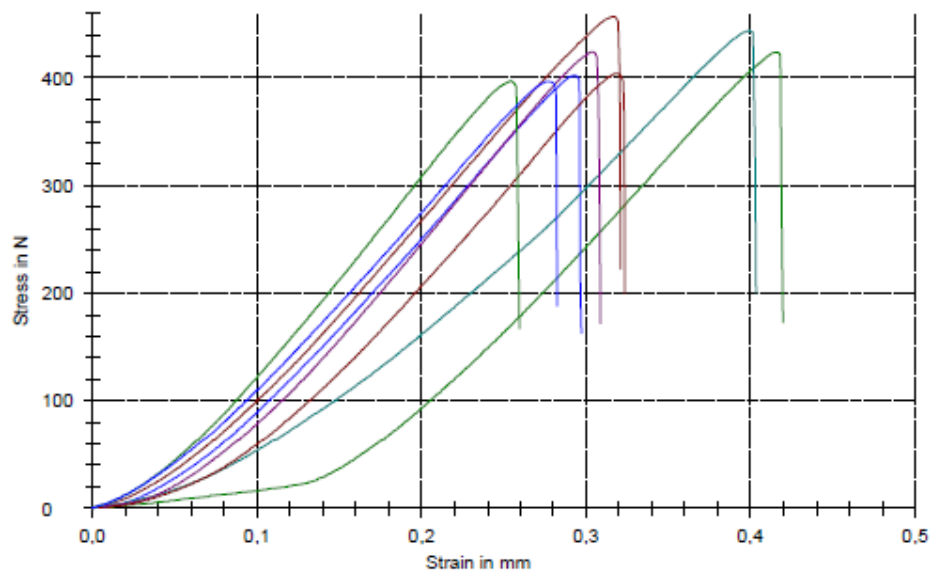
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips:	
Material	:	Machine data	:
		Control SN:	150869
		Crosshead SN:	150869
		Force SN:	150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	457,19
2	50,27	424,12
3	50,27	402,42
4	50,27	444,20
5	50,27	424,65
6	50,27	404,36
7	50,27	397,02
8	50,27	396,93

Series graph:

Liite 5. Rocatec 11.12.2014

Zwick / Roell

Standard report

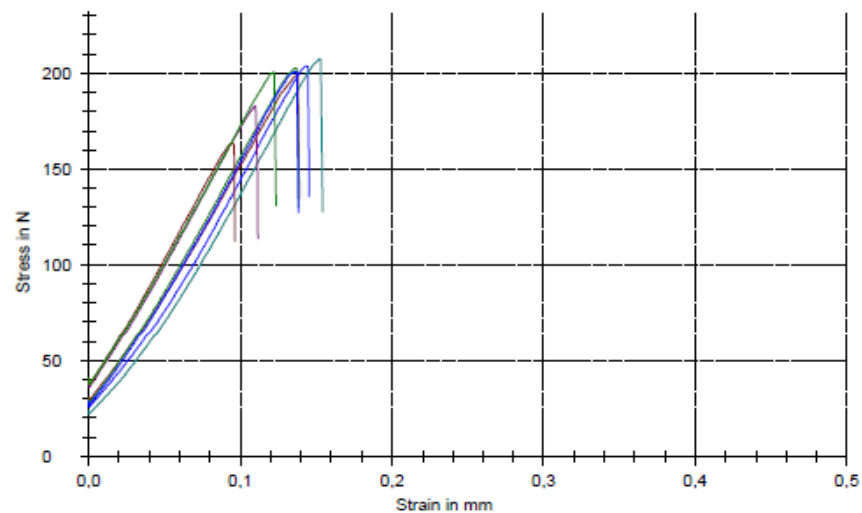
11.12.2014

Parameter table:

Customer : ABB
Tester : R. Baaten
Test standard : ASTM D 2344
Material : Carbonfiber Composite - mat A - 20C
Load cell : 10kN
Extensometer : -
Specimen grips: nose: d=6,0mm, supports: d=3,0mm
Machine data : Control SN: 150869
Crosshead SN: 150869
Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	198,67
2	202,61
3	203,85
4	207,33
5	182,84
6	163,38
7	200,73
8	200,81

Series graph:

Liite 6. Rocatec 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

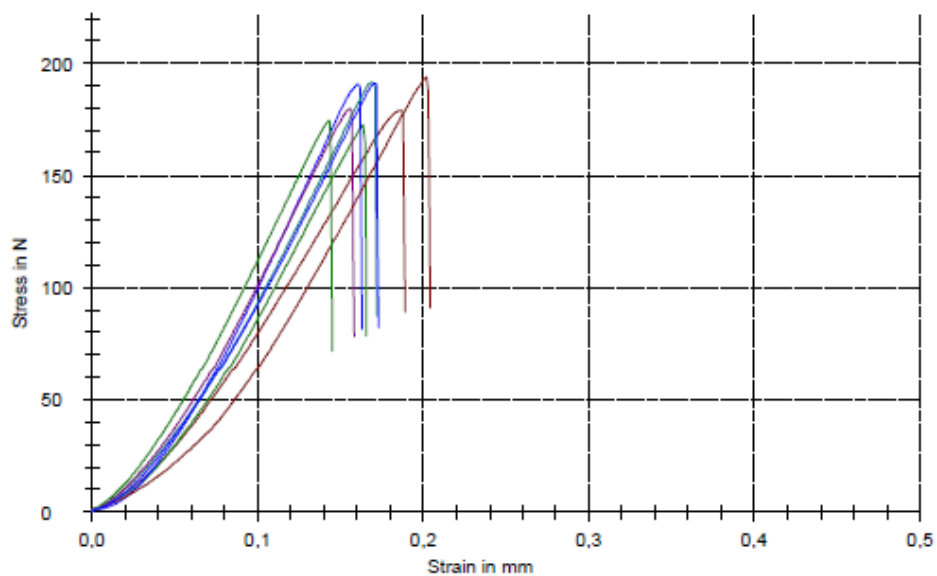
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips	:
Material	:	Machine data	:
		Control SN:	150869
		Crosshead SN:	150869
		Force SN:	150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	179,13
2	50,27	172,58
3	50,27	190,49
4	50,27	191,46
5	50,27	179,71
6	50,27	193,70
7	50,27	174,66
8	50,27	191,02

Series graph:

Liite 7. Rocatec + opaakki 11.12.2014

Zwick / Roell

Standard report

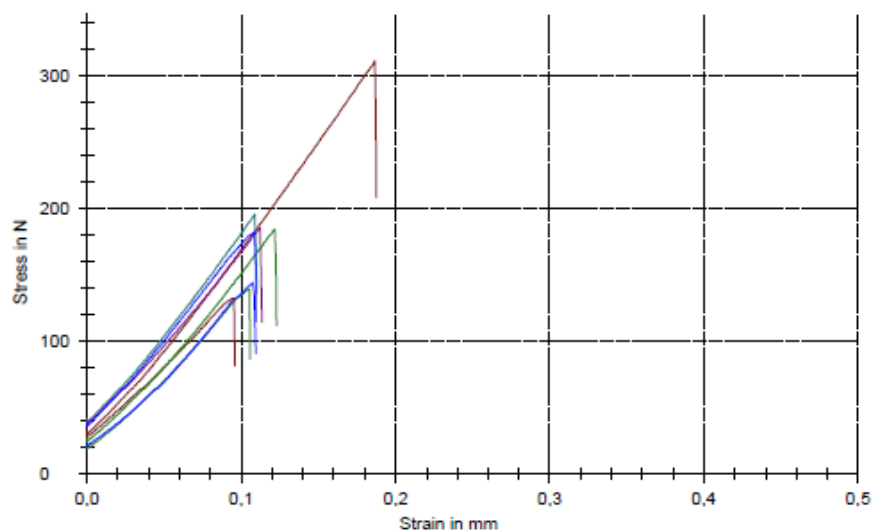
11.12.2014

Parameter table:

Customer : ABB
Tester : R. Baaten
Test standard : ASTM D 2344
Material : Carbonfiber Composite - mat A - 20C
Load cell : 10kN
Extensometer : -
Specimen grips : nose: d=6,0mm, supports: d=3,0mm
Machine data : Control SN: 150869
Crosshead SN: 150869
Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	311,40
2	138,80
3	143,74
4	195,50
5	185,34
6	131,64
7	184,02
8	181,48

Series graph:

Liite 8. Rocatec + opaakki 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

22.04.2015

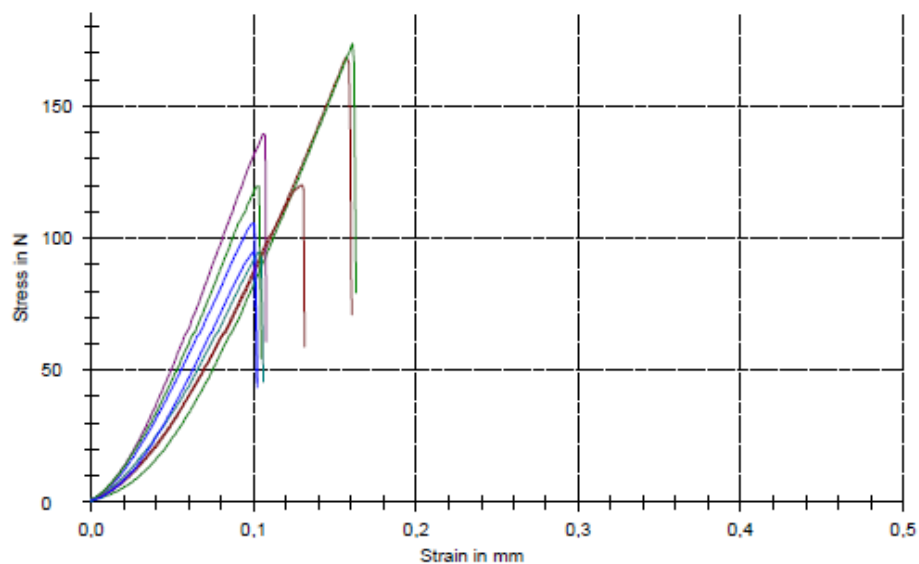
Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips	:
Material	:	Machine data	:
		Control SN:	150869
		Crosshead SN:	150869
		Force SN:	150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	168,40
2	50,27	173,60
3	50,27	105,67
4	50,27	94,58
5	50,27	139,46
6	50,27	120,18
7	50,27	119,54
8	50,27	95,03

Series graph:



Liite 9. Yhdistelmämuovi 11.12.2014

Zwick / Roell

Standard report

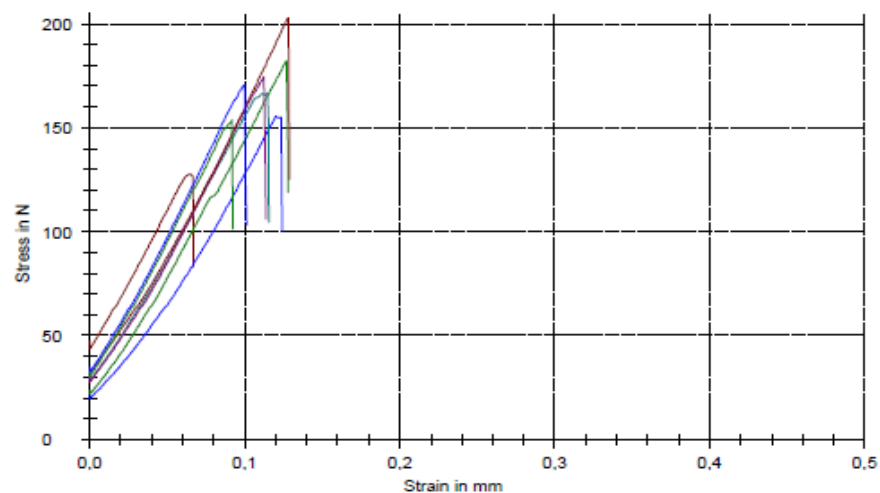
11.12.2014

Parameter table:

Customer : ABB
 Tester : R. Baaten
 Test standard : ASTM D 2344
 Material : Carbonfiber Composite - mat A - 20C
 Load cell : 10kN
 Extensometer :-
 Specimen grips: nose: d=6,0mm, supports: d=3,0mm
 Machine data : Control SN: 150869
 Crosshead SN: 150869
 Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	127,79
2	182,33
3	155,53
4	166,73
5	174,53
6	202,86
7	153,76
8	170,45

Series graph:

Liite 10. Yhdistelmämuovi 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

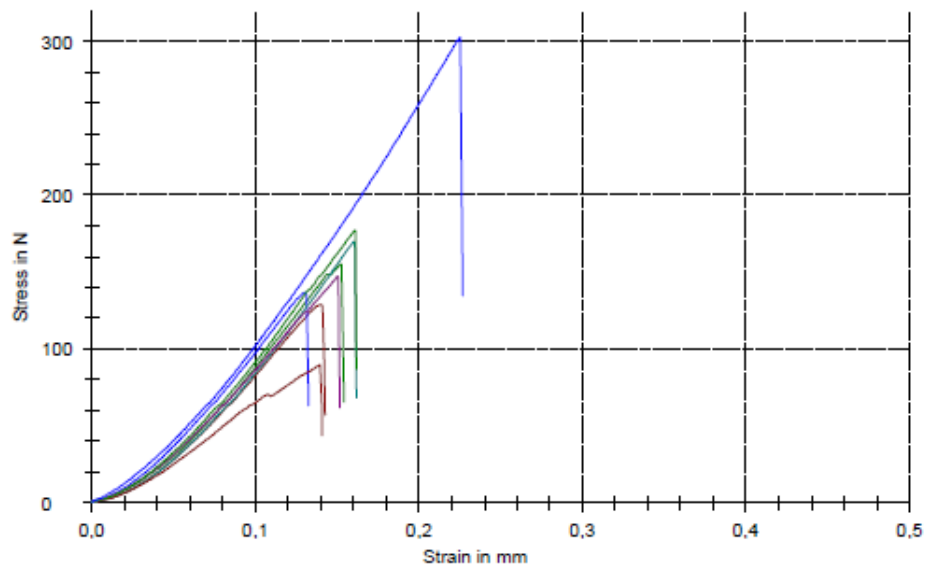
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips	:
Material	:	Machine data	:
		Control SN: 150869	
		Crosshead SN: 150869	
		Force SN: 150870 10 kN	

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	128,95
2	50,27	155,32
3	50,27	136,55
4	50,27	169,65
5	50,27	147,13
6	50,27	89,73
7	50,27	177,42
8	50,27	302,63

Series graph:

Liite 11. Yhdistelmämuovi 8.10.2015

Zwick / Roell

Standard report

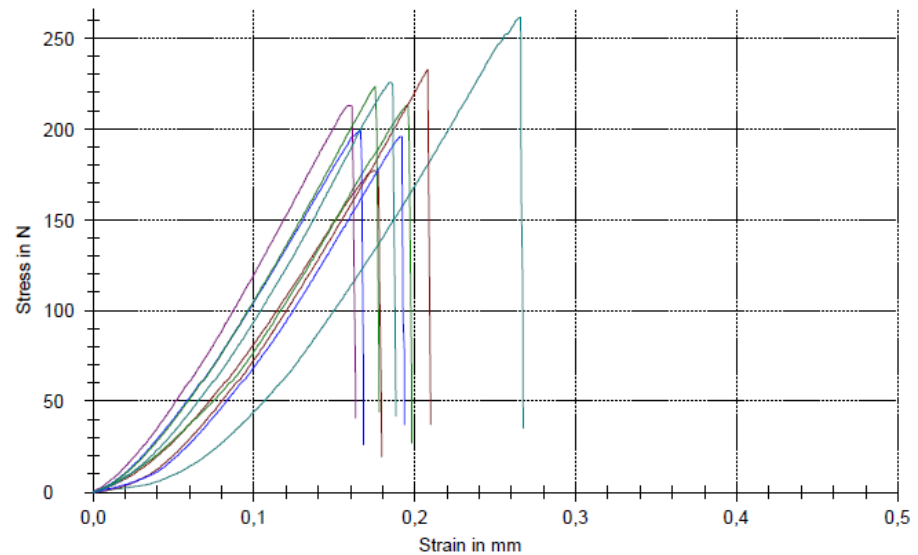
08.10.201

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips:	
Material	:	Machine data	: Control SN: 150869
			: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax N
1	177
2	213
3	199
4	261
5	213
6	233
7	223
8	196
9	226

Series graph:

Liite 12. Jälkivalokovetettu sarja 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

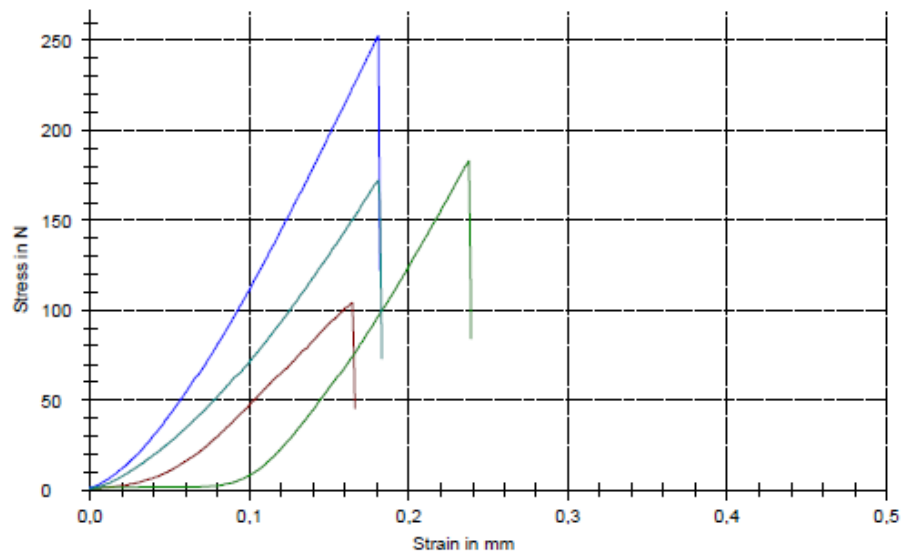
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips:	
Material	:	Machine data	: Control SN: 150869
			: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	104,28
2	50,27	183,05
3	50,27	252,66
4	50,27	171,96

Series graph:

Liite 13. Hydrolyysi 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

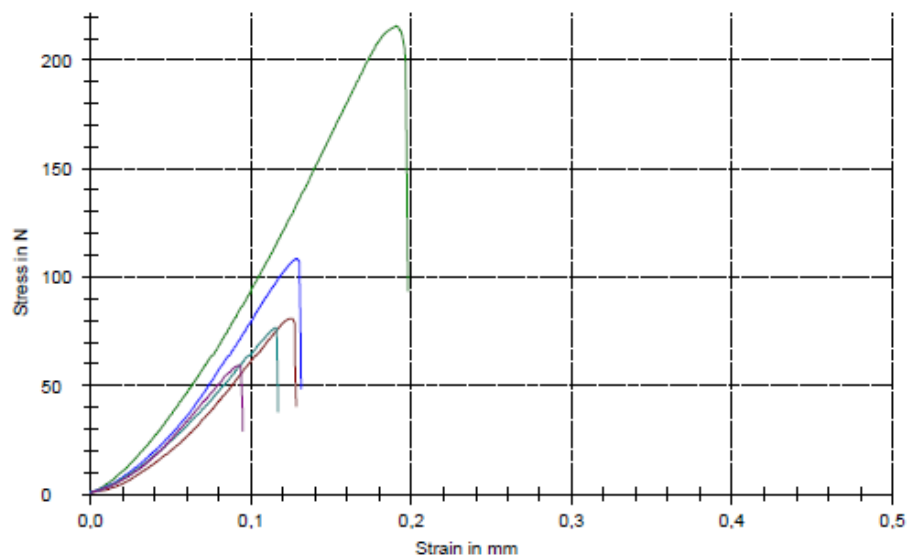
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips	:
Material	:	Machine data	: Control SN: 150869
			Crosshead SN: 150869
			Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	81,06
2	50,27	215,68
3	50,27	108,22
4	50,27	76,57
5	50,27	59,26

Series graph:

Liite 14. Elimäkisarja 22.4.2015

Zwick / Roell

Standard report

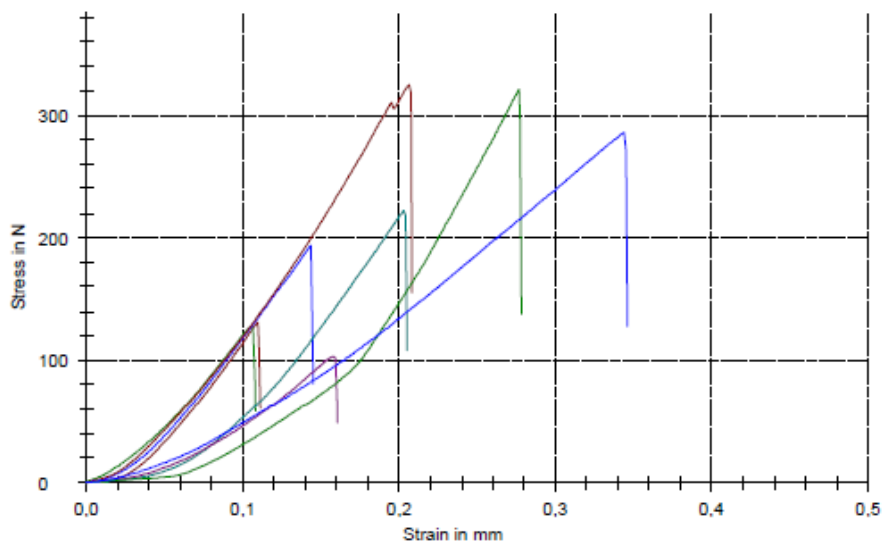
22.04.2015

Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	:
Test standard	:	Specimen grips:	
Material	:	Machine data	: Control SN: 150869
			: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	A mm ²	Fmax N
1	50,27	131,04
2	50,27	127,48
3	50,27	193,79
4	50,27	222,23
5	50,27	102,83
6	50,27	324,73
7	50,27	321,37
8	50,27	286,21

Series graph:

Liite 15. Akryyli 8.10.2015

Zwick / Roell

Standard report

08.10.2015

Parameter table:

Customer	:		Load cell	:	
Tester	:		Extensometer	:	
Test standard	:		Specimen grips	:	
Material	:		Machine data	:	Control SN: 150869
					Crosshead SN: 150869
					Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	Fmax
	N
1	941
2	843
3	949

Series graph: