

Sami Vaholuoto

Liimojen vertailu hissirakenteiden kiinnityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

29.4.2016

Tekijä Otsikko	Sami Vaholuoto Liimojen vertailu hissirakenteiden kiinnityksessä
Sivumäärä Aika	47 sivua + 15 liitettä 29.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	-
Ohjaajat	Yliopettaja Kai Laitinen Innovaatiojohtaja Ari Hänninen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia liimaliitosten toimivuutta hissirakenteiden kiinnityksessä Kone Oy:n sovelluksissa. Työssä tutkittavat kohteet ovat hissikorin listojen kiinnitys liimalla nykyisen ruuvikiinnityksen sijaan, hissikuilussa kulkevan johtokourun kiinnitys liimalla ruuvikiinnityksen sijaan sekä johtojen järjestely ja niputtaminen hissikuilussa liimattavilla kiinnikkeillä. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää sopivin liima kuhunkin sovellukseen.</p> <p>Hissikuilun johtopidikkeeseen valittujen liimojen toimivuutta vertailtiin T-kuorimislujuus- ja leikkauslujuustestillä. T-kuorimislujuus- ja leikkauslujuustestissä otettiin mallia standardista ASTM D 1876, ja leikkauslujuustestissä mukailtiin standardia ASTM D 1002. Kokeessa vertailtiin syanoakrylaatti- ja aktivaattorikovetteista akryyliiimaa sekä hybridliimaa.</p> <p>Hissikuilun johtokourun kiinnitystä liimalla tutkittiin T-kuorimislujuus- ja leikkauslujuustestillä, jossa mukailtiin standardia ASTM D 1876. Kokeissa vertailtiin syanoakrylaatti- ja aktivaattorikovetteista akryyliiimaa sekä kaksikomponenttista akryyliiimaa.</p> <p>Kokeiden perusteella syanoakrylaattiliima oli parhaiten sopiva vaihtoehto ruuveille, niin johtokourun kuin johtopidikkeenkin liimaamiseen. Hissikorien listojen liimaukseen ehdotetaan muutoksia nykyiseen toimintatapaan, jotta listojen liimaus olisi mahdollista.</p>	
Avainsanat	Liimaus, syanoakrylaatti, akryyli, liimaliitos

Author(s) Title	Sami Vaholuoto Comparasion of glues for attaching the elevator structures
Number of Pages Date	47 pages + 15 appendices 29 april 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Material Technology and Surface engineering
Specialisation option	-
Instructor(s)	Kai Laitinen Principal Lecturer Ari Hänninen Innovation Manager
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to research if Kone Oy can replace conventional bolt and screw joint with a glue joint. Subjects to be studied in the Banchelor's thesis were the attaching the skirting with glue, gluing the hoistway wire duct in its place. And reorganizing free hoistwire cables with a mechanical fixing that will be glued on the hoist way wall. The aim of this study was to find the right glue for each application.</p> <p>Glues that had been selected for the Hoistway cable hook application were compared by the T-peel test and the shear strength test. The T-peel test was carried out according to ASTM D 1876 standard and the shear strength test was accomplished according to ASTM D 1002 standard. The comparasion included a cyanoacrylateglue, an activator curing acrylate and a hybrid adhesive..</p> <p>The attachment of the hoistway wire duct by glue was studied by the ASTM D 1876 T-peel test. The experiment included a cyanoacrylateglue, a two component acrylic glue and an avtivator curing acrylate glue.</p> <p>On the basis of the results, the best alternative for bolt attachment on the hoistway wire-duct and for the mechanical fixing in the hoistway is syanoacrylate. This thesis recomends changes to the current procedure so that the car skirting could be attached by glue.</p>	
Keywords	gluing, cyanoacrylate glue, acrylic, glue joint.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teollinen liimaus	2
2.1	Liimauksen teollinen historia	2
2.2	Liiman nimeäminen	3
2.3	Liiman koostumus	5
2.4	Liimaliitoksen edut	6
2.5	Liimaliitoksen heikkoudet	8
2.6	Liimaliitoksen irrotus	10
3	Liimatyytit	11
3.1	Akryyli	11
3.2	Polyuretaani	12
3.3	Epoksit	14
3.4	Liimateipit	15
3.5	Silikoniliimat	16
3.6	Silaanipohjaiset- tai ms-polymeriliimat	17
4	Liimaliitoksen suunnittelu	18
4.1	Liiman tartuntamekanismit	18
4.2	Liimaliitoksen kuormitustavat	20
4.3	Liitosgeometria	21
4.4	Johtoripustimen suunnittelu	24
4.5	Pinnan esikäsittely	25
5	Liiman levitys	25
6	Koemateriaalit	27
7	Koekappaleiden valmistus	29
8	Vetokokeiden suoritus	34
9	Tulokset	35
10	Tulosten tarkastelu	40

11	Johtopäätökset	41
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. SBR-kumin ominaisuuksia	
	Liite 2. Liimaliitoksen murtumatyypit	
	Liite 3. Pikaliiman eli syanoakrylaatin käyttötiedote	
	Liite 4. Aktivaattori kovetteisen akryyliiiman käyttötiedote	
	Liite 5. Hybridiliiman käyttöturvatiedote	
	Liite 6. Kaksikomponentti akryyliiiman käyttötiedote	
	Liite 7. Syanoakrylaattiliimalla liimattujen kappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestien voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	
	Liite 8. Aktivaattorikovetteisella akryyliiimalla liimattujen kappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	
	Liite 9. Hybridiliimalla liimattujen kappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	
	Liite 10. Syanoakrylaatti liimalla liimattujen kappaleiden 1–3 Leikkausvoima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat, kuvat murtumapinnasta ja leikkauslujuuden laskenta	
	Liite 11. Aktivaattori kovetteinella akrylaattiliimalla liimattujen kappaleiden 1–3 Leikkausvoima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat, kuvat murtumapinnasta ja leikkauslujuuden laskenta.	
	Liite 12. Syanoakrylaattiliimalla liimattujen muovikoekappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta	
	Liite 13. Aktivaattorikovetteisella akryyliiimalla liimattujen muovikoekappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	
	Liite 14. Aktivaattori kovettuvalla akryyliiimalla liimattujen muovikoekappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	
	Liite 15. Kaksikomponentti akrylaattiliimalla liimattujen muovikoekappaleiden 1–3 T-kuorimisljuuustestin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.	

1 Johdanto

Kone Oy on vuonna 1910 perustettu yhtiö, jonka liikeideana on tarjota asiakkailleen edistyksellisiä hissejä, liukuportaita ja automaattioivia sekä monipuolisia ratkaisuja niiden huoltoon ja peruskorjaukseen [1].

Henkel on maailmanlaajuinen yritys, jonka liikeideana on tarjota johtavia tuotemerkkejä ja teknologioita kolmella liiketoiminta alueella: pesu ja puhdistusaineet, kauneudenhoito sekä liimateknologiat. Henkelin tuotemerkkejä ovat muun muassa Loctite, Schwarzkopf, Tolu, Plastic Padding, Gliss, Havu mäntysuopa, Pattex, Got2b, Mini Risk [2].

Opinnäytetyön tilaaja on KONE Oy, ja työ suoritetaan yhteistyössä Henkelin kanssa. KONE on pitänyt työntekijöilleen luennon, joka on välitetty netin kautta KONE Oy:n tutkimus- ja kehitysosastoille eri puolille maailmaa. Luennossa käytiin läpi liiman nykyaikaisia ominaisuuksia ja käyttökohteita. Luennosta on seurannut innovaatiokeskustelu, jossa Koneen eri yksiköt ovat ehdottaneet liimaukseen sopivia kohteita. Opinnäytetyön tarkoitus on keskittyä kahteen ehdotukseen. Ensimmäinen ehdotus on hissien korilistojen liimaus ruuvikiinnityksen sijaan, ja toinen ehdotus on hissikuilussa kulkevan muovisen johtokourun liimaaminen ruuvikiinnityksen sijaan.

Työn tarkoitus ja yksi tavoitteista on tuottaa lisäarvoa Koneen tarjoamiin palveluihin ja tuotteisiin. Lisäarvo voisi olla esimerkiksi 50 % hiljaisempi hissinasennus asuinrakennukseen, sillä poraamisen tarve vähenee huomattavasti, jos hissikuilussa kulkeva johtokouru voidaan liimata seinään. Lisäksi työssä tutkittava liiman käytön lisäys pyrkii nopeuttamaan tai yksinkertaistamaan hissien asennusta työmaalla, mikä laskisi kustannuksia.

2 Teollinen liimaus

2.1 Liimauksen teollinen historia

Liimauksen teollisen historian voidaan katsoa alkaneen 1690-luvulla, kun perustettiin ensimmäinen kaupallinen liimatehdas Hollantiin. Tehdas valmisti liimaa eläinten vuodista. Noin viisikymmentä vuotta myöhemmin Britanniassa alettiin valmistamaan liimaa kalojen ruodoista. Nopeasti tämän jälkeen liimoja alettiin patentoida yhä enemmän: muun muassa luonnonkumi-, luu-, tärkkelys- ja maitoliima. Kirjallisuudessa ei ole yksimielisyyttä siitä, milloin mikäkin liima tuli markkinoille tai milloin tiettyä sideainetta alettiin käyttämään liimassa, koska liimojen kehitys tapahtui yhtä aikaa ympäri maailman. [3; 5, s. 5.]

Kun öljystä alettiin valmistaa synteettisiä polymeerejä, myös liimojen kehitys otti isoja askeleita eteenpäin. Synteettiset liimat korvasivat luonnonliimat nopeasti parempien ominaisuuksien takia. Nykyiset liimat ovatkin peräisin 1900-luvulla kehitetyistä liimoista. Liimojen kehitystä vauhdittivat sovellukset autoteollisuudessa sekä sotateollisuudessa. 1900-luvun puolivälissä liimoja alettiin käyttää myös rakennustyömailla tiivisteiden muodossa. [3.]

Liimaus nyt

Liimojen tulevaisuus näyttää valoisalta, sillä nykyään liimoja käytetään enenevässä määrin teollisuudessa. Liimojen käyttö on noussut tasaisesti 1950-luvulta, samalla kun perinteisemmät liittämismenetelmät, kuten hitsaus- ja niittiliitoksien suosio on laskenut. Liiman käytön kasvu johtuu liimojen parantuneista ja moninaistuneista ominaisuuksista. Liimanvalmistajilla on soveltuva liima melkein jokaiseen teollisuuden tarpeeseen. Aikaisemmin liima on pitänyt levittää käsin tuotantolinjastolla, ja sen on pitänyt antaa kuivua pitkän aikaa. Tämä oli kallista ja aikaa vievää, ja lisäksi työntekijät piti kouluttaa toimimaan kemikaalien kanssa. Automaation kehitys ja robottien yleistyminen tuotantolinjoilla ovat mahdollistaneet liimojen annostelun ja sekoituksen koneellisesti, mikä vähentää työvoimakustannuksia ja nopeuttaa prosessia. Itse liimat ovat kehittyneet nopeasti kuivuviksi, joten kuivuminen ei rajoita tuotantoa. Ennen kaikkea liimat ovat yleistyneet, koska suunnittelijat ovat tunnistaneet liimojen kiistattomat hyödyt, olipa kyse sitten kokoonpanosta tai herkän komponentin suojaamisesta. Käyttämällä kokoonpanossa ja

osien kiinnityksessä liimaa yritykset hyötyvät tuotteidensa paremmasta laadusta ja joustavammista valmistusprosesseista. [7; 6.]

2.2 Liiman nimeäminen

Englannin kielessä sana ”adhesive” tarkoittaa mitä tahansa ainetta, joka pystyy sitomaan materiaalit yhteen. Sana kattaa sementin, liiman, hartsin, pihkan ja liisterin. Suomen kielestä ei löydy sanalle sopivaa termiä, jolla voisi viitata kaikkiin näihin termeihin. Suomen kielessä puhutaan yleisesti liimaamisesta, kun tarkoitetaan kappaleiden liittämisestä yhteen polymeeripohjaisella tahnamaisella aineella. [13.]

Sideaineen mukaan nimettävät liimat

Kun liimat nimitetään niissä käytettävän sideaineen mukaan, nimeämismenetelmä on toimiva, koska kullakin sideaineella on sille tyypilliset ominaisuudet. Hyvin laaja-alainen liiman sideaineeseen perustuva luokittelutapa on luokittelu luonnonmukaiseksi tai synteettiseksi liimaksi. Luonnon liimoissa on luonnonpolymeeriketjuja, joita esiintyy esimerkiksi eläinten luissa, nahassa, maitotuotteissa ja kasveissa. Synteettisissä liimoissa käytetään sideaineena synteettisiä polymeerejä. Synteettisiä liimoja on paljon markkinoilla, ja ne ovatkin syrjäyttäneet luonnon liimat monissa käyttökohteissa. [11.]

Kuivumistavan mukaan nimettävät liimat

Liimat voidaan jakaa fysikaalisesti ja kemiallisesti kovettuviin liimoihin. Fysikaalisesti kovettuvissa liimoissa liuotin haihtuu liimasta, ja sideainemolekyylit kiinnittyvät toisiinsa, kun taas kemiallisesti kovettuvissa liimoissa kuivumista edeltää jokin kemiallinen reaktio, jonka ansiosta liima kuivuu.

Fysikaalisesti kuivuvat liimat ovat yleensä alttiita vedelle ja liuottimille sekä korkeille lämpötiloille. Liimoja kutsutaan termoplastisiksi liimoiksi. Termillä viitataan ominaisuuksiin, jotka ovat tyypillisiä kestopuoveille. Fysikaalisesti kovettuvien liimojen sideaine on valmiiksi yhtenäisenä polymeerinä liimassa. Kuivumisvaiheessa liuotin haihtuu liimasta, jolloin sideainemolekyylit tulevat lähelle toisiaan ja sitoutuvat toisiinsa molekyylien välillä dispersiovoimilla. [8.]

Kemiallisesti kovettuvat liimat kuivuvat kemiallisen reaktion seurauksena. Kemiallisesti kovettuvat liimat jaetaan vielä yksi- ja kaksikomponenttisiin liimoihin. Yksikomponenttisisä liimoissa liima voi reagoida ilman hapen kanssa tai kovettua anaerobisesti. Kaksikomponenttisisä liimoissa on kovetin ja hartsiosa. Kun osat yhdistetään, ne reagoivat kemiallisesti keskenään linkittyen yhtenäiseksi kalvoksi. [9.]

UV-kovettuvat liimat polymerisoituvat altistuessaan ultraviolettivalolle. UV-kovettuminen perustuu fotokemialliseen reaktioon. UV-kovettuva liima koostuu monomeereistä, oligomeereistä ja pienestä määrästä fotoinitiaattoreja. Kun liima altistetaan UV-valolle, liima kovettuu hyvin nopeasti. [12.]

Liiman nimeäminen käyttökohteen mukaan

Liimat voidaan nimetä myös kansanomaisesti käyttötarkoituksen tai sille tyypillisen ominaisuuden mukaan. Esimerkkejä näin nimetyistä liimoista ovat pika-, paperi-, kangas-, metalli-, puu- ja kuumaliimat. Kuumaliimoilla tarkoitetaan liimaa, joka sulatetaan tai pehmennetään kuumentamalla. Liima annostellaan kuumana ja liima kovettuu kun liiman lämpötila laskee. Kuumaliimat perustuvat termoplastisiin hartseihin, jotka voidaan sulattaa kokonaan. [10, s. 18.]

Liiman muut nimeämistavat

Liima voidaan nimetä myös sitomismekanismin mukaan mekaanisesti ja kemiallisesti sitoviin liimoihin. Mekaanisesti sitovat liimat tunkeutuvat liimattavaan materiaaliin pitäen näin liimattavat kappaleet toisissaan kiinni. Kemiallisesti sitovien liima-aineiden molekyylit muodostavat sidoksia liimattavan materiaalin molekyyliden kanssa. Nykyisin on myös käytössä hybridi- tai seosliima nimitys. Hybridiliimalla viitataan liimaan, jossa on yhdistetty kaksi tai useampia hartseja, esimerkiksi kesto- ja kertamuovipohjaisia polymeerejä on yhdistetty samaan liimaan. Näin liimoille saadaan hyvät puolet molemmista sideaineista.[8; 9.]

2.3 Liiman koostumus

Liimat koostuvat useista kemiallisista komponenteista, joilla on jokin erityinen tehtävä liimassa. Liimassa on sideainepolymeeri, joka määrittelee liiman monet ominaisuudet, kuten pinnan kostutuksen, tartuntalujuuden, kemikaalien ja ympäristön keston.

Lisäksi on muita komponentteja esimerkiksi lisä- ja täyteaineita, jotka määrittelevät liiman erityisominaisuudet kuten sähkönjohtokyvyn. Usein liimassa on myös liuotinta, jonka tehtävänä on liuottaa sideaine ja liiman raaka-aineet itseensä. Liuottimena voi toimia vesi tai orgaaninen yhdiste. [14, s. 292.]

Sideaine

Kemiallisesti kuivuvat liimat kovettuvat kemiallisten reaktioiden kautta. Yleisesti kemiallinen reaktio on polyadditio, polykondensaatio tai polymerisaatio. Reaktiot tapahtuvat monomeerien välillä, kun monomeerit yhdistyvät toisten monomeerien kanssa, jolloin syntyy polymeeriketju. Syntyvällä polymeeriketjulla voi olla elastomeereille tai kerta- ja kestopuoveille tyypillisiä ominaisuuksia. Kaksikomponenttiliimoissa käytettävät hartsit luetaan monomeereiksi.

Fysikaalisesti kuivuissa liimoissa sideaine on valmis polymeeri, joten sen kuivumisessa ei tapahdu monomeerien yhdistymistä, mutta fysikaalisesti kuivuvat liimat tarvitsevat energiaa, esimerkiksi lämpöä tai painetta, muodostaakseen tartunnan. Fysikaalisesti kuivuvat liimat sisältävät termoplastisia polymeerejä, jotka silloittuessaan voivat muodostaa elastomeerin tai kestopuovin kaltaisia rakenteita. Koska termoplastiset polymeerit ovat lineaarisia tai haaroittuneita, usein sideaine on liuotettuna liuottimiin. [14, s. 293–295.]

Liuottimet

Liuottimet ovat nesteitä, jotka muodostuvat yhdestä tai useammasta orgaanisesta yhdisteestä tai vedestä. Liuottimen päätehtävänä voidaan pitää sideaineen liuottamista, niin että sideaine voi reagoida liiman lisäaineiden kanssa. Liuottimilla voidaan säätää liiman viskositeettia, niin että sitä on helppo annostella. Fysikaalisesti kuivuville liimoille liuottimen tärkeä ominaisuus on niiden haihtuminen kuivamisvaiheessa. [14, s. 295–296]

Täyteaineet

Täyteaineet ovat yleensä ottaen ei-tarttuvia aineita. Täyteaineita käytetään parantamaan esimerkiksi mekaanista lujuutta, lämmön johtavuutta ja tarttuvuutta. Yleisesti käytettyjä aineita ovat muun muassa piidioksidi, savi ja alumiinijauhe. [14, s. 296.]

Pehmittimet ja lisäaineet

Pehmittimet ovat liuotteita, joilla on alhainen tai mitätön haihtuminen ja jotka lisäävät liiman työstettävyyttä sekä joustavuutta. Pehmittimillä voidaan laskea liiman lasimuu-
toslämpötilaa, kovuutta, jäykkyyttä ja koheesiolujuutta. [14, s.301–302.]

Lisäaineet ovat kemiallisia yhdisteitä, joita lisätään helpottamaan liimaustyötä sekä parantamaan liiman kemiallisia ominaisuuksia. Lisäaineet voivat olla palonsuoja-
aineita, UV-stabiloijia, antioksidantteja tai pigmenttejä. [14, s. 306.]

2.4 Liimaliitoksen edut

Kokoonpanomenetelmä valitaan suunnitteluvaiheessa ja se on tärkeä vaihe tuotteen onnistumisen kannalta. Suunnittelussa pyritään optimoimaan laatu, yksinkertaistamaan valmistustekniikkaa sekä minimoimaan kustannuksia. Kaikkia liittämismenetelmiä kuten niittausta, pulttausta, hitsausta, juottoa sekä liimausta on tutkittava asiantuntevasti. Kun pyritään löytämään liittämiskäyttöön kokoonpanoon, sovellusmahdollisuuksia tutkitaan kolmesta näkökulmasta. Ensimmäisenä mietitään kokoonpanolta vaadittavat ominaisuudet, sitten liitettävien aineiden luonne, kappaleiden muoto ja koko. Nykyisin liimoja käytetään teollisuudessa yhä enemmän korvaamaan perinteisiä pultti-, niitti-, ja hitsausliitoksia. Liimaliitoksella onkin monia hyviä ominaisuuksia, joita käsitellään seuraavissa luvuissa tarkemmin. [16, s.46.]

Jännityksen jakautuminen

Liimaliitoksessa jännitys jakautuu tasaisesti koko liitoslevyelle, kun taas pultti-, niitti- ja hitsausliitoksissa liitoskohtiin muodostuu jännityshuippuja, jotka voivat aiheuttaa lii-

toksen ennen aikaiseen pettämiseen. Jännityspiikkien lisäksi hitsaus voi aiheuttaa myös metallurgisia muutoksia liitosmateriaaleissa ja näin heikentää liitoksen kestävyyttä.

Joustavuus ja tiiviys

Liimaliitos on joustava. Liima sallii erilaisten materiaalien liittämisen yhteen, esimerkiksi auton tuulilasi liimataan auton koriin. Liimaliitoksesta saadaan myös täysin tiivis. Liimaa käytetäänkin esimerkiksi säiliöiden ja altaiden kokoamisessa. Lisäksi liimalla on kyky vähentää värähtelyä ja toimia samalla äänieristeenä. [16, s.47–48.]

Keveys

Ilmailuteollisuudessa käytetään liimaa useista syistä. Yksi merkittävimmistä on painon säästö. Ilmailussa yleisesti käytettävät kennorakenteet omaavat edullisen lujuuspainosuhteen. Kennorakenteessa käytetty liimasauma painaa 100–300 g/m² riippuen käytetystä liimasta, mutta se on kuitenkin kevyempi kuin pultti- tai niittiliitos. Pultein ja niitein kiinnittäminen pakottaa huomioimaan reikien poraamisen vaikutuksen ja samalla lujuuden laskemisen tärkeissä levyjen kohdissa. Näin ollen liimattu rakenne on kevyempi kuin pultein tai niitein kiinnitetty. [16, s.50.]

Esteettisyys

Tietyissä sovelluksissa tuotteen ulkonäkö on erityisen tärkeää. Hitsauksen roiskeet, niittien- tai ruuvien kannat voivat pilata tuotteen ulkonäön. Liimausta käytettäessä tuotteeseen ei porata ylimääräisiä reikiä eikä tuotteeseen tule painaumia tai muunlaisia muodonmuutoksia liitoskohtiin. Painaumat pistehitsien tai ruuviliitoksien kohdilla voivat aiheuttaa ikäviä heijastumia muuten kauniiseen pintaan. Lisäksi on tuotteita ja sovelluksia, joissa liiman läpinäkyväliitos on ylivertainen muihin kiinnityksiin verrattuna. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi lasin liimaus lasiin optisissa sovelluksissa ja kännyköiden näyttöjen lasit. [16, s.50; 17.]

Kemiallinen kestävyys

Liimaliitokset kestävät yleensä hyvin happoja, emäksiä ja muita kemikaaleja. Happamassa tai emäksisessä ympäristössä metallit kestävät yleensä heikosti. Tällaisessa

ympäristössä on viisasta korvata metalliset kiinnikkeet liimalla. Liiman kemikaalien kesto riippuu liimasta ja sen sideaineesta, mutta kaksikomponenttiset kestävät yleensä paremmin kemikaaleja kuin yksikomponenttiset. Liimaliitos vähentää myös galvaanisen korroosion riskiä toimimalla eristeenä kahden metallin välissä. Ruuvi- ja niittiliitoksien yleinen korroosionmuoto on rakokorroosio, joka syntyy, kun nestettä pääsee ahtaaseen rakoön. Liimaa käytettäessä ei tällaisia rakoja pääse syntymään. [16, s. 50; 17.]

Muut edut

Liiman käyttö teollisuusprosessissa voi nopeuttaa prosessia etenkin, jos käytetään nopeasti kuivuvia UV-kovettuvia liimoja. Liimaus on usein välineiltään yksinkertaista: tarvitaan vain liimatuubi ja puristin. Tällöin monet erimuotoiset mutterit ja avaimet jäävät pois kokoonpanolinjalta. Liimaa voidaan myös hyödyntää lämmöneristyksessä. Poistamalla hyvin lämpöjohtavat niitit lamellirakenteesta ja korvaamalla ne liimalla, saadaan aikaan parempi lämmöneristys. Liimaa käytetään myös sähköeristeenä elektroniikkateollisuudessa, mutta erikoisliimoilla liimaliitos saadaan myös sähköjohtavaksi. [16, s. 48; 18.]

2.5 Liimaliitoksen heikkoudet

Tänä päivänä liimanvalmistajilla on tuote lähes jokaiseen liitoskohteeseen. Erilaisilla lisäaineilla on paranneltu liiman ominaisuuksia niin, että liima kestää esimerkiksi UV-valoa ja korkeita lämpötiloja. Lisäksi liimaliitoksen kestävyyyteen ja ominaisuuksiin vaikuttavat liiman sideaine ja rakenne sekä se, onko liima yksi- vai kaksikomponenttista. Seuraavat liiman heikkoudet ovatkin liiman yleisiä ominaisuuksia, joissa ei huomioida kehitettyjen erikoisliimojen laajaa tuotevalikoimaa.

Vesi on yksi suurimmista haasteista, kun suunnitellaan liimaamista kokoonpanossa. Vesi voi olla ongelma sekä nestemäisenä että ilmankosteutena. Vesi on haasteellinen, koska vesimolekyylillä on hyvin polaarinen ja vettä on kaikkialla. Vesi tunkeutuu liiman rakenteeseen ja muuttaa sen ominaisuuksia, mutta suurempi ongelma on, että vesi tunkeutuu liiman ja liimattavan materiaalin väliin ja korvaa siellä molekyyliden välisiä sidoksia heikentäen liiman tartuntaa. Vesi asettaa liiman valmistajille ja käyttäjille kaksi haastetta. Ensimmäinen on vähentää veden haitallista vaikutusta liimasaumassa ja

toinen haaste on kehittää tarkka suunnittelutyökalu, joka ennustaa liimaliitoksen pitkäaikaisen toimivuuden käyttöympäristössä. [14, s.790; 20.]

Muita liimaamisen haasteita ovat korkeat lämpötilat ja UV- säteily. Liimat ovat polymeeripohjaisia materiaaleja, joten liimat eivät kestä hyvin korkeita lämpötiloja eivätkä UV-säteilyä. Korkea lämpötila aiheuttaa polymeeriketjun relaksoitumista ja nopeaa lujuuden heikentymistä. Etenkin fysikaalisesti kovettuvat termoplastiset liimat ovat alttiita korkeille lämpötiloille. UV-valo heikentää liiman ominaisuuksia ja käyttöikää katkomalla liiman sideaineketjuja. [19; 20.]

Useimmilla liimoilla lopullisen kovettumisen saavuttaminen kestää useita tunteja tai jopa vuorokauden ja, jos olosuhteet eivät ole optimaaliset, vieläkin pidempään. Tämä voi olla ongelma kokoonpanolinjoilla, sillä liiman täytyy antaa ensin kuivua, ennen kuin liimaliitos voidaan altistaa jännitykselle. Ulkoilmassa tai rakennustyömaalla, jossa olosuhteet eivät ole hallittavissa, kuivuminen voi muodostua ongelmaksi. Liiman kovettuminen tarvitsee riittävän lämpötilan, kosteuden ja liimapintojen läheisyyden toimiakseen kunnolla. [20.]

Joskus liimattavaa pintaa on tarpeellista myös karhentaa tai on tarpeen tehdä muunlaisia esikäsitteilyjä liimattavalle pinnalle tarttuvuuden parantamiseksi. Esikäsitteilyt monimutkaistavat ja hidastavat prosessia, joten asia pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Yleinen ongelma liimauksessa on myös lopullinen kiinnipysyvyys. Usein tuotteiden halutaan olevan osittain purettavissa tai ainakin näkyvien pintojen vaihdettavissa. Liimaliitoksen irrotus on usein työlästä ja pilaa tuotteen ulkonäön, sillä usein liimaliitos ei irtoa, vaan liimattu materiaali murtuu. Usein ruuviliitokset ovat kätevämpiä, jos tuote halutaan myöhemmin purkaa osiin. [20]

VOC-päästöt

VOC-yhdisteet ('volatile organic compound') ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on alle 250 °C. VOC-yhdisteet ovat haitaksi ihmisille, eläimille, kasveille ja vesiliukoisuutensa vuoksi myös pohjaveden laadulle. Joidenkin VOC-yhdisteiden on muun muassa epäilty aiheuttavan syöpää. Yksi suuri VOC-päästöjen lähde ovat ihmisen valmistamat kemialliset liuottimet, joita myös liimatuotteet sisältävät. Tämän vuoksi viranomaiset ovat asettaneet VOC-päästöille rajoja teollisuudessa ja kuluttajatuotteissa. VOC-yhdisteiden päästöjä rajoitetaan niin sanotulla VOC-asetuksella. Tuote-

VOC-asetuksessa määritetään haihtuvien orgaanisten yhdisteiden enimmäismäärät, joita tuotteessa saa olla, ja niiden merkitsemiset tuotteiden etiketteihin. Rakennusmateriaaleille ja kiinteille kalusteille on luotu M-luokat, koska rakennusmateriaaleista emittoituu huoneilmaan VOC-yhdisteitä. Käytössä ovat M1-, M2- ja M3-luokat, joista M1 on vähäpäästöisin ja M3-luokan tuotetta ei ole testattu tai tuote ei ole alittanut sallittuja raja-arvoja. M1-luokka takaa, että tuote on testattu riippumattomassa laboratoriossa ja, että se on vakioituissa testausolosuhteissa täyttänyt neljän viikon iässä M1-luokalle asetetut vaatimukset.[21.]

Teollisuus eli laitos-VOC-asetus koskee kemianteollisuutta eli esimerkiksi liimanvalmistajia ja tehtaita, jotka käyttävät liimaa suuressa määrin kokoonpanossa. Laitoksen on laskettava vuotuinen liuotepäästöjen määrä. Liuotepäästöihin sisältyvät muun muassa ohenteet, pesuliuotteet ja käytetyt liimojen sisältämät liuotteet. Asetuksen mukaan tietyn määrän liuotteita vuodessa kuluttavat laitokset ovat joko luvanvaraisia tai ilmoitusvelvollisia. [21; 22.]

2.6 Liimaliitoksen irrotus

Liimaliitoksen irrotukseen on kolme pääperiaatetta: liuottaminen, lämmittäminen ja mekaaninen kuoritus. Usein irrotusta tehdessä yhdistetään edellä mainittuja periaatteita esimerkiksi syanoakrylaattia irrotettaessa. Ensin liuotetaan liimasaumaa asetonissa, minkä jälkeen mekaanisesti kuoritaan liima pois. Liimaliitos voidaan avata myös lämmön avulla, mutta usein vahvimpien kemiallisten liimaliitoksen purkaminen vaatii kuitenkin niin paljon lämpöä, että käytännössä tuote tuhoutuu. Liimattavan sovelluksen mahdollinen myöhempi irrotustarve täytyykin tunnistaa etukäteen suunnitteluvaiheessa. Tällöin osa voidaan suunnitella niin, että se voidaan myöhemmin irrottaa. [23; 24.]

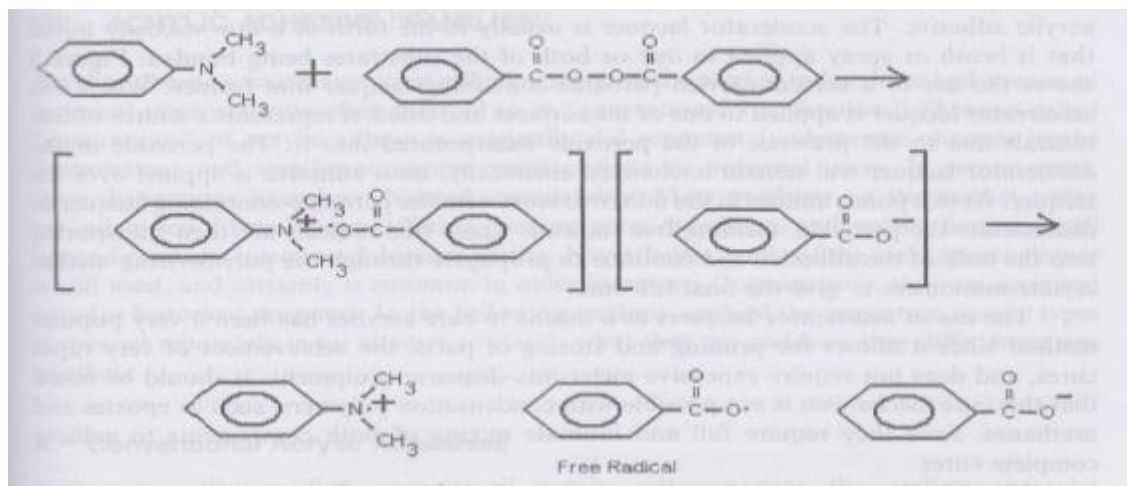
3 Liimatyypit

3.1 Akryyli

Akryyliimaperheeseen luetaan anaerobiset, syanoakrylaatit ja reaktiiviset akryylit. Luokittelu johtuu akryylien erilaisista polymeroitumismekanismeista ja niiden käynnistämistavoista. Anaerobiset ja reaktiiviset akryylit polymerisoituvat vapaiden radikaalien vaikutuksesta, syanoakrylaatit kovettuvat ilmankosteuden vaikutuksesta.

Nykyään lähes kaikkia markkinoilla olevia korkean luokan akryyliimoja on voimakkaasti muokattu. Tuotteen nimessä esiintyvän sideaineen lisäksi tuotteet sisältävät muita polymeerejä, orgaanisia ja epäorgaanisia komponentteja, joita on lisätty haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Myös akryylituoteperheen tuotteet eroavat paljon toisistaan, ja jokaisella tuotteella on joitain etuja toisiin, mutta samaa näissä tuotteissa on, että ne koostuvat suurimmaksi osaksi akryyli monomeereistä.

Useimmin käytettyjä akryylimonomeereja liimateollisuudessa ovat etyyliakryyli, -metyyliakryyli, akryylihapo ja metakrylaatti. Additio-reaktion käynnistäminen vaatii vapaiden radikaalien syntymistä. Tyypillinen tapa synnyttää vapaita radikaaleja on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Akryyliimian kuivumisreaktion tarvittavan vapaan radikaalin synty [5, s. 751].

Kyseinen metodi, jolla laukaistaan metakrylaatti monomeerien polymerisoituminen, on tunnettu nimellä redox-reaktio. Redox-reaktio amiineille vaatii jonkun kemiallisen ai-

neen käyttämistä, usein aromaattisen amiinin. Amiinit reagoivat peroksidin kanssa. Kyseisen reaktion seurauksena syntyy vapaa radikaali, joka reagoi metakrylaattimonomeerin kanssa ja laukaisee polymeroitumisreaktion. Additio-reaktiolla polymeeriketjun kasvu on hyvin nopeaa. Liimateollisuudessa on käytössä muitakin tapoja synnyttää vapaita radikaaleja.

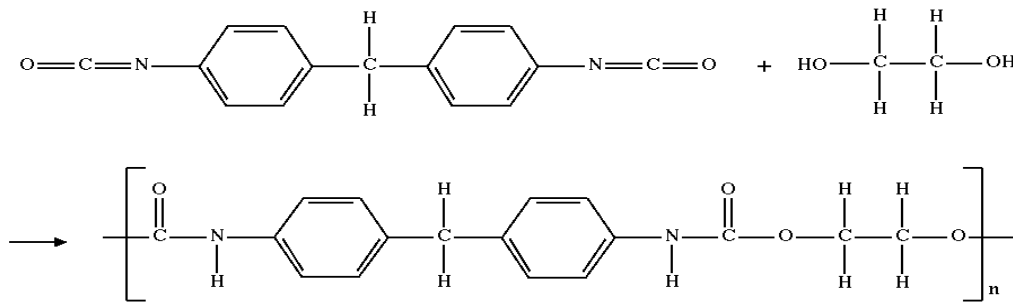
Akryyliiliimojen hyviä ominaisuuksia ovat nopea kovettuminen huoneenlämmössä, pieni kutistuma kuivuessa, hyvä repimislujuus ja iskunkesto yhdistettynä korkeaan leikkauslujuuteen. Lisäksi akryyliiimoilla voidaan liittää erilaisia materiaaleja esimerkiksi metalleja, joilla on erilainen lämpölaajeneminen. Akryyllillä on hyvä sään kesto mukaan lukien suolasumu ympäristöt. Akryyli kestää upotuksen muun muassa moottoriöljyyn ja hydraulikkaneesteeseen.

Huono puoli akryyleissa on niiden paha haju, joskin on olemassa myös hajuttomia akryyliiimoja. Akryyliiimat sisältävät myös haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC). Akryylit eivät kestä vahvoja happoja tai emäksiä eivätkä asetonia. Akryyliiimoja voidaan käyttää noin $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa lämpötiloissa. Ne kuivuvat yleensä 2–20 minuutissa, mutta nopeimmat kuivuvat 10 sekunnissa, kun taas hitaimmat vievät 24 tuntia. [5, s. 747–752; 25, s. 64–65; 7.]

3.2 Polyuretaani

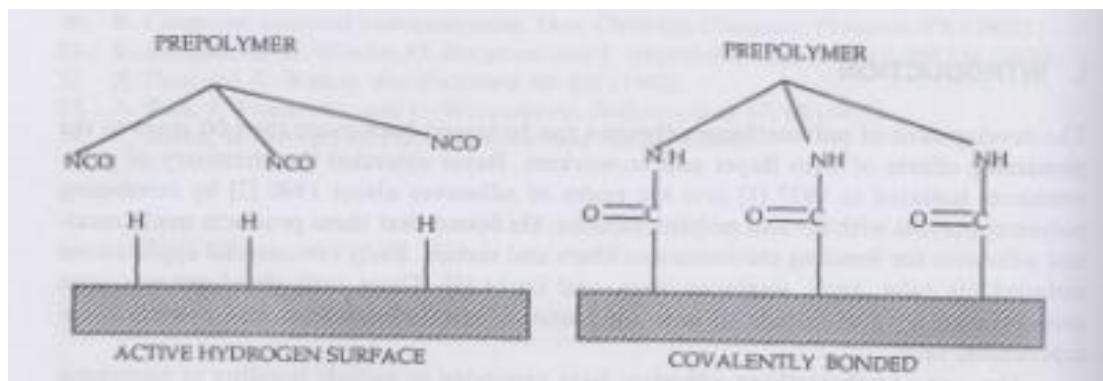
Polyuretaaniliimat tunnetaan erinomaisesta adheesiosta, joustavuudesta, matalan lämpötilan kestosta, korkeasta koheesivoimasta ja kuivumisnopeudesta, joka voidaan räätälöidä käyttäjän toiveiden mukaan. Polyuretaaniliimat kuivuvat additioreaktiolla, jolloin muodostuu hieman verkottunut rakenne. Rakenteessa pitkät polyoliketjut toimivat elastisina kohtina, kun taas di-isosyanaatit linkittyvät ja muodostavat tiiviitä ketjun osia, joilla on korkeampi lasimuutoslämpötila. Tiiviit kohdat nostavat liiman kovuutta ja lujuutta. Polyuretaanit ovat hyviä liimoja, koska ne kostuttavat hyvin useimmat pinnat. Isosyanaatit muodostavat vetysidoksia ja kovalenttisia sidoksia pinnan kanssa. Pienen molekyylikokonsa ansiosta polyuretaaniliimat tunkeutuvat hyvin pinnan huokosiin. Polyuretaania käytetään monilla eri aloilla, kuten pakkaus, auto- ja paperiteollisuudessa. Polyuretaani valmistetaan polyisosyanaatin ja polyolin välisellä reaktiolla. Reaktio on esitetty kuvassa 2. Polyisosyanaatti on molekyyli, joka sisältää useita isosyanaattiryh-

miä (R-NCO). Polyoli on moniarvoinen alkoholi, jossa on useita hydroksyyliiryhmiä (R-OH). [26; 5, s. 694.]



Kuva 2. Di-isosyanaatti reagoi polyolin kanssa muodostaen polyuretaania [27].

Polyuretaaniliima sitoutuu liimattavaan pintaan isosyanaattiryhmän avulla. Isosyanaattiryhmä reagoi aineen pinnalla olevien aktiivisten vetyjen kanssa muodostaen kovalenttisen sidoksen kuvan 3 mukaisesti.

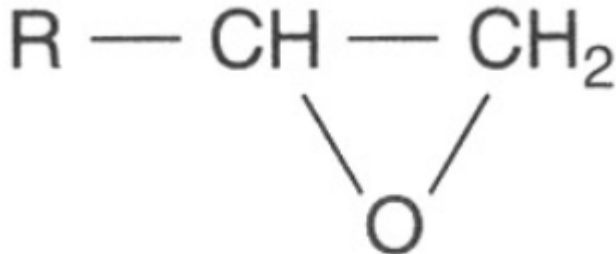


Kuva 3. Tyypillinen uretaaniliiman kovalenttinen sitoutuminen polaariseseen pintaan [5, s.696].

Polyuretaaniliimoja on kolmea tyyppiä. Näitä ovat kaksikomponenttiliimat sekä yksikomponenttiset liimat, jotka kuivuvat joko lämmön tai kosteuden vaikutuksesta. Kaksikomponenttiset polyuretaaniliimat koostuvat kahdesta perusaineesta, polyolista ja isosyanaatista, jotka sekoitetaan keskenään, jolloin aineet reagoivat keskenään ja polyuretaaniliima kovettuu. Riippuen kuivumistavoista polyuretaani liimat polymerisoituvat hieman eri tavoin. Joskus puhutaan myös TDI- ja MDI-polyuretaaniliimoista, näillä nimityksillä viitataan käytettyyn isosyanaattimolekyylisiin. Esimerkiksi TDI-polyuretaanissa käytetään tolueeni-di-isosyanaattia. [5, s. 694–697; 28.]

3.3 Epoksit

Epokseiksi tai epoksihartseiksi luetaan sellaiset reaktiiviset yhdisteet, jotka sisältävät kuvan 4 funktionaalisen ryhmän tai useita kuvan funktionaalisia ryhmiä.



Kuva 4. Epoksiryhmä (englanninkielessä "oxirane ring"). [31]

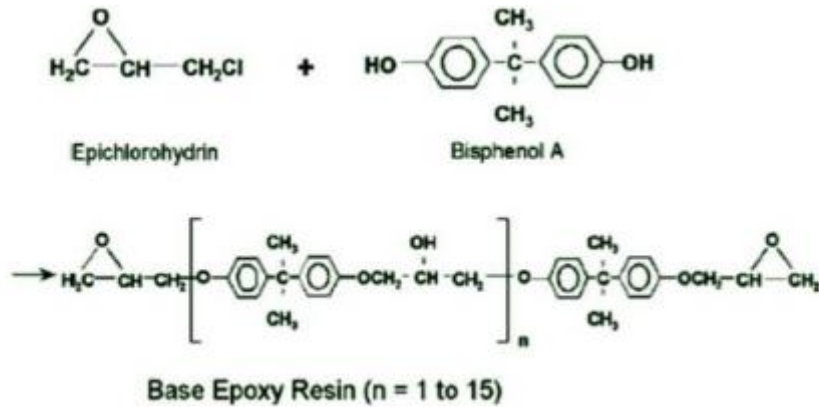
Epoksiryhmät reagoiva sopivien kovetteiden kanssa ja muodostavat ristosilloittuneen kertamuovityyppisen rakenteen. Epoksit ovat hyvin vahvoja, tarttuvat hyvin erilaisiin pintoihin ja niillä on joitain uniikkeja ominaisuuksia, kuten olematon kutistuminen kuivussa, erinomainen kemikaalien kesto sekä kyky tarttua tiiviisiin tasaisiin pintoihin.

Epoksiliiman mekaanisia ominaisuuksia muutetaan vaihtelemalla epoksihartsia, kuivumisolosuhteita sekä lämpötilaa, mutta erityisesti vaihtelemalla kovetetta. Yleisiä kovetteita ovat amiini- ja happoanhydridipohjaiset kovetteet. Perinteiset muokkaamattomat epoksiliimat kuivuvat kovaksi ja hauraaksi, ja tästä syystä epoksiliimoja muokataan usein notkeammiksi ja sitkeämmiksi. Muokattu rakenne kestää paremmin kuoriutumista ja iskuvoimia. [27.]

Epoksiliimoja on sekä yksi- että kaksikomponenttisia. Yksikomponenttinen epoksi koostuu esikatalysoiduista epoksihartseista ja vaatii lämpöä kovettuakseen. Yksikomponenttisessä epoksiliimassa hartsi ja kovete ovat sekoitettuna keskenään, mutta vasta lämmityksessä kovete liukenee, jolloin kovettumisprosessi alkaa. Yksikomponenttiepoksit kuivuvat 121–150 °C:n lämpötilassa, liimoilla on erittäin hyvä kemiallinen kestävyys sekä tartunta metallien pintaan.

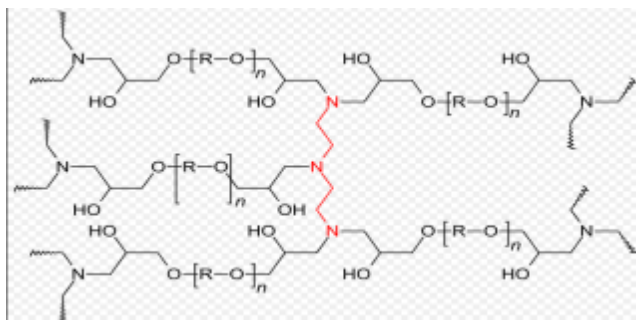
Kaksikomponenttisen epoksiliiman kovettuminen tapahtuu huoneenlämmössä, mutta sitä voidaan kiihdyttää lämmittämällä. Lämmittäminen myös lisää ristosilloittumista. Kaksikomponenttiset liimat vastustavat virumista ja kestävät pitkänäikaa kuorman alla. Liimoissa käytetään epoksihartseja joiden n-luku on 0–5. Kuvassa 5 on epoksihartsi-

molekyylin merkitty hakasulkeet ja niiden perään kirjain n. Hakasuluissa oleva molekyylin jakso toistuu polymeerissä samana, ja n-luku kertoo, kuinka monta kertaa osa toistuu molekyylissä. [28.]



Kuva 5. Epoksihartsin muodostus epikloorihydridin ja bisfenolin A reagoitessa keskenään.[26]

Epoksihartsit lähtevät ristisilloittumaan, jonkin kovetteen vaikutuksesta. Kuvassa 6 on esitetty kovettuneen epoksiliiman rakenne, kun kovetteena on ollut yleisesti käytetty dietyleenitriamiini.



Kuva 6. Kovettuneen epoksiliiman rakenne [29].

3.4 Liimateipit

Liimateippejä on erilaisia. Teipeissä voi vaihdella sideaine, kuivumismekanismi ja kannin eli teipin kantava rakenne. Lisäksi liimateippejä voi olla yksi- ja kaksipuolisia. Teipit ovat rakenteeltaan lamellimaisia, joissa lamellikerroksien järjestys vaihtelee hieman riippuen liimateipistä, mutta yksi rakenne on liima, ja sen jälkeen pohjuste, kannin ja vapautin nauha.

Paineaktivoituvat liimat liimautuvat pysyvästi pintaan, kun niitä painetaan kevyesti, eivätkä ne tarvitse kemiallista reaktiota pysyäksään paikoillaan. Paine tuo teipin tarpeeksi lähelle liimattavaa pintaa, jolloin liiman ja liimattavan aineen molekyylien väliset fyysiset vetovoimat voivat vaikuttaa. Liimateippien sideaineena on usein akryyli, luonnon- tai synteettinen kumi. [30]

Vesiaktivoituvat teipit ovat polyuretaaniin tai syanoakryyliin perustuvia liimoja, joiden kantimena toimii voimapaperi. Teipin sideaine reagoi veden kanssa, niin että sideaine polymerisoituu ja kovettuu. Vesiaktivoituvaa teippiä käytetään yleensä pahvipakkausten teippaamiseen. Ennen teippausta teippi kostutetaan, jotta teippi muuttuisi tarttuvaksi. [32.]

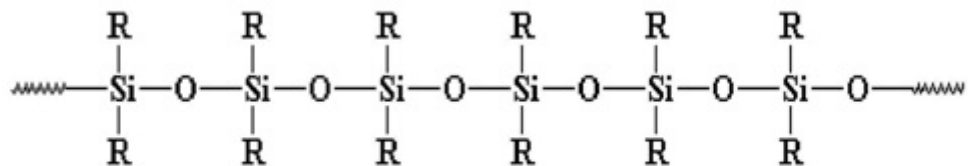
Kuumakovettuvia teippejä voidaan lämmittää, jolloin sideaine pehmenee ja muuttuu tarttuvaksi. Kun teippi jäähtyy, sideaine jälleen kovettuu ja tarttuu alustaan. Kuumakovettuvien teippien sideaineena on usein polyetyleni, polyamidi tai etyyli-vinyyliaasettaatti. Usein kuumakovettuvat liimat ovat liuotteettomia termoplasteja, jotka muuttuvat juoksevaksi noin 82 °C:n lämpötilassa. Kyseisiä teippejä käytetään monissa prosesseissa muun muassa kirjasitomoissa, puuteollisuudessa, rakentamisessa, kokoonpanossa ja pakkausteollisuudessa. [32.]

Markkinoilla on myös kuumakovettuvia teippejä, joissa on kertamuovityyppinen ristisilloittava sideaine. Kertamuovityyppiset sideaineet tarjoavat vahvemmat sidokset ja paremman lämpötilakestävyyden. Kuumennettaessa tällaista teippiä sideaine ei sulaa vaan pehmenee vähän. Tyypillisiä kertamuovisideaineita ovat fenoli, melamiini- ja ureaformaldehydihartsit. [29; 32.]

3.5 Silikoniliimat

Silikonipohjaiset liimat tarjoavat verratonta venyvyyttä, erityisen korkeaa lämmönkestoa ja laajaa käyttöaluetta (-75–200 °C), sekä kemikaalien ja veden kestoja. Silikoneja käytetäänkin elektroniikassa, autoteollisuudessa, ilmailussa sekä rakentamisessa. Silikoniliimat tuotteista on kehitetty sekä kovettajia vaativia kaksikomponenttisiä, että kosteuskovettuvia yksikomponenttisiä liimoja. Yksikomponenttisilikoniliimat ovat yleisimmin käytettyjä silikonituoteperheen tuotteita. Yksikomponenttisten silikoniliimojen kuivuminen perustuu asetoksisryhmän ((CH₃-C(=O)-O-) tai alkoholin ”alkoksi” ristisilloittumis-

reaktioon, joka vaatii vettä. Yksikomponenttiset liimat kuivuvat kosteuden vaikutuksesta noin 5–95 %:n ilmakeudessä. Lisäksi on UV-kovettuvia ja paineaktivoituvia silikoniliimoja. Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen silikoniliiman polymeerirakenne. Yksikomponenttiset silikonit ovat yksinkertaisia ja helppokäyttöisiä, koska niissä ei tarvita sekoitusta. Kaksikomponentti liimoja käytetään yleensä suurempiin ainepaksuuksiin, koska ne pystyvät kuivumaan paksuillakin ainevahvuuksilla. Silikoniliimat eivät sovellu koviin rasituksiin, vaan niitä käytetään enemmän tiivisteinä kuin rakenteellisinaliimoina. [32; 33,35.]



Kuva 7. Tyypillinen silikoniliiman polymeerirakenne. [35]

3.6 Silaanipohjaiset- tai ms-polymeriliimat

Ms-polymeeri tai mps-polymeeri tarkoittavat silyylimodifioitua polymeeriketjua, jossa on silyyli-ryhmä (SH₃). Modifioidut silaaniliimat tulivat markkinoille 1980-luvulla Japanissa, josta ne levisivät nopeasti Eurooppaan ja Amerikkaan. Ms-polymeriliimat ovat yksikomponenttisiä liimoja, jotka kuivuvat ilmassa olevan kosteuden vaikutuksesta. Ensimmäisessä vaiheessa metoksisilyyli-ryhmät reagoivat veden kanssa muodostaen silanoli-ryhmiä (S-O-H). Tämän jälkeen silanolit reagoivat toisen silanolin tai metoksisilyylin kanssa muodostaen siloksaani-ryhmiä (Si-O-Si). Kuivuttuaan silaaneilla on elastomeerien kaltaisia ominaisuuksia. Markkinoilla on kahdenlaisia ms-polymeriliimoja: polyeetteri- ja polyuretaani-pohjaisia liimoja. Polyeetterisilaanit ovat elastisempia kuin polyuretaani-pohjaiset silaaniliimat.

Kovettumisreaktio etenee ulkoa sisäänpäin, joten liimapalon ja liimaliitoksen paksuus ei saa olla liian suuri. Muutoin kuivuminen hidastuu tai estyy kokonaan. Ongelmaan on

kehitetty kiihdytin, joka sekoitetaan liimaan ennen levitystä. Tällöin liima kuivuu tasaisesti kaikkialta. Silaanimuunneltujen liimojen etuna on hyvä adheesio monenlaisiin pintoihin, eivätkä silaaniliimat tarvitse pohjustetta tarttuakseen liimattavaan pintaan. Ms-polymeeriliimat ovat turvallisia käyttää ilman hengityssuojainta. Toisin kuin yksikomponenttisista polyuretaaniliimoista ms-polymeeriliimoista ei vapaudu kovettumisen aikana hiilidioksidia. Ms-polymeeriliimojen kutistuma kovettumisen aikana on hyvin pieni ja VOC-päästöt ovat alhaiset. [36; 37, s. 26.]

4 Liimaliitoksen suunnittelu

Liimaaminen määritellään prosessiksi, jossa kaksi samaa tai eri materiaalia olevaa kappaletta liitetään toisiinsa pysyvästi. Liimaliitoksen lujuuteen vaikuttavat liima-aineen ja liimattavan pinnan välinen adheesio ja liimasauman koheesio. Adheesio on kahden pinnan välinen kyky tarttua toisiinsa. Koheesiolla tarkoitetaan liima-aineen sisäistä lujuutta, johon vaikuttavat liiman sisäiset molekyylien väliset kemialliset ja mekaaniset sidokset. [38, s. 4; 37, s. 13.]

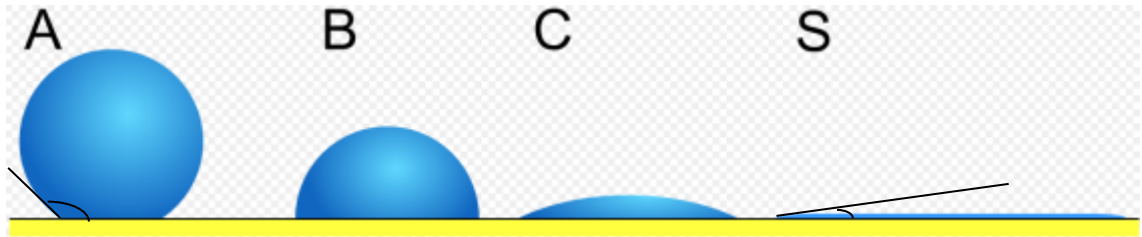
4.1 Liiman tartuntamekanismit

Liiman adheesiolle eli tarttumiselle liimattavaan pintaan on monia teorioita, ja usein nämä teorit vaikuttavat myös synergiassa toistensa kanssa. Tartunnalle on neljä teoriaa: adsorptio, mekaaninen, diffuusio- ja polariteettiteoria.

Adsorptioteoria

Kun liimalla on alempi pintaenergia kuin liimattavalla pinnalla, liima kostuttaa pinnan hyvin. Kostutusta arvioidaan kontaktikulmalla. Kun kontaktikulma on alle 90° , pinta kostuu hyvin, jos kontaktikulma on yli 90° , liima ei kostuta pintaa, vaan liima pisaroituu pintaan. Kuvassa 8 on esitetty liiman kostutuskykyä. Samat fysikaaliset voimat, jotka aiheuttavat kostutuksen ja liiman leviämisen kappaleen pinnalle, ovat myös vastuussa liiman tartunnasta pintaan, sillä aineiden molekyylien väliset vetovoimat vetävät toisiinsa puoleensa, ja näin liima tarttuu myös pintaan. Tätä ilmiötä nimitetään adsorbtioteo-

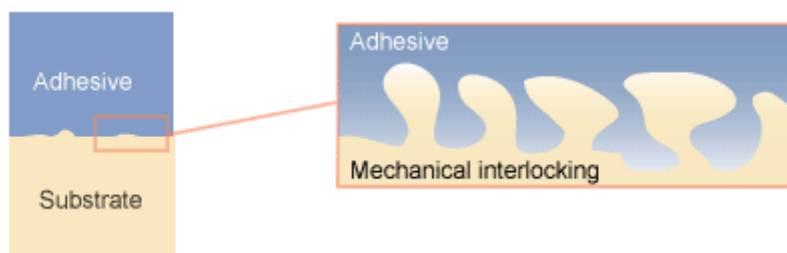
riaksi. Riippuen liimattavasta materiaalista ja liimasta, pinnan ja liima-aineen välille voi muodostua kovalenttisia, sekundaarisia ja van der Waalsin -sidoksia. Nämä molekyylienväliset vetovoimat pitävät liiman ja liimattavan pinnan yhdessä. [41; 14, s. 12; 37, s.14.]



Kuva 8. Pinnankostutuskyky. Aine A kostuttaa pinnan huonosti, koska kontaktikulma on yli 90° . Aine S kostuttaa pinnan hyvin, koska kontaktikulma on lähes 0° . [39.]

Mekaaninen teoria

Myös mekaaninen teoria voi selittää liiman tartunnan. Adheesion voimakkuus on tällöin suoraan verrannollinen pinnan huokoisuuteen ja pinnankarkeuteen. Mikroskooppisella tasolla kaikissa materiaaleissa on pinnan profiilin vaihtelua, kuten kuvassa 9 on esitetty. Liima-aine täyttää huokokset ja laaksot ja näin ankkuroituu pintaan. Liiman viskositeetti ja sideaineen molekyylikoko vaikuttavat huokosten ja laaksojen täyttökykyyn. Matalaviskoosinen ja pienimolekyylinen sideaine tunkeutuu parhaiten pintaan. [41; 14, s. 12.]



Kuva 9. Makroskooppisesti tarkasteltuna pinta näyttää tasaiselta, mutta suurennettuna pinnassa on monia huokosia, joihin liima voi tunkeutua ja näin lukittua pintaan [40].

Diffuusioteoria

Diffuusioteoria selittää, miksi muoveja voidaan liimata. Kun liimattavan aineen ja liiman polymeerit ovat yhteensopivia, polymeeriketjut voivat paikoin sekoittua toisiinsa (kuva

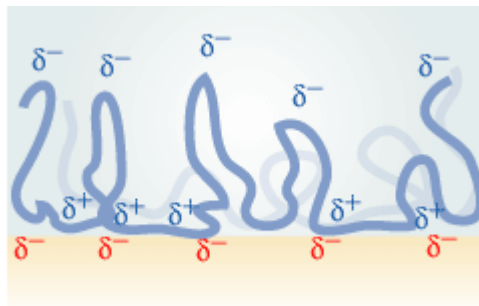
10). Lyhytketjuiset polymeerit sekoittuvat ja tunkeutuvat syvemmälle toiseen aineeseen kuin suurimolekyyliset ja raskaat polymeerit. Nämä paikallisesti sekoittuneet kohdat toimivat ankkurikohtina, joilla liima sitoutuu pintaan. [41; 14, s. 12.]



Kuva 10. Kuvassa on esitetty muovin ja liiman rajapinnan diffuusiosekoittuminen [41].

Polariteettiteoria

Polariteettiteorian mukaan liima ja perusaine ovat molemmat joko polaarisia tai poolittomia. Polaarisuus tarkoittaa elektronitiheyden jakautumista molekyylissä niin, että siihen syntyy negatiivisesti ja positiivisesti varautuneita kohtia (kuva 11). Elektronegatiivisuusero polaarisen liiman ja perusaineen välillä aiheuttaa vetovoiman ja saa aikaan adheesion. [41; 16, s. 7.]

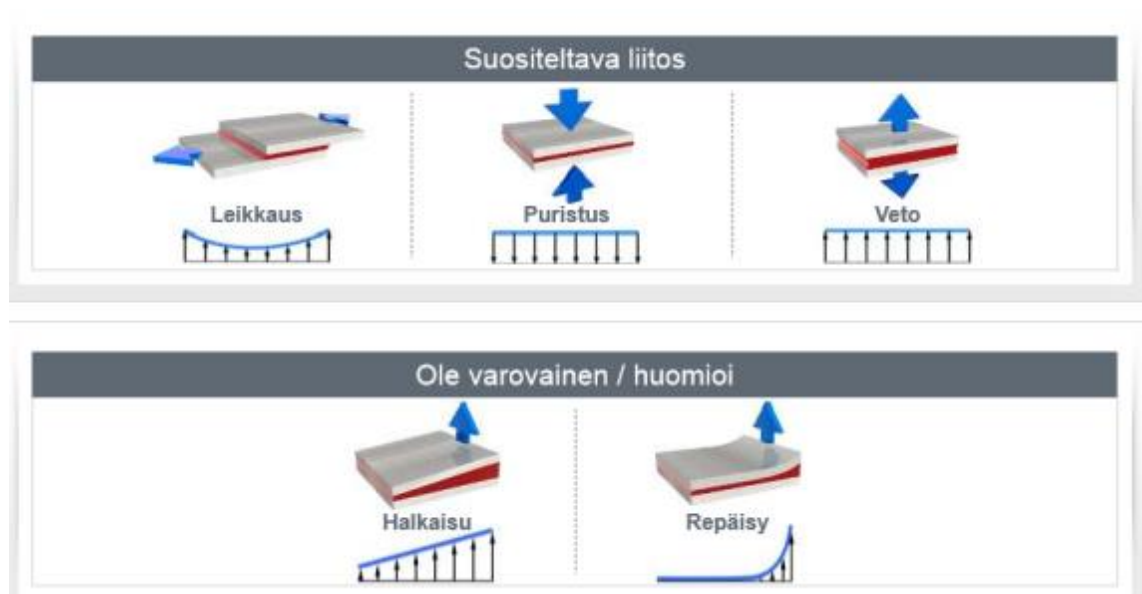


Kuva 11. Liiman tartunta polaarisuusteorian mukaan [40].

4.2 Liimaliitoksen kuormitustavat

Liimaliitoksen suunnittelussa pitää huomioida erilaiset liitokseen kohdistuvat voimat. Liimaliitos kestää hyvin puristus- ja vetovoimia sekä kohtalaisesti leikkausjännityksiä, mutta huonosti halkaisu- ja repäisykuormitusta. Liimaliitos kestää parhaiten puristus- ja

vetokuormia sekä leikkausjännityksiä, koska tällöin jännitysjakautuu liitosalueelle kutakuinkin tasaisesti. Halkaisu- ja repäisykuormituksessa jännitys keskittyy pienelle alueelle liimaliitoksen päähän, jolloin liimaliitos kestää huonosti. Tästä syystä kuormituskeskittymien minimoiminen lisäksi liitokset on suunniteltava niin, että liitostasoon kohdistuvat repivät ja kuorivat voimat jäisivät mahdollisimman pieniksi. Kuvassa 12 on esitetty tyypilliset liimaliitokseen kohdistuvat voimat ja jännitysjakauma liimaliitoksessa. [16, s.12–13.]

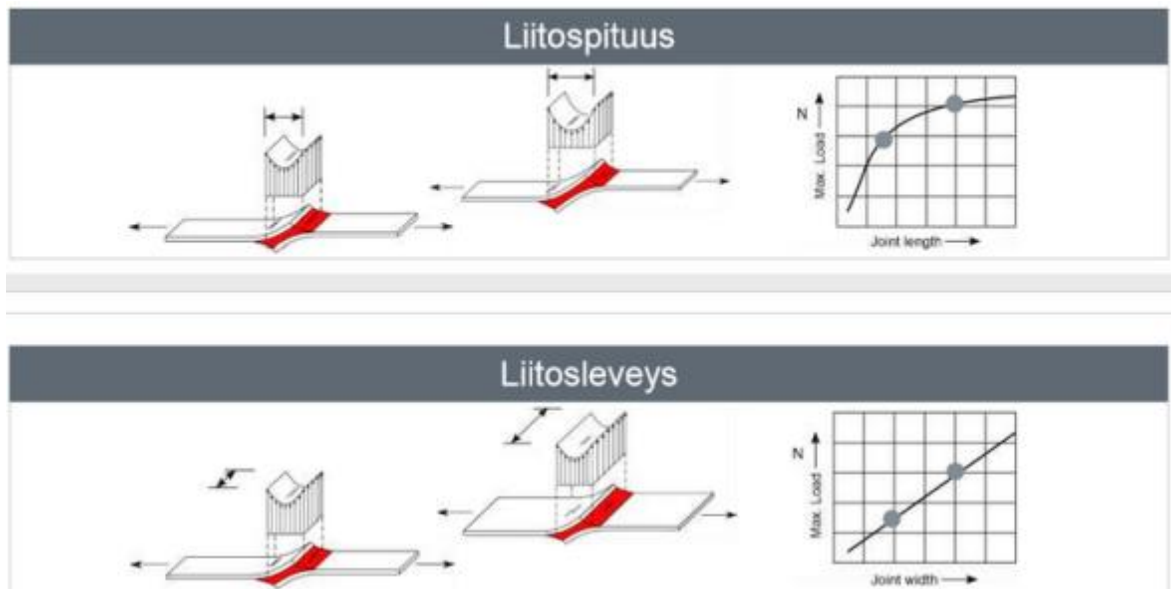


Kuva 12. Liimaliitokseen kohdistuvat erityyppiset voimat ja niiden jännitysjakauma [6, s.38].

4.3 Liitosgeometria

Liimaliitoksen suunnittelussa yksi tärkein osa-alue on liitosgeometria. Oikein suunnitellulla liitoksella saadaan maksimaalinen hyöty käytettävistä materiaaleista. Liimaliitoksessa kannattaa maksimoida liitosleveys, jolloin liimattava pinta-ala kasvaa, ja leikkausjännitys sekä kappaleiden muodonmuutoksesta aiheutuva vetojännitys jakautuu laajemmalle alueelle. Liitosleveyden kasvattaminen on suoraan verrannollinen maksimikuorman keston. Liitospituuden kasvattaminen auttaa lyhyissä liitoksissa, mutta liitospituuden kasvattaminen ei tuo enää lisää kuormankantokykyä, kun tietty liitospituus on

saavutettu, koska kuormitus keskittyy liimaliitoksen päihin. Liimauspinta-alan pituuden lisääminen ei auta, sillä keskellä oleva liima kantaa vain pienen osuuden kuormasta, eikä se näin ollen käytännössä lisää kuormankantokykyä. Kuvassa 13 on esitetty liitosleveyden ja pituuden kasvattamisen hyöty maksimikuorman suhteen. Liitosleveyttä voidaan kasvattaa niin pitkälle kuin liimattava rakenne sallii [25, s.163.]

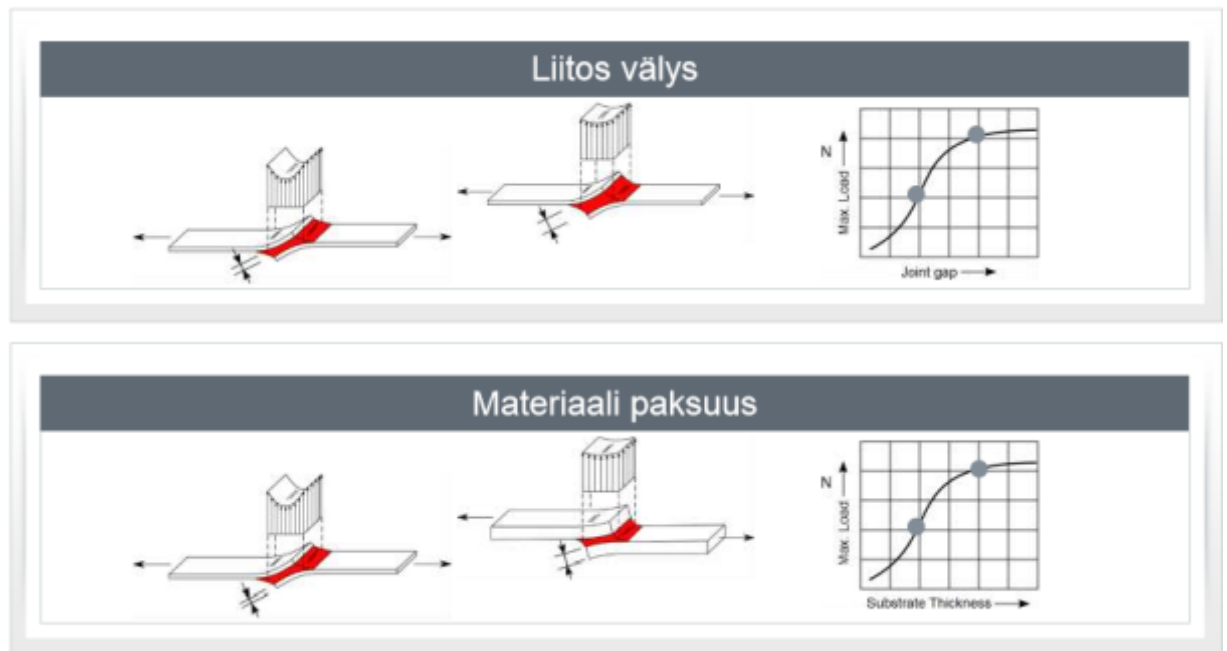


Kuva 13. Liimaliitoksen jännitysjaakauma ja liitosleveyden ja -pituuden vaikutus maksimikuorman keston [6].

Liitosvälyk eli liima-ainefaasin paksuus liitoksessa vaikuttaa liitoksen kestävyys. Jos liima-ainekerroksen paksuus on hyvin ohut, ainepaksuutta lisäämällä saadaan suuri parannus jännityksen keston. Liitosvälyksen ollessa liian pieni liima ei täytä liimaliitosta kunnolla, jolloin liimaliitokseen jää kohtia, joissa liimattavien materiaalien pinnanhuiput osuvat yhteen. Liimaliitoksen optimaalinen paksuus onkin osittain verrannollinen liimattavan materiaalin karkeuteen. Liitosvälyksen kasvattamisen edut loppuvat kuitenkin nopeasti, kuten kuvassa 14 on esitetty. Liima-ainefaasin ollessa kovin paksu liima ei välttämättä kuivu kunnolla. Lisäksi liimamassassa olevat virheetkin kasvavat, kuten mikrohalkeamat, jotka pienentävät liitoksen kuormankantokykyä [14, s. 707.]

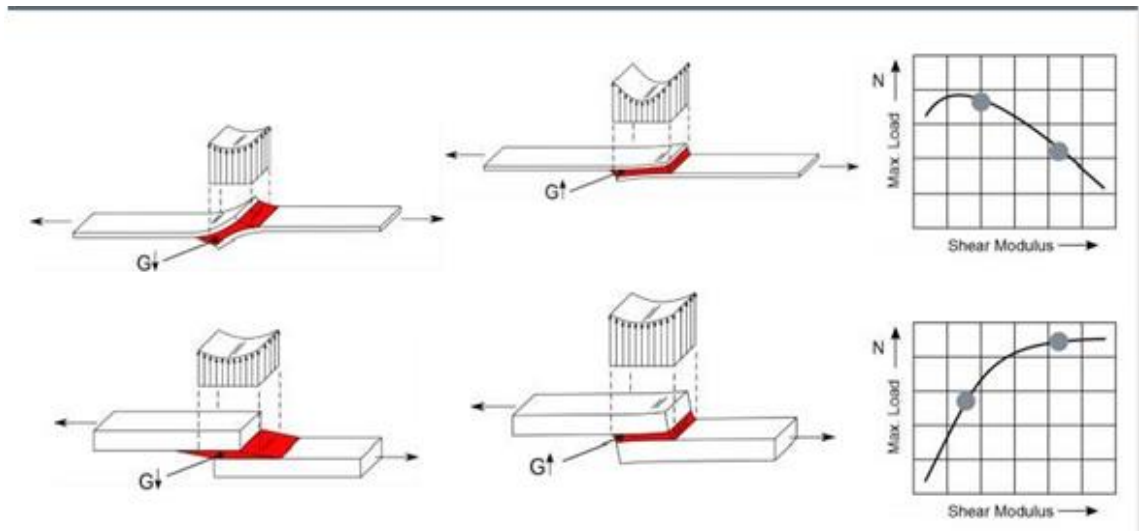
Liimattavan aineen kimmokerroin eli jäykkyys vaikuttaa myös liimaliitoksen kestävyys. Aineen korkea myötöraja tuo rakenteeseen jäykkyyttä ja pienentää liimaliitoksen päihin kohdistuvaa rasitusta. Jos liimattavalla aineella ei ole suurta myötörajaa, sitä voidaan kasvattaa paksuntamalla materiaalia. Materiaalia ei hyödytä paksuntaa loput-

tomasti, kuten kuvassa 14 on esitetty. Tietyn paksuuden jälkeen liitoksen kuormankantokyky ei enää kasva. [16, s. 26; 25, s. 163–164.]



Kuva 14. Liimaliitoksen jännitys jakauma sekä liimaliitoksen ja materiaalin paksuuden vaikutus maksimikuorman kestoan [6].

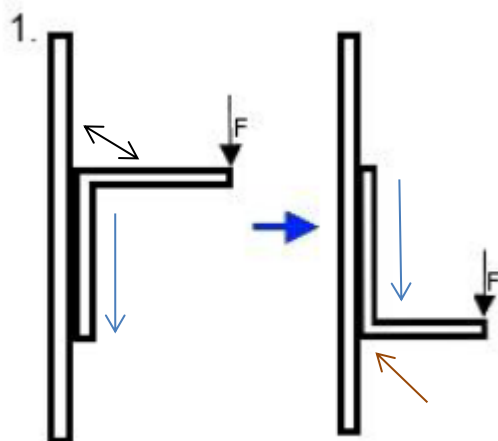
Liiman liukumoduuli eli leikkausjäykkyys vaikuttaa jännityksen jakautumiseen limittäisliitoksessa. Leikkausjännitys jäykässä liimaliitoksessa keskittyy liimaliitoksen päihin. Elastisemmassa liimaliitoksessa leikkausjännitys jakautuu tasaisemmin, koska elastinen liitos mukautuu jännitykseen eikä korkeita jännityshuippuja synny. Vaikka elastinen liima voi muodostaa vahvemman sidoksen joissain liitoksissa, se ei välttämättä kestä suuria kuormia ilman yletöntä venymistä. Elastiseen liitokseen kohdistuu myös suurempi keskiarvoinen jännitys kuin jäykällä liimalla liimattuihin liitoksiin, joten usein jäykät liimat kestävät suurempia kuormia. Kuvassa 15 on esitetty, että liitettäessä yhteen ohuita levyjä, liiman on hyvä olla jäykkää. Liimattaessa paksampia kappaleita liiman tulisi olla elastista. Liimaliitosta suunniteltaessa materiaalin ja liiman myötöraja on hyvä olla saman suuruinen tai liiman myötöraja olisi hyvä olla suurempi kuin materiaalin. Tämä toteutuu kuitenkin vain liimattaessa polymeereja. [25, s. 176–177.]



Kuva 15. Liimaliitoksen jännitysjaakauma sekä liiman liukumoduulin G vaikutus ohuissa ja paksuissa liimaliitoksissa. [6]

4.4 Johtoripustimen suunnittelu

Opinnäytetyössä ei tutkittu johtoripustimen muotoa, mutta teoriassa johtoripustimen olisi hyvä olla kuvan 16 mukainen. Kuvan vaihtoehto oikealla on parempi, sillä voiman F aiheuttama kuormitus saadaan muutettua leikkausjännitykseksi ja puristukseksi, kun vasemmalla puolella olevaan kappaleeseen kohdistuu repimisvoima ja leikkausvoima. Kuvaan 16 on merkitty kuormitusvoima kaksisuuntaisella nuolella, leikkausvoima sinisellä nuolella ja puristusvoima vihreällä nuolella.



Kuva 16. Johtoripustimen suunnitteluperiaate.

4.5 Pinnan esikäsitteily

Liimauksessa liimattavan pinnan pitää olla puhdas, jotta liimausprosessi toimii kunnolla. Usein pinta joudutaan esikäsittelemään. Esikäsitteily liimauksessa tarkoittaa toimenpiteitä, joita tehdään alustalle parantamaan kostutusta ja liiman tarttumista pintaan. Esikäsitteily on yksi tärkeimmistä liimauksen vaiheista. Esikäsitteilyllä varmistetaan, että liima pääsee tarttumaan liimattavaan kappaleeseen eikä se tartu pinnalla olevaan pölyyn, ruosteeseen tai öljyyn, jolloin liimaliitos saattaa pettää pinnalla olevan epäpuhtauden huonon koheesion tai adheesion vuoksi. Käytettävä liima ja sen ominaisuudet, liimattava materiaali sekä pinnan kunto vaikuttavat esikäsitteilymenetelmän valintaan. Esikäsitteilyprosessi jaetaan kahteen vaiheeseen, jotka ovat pinnan fyysinen puhdistaminen ja pinnan kemiallinen esikäsitteily. [42.]

Pinnan fyysisellä puhdistamisella tarkoitetaan pinnan siistimistä epäpuhtauksista. Epäpuhtauksilla tarkoitetaan aineita, jotka ovat heikosti kiinni pinnassa. Epäpuhtaudet vaikeuttavat liiman kostutusta ja tarttumista itse pintaan. Pinnan fyysiseen puhdistukseen voidaan käyttää harjaa, paineilmaa tai imuria, jotka irrottavat irtoneisen aineksen kuten pölyn pinnasta. Tämän lisäksi usein käytetään liuotin- tai vesipohjaista puhdistusainetta, jolla pinta pyyhitään rasvan ja öljyn poistamiseksi. Jos pinnassa on kiinteitä epäpuhtauksia tai pinnan profiili ei ole halutunlainen, se voidaan esimerkiksi hioa tai raepuhaltaa. [42.]

Pinnan kemiallisella esikäsitteilyllä tarkoitetaan pinnan käsittelyä erilaisilla kemikaaleilla, kuten aktivaattoreilla ja pohjusteilla. Aktivaattorit ja pohjusteet toimivat liiman kanssa yhdessä luoden aktiivisen pinnan liimattavaan materiaaliin. Tällöin pinta voi luoda kemiallisia yhteyksiä liiman ja pinnan välille, ja lisäksi pohjustin tasoittaa huokoista pintaa ominaisuuksia, jolloin liima tarttuu pintaan tasaisemmin. [42.]

5 Liiman levitys

Liimaa voidaan levittää liimattavalle pinnalle monella eri tavalla. Yleensä liimat levitetään huoneenlämpötilassa lukuun ottamatta kuumaliimoja, jotka lämmitetään ennen levitystä. Kaksikomponenttiset liimat täytyy sekoittaa ennen pinnalle levitystä tai vastaavasti kovete ja hartsi levitetään eri pinnoille, jolloin ne yhdistyvät, kun liimattavat pinnat tuodaan yhteen. Sekoituksessa pitää huolehtia, että kovetin ja hartsi sekoittuvat

kunnolla toistensa kanssa ja oikeissa mittasuhteissa. Kaikilla märillä liimoilla on tietty käyttöaika eli ”pot life”, jolloin liima pitää annostella ja liimattavat pinnat liittää yhteen. Yksikomponenttiset liimat nahkoittuvat ja kaksikomponenttiset kovettuvat käyttökelvottomiksi, jos niitä ei käytetä aukioloajan puitteissa.

Suuren mittakaavan liimaamisessa ja teollisuudessa liima levitetään ja kaksikomponenttituotteet sekoitetaan koneellisesti, koska käsin sekoittaminen ja levittäminen ovat epätarkkoja, hitaita ja sotkuisia toimenpiteitä. Liimanlevitysmenetelmä teollisuudessa riippuu liimatyyppistä. Liima voi olla nestemäisessä muodossa, jauheena, kalvona tai kuumaliimana. Toisaalta levitysmenetelmään vaikuttavat liimattavan kappaleen muoto, koko, tuotantomäärät ja tuotannon kesto. Usein nestemäiset liimat levitetään esimerkiksi harjaamalla, ruiskuttamalla tai teloilla. [25, s. 188–190.]

Ruiskutettaessa liiman pitää olla matalaviskoosista, jotta sitä voidaan ruiskuttaa. Liimattavan kohteen tulee olla suuri ja tasainen, sillä ruiskutuksella liimaa ei saada levitettyä kovin tarkasti. Yleinen tapa ruiskuttaa liimaa on käyttää LVLP-ruiskua (matala vo-lyymi, matala-paine -ruiskua). Ruisku toimii paineilmalla, mutta käyttää vähemmän ilmaa kuin tavallinen hajotusilmaruisku. LVLV-ruisku hajottaa liiman sumuksi suuttimella, jossa on joukko teräviä veitsiä leikkaamassa ruiskutettavaa ainetta. Matalamman paineen käyttö parantaa tarkkuutta, vaikkakin ruiskua käytettäessä tulee jonkin verran ohiruiskutusta. LVLP-ruiskun lisäksi käytössä on ilmaton ruiskutus, joka sopii kohtalaisen suuren viskositeetin liimoille. Ilmaton ruiskutus tarjoaa kontrolloidun kerrostuman ja minimaalisen ohiruiskutuksen. Ilmattomassa ruiskutuksessa liima pumpataan kovalla paineella suuttimeen, joka hajottaa liiman hienoksi sumuksi. Ruiskutus sopii liimanlevitysmenetelmäksi teollisuuteen, sillä teollisuudessa on mahdollista rakentaa ruiskutusalueelle riittävä ilmanvaihto imemään haihtuneet liuottimet. Myös työntekijä voidaan suojata liuotinhöyryiltä maskin, suojalasein ja suoja-asulla. [43.]

Liimaa voidaan annostella myös palkona liimattavalle pinnalle. Kun liitettävät pinnat tuodaan yhteen, palko litistyy ja leviää tasaisesti liimasaumaan. Liiman voi annostella ohjelmoitu robotti tai työntekijä. Liimapistooli on kätevä ja helppokäyttöinen apuväline kokoonpanossa työmailla, kun työntekijä levittää liimaa. Liimapistoolissa liimatuubi asetetaan mäntäpistooliin, jolloin pistoolin liipaisinta painettaessa mäntä työnny eteenpäin ja työntää liiman ulos tuubista. Liimapistoolia käytettäessä myös VOC-päästöt ovat vähäiset. Kaksikomponenttisiin liimoihin on usein suunniteltu sekoitusnokka, jossa komponentit sekoittuvat oikeassa suhteessa, joten liiman levitys on helppoa. [43,]

Harjausta käytetään, kun liimaa pitää levittää tietyille alueille tai kappale on epätasainen. Harjauksessa liima ei kuitenkaan jakaudu tasaisesti pinnalle, ja lisäksi harjaus on hidas menetelmä. Harjaus sopii paremmin pieniin huoltotoimenpiteisiin kuin teolliseen tuotantoon. [43; 25, s. 185.]

Henkilösuojaus

Liimaa levitettäessä suojaruusteet pitää miettiä liimattavan kohteen, altistusajan, sekä käytettävän liiman mukaan. Joissain liimoissa, kuten kontaktiliimoissa on paljon liuottimia, jotka ovat nopeasti haihtuvia, joten voimakastakin liuotinaltistumista voi tapahtua. Liuottimille altistuminen voi aiheuttaa huimausta, pahoinvointia ja jatkuvassa altistuksessa jopa hermovaurioita. Tämän takia pitkäkestoisessa työssä tai suurilla pintoja käsiteltäessä tarvitaan hyvä ilmanvaihto ja hengityssuojaimia. Liimoja käytettäessä tulee aina perehtyä käyttöturvatiedotteeseen ennen tuotteen käyttöä. Iho- ja silmäkosketusta on syytä välttää suojaavalla pukeutumisella, käsineillä ja suojalaseilla, sillä toistuva ihokosketus liimojen kanssa poistaa ihon rasvakerroksen ja voi näin ärsyttää ihoa. Etenkin epoksin on todettu aiheuttavan ihoallergioita. Hyvinkin pienet määrät liimaa tai liuotinta ärsyttävät voimakkaasti silmiä, joten silmät pitää suojata suojalaseilla. Liimojen liuottimet ovat helposti syttyviä, ja tuotteiden käsittelyssä ja varastoinnissa tulee ottaa huomioon tulenarkuus. Leimahdus on vakava riski etenkin ruiskutettaessa liimaa, jolloin liimaa on ohennettu runsaasti. Tällöin ruiskutustilan ja suojaruusteiden pitää olla ATEX-tiloihin hyväksytyjä. [44.]

6 Koemateriaalit

Opinnäytetyössä käytetään neljää liimaa. Liimat ovat yksikomponenttinen syanoakrylaattiliima, joka kuivuu ilmankosteuden vaikutuksesta, akryylipohjainen aktivaattorikovetteinen liima. Kaksikomponenttinen hybridiliima, jossa osa A on syanoakrylaattia, ja osa B on epoksiliimaa, sekä kaksikomponenttinen akryyliiliimaa, joka on tarkoitettu lasikuidun ja polyeteenin liimaukseen. Liimojen käyttötiedot löytyvät liitteistä 2–6. Liimattavat materiaalit ovat muovinen johtokouru, betoni, SBR-kumi sekä ruostumaton teräs.

Hissikulun johtokouru on muovia, jolla on parannettu kuumuuden kesto. Muovin käyttölämpötila-alue on -20 °C:n ja +60 °C:n välillä. Lisäksi muovi kestää happoja ja rasvoja.

Yhden kourun pituus on kaksi metriä, ja kourun yhdessä seinässä on valmiiksi porattu- ja reikiä. Kourun mitat ovat 50 x 50 mm (kuva 17)



Kuva 17. Koneen käyttämä johtokouru, joka asennetaan hissikuiluun.[45]

Betoni

Hissikuilu on perinteisesti koottu seinäelementeistä tai paikkavalettu rakennustyömaalla, mutta nykyisin markkinoilla on myös erillisiä kuiluelementtejä. Johtuen eri menetelmistä hissikuilun betonin koostumus voi vaihdella hissikuiluittain. Betoni koostuu sideaineesta eli sementistä, kiviaineesta ja seosaineista, kuten lentotuhkasta ja masuunikuonasta. Betoni on huokoinen ja polaarinen materiaali. Hissikuilussa betonin päällä voi olla irtopölyä ja likaa, joka vaikeuttaa liiman tarttumista betonin pintaa. Työssä käytetään rautakaupasta saatavaa betonilaattaa. [46; 47]

Kumi

Kokeissa kumin tarkoitus on tuoda joustavuutta liimaliitokseen, kun liimataan terästä betoniin. Laittamalla rakenteen väliin kumitiiviste liitoksesta tulee joustavampi, jolloin voidaan käyttää vähemmän elastista liimaa. Työssä käytetään SBR eli styreenibutadienikumia. SBR-kumi valikoitui työhön, koska se on halpaa ja yleisesti saatavissa. Lisäksi SBR-kumilla on hyvä mekaaninen kesto, ja kumi vanhenee hitaammin kuin luonnonkumi. SBR-kumin liimattavuus on myös erittäin hyvä. SBR-kumi kestää sään rasituksia huonommin kuin muut kumilaadut, mutta hissikuilussa olosuhteet ovat verrattaen vakiot. Liitteessä 1 on SBR-kumin mekaanisia ominaisuuksia. [48; 49]

Teräskappaleet

Opinnäytetyössä käytetään ruostumatonta terästä. Ruostumattomien terästen korroosionkestävyys perustuu sen sisältämään kromiin. Kromi muodostaa teräksen pintaan tiiviin kromioksidikalvon, joka suojaa metallia ruostumiselta.

7 Koekappaleiden valmistus

Kaikki liimaukset tehtiin noin 22 °C:n lämpötilassa ja noin 36 %:n suhteellisessa kosteudessa. Kappaleiden annettiin myös kuivua samoissa olosuhteissa. Aktivaattori kovetteisen akryyli- ja pikaliiman annettiin kovettua vähintään 72 tuntia, ennen vetokoetta. Hybridiliiman sekä kaksikomponenttisen akryyliiliiman annettiin kovettua tasan 7 vuorokautta ennen testausta. Teräskoekappaleisiin käytettiin aktivaattorikovetteista akryyliiliimaa, hybridiliimaa ja pikaliimaa. Muovia sisältäviin koekappaleisiin käytettiin aktivaattori kovetteista akryyliiliimaa, kaksikomponenttista akryyliiliimaa ja pikaliimaa. Hybridiliiman ja kaksikomponenttisen akrylaattiliiman levitykseen käytettiin valmistajan liimapistoollia.

Kaikki liimattavat teräs-, muovi- ja kumipinnat käsitellään ensin puhdistusaineella, joka poistaa rasvan ja lian kappaleen pinnalta. Puhdistusaine ei siis paranna liiman tarttuvuutta tai nopeuta kuivumista. Kaikki teräsosat hiotaan Mirka Medium 60 -hiomasienellä.

Liiman T-repimislujuustestissä mukaillaan standardia ASTM D1876. T-repimislujuustesti arvioi voimaa, joka tarvitaan erottamaan kappaleet toisistaan, kun voima kohdistuu liitoksen toiseen päähän. Liimattavat koekappaleen osat ovat ison L-kirjaimen muotoisia, 25 mm leveitä ja minimissään 150 mm pitkiä. Omat vetokoekappaleet eivät olleet mitoiltaan standardin mukaisia. Kokeilla on tarkoitus selvittää, millä liimalla on suurin T-kuoriutumisvoima. [50.]

Liimaliitoksen leikkauslujuustestissä mukaillaan standardia ASTM D1002. Testiä käytetään määrittämään liimaliitoksen leikkauslujuus ja tulokset ilmoitetaan muodossa N/mm². Koekappaleiden leveys on 25,4 mm, pituus 101,6 mm ja liitospituus 12,7 mm. Opinnäytetyössä käytetyt koekappaleet eivät olleet standardin mukaisia. Kokeessa arvioidaan myös murtuman tyyppiä eli onko kyseessä adheesio vai koheesiomurtuma. Murtumatyypit on esitelty liitteessä 2. [51.]

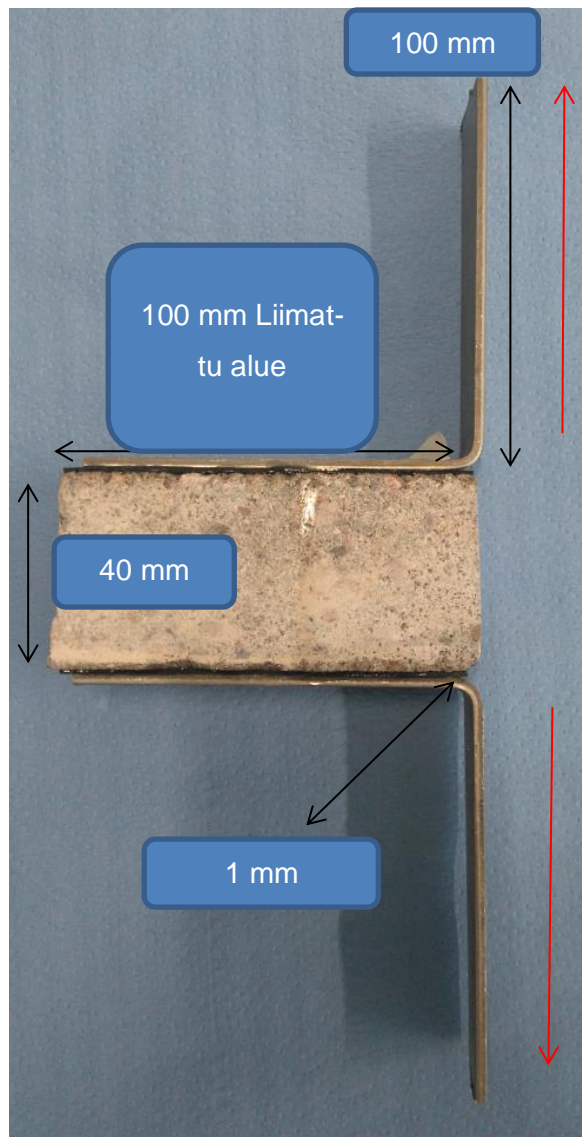
Hissikorin jalkalista

Hissikorin jalkalistoille ei suoritettu liimaukskokeita, vaan opinnäytetyössä keskityttiin löytämään uusia käytäntöjä Kone Oy:n toimintatapoihin, jotta liimaus olisi mahdollista.

Uusia käytäntöjä ja ratkaisuja pyrittiin selvittämään palavereilla ja haastatteluilla Kone Oy:n, sekä Henkel-yrityksen kanssa. [52.]

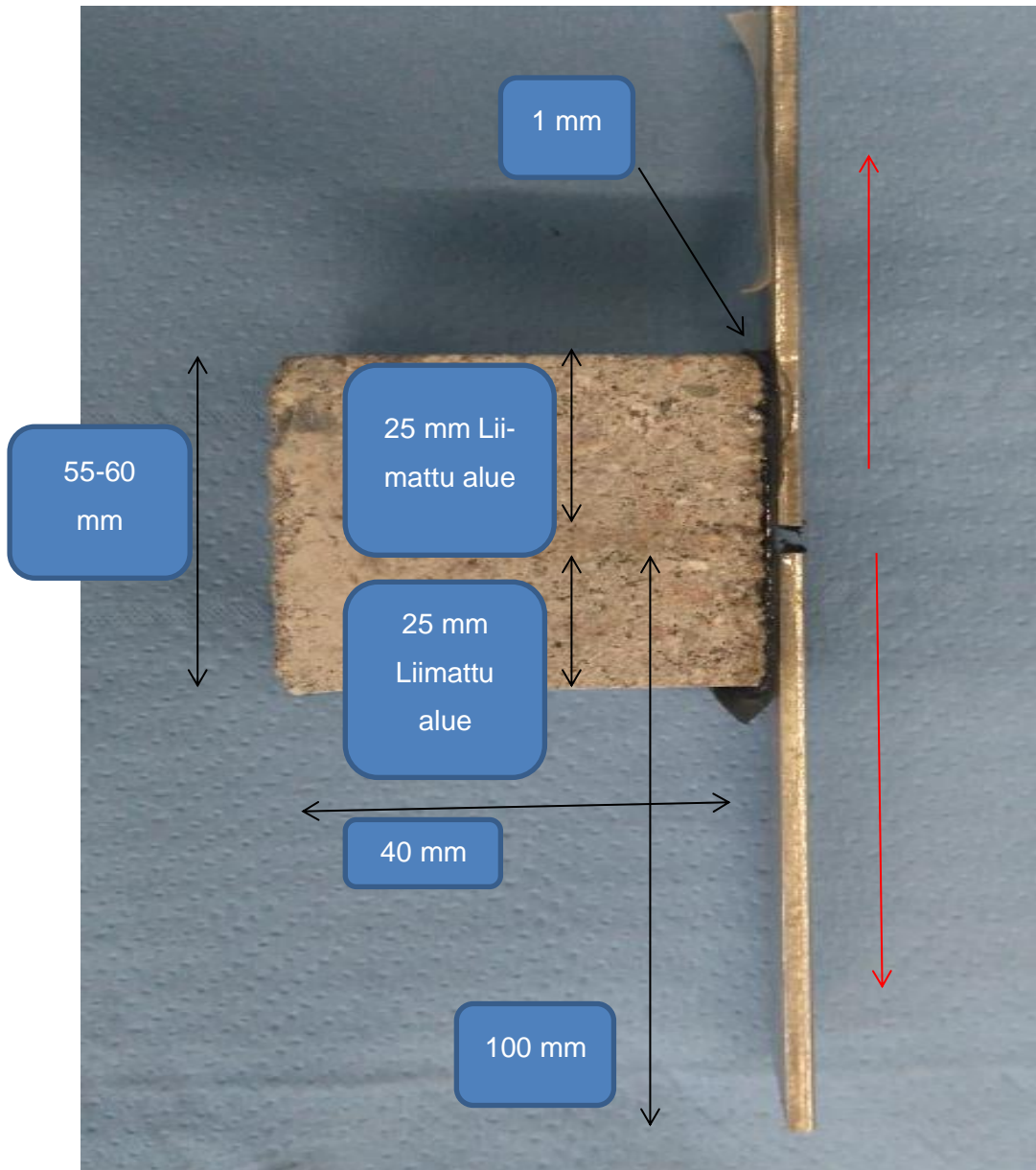
Koekappaleiden mitat

Teräs-kumi-betoniliitoksen T-kuorimisvoimaa testattaessa käytettiin kuvan 18. mukaisia koekappaleita. Kappaleet ovat 30 mm leveitä, ja kokonaiskorkeudeltaan 240 mm. Liimapintojen koko on 100 mm x 30 mm. Kumilevy teräksen ja betonin välissä on yhden mm:n paksuinen. Lisäksi betoni on 40 mm, ja teräs 2 mm paksu. Kaikki pinnat on liimattu aina samalla testattavalla liimalla. Kumi on liimattu betonilaatan valupinnoille ylä- ja alapuolelle, ei laatan leikkauspinoille. Jokaisella liimalla liimattiin kolme rinnakkaista T-repimislujuuskoekappaletta. Kokeen vetosuunta on merkitty kuvaan 18 punaisella nuolella.



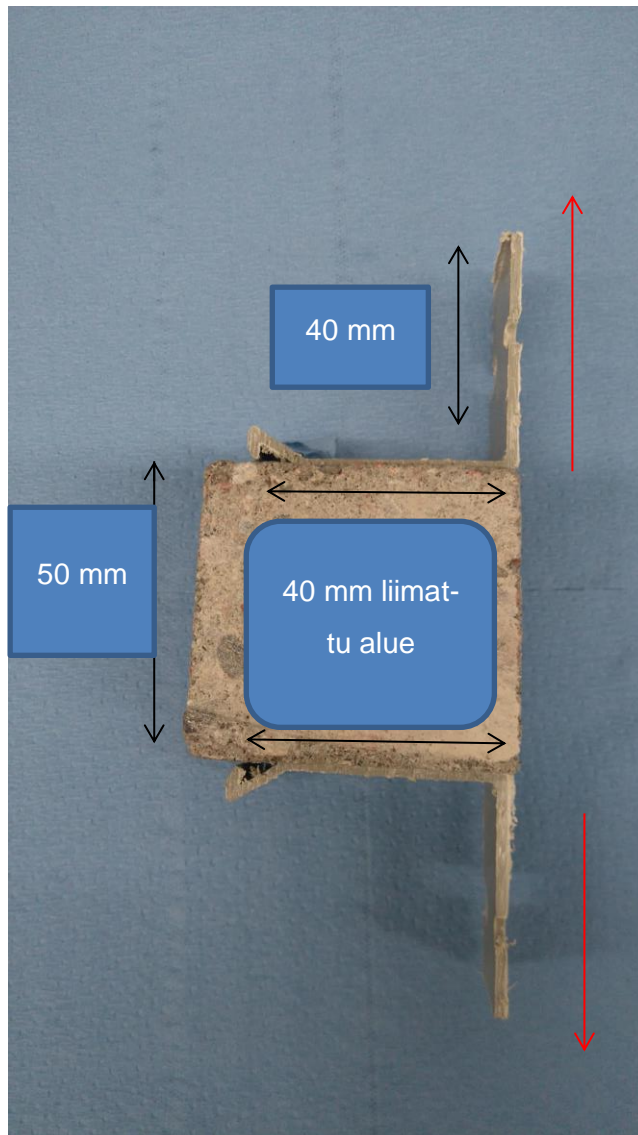
Kuva 18. T-kuorimislujouustestikappale.

Teräs-kumi-betoniliitoksen leikkauslujuustestissä käytettiin kuvan 19. mukaisia koekappaleita. Koekappaleet ovat 30 mm leveitä ja 200 mm + 5–10 mm korkeita ja liimapintojen koko on 25 mm x 30 mm. Kumilevy, teräksen ja betonin välissä, on yhden mm:n paksuinen ja teräs 2 mm:n paksuinen. Kaikki pinnat on liimattu aina samalla testattavalla liimalla. Liima on levitetty betonikappaleen valun jälkeiselle pinnalle, ei laatan leikkauspinnoille. Jokaisella liimalla liimattiin kolme rinnakkaista leikkauslujuuskoekappaletta. Kokeen vetosuunta on merkitty kuvaan punaisella nuolella.



Kuva 19. Leikkauslujuustestissä käytettävä koekappale

Muovi-betoniliitoksen T-kuorimisvoiman tutkimiseen käytettiin kuvan 20. mukaisia koekappaleita. Kappaleet ovat 25 mm leveitä ja 130 mm korkeita. Liimattu pinta-ala on 25 mm x 40 mm. Kappaleet liimattiin betonilaatan valutilaisiin ylä- ja alapintaan, ei laatan leikkauspintaan. Kappaleessa kaikki pinnat on liimattu samalla testattavalla liimalla. Opinnäytetyössä testattiin kolmea liimaa, ja kaikille tehtiin kolme rinnakkaista testiä. Muovikappaleille ei suoritettu leikkauslujuustestiä, koska sopivan kokoista materiaalia ei saatu hankituksi.



Kuva 20. Muovi-betoniliitoksen T-repimislujuus koekappale

Betoni-teräskoekappaleiden valmistus

Ensin betoni-laatta leikataan pienempiin osiin ja liimattavat pinnat harjataan huolellisesti. Kumiosat käsitellään molemmiin puolin puhdistusaineella, jonka annetaan kuivua ennen liimausta. Teräsosat hiotaan hiomasienellä, ja tämän jälkeen puhdistetaan puhdistusaineella. Pika- ja hybridiliimaa käytettäessä testattavaa liimaa levitetään betonille. Tämän jälkeen, liiman päälle asetetaan kumilevy, joka painetaan tiiviisti pintaan. Kumien päälle levitetään samaa testattavaa liimaa kuin betoninkin päälle, minkä jälkeen teräsosa liitetään kumin päälle. Teräs osaa painetaan voimakkaasti pintaan noin 20 sekunnin ajan, jonka jälkeen tehdään toinen puoli samalla tavalla. Kun molemmat puolet on liimattu, osien annetaan kuivua.

Aktivaattori kovetteisella akrylaattiliimalla liimattaessa, aktivaattori ja liima levitetään eri pintoihin. Akryyliiliima levitettiin betonille, ja aktivaattori kumin pinnalle, minkä jälkeen pinnat liitettiin yhteen. Ylöspäin jääneelle kumipinnalle levitettiin akryyliiliimaa ja vastavasti teräspinnalle levitettiin aktivaattoria. Tämän jälkeen kappaleet tuotiin yhteen ja liitosta painettiin voimakkaasti noin 20 sekunnin ajan, jonka jälkeen tehtiin toinen puoli. Osien annettiin kuivua vähintään 48 tuntia ennen testausta.

Betoni-muovikoekappaleiden valmistus

Hissikuilun johtokourusta leikataan L-kirjaimen muotoisia osia. Sahauksen jälkeen osien reunat hiotaan kevyesti Mirka medium 60 -hiomasienellä. Muoviosien liimattava osuus puhdistetaan puhdistusaineella ja betoni harjataan. Betonille levitetään testattava liima ja muoviosa painetaan päälle. Voimakasta painamista jatketaan noin 20 sekuntia. Tämän jälkeen liimataan samanlainen muovikappale betonin toiselle puolelle. Poikkeuksena on aktivaattorikovetteinen akrylaattiliima, jolloin liimaamisvaiheessa liima levitetään betonin pinnalle ja aktivaattori muovin pinnalle, ja osat liitetään yhteen.

8 Vetokokeiden suoritus

Opinnäytetyössä käytetään Matertest Oy:n Fmt-Mec kN -vetokoelaitteistoa. Koekappaleet kiinnitettiin vetokoelaitteistoon niin, että vetokoneen leuat tarttuvat kappaleeseen tukevasti. Tämän jälkeen T-kuorimislujuustestissä vetokone asetettiin vetämään nopeudella 127 mm/min, ja leikkauslujuus testissä nopeudella 12,7 mm/min. Vetokoe pysäytettiin, kun liitos on pettänyt. Kokeiden jälkeen kirjataan ylös suurin kuorimisvoima ja murtumatyyppi. Leikkauslujuustestissä leikkausvoiman ja liimauspinta-alan avulla lasketaan liiman leikkauslujuus alapuolella olevasta kaavasta, jossa τ = leikkauslujuus (N/mm² eli MPa), F = leikkausvoima (N) ja A = leikkauspinta-ala (mm²)

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

9 Tulokset

betoni-teräsliitoksen T-kuorimislujuus

Taulukoissa 1, 2 ja 3 on esitetty betoni-teräsliitosten T-repismislujuustestien tulokset. Taulukoissa on eritelty jokaisen koekappaleen suurin T-kuoriutumismoima (N) ja näiden lisäksi voimien keskiarvo (K_a) ja keskihajonta. Lisäksi taulukoihin on kirjattu kunkin kappaleen murtumatyyppi. Repimislujuustestien (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja murtumatyyppikuvat löytyvät liitteistä 6-9.

Taulukko 1. Syanoakrylaattiliimalla liimattujen betoni-kumi-teräskoekappaleiden T-kuorimislujuustestien maksimi kuorimisvoimat ja murtumatyypit.

Syanoakrylaatti	Teräs-kumi-betonikoekappaleet
KPL	T-kuorimisvoima
1	622 N
2	814 N
3	1122 N
Keskiarvo K_a	853 N
Keskihajonta	252 N
	Murtumatyyppi
1	80 % liiman irtoaminen betonista, 20 % kumin koheesio murtuma
2	90 % adheesio murtuma kumin ja betonin välillä. Liima jäi kumin pintaan kiinni. 10 % kumin koheesiomurtuma.
3	5 % adheesiomurtuma kumin ja teräksen välissä, liima irtosi teräksestä 5% betonin koheesiomurtuma 90 % kumin koheesiomurtuma

Taulukko 2. Aktivaattorikoveteisellä akryyliiimalla liimattujen betoni-kumi-teräskoekappaleiden T-kuorimisljuuustestien maksimi kuorimisvoimat ja murtumatyytit.

Akt. akryyli	Teräs-kumi-betonikoekappaleet
KPL	T-kuorimisvoima
1	669 N
2	724 N
3	654 N
Keskiarvo K_a	682 N
Keskihajonta	37 N
	Murtumatyyppi
1	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
2	100%:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
3	85%:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä betonipuolella 15%:n adheesiomurtuma liiman ja teräksen välillä.

Taulukko 3. Hybridiliimalla liimattujen betoni-kumi-teräskoekappaleiden T-kuorimisljuuustestien maksimi kuoriutumisoimat ja murtumatyytit.

Hybridiliima	Teräs-kumi-betonikoekappaleet
KPL	T-kuorimisvoima
1	(4 N)
2	161 N
3	168 N
Keskiarvo K_a	165 N
Keskihajonta	5 N
	Murtumatyyppi
1	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä.
2	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä.
3	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä.

Betoni-teräslitoksen leikkauslujuus

Taulukoissa 4, 5 ja 6 on esitetty teräs-kumi-betonikappaleiden leikkauslujuuustestien tulokset. Taulukoissa on eritelty jokaisen koekappaleen leikkauslujuus ja näiden lisäksi leikkauslujuuksien keskiarvo K_a sekä keskihajonta. Lisäksi taulukoihin on kirjattu kunkin kappaleen murtumatyyppi. Taulukoiden 4–6 voima (kN) siirtymän (mm) funktiona kuvaajat ja murtumatyyppikuvat löytyvät liitteistä 9–12. Liitteessä on esitetty myös leikkauslujuuslaskut.

Taulukko 4. Syanoakrylaattiliimalla liimattujen betoni-teräs-kumikoekappaleiden leikkauslujuudet ja murtumatyytit.

Syanoakrylaatti	Teräs-kumi-betonikoekappaleet
KPL	Leikkauslujuus
1	2,00 N/mm ²
2	1,33 N/mm ²
3	1,53 N/mm ²
Keskiarvo Ka	1.62 N/mm ²
Keskihajonta	0,34 N/mm ²
	Murtumatyyppi
1	100%:n kumin kohesiomurtuma
2	90 %:n kumin koheesiomurtuma, 10 % adheesiomurtuma kumin ja betonin välillä.
3	100%:n kumin koheesiomurtuma

Taulukko 5. Aktivaattori kovetteisella akryyliiliimalla liimattujen betoni-teräs-kumikoekappaleiden leikkauslujuudet ja murtumatyytit.

Akt. akryyli	Teräs-kumi-betonikappaleet
KPL	Leikkauslujuus
1	0.36 N/mm ²
2	0.11 N/mm ²
3	0.79 N/mm ²
Keskiarvo Ka	0.42 N/mm ²
Keskihajonta	0,34 N/mm ²
	Murtumatyyppi
1	100%:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
2	100%:n ladheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
3	100%:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä

Taulukko 6. Hybridiliimalla liimattujen betoni-teräs-kumikoekappaleiden leikkauslujuudet ja murtumatyypit.

Hybridiliima	Teräs-kumi-betonikappaleet
KPL	Leikkauslujuus
1	0,14 N/mm ²
2	0,01 N/mm ²
3	0,20 N/mm ²
Keskiarvo K_a	0,12 N/mm ²
Keskihajonta	0,1 N/mm ²
	Murtumatyyppi
1	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
2	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä
3	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja kumin välillä

Betoni-muoviliitoksen T-kuorimislujuus

Taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty muovikoekappaleiden T-repismislujuustestin tulokset. Taulukoissa on eritelty jokaisen koekappaleen suurin T-kuorimisvoima ja näiden lisäksi voimien keskiarvo K_a sekä keskihajonta. Lisäksi taulukoihin on kirjattu kunkin koekappaleen murtumatyyppi. Kokeiden voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja murtumatyyppikuvat löytyvät liitteistä 13–15.

Taulukko 7. Syanoakrylaattiliimalla liimattujen betoni-muovikoekappaleiden T-kuorimislujuustestien maksimi kuoriutumisoimat ja murtumatyypit.

Syanoakrylaatti	Muovikoekappale
KPL	T-kuorimisvoima
1	347 N
2	376 N
3	267 N
Keskiarvo K_a	330 N
Keskihajonta	56 N
	Murtumatyyppi
1	60 % betonin koheesiomurtuma, 40 % adheesiomurtuma liiman ja betoni välillä
2	90 % betonin koheesiomurtuma, 10 % adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä.
3	100 % betonin pintakerroksen koheesiomurtuma.

Taulukko 8. Aktivaattori kovetteisella liimalla liimattujen betoni-muovikoekappaleiden T-kuorimisljuuustestien maksimi kuoriutumisoimat ja murtumatyytit.

Akt. akrylaatti	Muovikoekappale
KPL	T-kuorimisvoima
1	156 N
2	176 N
3	235 N
Keskiarvo Ka	189 N
Keskihajonta	41 N
	Murtumatyyppi
1	95 %:n adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä, 5 %:n betonin pintakerroksen koheesiomurtuma.
2	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä
3	100 %:n adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä.

Taulukko 9. Kaksikomponenttisella akrylaattiliimalla liimattujen betoni-muovikoekappaleiden T-kuorimisljuuustestien maksimi kuoriutumisoimat ja murtumatyytit.

2K Akrylaatti	Muovikoekappale
KPL	T-kuorimisvoima
1	103 N
2	7 N
3	7 N
Keskiarvo Ka	39 N
Keskihajonta	55 N
	Murtumatyytit
1	100 % adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä
2	100 % adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä
3	100 % adheesiomurtuma liiman ja betonin välillä

Hissikorin listojen liimaus

Asia, joka puoltaa listojen liimausta on, että listoja ei tarvitse irrottaa minkään huolto-toimenpiteen takia. Jos listat täytyy irrottaa, se on erittäin harvinaista ja usein samalla joudutaan purkamaan paljon muutakin. Liiman käyttöä korin kokoamisessa puoltaa myös hissikorien vaihteleva design. Enemmän hissikorit tehtiin hissikorien näköiseksi, jolloin ne kestivät aikaa, mutta nykyään hissikorit tehdään ajan kuvaan sopiviksi ja

trendikkäiksi. Mutta tyylisuunnat ja trendit vaihtuvat, jolloin hissikori näyttää vanhalta nopeastikin. Tällöin hissikorin sisätilojen elinikä on noin 10–15 vuotta. Liimaliitos kestää hyvinkin kyseisen ajan ja, jos hissikorin sisätila päivitetään ajan kuvaan sopivaksi 10–15 vuoden välein, liimaliitoksen pysyvyys ja vaikea purkaminen ei haittaa. Ongelmana jalkalistojen liimauksessa on, että ne asennetaan työmaalla hissien kokoamisen yhteydessä. Työmaan olosuhteet ovat haaste liimaukselle. Työmaalla ilman lämpötilaa ei voi hallita, mikä on ainakin pohjoisessa ongelma talvella. Lisäksi työmailla on pölyistä, joten hissikorin paneelien riittävä puhtaus on vaikea taata.[54]

10 Tulosten tarkastelu

Syanoakrylaatti liimaa hyvin betonia, kumia ja terästä. Liimalla saatiin korkeimmat lujuudet niin T-repimislujuuskokeessa kuin leikkauslujuustestissä. Syanoakrylaattiliima liimaa myös erinomaisesti muovia, jopa niin hyvin, että betoni murtuu, ennen liiman irtoamista. Tämä on nähtävissä muovi-betoni kappaleiden T-repisljujuustestin liitteessä 13.

Aktivaattori kovetteinen akrylaattiliima liimaa kumi-teräs-betonikappaleita kohtalaisesti, mutta liimalla on vaikeuksia liimata SBR-kumia. Suurin syy liiman irtoamiseen oli liiman ja kumin välinen heikko adheesio. Liimattaessa muovia betoniin akrylaattiliiman adheesio petti betonin ja liiman rajapinnassa. Teräs-kumi-betoniliitoksessa T-repisoimat ovat huomattavasti korkeammat kuin muovibetoniliitoksessa. Tämä saattaa selittyä sillä, että kumin venyessä voima jakaantuu suuremmalle pinta-alalle kuin muovibetoniliitoksessa.

Hybridiliimalla suoritetuissa teräs-kumi-betonikappaleiden repimiskokeissa ensimmäinen koe on epäonnistunut, sillä kaksi muuta koetta antavat huomattavasti korkeammat voimat kuin ensimmäinen, joten ensimmäistä koetta ei ole laskettu liiman keskiarvoonkaan mukaan. Hybridiliima ei liimaa kovin hyvin SBR-kumia, sillä kaikki murtumat olivat adheesiomurtumia liiman ja kumin rajapinnalla.

Kaksikomponenttinen akrylaatti, joka on tarkoitettu liimaamaan polyeteeniä, ei testien perusteella tartu betoniin. Tuloksissa on kuitenkin paljon eroavaisuuksia. Ensimmäisen repimislujuustestin tulos on melkein 15-kertainen kahteen jälkimmäiseen verrattuna,

mutta silti kaikilla oli sama murtumatyyppi. Asian varmistamiseksi olisi hyvä tehdä lisäkokeita, jotta voidaan varmistua liiman toimivuudesta.

Leikkauslujuustesteissä syanoakrylaatin leikkauslujuus ylitti SBR-kumin leikkauslujuuden. Muilla liimoilla liimatessa kumi ei murtunut, vaan liimaliitos petti, liiman huonon adheesion takia. Liima irtosi joko kumista tai betonista.

Jatkotutkimustarpeita

Opinnäytetyössä pyrittiin kartoittamaan liimaa, joka pystyisi liimaamaan muovisen johdokourun hissikuilun seinään kiinni. Kokeessa käytettiin kaupasta ostettua betonilaatua, joka ei välttämättä vastaa betonia jota käytetään hissikuilussa. Näin ollen liiman toimivuutta täytyy arvioida myös oikeassa hissikuilussa. Tämän lisäksi myös hissikuilun betonilaatu voi vaihdella rakennuksittain. Ja tämä voi vaikuttaa liiman adheesioon. Lisäksi työssä ei arvioitu liiman toimivuutta erilaisissa olosuhteissa. Maasta ja vuodenaikasta riippuen hissikuilun kosteus ja lämpötila voi vaihdella hyvinkin paljon. Opinnäytetyössä ei myöskään vertailtu kumilaatuja keskenään. Käyttämällä muuta kumia kuin SBR-kumia, tulokset voivat muuttua. Liimat jotka eivät liimanneet SBR-kumia hyvin, voivat liimata jotain toista kumilajia paremmin.

11 Johtopäätökset

Johtokiinnitin

Johtojen järjestämiseen hissikuilussa tarkoitettuun ripustimeen näyttäisi parhaiten sopivan syanoakrylaattiliima eli pikaliima. Pikaliimalla on korkein leikkauslujuus ja kuoritusvoima testatuista liimoista. Pikaliima on myös yksinkertainen käyttää toisin kuin hybridi- ja aktivaattori kovetteinen liima. Pikaliiman leikkauslujuus on suurempi kuin käytetyn SBR-kumin. Myös T-kuorimislujuustestissä kumin lujuus ylittyi osittain, vaikka pääosin murtumatyyppi oli betonin ja liiman välistä adheesiomurtumaa.

Aktivaattorikovetteisella liimalla liimattaessa aktivaattori täytyy ensin levittää toiselle pinnalle, ja liima toiselle liitettävälle pinnalle. Tämä on työläämpää ja työmaa olosuhteissa aktivaattorin lisääminen vastakkaiselle pinnalle voi unohtua helposti. Lisäksi aktivaattori kovetteisen liiman kuorimisvoima ja leikkauslujuus ovat huonompia kuin sy-

anoakrylaattiliimalla. Aktivaattorikovetteisen liiman käytössä suurin ongelma on, että se ei liimaa SBR-kumia hyvin.

Hybridiliima ei liimaa SBR-kumia kovin hyvin. Kaksikomponenttisella hybridiliimalla liimamisessa on ongelmallista sekoitussuuttimen tukkeutuminen ja hidas kuivuminen.

Yksinkertaisempi tapa hissikuilun johtojen kiinnitykseen olisi johtojen kiinnittäminen liimapalkoon. Teoriassa hissikuilun seinään vedettäisiin paksu halkaisijaltaan noin 2–3 mm paksu liimapalko, johon johdot upotettaisiin kiinni. Kyseinen periaate voisi toimia, koska kiinnitettävät johdot ovat hyvin keveitä, eikä niiden tukemiseen tarvita järeitä teräs kiinnittimiä.

Johtokourun kiinnitys

Hissikuilussa kulkevaan muoviseen kouruun näyttäisi testattavista liimoista parhaiten sopivan pikaliima. Pikaliiman etuna on nopea kuivuminen ja korkea lujuus. Testatuista liimoista pikaliima liimaa parhaiten betonia. Pikaliiman nopea kuivuminen on haaste asennettaessa muovikourua. Kouru täytyy saada kerralla oikeaan paikkaan. Pikaliiman matalaviskoosisuus voi myös olla ongelma, sillä liima valuu helposti alas hissikuilun seinässä. Jos nämä ongelmat saadaan ratkaistua esimerkiksi käyttämällä korkea viskoosempaa pikaliimaa ja lasertähtäystä asennustyömaalla, pikaliima voisi hyvinkin korvata ruuviliitoksen Euroopassa, jossa käytetään muovikouruja.

Aktivaattorikovetteinen akryyliiliima pärjää pikaliimalle kohtalaisesti kuorimislujuudessa, mutta se on työläämpi, sillä liima ja aktivaattori täytyy levittää eripinnoille. Liiman kuivumisaika antaa asentajille aikaa asemoida kouru hyvin. Todennäköisesti joitain kourosia jouduttaisiin kuitenkin kiinnittämään ruuveilla, etteivät kourut pääsisi valumaan, ennen kuin liima on kehittänyt riittävän lujuuden.

Kaksikomponentti akrylaattiliima liimaa erinomaisesti muovia, mutta ongelma liiman käytössä on se, ettei se liimaa betonia. Kyseinen liima ei siis sovi tutkittavaan sovellukseen.

Hissikorin jalkalistojen liimaus

Jotta hissikorin listat voitaisiin tulevaisuudessa liimata, ne olisi hyvä liimata jo tehtaalla seinäpaneeliin kiinni. Tällöin paneeli ei pääsisi taipumaan ja liimauksen kontaktipinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Tehtaalla pystytään myös säätämään lämpötila liimauksen kannalta oikeanlaiseksi, sekä pintojen puhtaanapito ja puhdistus on helpompaa. Tehdasolosuhteissa liimallekin on enemmän vaihtoehtoja, sillä tehdasta voi modifioida liimaukselle sopivaksi. Listojen kiinnittämiseen voisi käyttää liimaa tai liimateippiä. [52.]

Lähteet

1. Kone yrityksenä. Verkkosivu. < www.kone.fi/kone-yrityksena/>. Luettu 22.1.2016.
2. Henkel. Verkkosivu. < <http://www.henkel.fi/>>. Luettu 22.1.2016.
3. Helsingin yliopiston nettiopetusmateriaalia. Verkkosivu.
<<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/aloitus.htm>>. Luettu 9.2.2016.
4. History of adhesives pdf. Verkoartikkeli.
<<http://www.bsahome.org/archive/html/escreports/historyofadhesives.pdf>>. Luettu 9.2.2016.
5. A. Pizzi, K. L. Mittal. 2003. Handbook of Adhesive Technology, Second Edition, Revisited and Expanded, Marcel Dekker, Inc.
6. Slideshare.net. Henkel. Verkkosivu.
<<http://www.slideshare.net/DesignWorldOnline/designing-with-adhesives>>. Luettu 12.4.2016.
7. Adhesives Undergo a Revolution in Materials Applications. Verkoartikkeli. IHS Engineering360 < http://insights.globalspec.com/article/1772/adhesives-undergo-a-revolution-in-materials-applications?id=-345652593&uh=e0d426&email=kai.laitinen%40evtek.fi&md=160126&mh=4bc8a9&Vol=Vol5Issue1&Pub=99&LinkId=1764592&keyword=link_1764592&et_rid=419929903&et_mid=82860247&frmtrk=newsletter&cid=nl>. Luettu 16.2.2016.
8. Puutuote prosessi, liimaus ja liimat. Verkkosivu
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/alkutuotteiden_jalostus/liimaus/liimaus_ja_liimat.html>. Luettu 16.2.2016.
- [9] Kaksikomponentti liima. Verkkosivu < <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-%282-c%29>>. Luettu 16.2.2016
10. George S. Brady, Henry R. Clauser, John A. Vaccari. 2002. Materials handbook, fifteenth edition, McGraw-Hill
11. Helsingin yliopiston nettiopetusmateriaali. Verkkosivu
<<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/aloitus.htm>>. Luettu 17.2.2016.
12. Heraeus. Verkkosivut. UV-kovetus
<<http://www.fusionuv.com/uvlearningcenter.aspx?id=206>> Luettu 17.2.2016.

13. Verkkotietosanakirja Britannica. Verkkosivu.
<<http://global.britannica.com/technology/adhesive>>. Luettu 17.2.2016.
14. SpringerLink verkkokirja: Lucas F.M da Silva. Andreas Öchsner. Robert D.Adams. 2011. Handbook of Adhesion Technology Volume 2. Springer.
15. Metalliliitosten suunnitteluohje. Verkkodokumentti. Henkel >http://na.henkel-adhesives.com/us/content_data/LT3771_Metal_Bonding_Guide_v5_LR404796.pdf>. Luettu 22.2.2016.
16. H. Monternot. D. Benazet. H. Ancenay. 1987. Liimausopas. Hakapaino Oy.
17. Opetushallitus oppimateriaali. 2. Korroosionesto: Esiintymismuodot. Verkkodokumentti
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html>. Luettu 22.2.2016.
18. Advantages and benefits of adhesives. Verkkosivu. AdhesiveveandGlue.
<<http://www.adhesiveandglue.com/adhesive-advantage.html>>. Luettu 22.2.2016.
19. TUT. Verkko-opetusmateriaali. Polymeerien ominaisuudet. Verkkosivu
<http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4_2.php>. Luettu 23.2.2016.
20. Disadvantages and drawbacks of adhesives. Verkkosivu. AdhesiveveandGlue
<<http://www.adhesiveandglue.com/adhesive-disadvantage.html>>. Luettu 23.2.2016.
21. Tukes 2.2.2016. Tuote-VOC. Verkkosivu <<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Tuote-VOC/>>. Luettu 30.3.2016.
22. Tikkurila. Teollisuutta ja maaleja koskevat VOC-direktiivit ja asetukset. Verkkosivu
<http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/ajankohtaista/teollisuutta_ja_maaleja_koskevat_voc-direktiivit_ja_asetukset.7735.news>. Luettu 30.3.2016.
23. Consider Adhesive De-Bonding: Stronger Adhesives are Not Always Better. Verkkosivu. Permabond. <<http://www.permabond.com/blog/2014/09/11/adhesive-debonding-stronger-adhesives/>>. Luettu 23.2.2016.
24. Adhesive removal. Verkkosivu. Permabond
<<http://www.permabond.com/blog/2009/07/09/adhesive-removal/>>. Luettu 23.2.2016.
25. Sina Ebnesajjad. 2008. Adhesives Technology Handbook Second Edition. William Andrew.
26. Di-isosyanaatti + polyoli. Verkkosivu. Wikipedia
<<https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane#/media/File:Polyurethane.png>>. Luettu 1.3.2016.

27. Polyurethane adhesives and glue. Verkkosivu. AdhesiveandGLUE.
<<http://www.adhesiveandglue.com/polyurethane-adhesive.html>>. Luettu 26.2.2016.
28. Epoxy resin presented by Biswajit Maity. Verkkosivu.
<<http://www.slideshare.net/biswajitmaity5895/epoxy-resin-presented-by-biswajit-maity-39419288>>. Luettu 1.3.2016.
29. Epoxy Resin Chemistry. Verkkosivu. IHS Engineering360.
<<http://www.globalspec.com/reference/60915/203279/chapter-2-epoxy-resin-chemistry>>. Luettu 2.3.2016.
30. Epoxy Adhesives. Verkkosivu. Adhesive.org. <<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-%282-c%29/epoxy-adhesives>>. Luettu 2.3.2016.
31. What is an Epoxy Adhesive. Verkkosivu. Masterbond.
<<http://www.masterbond.com/techtips/what-epoxy-adhesive>>. Luettu 2.3.2016.
30. Tesa. Verkkosivu. Understanding the Basics of Pressure Sensitive Adhesives Tape
<http://www.tesatape.com/featured/technology_journal/understanding-the-basics-of-pressure-sensitive-adhesive-tapes-tape-101,8805648,1.html>. Luettu 2.3.2016.
31. Epoxy. Verkkosivu. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy>>. Luettu 2.3.2016.
32. Adhesives tapes information. Verkkosivu. IHS Engineering360.
<http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/stock_fabricated_materials_components/adhesive_tapes_films>. Luettu 4.3.2016.
33. Silicone Adhesives. Verkkosivu. Adhesive.org.
<<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-%282-c%29/silicone-adhesives>>. Luettu 5.3.2016.
34. Why use silicone adhesives. Verkkosivu. Masterbond.
<<http://www.masterbond.com/techtips/why-use-silicone-adhesive>>. Luettu 5.3.2016.
35. Factors in selecting medical silicones continuation. Verkkosivu. Albright Technologies <<http://albright1.com/factors-in-selecting-medical-silicones-3/>>. Luettu 5.3.2016.
36. What is a modified silane adhesive. Verkkosivu. AdhesiveandGlue.
<<http://www.adhesiveandglue.com/modified-silane.html>>. Luettu 6.3.2016.
37. Andreas Taino. 2014. Opinnäytetyö. Alumiini- ja lujitemuovikapplaeiden liimaus venetuotannossa. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

<<https://mail.metropolia.fi/owa/attachment.ashx?attach=1&id=RgAAAAC4%2bH8XzeFzQZ4%2blo4j0lI3BwDie%2bG6Y9jNS5gqEU%2fO1I%2b1AAAAA0HHAADie%2bG6Y9jNS5gqEU%2fO1I%2b1AACTI%2flvAAAJ&attid0=BAAAAAAA&attcnt=1>> Luettu 15.3.2016.

38. Ratkaisut teollisuuden tarpeisiin. Verkkodokumentti. Henkel
<http://www.loctite.fi/fis/content_data/Teroson_Industrial_FIN.pdf>. Luettu 15.3.2016.

39. Wetting. Verkkosivu. Wikipedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting#/media/File:Surface_tension.svg>. Luettu 15.3.2016.

40. The Physics of Adhesives. Verkkosivu. <http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Connor_Mattson/connor_mattson/physics.html>. Luettu 15.3.2016.

41. Adhesive bonding. Verkkosivu. AdhesiveandGlue.
<<http://www.adhesiveandglue.com/adhesion-theories.html>>. Luettu 15.3.2016.

42. Surface preparation. Verkkosivu. AdhesiveandGlue.
<<http://www.adhesiveandglue.com/surface-preparation.html>>. Luettu 29.3.2016.

43. Application process. Verkkosivu. Adhesives.org.
<<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/use-of-adhesives/application-equipment/application-process#dots>>. Luettu 30.3.2016.

44. Työterveyslaitos. Verkkosivu. Liimat
<http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/liimat/sivut/default.aspx>. Luettu 30.3.2016.

45. ABB trunking. Verkkodokumentti.
<<https://dub109.mail.live.com/mail/ViewOfficePreview.aspx?messageid=mg4ZfqTEvs5RGaUAAjfeM2GA2&folderid=flinbox&attindex=0&cp=-1&attdepth=0&n=2104955>>. Luettu 1.4.2016.

46. Mitä betoni on. Verkkosivu. Rudus.
<http://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita_betoni_on.htm>. Luettu 1.4.2016.

47. Hissikuilu. Verkkosivu. Elementtisuunnittelu.
<<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/hissikuilut>>. Luettu 1.4.2016.

48. Kumi-elastomeerit. Verkkosivu. Ravelast. <<http://www.ravelast.com/tutkimus-ja-kehitys/kumi-elastomeerit.html>>. Luettu 1.4.2016.

49. SBR-styreenibutadieenikumi. Verkkosivu. Ravelast.
<<http://www.ravelast.com/tutkimus-ja-kehitys/kumi-elastomeerit/sbr.html>>. Luettu 1.4.2016.

50. ASTM D1876. Verkkosivu. Intertek.
<<http://www.intertek.com/polymers/testlopedia/peel-testing/>>. Luettu 4.4.2016.
51. ASTM D1002. Verkkosivu. Admet.
<<http://info.admet.com/specifications/bid/43089/How-to-Perform-an-Adhesive-Lap-Joint-Shear-Strength-Test-ASTM-D1002>>. Luettu 4.4.2016.
52. Harri Jänkävaara ja Ari Hänninen. Kokouskeskustelu Kone, Hyvinkää 4.2.2016.

SBR-kumin ominaisuuksia



4800 Quebec Avenue North
 Minneapolis, MN 55428-4919
 Tel.: +1 (763) 535-6737
 Fax: +1 (763) 535-0828
 sales@robinsonrubber.com
 www.robinsonrubber.com

Rubber Material Selection Guide SBR or Styrene Butadiene

▪ Abbreviation	SBR
▪ ASTM D-2000 Classification	AA, BA
▪ Chemical Definition	Styrene Butadiene
▪ RRP Compound Number Category	40000 Series
◆ <u>Physical & Mechanical Properties</u>	
▪ Durometer or Hardness Range	30 – 95 Shore A
▪ Tensile Strength Range	500 – 3,000 PSI
▪ Elongation (Range %)	450 % – 600 %
▪ Abrasion Resistance	Excellent
▪ Adhesion to Metal	Excellent
▪ Adhesion to Rigid Materials	Excellent
▪ Compression Set	Good to Excellent
▪ Flex Cracking Resistance	Good
▪ Impact Resistance	Excellent
▪ Resilience / Rebound	Good
▪ Tear Resistance	Fair to Excellent
▪ Vibration Dampening	Fair to Good
◆ <u>Chemical Resistance</u>	
▪ Acids, Dilute	Fair to Good
▪ Acids, Concentrated	Poor to Fair
▪ Acids, Organic (Dilute)	Good
▪ Acids, Organic (Concentrated)	Poor to Good
▪ Acids, Inorganic	Fair to Good
▪ Alcohols	Good
▪ Aldehydes	Poor to Fair

Rubber Material Selection Guide
SBR or Styrene Butadiene



◆ Chemical Resistance

▪ Alkalies, Dilute	Fair to Good
▪ Alkalies, Concentrated	Fair to Good
▪ Amines	Poor to Good
▪ Animal & Vegetable Oils	Poor to Good
▪ Brake Fluids, Non-Petroleum Based	Poor to Good
▪ Diester Oils	Poor
▪ Esters, Alkyl Phosphate	Poor
▪ Esters, Aryl Phosphate	Poor
▪ Ethers	Poor
▪ Fuel, Aliphatic Hydrocarbon	Poor
▪ Fuel, Aromatic Hydrocarbon	Poor
▪ Fuel, Extended (Oxygenated)	Poor
▪ Halogenated Solvents	Poor
▪ Hydrocarbon, Halogenated	Poor
▪ Ketones	Poor to Good
▪ Lacquer Solvents	Poor
▪ LP Gases & Fuel Oils	Poor
▪ Mineral Oils	Poor
▪ Oil Resistance	Poor
▪ Petroleum Aromatic	Poor
▪ Petroleum Non-Aromatic	Poor
▪ Refrigerant Ammonia	Good
▪ Refrigerant Halofluorocarbons	R-12, R-13
▪ Refrigerant Halofluorocarbons w/ Oil	Poor
▪ Silicone Oil	Poor
▪ Solvent Resistance	Poor

Rubber Material Selection Guide SBR or Styrene Butadiene



◆ Thermal Properties

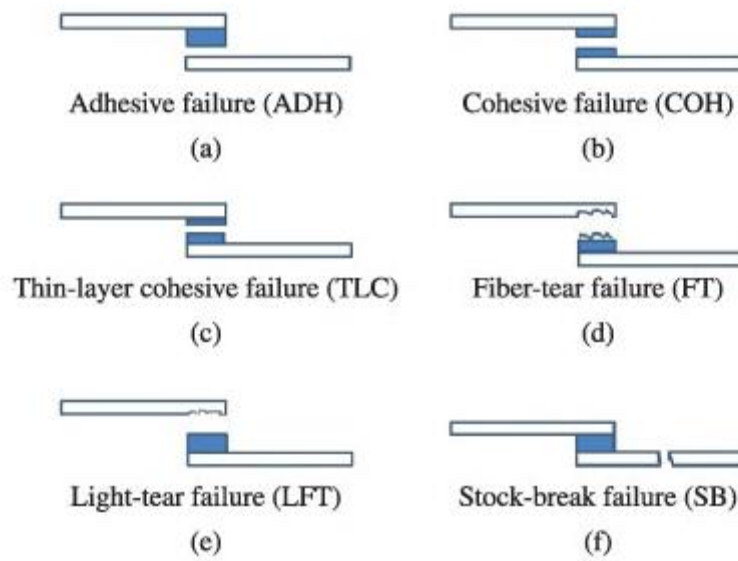
▪ Low Temperature Range	- 60° F to - 30° F
▪ Minimum for Continuous Use (Static)	- 60° F
▪ Brittle Point	- 80° F
▪ High Temperature Range	+ 210° F to + 250° F
▪ Maximum for Continuous Use (Static)	+ 225° F

◆ Environmental Performance

▪ Colorability	Good
▪ Flame Resistance	Poor
▪ Gas Permeability	Fair
▪ Odor	Good
▪ Ozone Resistance	Poor
▪ Oxidation Resistance	Fair to Excellent
▪ Radiation Resistance	Poor to Good
▪ Steam Resistance	Fair to Good
▪ Sunlight Resistance	Poor
▪ Taste Retention	Fair to Good
▪ Weather Resistance	Fair to Good
▪ Water Resistance	Good to Excellent

For assistance in identifying the appropriate polymer or material, or to develop and formulate a SBR or styrene butadiene rubber compound to meet your specific application and performance requirements, please contact Robinson Rubber Products at e-mail: sales@robinsonrubber.com or phone: 1-763-635-6737.

Robinson Rubber Products Company, Inc. makes no expressed or implied warranty as to any qualities, attributes, or characteristics of any polymer or material. This information is provided for reference only.

Liimaliitoksen murtumistyytit

- a) Liiman ja materiaalin välinen adheesio murtuma
- b) Liiman koheesiomurtuma
- c) Ohuen kerroksen koheesiomurtuma
- d) Liimattavan materiaalin koheesiomurtuma
- e) Kevyt koheesiomurtuma
- f) Murtuma liitoksen ulkopuolella

Pikaliiman eli syanoakrylaatin käyttötiedote

Technical Data Sheet

LOCTITE**LOCTITE[®] 401™**

June 2007

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE[®] 401™ provides the following product characteristics:

Technology	Cyanoacrylate
Chemical Type	Ethylcyanoacrylate
Appearance (uncured)	Transparent, colorless to straw colored liquid
Components	One part - requires no mixing
Viscosity	Low
Cure	Humidity
Application	Bonding
Key Substrates	Wood, Paper, Leather and Fabric

LOCTITE[®] 401™ is designed for the assembly of difficult-to-bond materials which require uniform stress distribution and strong tension and/or shear strength. The product provides rapid bonding of a wide range of materials, including metals, plastics and elastomers. LOCTITE[®] 401™ is particularly suited for bonding porous or absorbent materials such as wood, paper, leather and fabric.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Specific Gravity @ 25 °C	1.06
Flash Point - See MSDS	
Viscosity, Cone & Plate, mPa-s (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 3,000 s ⁻¹	70 to 110 ^{max}
Viscosity, Brookfield - LVF, 25 °C, mPa-s (cP):	
Spindle 1, speed 30 rpm	90 to 140

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Under normal conditions, the atmospheric moisture initiates the curing process. Although full mechanical strength is developed in a relatively short time, curing continues for at least 24 hours before full mechanical solvent resistance is developed.

Cure Speed vs. Substrate

The rate of cure will depend on the substrate used. The table below shows the fixture time achieved on different materials at 22 °C / 50 % relative humidity. This is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, seconds:	
Steel	20 to 45
Aluminum	2 to 10
Zinc dichromate	10 to 30
Neoprene	< 5
Rubber, nitrile	< 5
ABS	1 to 2
PVC	3 to 10
Polycarbonate	5 to 10
Phenolic	< 2
Wood (oak)	< 1

Wood (oak)	10 to 30
Wood (pine)	10 to 20
Chipboard	5 to 10
Fabric	10 to 20
Leather	5 to 10
Paper	5 to 10

Cure Speed vs. Bond Gap

The rate of cure will depend on the bondline gap. Thin bond lines result in high cure speeds, increasing the bond gap will decrease the rate of cure.

Cure Speed vs. Humidity

The rate of cure will depend on the ambient relative humidity. Higher relative humidity levels result in more rapid speed of cure.

Cure Speed vs. Activator

When cure speed is unacceptably long due to large gaps, applying activator to the surface will improve cure speed. However, this can reduce ultimate strength of the bond and therefore testing is recommended to confirm effect.

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured for 1 week @ 22 °C

Physical Properties:	
Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K ⁻¹	107X10 ⁻³
Coefficient of Thermal Conductivity, ISO 8302, W/m-K	0.4
Glass Transition Temperature, ISO 11359-2, °C	121
Electrical Properties:	
Volume Resistivity, IEC 60093, Ω-cm	277X10 ¹¹
Surface Resistivity, IEC 60093, Ω	69X10 ¹¹
Dielectric Breakdown Strength, IEC 60243-1, kV/mm	33
Dielectric Constant / Dissipation Factor, IEC 60250:	
1 kHz	2.72 / 0.02
1 MHz	2.53 / 0.02
10 MHz	2.42 / 0.01

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Adhesive Properties

Cured for 10 seconds @ 22 °C

Tensile Strength, ISO 6922:	
Sun-dry	N/mm ² ≥ 6.9 ^{min} (psi) ≥ 1,000

Cured for 72 hours @ 22 °C

Tensile Strength, ISO 6922:	
Sun-dry	N/mm ² 8 to 15 (psi) (1,200 to 2,200)


Henkel Technologies

TDS LOCTITE® 401™, June 2007

Steel (d/ri blasted)	N/mm ² 7 to 16 (psi) (1,000 to 2,300)
Lap Shear Strength, ISO 4587: Steel (d/ri blasted)	N/mm ² 17 to 24 (psi) (2,500 to 3,500)
Aluminum (etched)	N/mm ² 2 to 11 (psi) (290 to 1,600)
Zinc dichromate	N/mm ² 0.5 to 2 (psi) (70 to 290)
ABS	N/mm ² 7 to 9 (psi) (1,000 to 1,300)
PVC	N/mm ² 7 to 16 (psi) (1,000 to 2,300)
Phenolic	N/mm ² 1 to 5 (psi) (150 to 730)
Polycarbonate	N/mm ² 7 to 11 (psi) (1,000 to 1,600)
Nitrile	N/mm ² 1 to 2 (psi) (150 to 290)
Neoprene	N/mm ² 1 to 2 (psi) (150 to 290)

Chemical/Solvent Resistance
Aged under conditions indicated and tested @ 22 °C.

Environment	°C	% of initial strength			
		100 h	500 h	1000 h	5000 h
Motor oil	40	120	110	110	85
Unleaded gasoline	22	85	80	80	75
Ethanol	22	100	105	110	120
Isopropanol	22	100	110	105	120
Water	22	80	70	55	65
88% R.H.	40	70	60	55	55

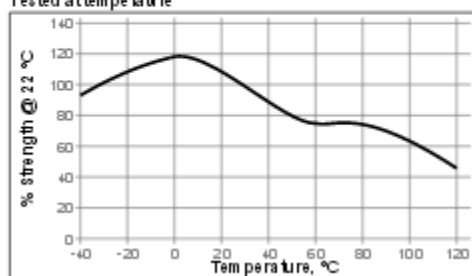
Lap Shear Strength, ISO 4587:
Polycarbonate

Environment	°C	% of initial strength			
		100 h	500 h	1000 h	5000 h
Air	22	120	125	115	130
88% R.H.	40	120	110	120	115

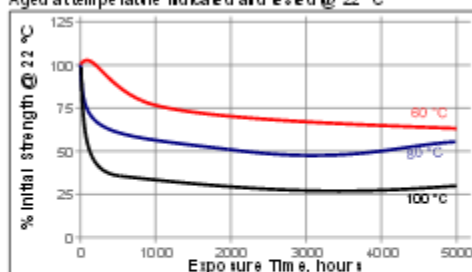
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 1 week @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:
Steel (d/ri blasted)

Hot Strength
Tested at temperature



Heat Aging
Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C



GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

Directions for use

1. Bond areas should be clean and free from grease. Clean all surfaces with a Loctite® cleaning solvent and allow to dry.
2. Loctite® Primer may be applied to the bond area. Avoid applying excess Primer. Allow the Primer to dry.
3. LOCTITE® Activator may be used if necessary. Apply the LOCTITE® Activator to one bond surface (do not apply activator to the primed surface where Primer is also used). Allow the Activator to dry.
4. Apply adhesive to one of the bond surfaces (do not apply the adhesive to the activated surface). Do not use items like tissue or a brush to spread the adhesive. Assemble the parts within a few seconds. The parts should be accurately located, as the short time time leaves little opportunity for adjustment.
5. LOCTITE® Activator can be used to one side of product outside the bond area. Spray or drop the activator on the excess product.
6. Bonds should be held fixed or clamped until adhesive has cured.
7. Products should be allowed to develop full strength before subjected to any service loads (typically 24 to 72 hours after assembly, depending on bond gap, materials and ambient conditions).

Heike | Loctite Americas
+860.571.5100

Heike | Loctite Europe
+49.89.9268.0

Heike | Loctite Asia Pacific
+81.45.758.1810

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.loctite.com

TDS LOCTITE® 401™, June 2007

Loctite Material Specification™

LMS dated December 16, 2003. Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Quality.

Trademark Usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 2.1**Storage**

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 2 °C to 8 °C. Storage below 2 °C or greater than 8 °C can adversely affect product properties. Material removed from container may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

°C x 1.8) + 32 = °F
 kV/mm x 25.4 = V/mm
 mm / 25.4 = inches
 µm / 25.4 = mil
 N x 0.225 = lb
 N/mm x 5.71 = lb/in
 N/mm² x 145 = psi
 MPa x 145 = psi
 N-m x 8.851 = lb-in
 N-m x 0.738 = lb-ft
 N-mm x 0.142 = oz-in
 mPa-s = cP

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Henkel Loctite Americas
 +860.571.5100

Henkel Loctite Europe
 +49.89.9268.0

Henkel Loctite Asia Pacific
 +81.45.758.1810

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.loctite.com

Aktivaattorikovetteisen akrylaattiliiman käyttötiedote

Technical Data Sheet

LOCTITE**LOCTITE[®] 330™**

December 2009

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE[®] 330™ provides the following product characteristics:

Technology	Acrylic
Chemical Type	Urethane methacrylate ester
Appearance (uncured)	Slightly cloudy, colorless to pale yellow liquid
Components	One component - requires no mixing
Viscosity	High
Cure	With activator
Application	Bonding

LOCTITE[®] 330™ is a general purpose adhesive that is used to bond metal, wood, ferrite, ceramic and plastic materials. Applications include tool handles, appliances, sporting goods and decorative trim.

NSF International

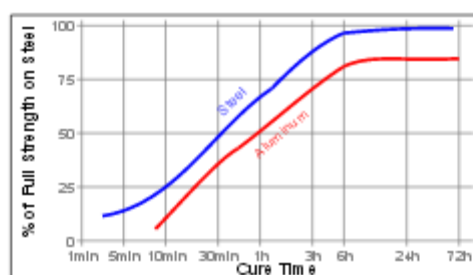
Registered to NSF Category P1 for use as a sealant where there is no possibility of food contact is and around food processing areas. Note: This is a regional approval. Please contact your local Technical Service Center for more information and clarification.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

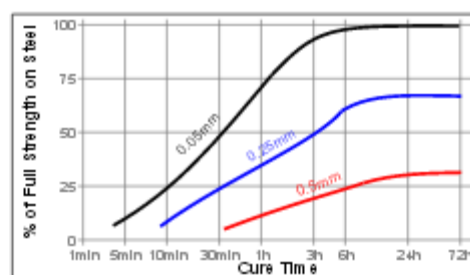
Specific Gravity @ 25 °C	1.05
Flash Point - See MSDS	
Viscosity, Brookfield - RVT, 25 °C, m Pas (cP):	
Spindle 7, speed 20 rpm	45,000 to 90,000 ^{min}
Viscosity, Brookfield - SVV, 25 °C, after 180 s, m Pas (cP):	
Shear rate 20 s ⁻¹	30,000 to 70,000

TYPICAL CURING PERFORMANCE**Cure Speed vs. Substrate**

The rate of cure will depend on the substrate used. The graph below shows the shear strength developed with time on grit blasted steel lap shears and tested according to ISO 4587. (Activator 7387™ applied to one surface).

**Cure Speed vs. Bond Gap**

The rate of cure will depend on the bondline gap. The following graph shows the shear strength developed with time on grit blasted steel lap shears at three controlled gaps and tested according to ISO 4587. (Activator 7387™ applied to one surface)

**TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL****Physical Properties:**

Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K ⁻¹	8x10 ⁻⁵
Coefficient of Thermal Conductivity, ISO 8302, W/m-K	0.1
Specific Heat, kJ/(kg-K)	0.3

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL**Adhesive Properties**

After 24 hours @ 22 °C, Activator 7387™ on 1 side

Lap Shear Strength, ISO 4587:

MIN steel (grit blasted)	N/mm ² 15 to 30 (psi) (2,175 to 4,350)
--------------------------	--

Tensile Strength, ISO 6922:

MIN steel (grit blasted)	N/mm ² 12 to 22 (psi) (1,740 to 3,190)
--------------------------	--

After 24 hours @ 22 °C, Activator 7387™ or 7386™ on 2 sides

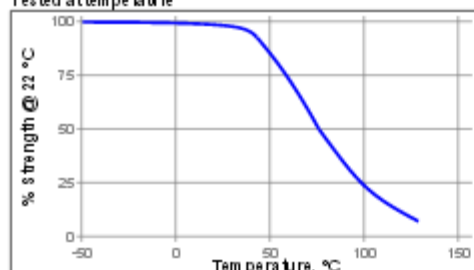
Tensile Strength, ISO 6922:

MIN steel (grit blasted)	N/mm ² ≥ 16.5 ^{min} (psi) (≥ 2,390)
--------------------------	--

TDS LOCTITE® 330™, December 2009

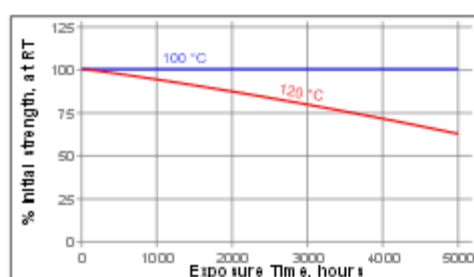
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 1 week @ 22 °C, Activator 7387™ on 1 side
Lap Shear Strength, ISO 4587:
MIM steel (gill blasted):
0.25 mm gap

Hot Strength
Tested at temperature

Heat Aging

Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C



Chemical/Solvent Resistance

Aged under conditions indicated and tested @ 22 °C.

Environment	°C	% of initial strength	
		360 h	720 h
Acetone	22	10	10
Motor oil (MIL-L-6152)	87	90	65
Unleaded gasoline	22	20	20
Phosphate ester	87	93	75
Waterglycol 50/50	87	60	60

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

When aqueous washing systems are used to clean the surfaces before bonding, it is important to check for compatibility of the washing solution with the adhesive. In some cases these aqueous washes can affect the cure and performance of the adhesive.

Directions for use:

- For best performance bond surfaces should be clean and free from grease.
- To ensure a fast and reliable cure, Activator 7387™ or 7386™ should be applied to one of the bond surfaces and the adhesive to the other surface. Parts should be assembled within 15 minutes.
- The recommended bondline gap is 0.1 mm. Where bond gaps are large (up to a maximum of 0.5 mm), or faster cure speed is required, Activator 7387™ or 7386™ should be applied to both surfaces. Parts should be assembled immediately (within 1 minute).
- Excess adhesive can be wiped away with organic solvent.
- Bond should be held clamped until adhesive has hardened.
- Products should be allowed to develop full strength before subjecting to any service loads (typically 24 to 72 hours after assembly, depending on bond gap, materials and ambient conditions).

Loctite Material Specification™

LMS dated March 11, 1996. Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Quality.

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labelling.

Optimal storage: 8 °C to 21 °C. Storage below 8 °C or greater than 28 °C can adversely affect product properties. Material removed from container may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

(°C x 1.8) + 32 = °F
kN/m² x 25.4 = N/m²
mm / 25.4 = inches
µm / 25.4 = mil
N x 0.225 = lb
N/mm x 5.71 = lb/in
N/mm² x 145 = psi
MPa x 145 = psi
N-m x 8.851 = lb-in
N-m x 0.738 = lb-ft
N-mm x 0.142 = oz-in
MPa-s = cP

Henkel Americas

+860.571.5100

Henkel Europe

+49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific

+86.21.2891.8863

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/Industrial

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 1.2

Henkel Americas
+860.571.5100

Henkel Europe
+49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific
+86.21.2891.8863

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial

Hybridiliiman käyttötiedote



Technical Data Sheet

LOCTITE® 4090™

August 2013

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® 4090™ provides the following product characteristics:

Technology	Cyanoacrylate / Epoxy Hybrid
Chemical Type (Part A)	Cyanoacrylate
Chemical Type (Part B)	Epoxy
Appearance (Comp. A)	Transparent colorless to straw colored liquid ¹⁰⁰
Appearance (Comp. B)	Off-white to light yellow gel ¹⁰⁰
Appearance (Mixture)	Clear to slightly cloudy gel
Components	Two component - requires mixing
Mix Ratio, by volume Part A: Part B	1:1
Viscosity	High
Cure	Room temperature cure after mixing
Application	Bonding

LOCTITE® 4090™ is a two component general purpose adhesive which provides a very fast fixture at room temperature. It is designed to bond a variety of substrates including metals, most plastics and rubbers. LOCTITE® 4090™ provides good temperature and moisture resistance which also makes it suitable for applications in high temperature humidity environments. The thixotropic nature makes it suitable for applications where good gap filling properties on rough and poorly fitting surfaces are required.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Part A:

Specific Gravity, g/cm³ 1.01
 Viscosity, Cone & Plate, mPas (cP):
 Temperature: 25°C 4,000 to 7,000¹⁰⁰
 Flash Point - See MSDS

Part B:

Specific Gravity, g/cm³ 1.06
 Viscosity, Cone & Plate, mPas (cP):
 Temperature: 25°C 25,000 to 40,000¹⁰⁰
 Flash Point - See MSDS

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Curing is initiated on mixing the Part A and Part B components. Handling strength is achieved rapidly; full strength is achieved over time.

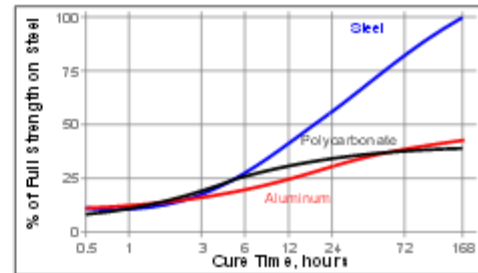
Fixture Time

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time @ 25°C, seconds < 180¹⁰⁰

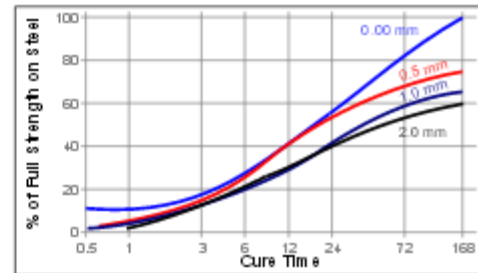
Cure Speed vs. Substrate

The rate of cure will depend on the substrate used. The graph below shows the shear strength developed with time on steel lap shears compared to different materials and tested according to ISO 4587.



Cure Speed vs. Bond Gap

The rate of cure will depend on the bondline gap. The following graph shows the shear strength developed with time on grit blasted mild steel lap shears at different controlled gaps and tested according to ISO 4587.

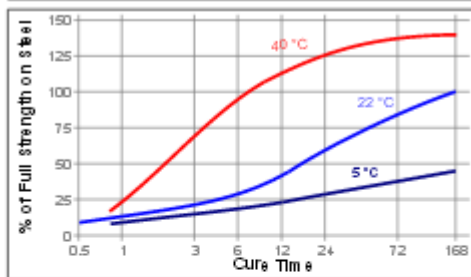


Cure Speed vs. Temperature

The rate of cure will depend on the ambient temperature. The graph below shows the shear strength developed with time at different temperatures on grit blasted mild steel lap shears and tested according to ISO 4587.



TDS LOCTITE® 4090™, August 2013



TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured for 1 week @ 22 °C
Physical Properties:
Glass Transition Temperature ISO 11359-2, °C:
T_g 1 88
T_g 2 122
Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K:
Below T_g (88°C) 7.1X10⁻⁶
Above T_g (88°C) 17.5X10⁻⁶
Below T_g (122°C) 17.1X10⁻⁶
Above T_g (122°C) 15.8X10⁻⁶
Shore Hardness, ISO 868, Durometer D 65 to 69
Tensile Strength, at break, ISO 527-3 N/mm² 7.1
(psi) (1,025)
Tensile Modulus, ISO 527-3 N/mm² 965
(psi) (81,800)
Elongation, at break, ISO 527-3, % 3.6

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

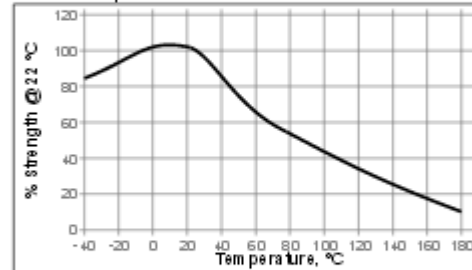
Adhesive Properties
Cured for 168 hours @ 22 °C
Shear Strength, Lap Shear Strength, ISO 4587:

Substrate	N/mm ²	(psi)
Steel (grit blasted)	17	(2,420)
Aluminum	7.5	(1,100)
Aluminum (etched)	13	(1,900)
Zinc dichromate	9.1	(1,320)
Stainless steel	15	(2,120)
ABS	5.2	(750)
Phenolic	3.2	(460)
Polycarbonate	6.9	(1,000)
Ni/Al	0.7	(100)
Wood (Oak)	4.8	(700)
Epoxy	9.1	(1,320)
Polystyrene	0.5	(72)
Polypropylene	0.6	(87)

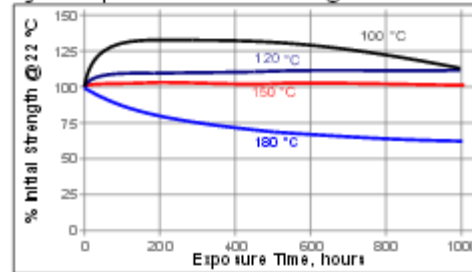
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 1 week @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:
Steel (grit blasted)

**Hot Strength
Tested at temperature**



**Heat Aging
Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C**



**Chemical/Solvent Resistance
Aged in closed bottles indicated and tested @ 22 °C.**

Environment	°C	% of Initial strength		
		100 h	600 h	1000 h
Water	22	90	75	70
Water	60	80	55	55
Motor oil	40	120	130	130
Unleaded gasoline	22	95	100	105
Ethanol	22	85	90	90
Isopropanol	22	100	100	95
Water/glycol 50/50	87	50	5	5
98% R.H	40	85	70	70
95% R.H	65	95	85	65

Henkel Americas
+860.571.5100

Henkel Europe
+49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific
+85.21.2891.8859

For the most direct access to local sales and technical support visit : www.henkel.com/Industrial

TDS LOCTITE® 4090™, August 2013

Lap Shear Strength, ISO 4587:
Polycarbonate

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	500 h	1000 h
95% R.H.	40	100	90	80

Lap Shear Strength, ISO 4587:
Aluminum

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	300 h	500 h
95% R.H.	65	100	95	85

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

When aqueous washing systems are used to clean the surfaces before bonding, it is important to check for compatibility of the washing solution with the adhesive. In some cases these aqueous washes can affect the cure and performance of the adhesive.

Directions for use:

1. Bond areas should be clean and free from grease. Clean all surfaces with a Loctite® cleaning solvent and allow to dry.
2. To use, Part A and Part B must be blended. Product can be applied directly from dual cartridge by dispensing through the mixer head supplied.
3. Insert the cartridge into the application gun and start the plunger into the cylinders using light pressure on the trigger. Next, remove the cartridge cap and expel a small amount of adhesive to be sure both sides are flowing evenly and freely. Attach the static mixing nozzle to the end of the cartridge and begin dispensing the adhesive. Purge and dispose of the first 3 - 8 cm from the end of the mix nozzle, as it may not be sufficiently mixed.
4. Apply the mixed adhesive to one of the bond surfaces to be joined. Parts should be assembled immediately after the mixed adhesive has been applied.
5. Bonds should be held fixed or clamped until adhesive has cured.
6. Keep assembled parts from moving during cure. The bond should be allowed to develop full strength before subjecting to any service load.

Loctite Material Specification^{1,2}

LMS dated May 27, 2013 (Part A) and LMS dated June 10, 2013 (Part B). Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Loctite Quality.

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 2 °C to 8 °C. Storage below 2 °C or greater than 8 °C can adversely affect product properties. Material removed from container may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

°C x 1.8) + 32 = °F
 kN/mm x 25.4 = N/mm
 mm / 25.4 = inches
 µm / 25.4 = mil
 N x 0.225 = lb
 N/mm x 5.71 = lb/in
 N/mm² x 145 = psi
 MPa x 145 = psi
 N-m x 8.851 = lb-in
 N-m x 0.738 = lb-ft
 N-mm x 0.142 = oz-in
 MPa-c = cP

Disclaimer

Note:
 The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as of the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior tests to confirm such suitability of our product.
 Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendations regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA, please additionally note the following:
 In case, Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

Henkel Americas
 +860.571.5100

Henkel Europe
 +49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific
 +86.21.2891.8859

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/Industrial

TDS LOCTITE® 4090™, August 2013

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as of the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior tests to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, Redn Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are the domain of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 0.0

Henkel Americas
+860.571.5100

Henkel Europe
+49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific
+86.21.2891.8859

For the most direct access to local sales and technical support visit : www.henkel.com/Industrial

Kaksikomponentti akryyliiiman käyttötiedote

Technical Data Sheet

LOCTITE**LOCTITE® 3038™**

February 2010

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® 3038™ provides the following product characteristics:

Technology	Acrylic
Chemical Type	Acrylic
Appearance (Part A)	Clear yellow gel ¹⁰⁰
Appearance (Part B)	Viscous straw colored liquid ¹⁰⁰
Components	Two component - requires mixing
Viscosity	Medium, thixotropic
Cure	Two part acrylic
Mix Ratio, by volume - Part A: Part B	1:10
Application	Bonding
Specific Benefit	Bonds low energy plastic without pre-treatment

LOCTITE® 3038™ is designed primarily to bond e-coated metals (ECS) to glass fibre filled polypropylenes (PPGF) but can also be used on other low energy substrates such as LDPE and HDPE. The product is designed to work without surface pre-treatment. The product contains 0.25 mm fillers for bondline thickness control. The thixotropic nature of LOCTITE® 3038™ reduces the migration of the liquid product after application to the substrate.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL**Part A:**

Specific Gravity @ 20 °C	1.2
Viscosity, Cone & Plate, mPas (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 20 s ⁻¹	1,500 to 15,000 ¹⁰⁰
Color, APHA	1 to 3 ¹⁰⁰
Flash Point - See MSDS	

Part B:

Specific Gravity @ 25 °C	1.0
Viscosity, Cone & Plate, mPas (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 20 s ⁻¹	6,000 to 18,000 ¹⁰⁰
Flash Point - See MSDS	

TYPICAL CURING PERFORMANCE

This product cures when the components are dispensed through a static mixer at room temperature.

Fixture Time

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

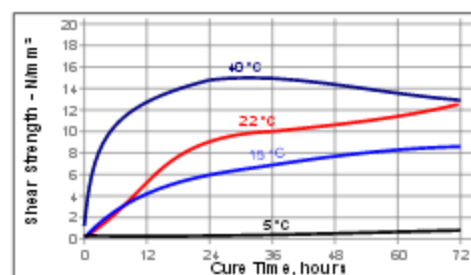
Fixture Time, mixed, minutes:	
PPGF to ECS	≤70

Open Time

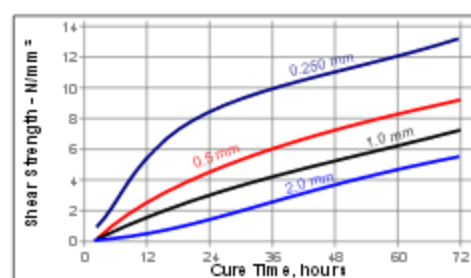
Open Time, mixed, minutes	4
---------------------------	---

Cure Speed vs. Temperature

The graph below shows the shear strength developed with time on ECS to PPGF at different temperatures and tested according to ISO 4587.

**Cure Speed vs. Bond Gap**

The rate of cure will depend on the bondline gap. Thin bond lines result in higher cure speeds, increasing the bond gap will decrease the rate of cure.



TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured for 24 hours @ 22 °C

Physical Properties:

Coefficient of Thermal Expansion, K ⁻¹ :	
Below T _g	178x10 ⁻⁶
Above T _g	145x10 ⁻⁶
Glass Transition Temperature, °C	57
Coefficient of Thermal Conductivity, W/m·K	0.436
Shore Hardness, ISO 868, Durometer D	65

Cured for 168 hours @ 22 °C

Physical Properties:

Elongation at break, ISO 527-2, %	37
Tensile Strength at break, ISO 527-2	N/mm ² 12.96 (psi) (1,880)
Tensile Modulus, ISO 527-2	N/mm ² 704 (psi) (102,080)

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Adhesive Properties

Cured for 72 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to EC S	N/mm ² ≥8 ^{min} (psi) ≥1,160
PPGF to Polycarbonate	N/mm ² 5.5 (psi) (800)
Aluminum	N/mm ² 7.9 (psi) (1,150)
PPGF	N/mm ² 9.8 (psi) (1,420)
Polyamide (Nylon)	N/mm ² 2.9 (psi) (420)
Polybutylene	N/mm ² 13.6 (psi) (1,970)
Terephthalate (PET)	

Cured for 24 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to EC S	N/mm ² 8.4 (psi) (1,220)
--------------	--

Cured for 168 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to EC S	N/mm ² 10.5 (psi) (1,520)
--------------	---

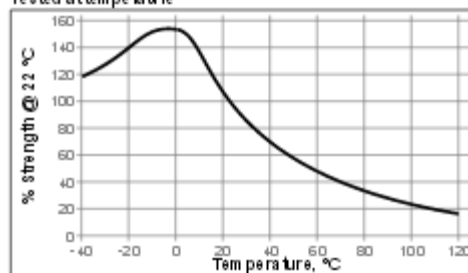
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 24 hours @ 22 °C

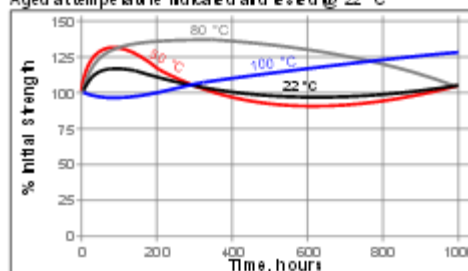
Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to EC S

Hot strength
Tested at temperature



Heat Aging
Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C



Chemical/Solvent Resistance

Aged under conditions indicated and tested @ 22 °C.

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	500 h	1000 h
50% R.H.	40	112	103	94
Motor oil	22	105	110	107
Motor oil	50	132	96	111
Water/glycol	22	114	102	99
Water/glycol	50	109	102	91

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

Directions for use:

- For best performance bond surfaces should be clean and free from grease.
- For more detailed information, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

TDS LOCTITE® 3038™, February 2010

Loctite Material Specification™

LMS dated September 18, 2006 (Part A) and LMS dated September 26, 2007 (Part B). Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Loctite Quality.

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return liquid to original container. Storage information may be indicated on the product container labeling. Optimal storage: 8 °C to 21 °C. Storage below 8 °C or greater than 28 °C can adversely affect product properties. Henkel cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those recommended. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

°C x 1.8) + 32 = °F
 kV/mm x 25.4 = V/mm
 mm / 25.4 = inches
 µm / 25.4 = mil
 N x 0.225 = lb
 N/mm x 5.71 = lb/in
 N/mm² x 145 = psi
 MPa x 145 = psi
 N-m x 8.851 = lb-ft
 N-m x 0.738 = lb-ft
 N-m x 0.142 = oz-ft
 mPas = cP

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 0.4

Henkel Loctite Americas
 +866.332.7024

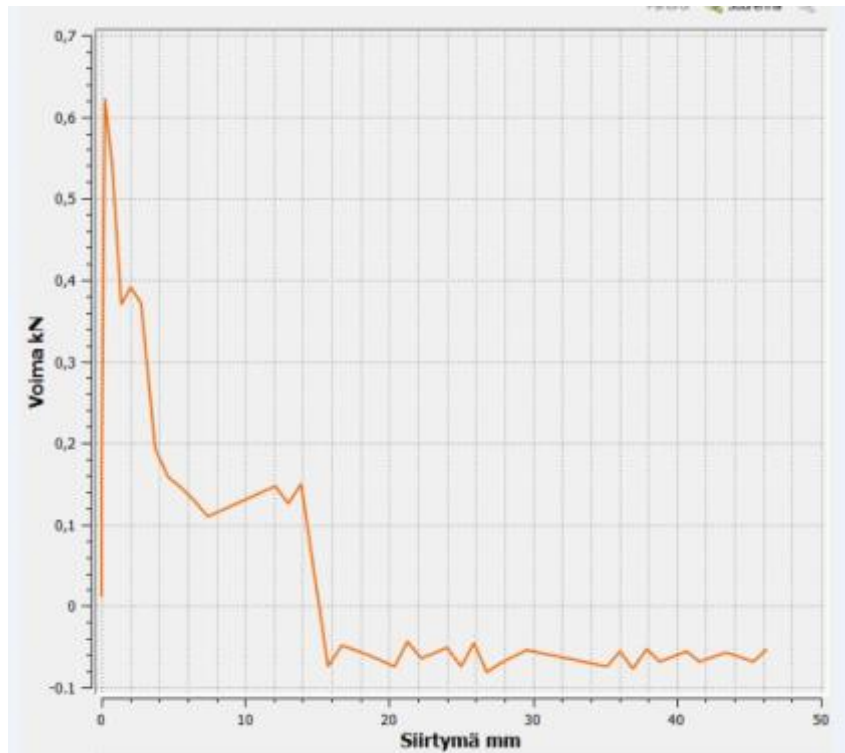
Henkel Loctite Europe
 +49.89.9268.0

Henkel Loctite Asia Pacific
 +81.45.758.1810

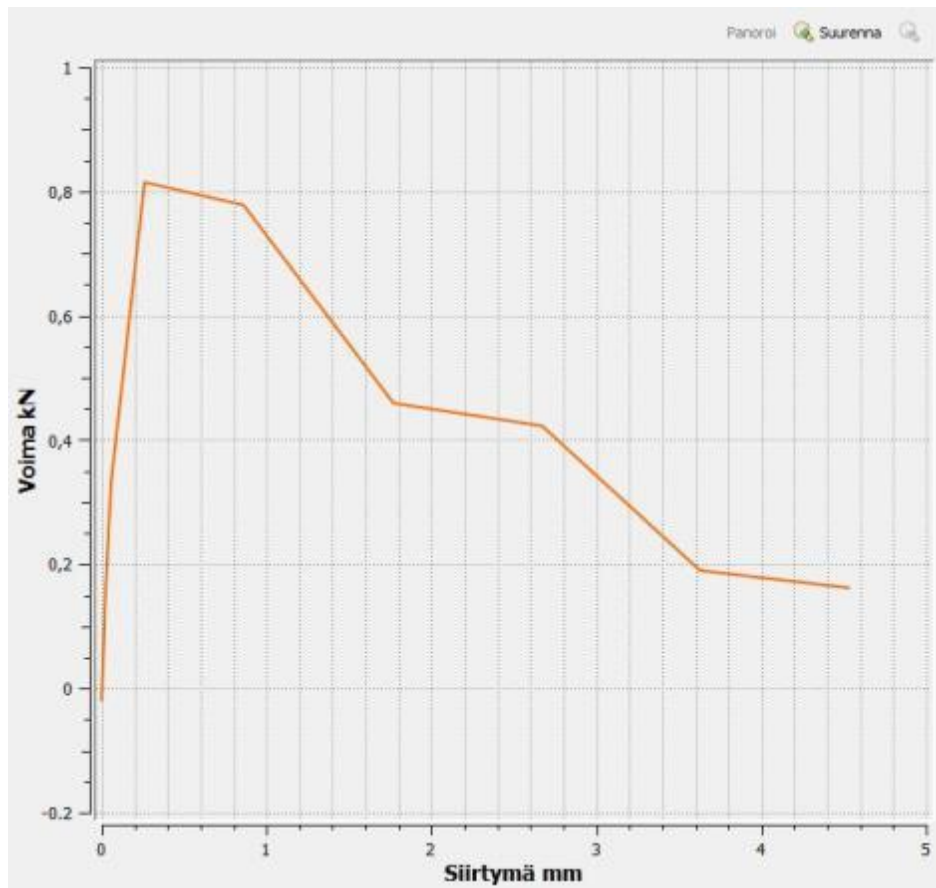
For the most direct access to local sales and technical support visit: www.loctite.com

Syanoakrylaattiliiman koekappaleiden 1–3 T-kuorimislujousteetin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaaja ja kuva murtumapinnasta.

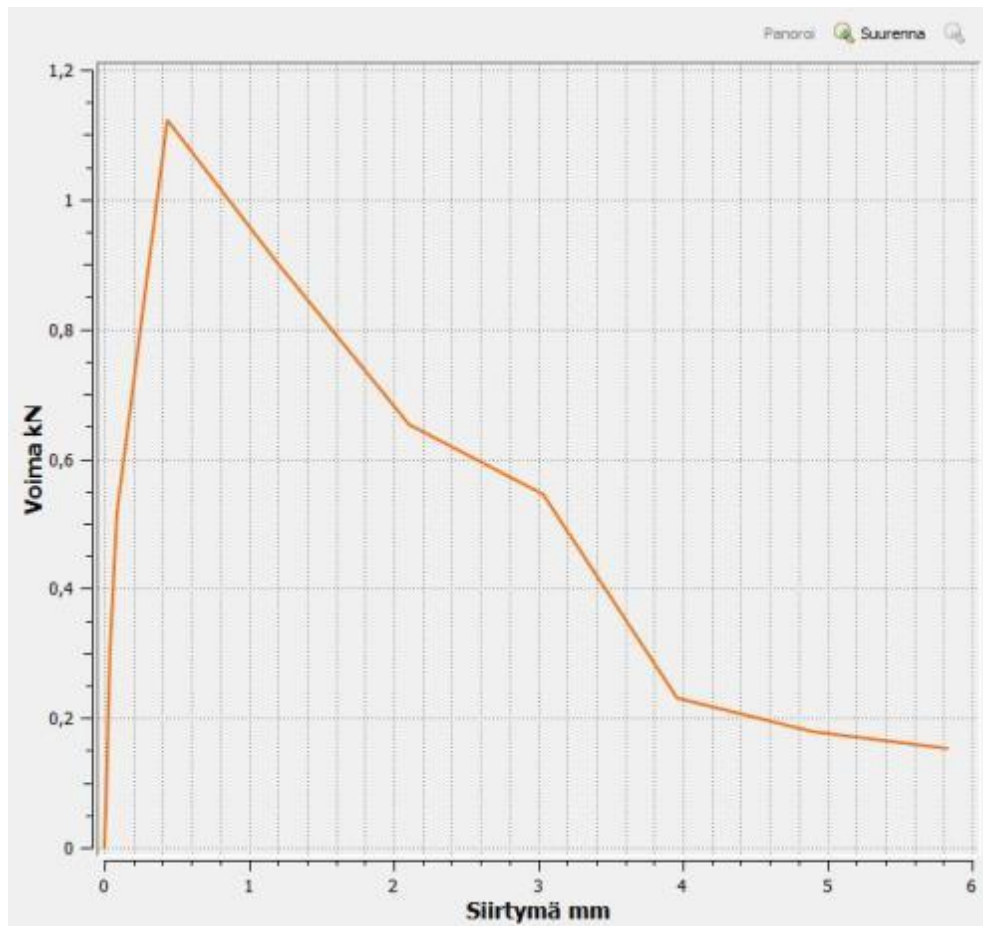
Kpl 1.



Kpl 2

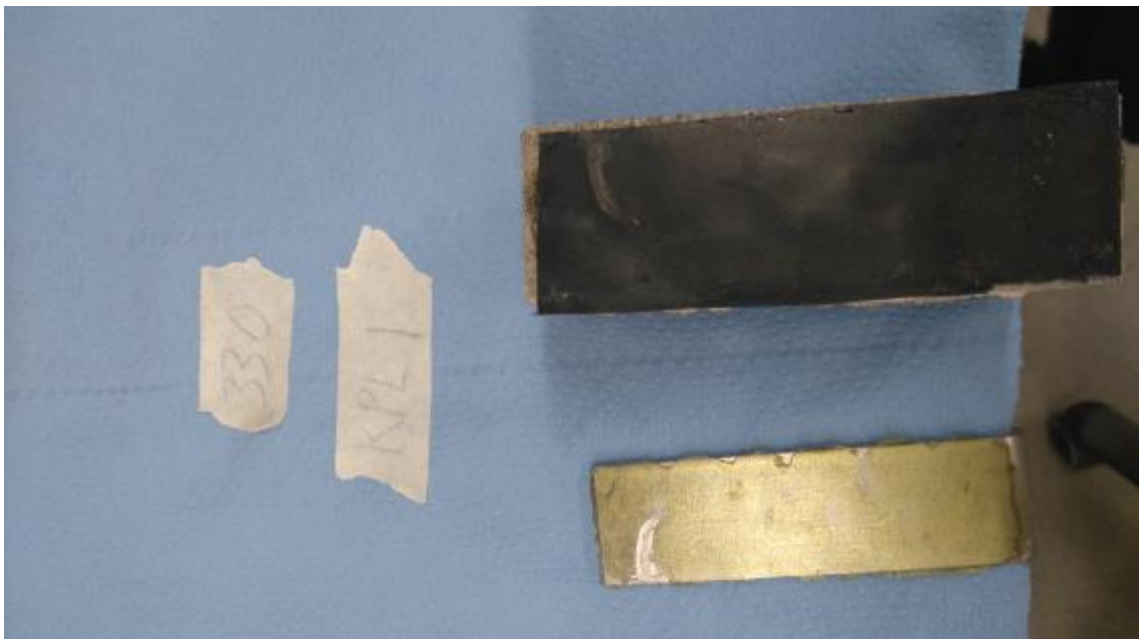
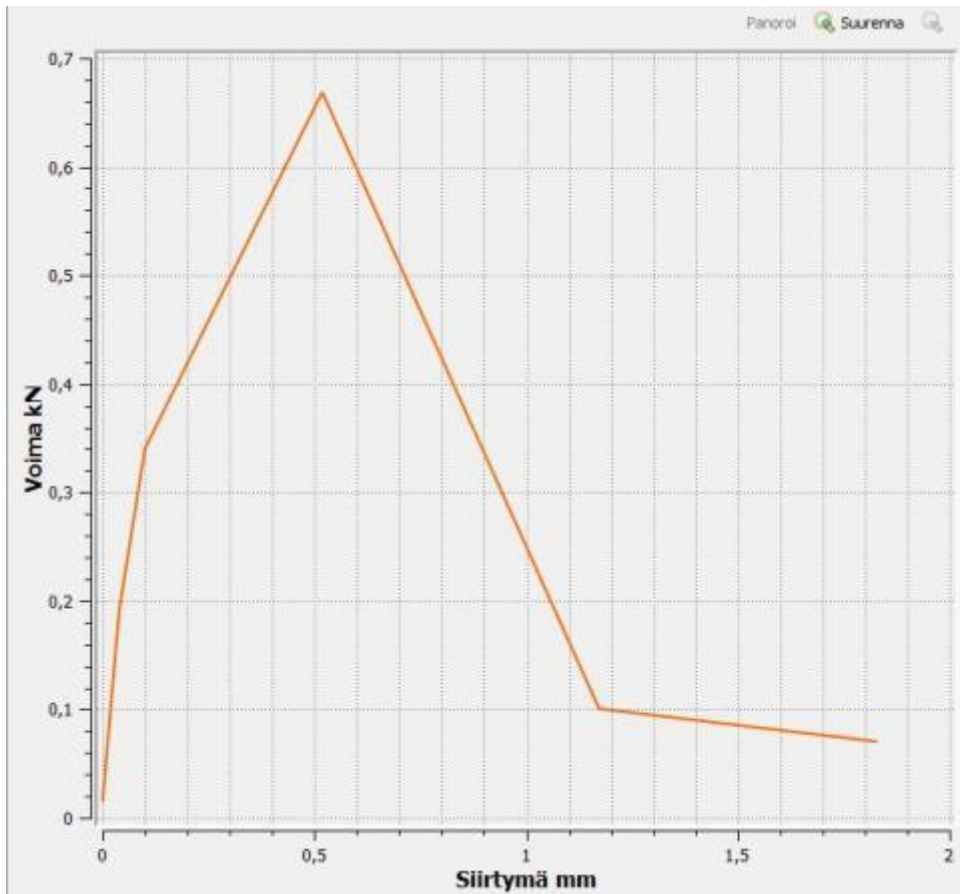


Kpl 3

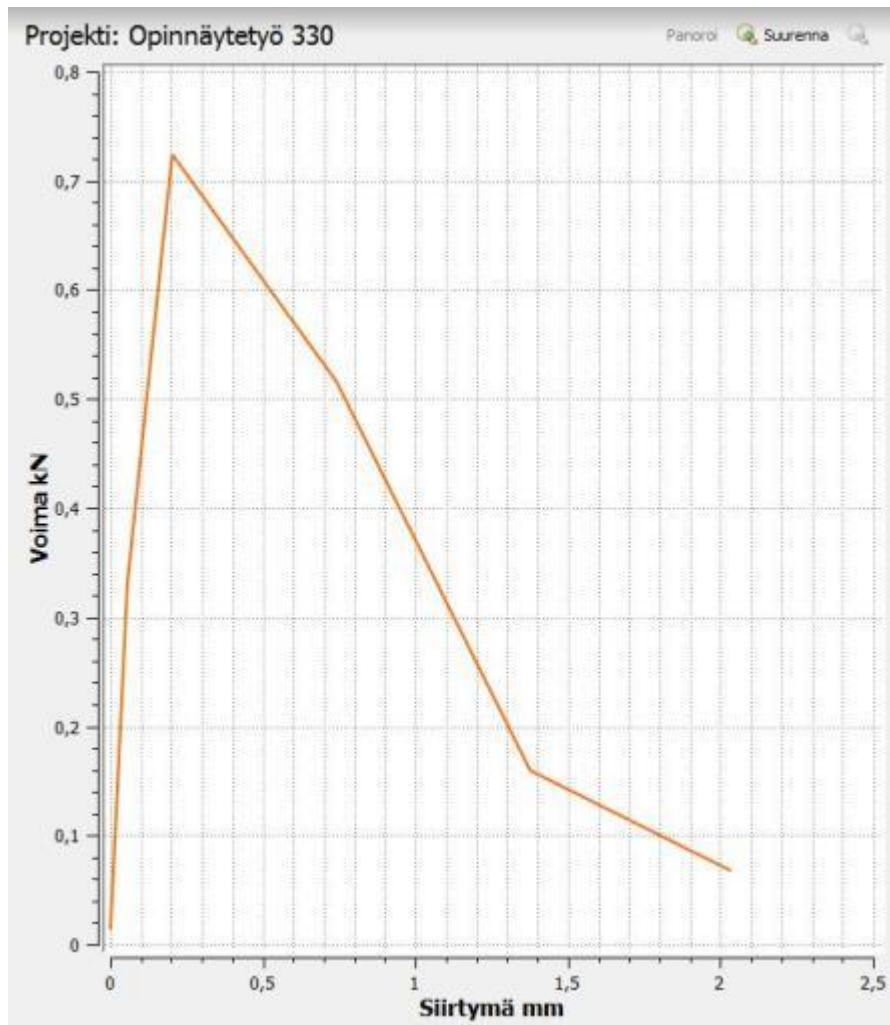


Aktivaattorikovetteisen akryyliin koekappaleiden 1–3 T-kuorimislujuuksien voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.

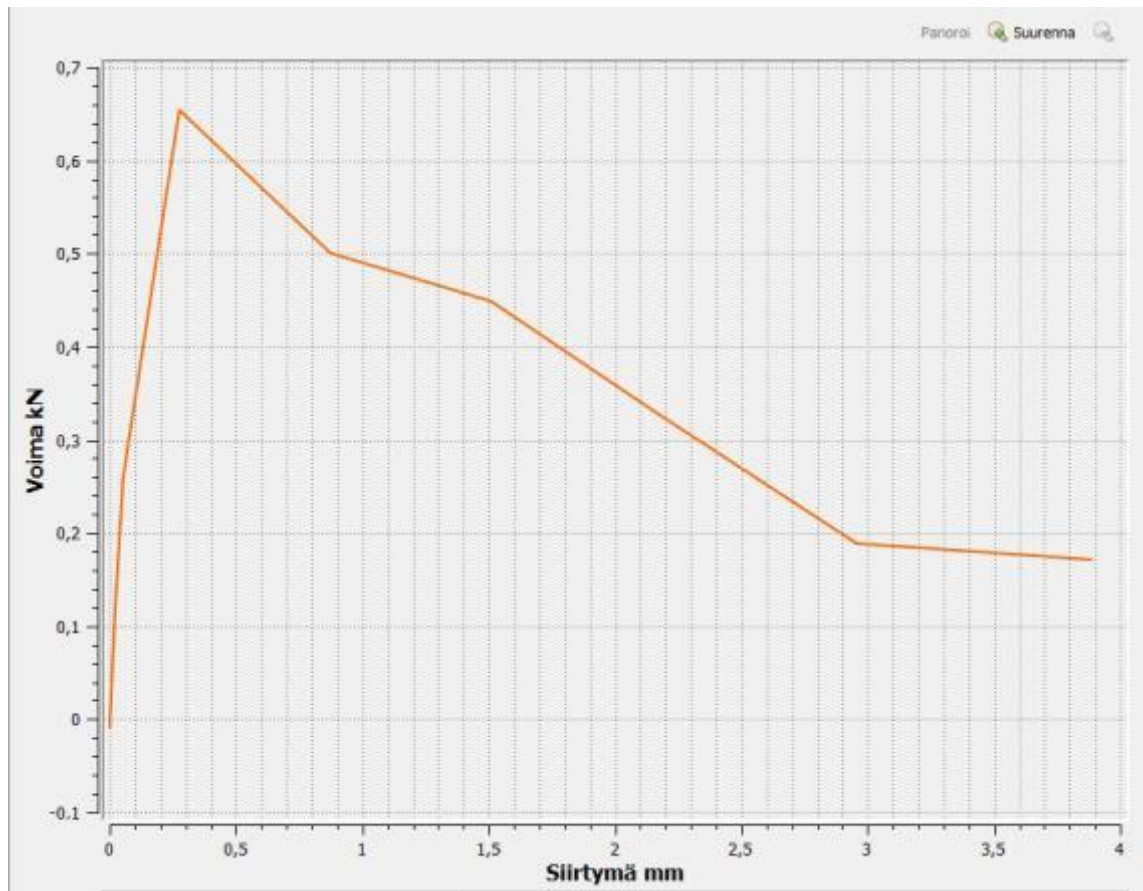
Kpl 1.



Kpl 2.

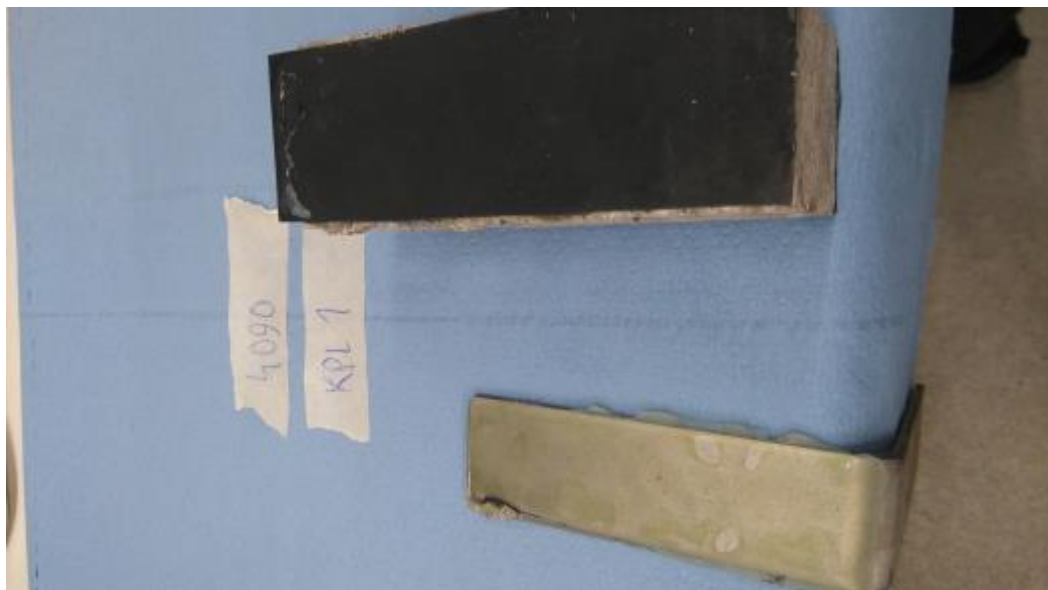
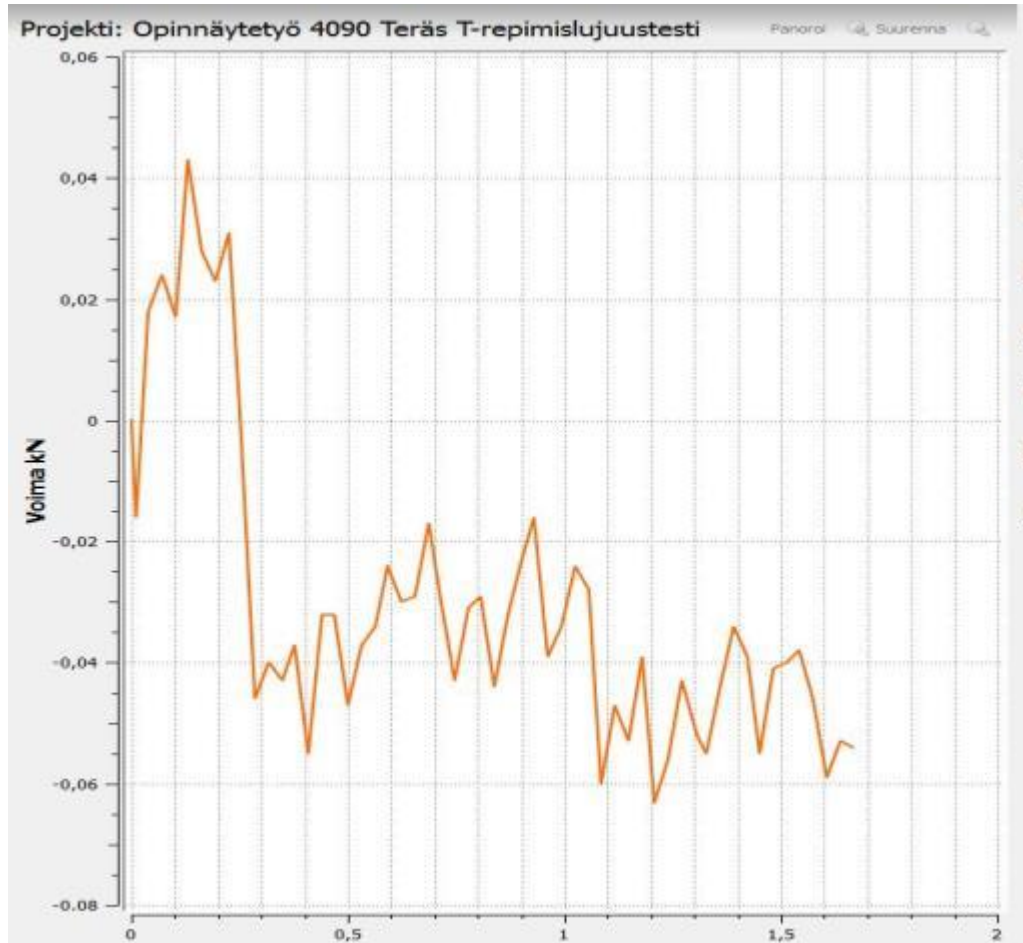


Kpl 3.

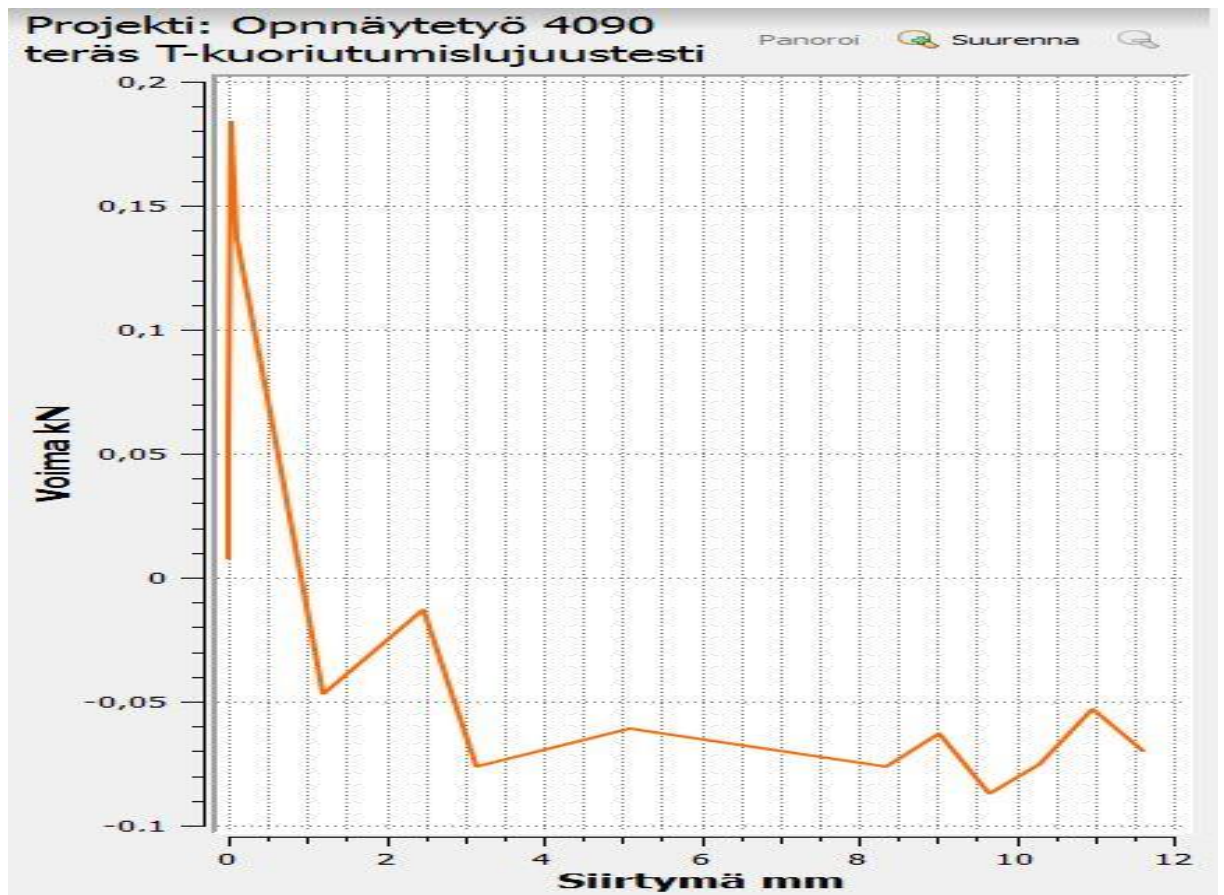


Hybridiliiman koekappaleiden 1–3. T-kuorimislujousteetin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.

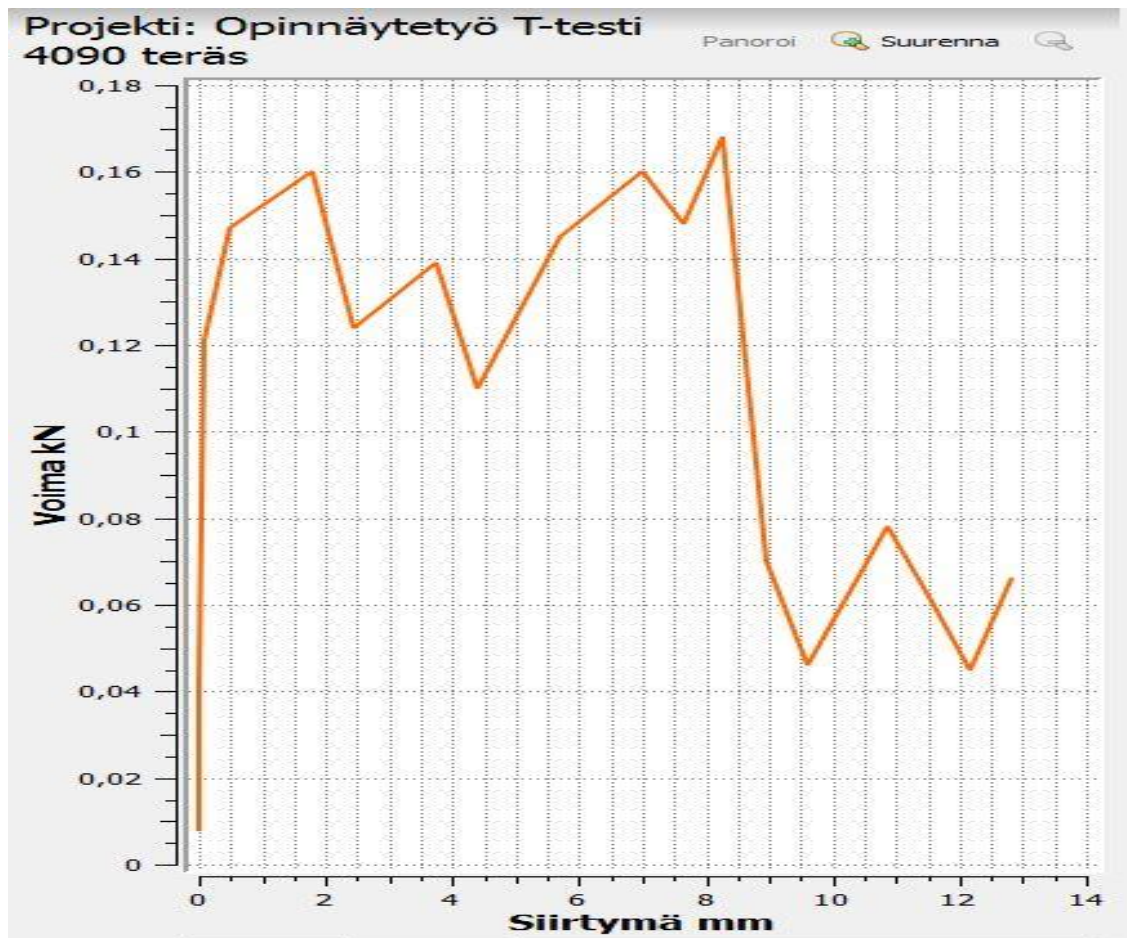
Kpl 1



Kpl 2.

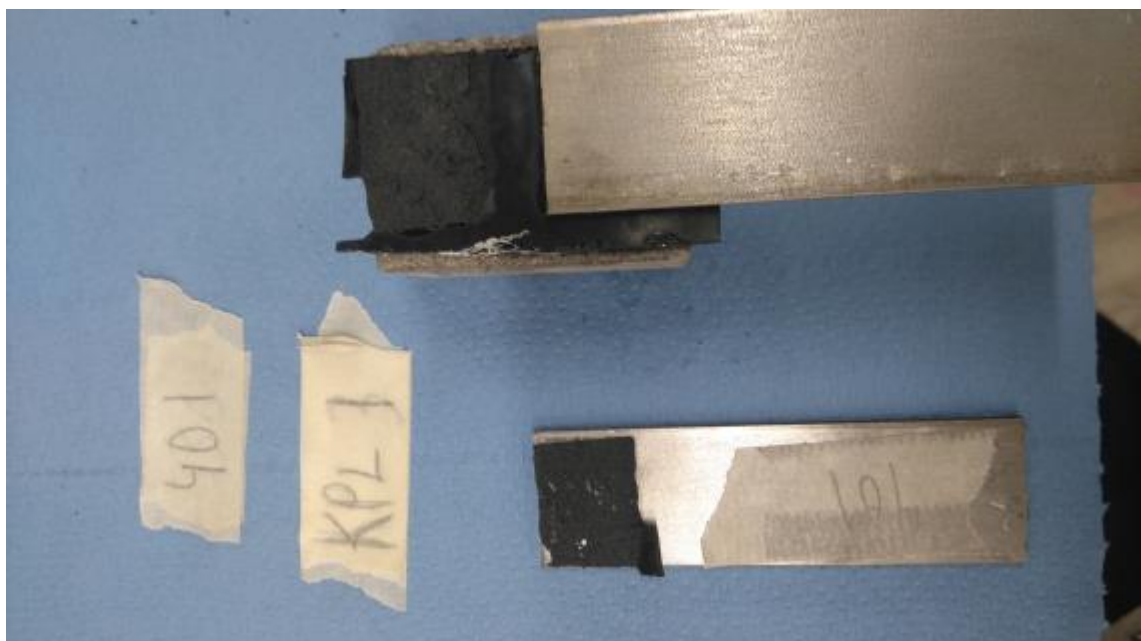
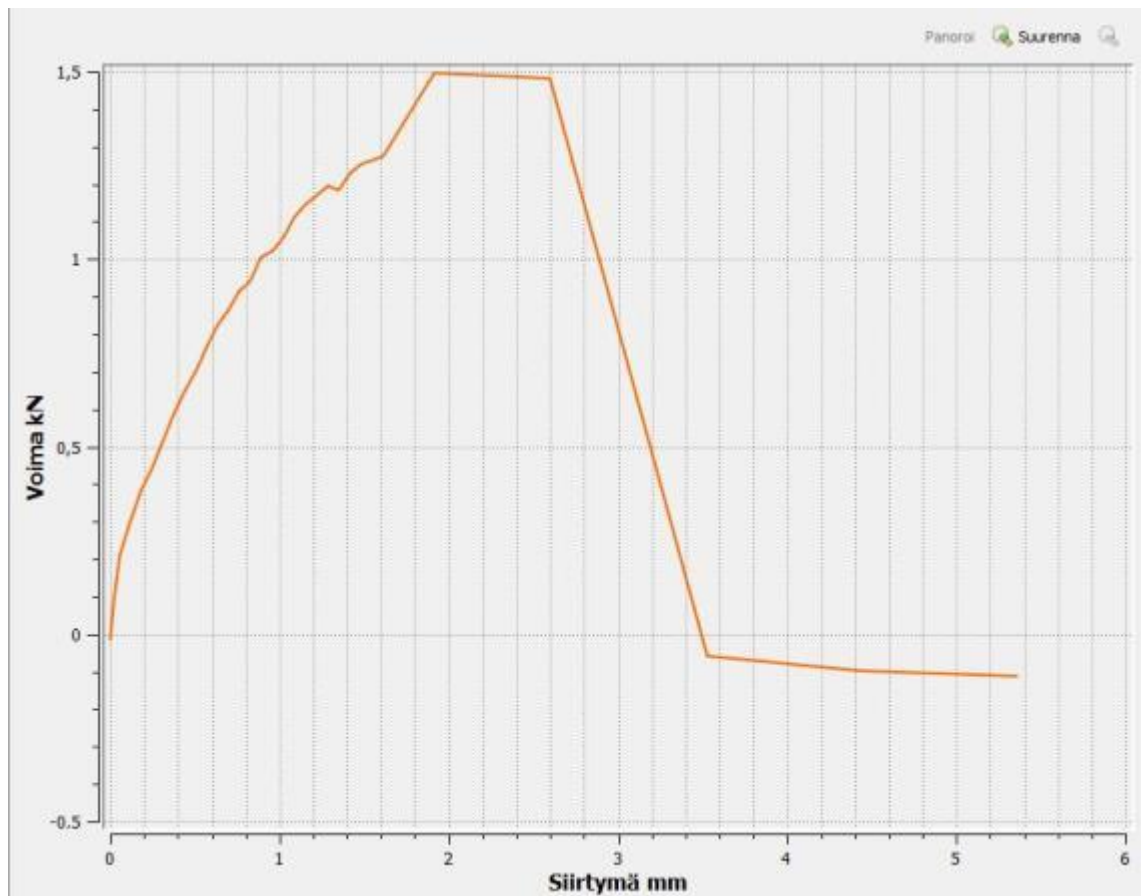


Kpl 3



Syanoakrylaatti liiman koekappaleiden 1–3 Leikkausvoima (kN) siirtymän (mm) funktion- kuvaajat, kuvat murtumapinnasta ja leikkauslujuuden laskenta

Kpl 1.



Lasku $\tau = F / A$:

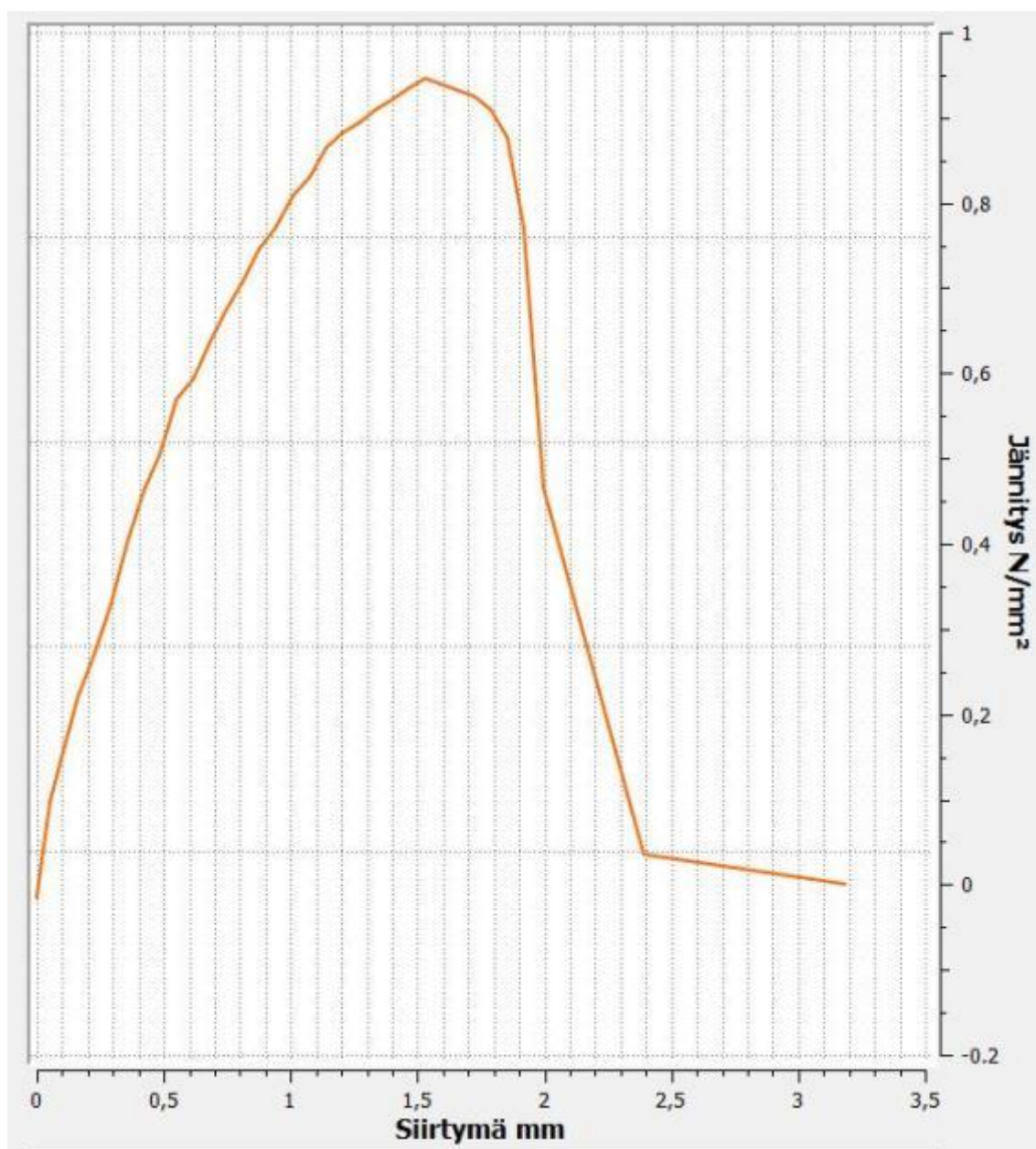
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta $F = 1500$ N.

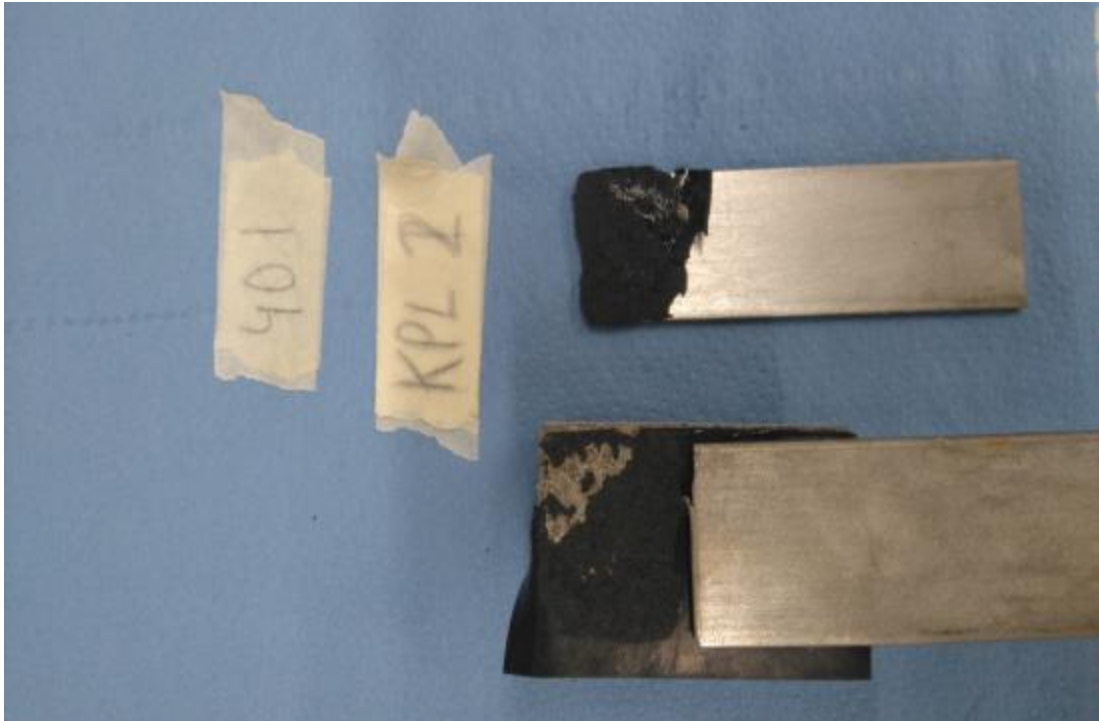
A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 1 tarkka pinta-ala oli 750 mm^2

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 1500 \text{ N} / 750 \text{ mm}^2 = 2 \text{ N/mm}^2 = 2 \text{ MPa}$$

Kpl 2.





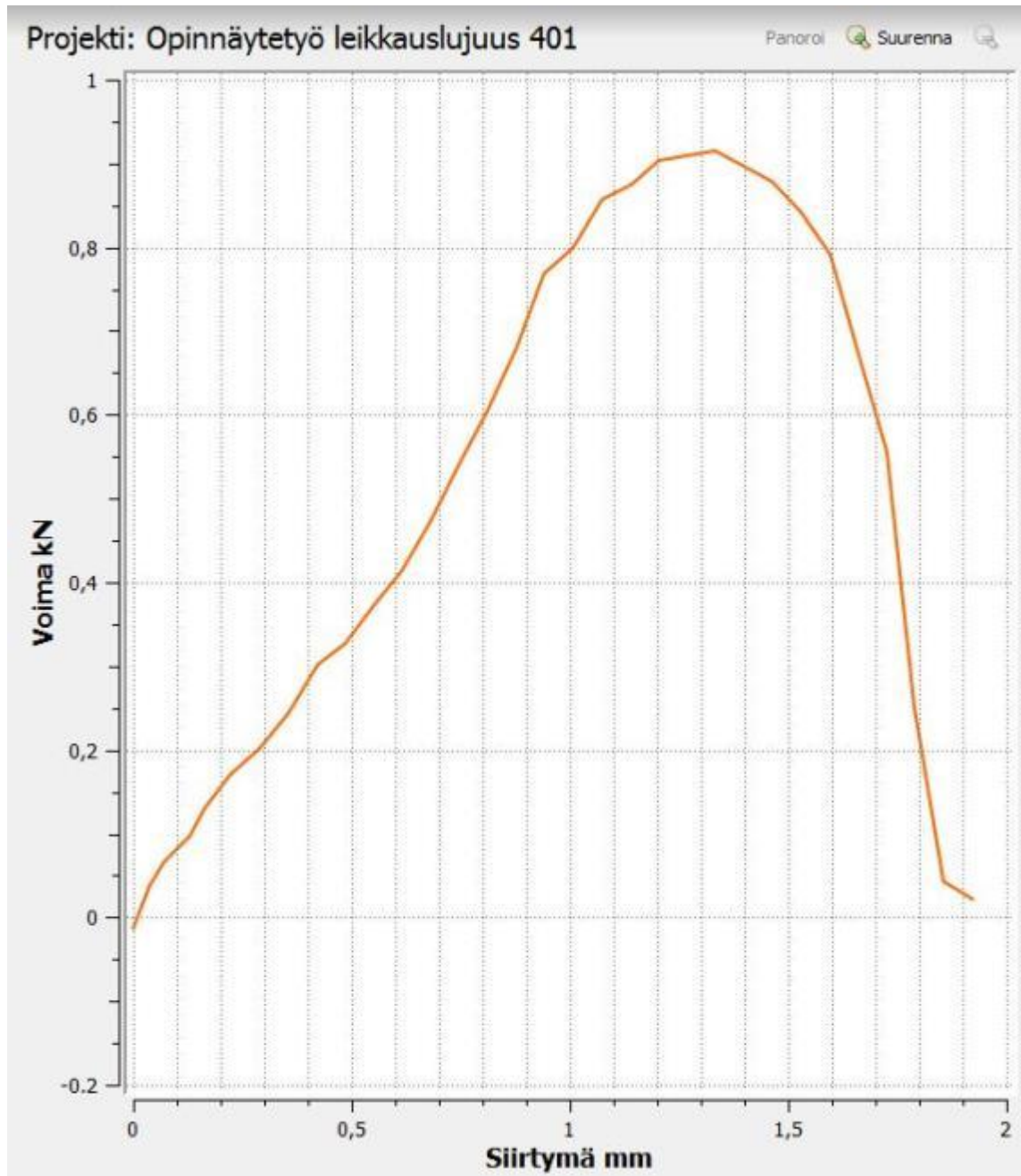
Lasku $\tau = F / A$:

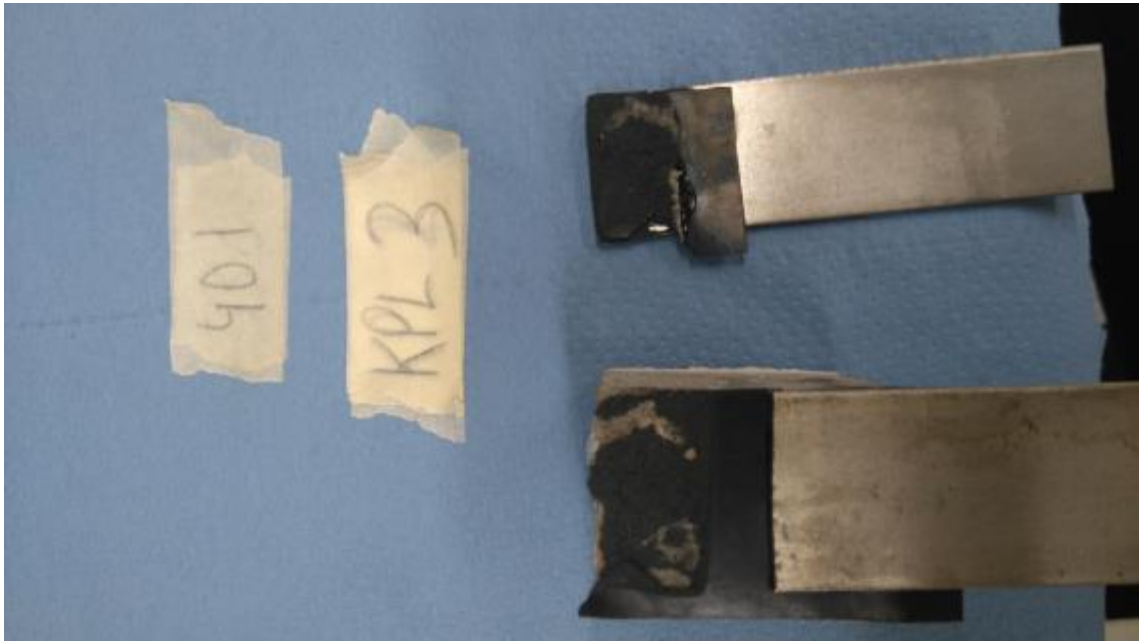
F = leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta, kun katsotaan siirtymä-akselia kohdassa 1.55 mm. F = 875 N.

A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 1 tarkka pinta-ala oli 660 mm²

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 875 \text{ N} / 660 \text{ mm}^2 = 1,33 \text{ N/mm}^2 = 1,33 \text{ Mpa}$$





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

F = leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta, kun katsotaan siirtymä-akselia kohdassa 1.35 mm:ä. F = 915 N.

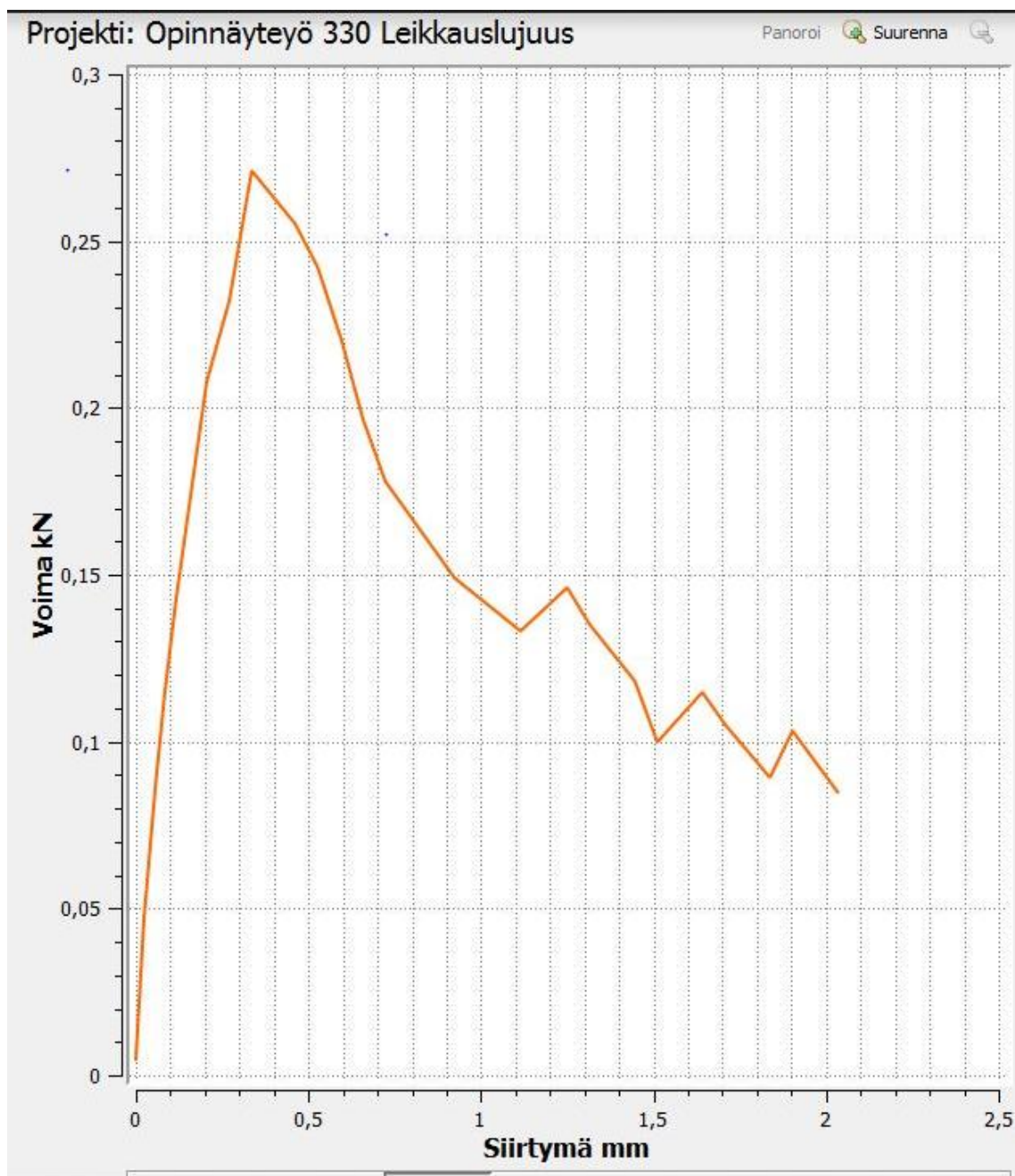
A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 600 mm²

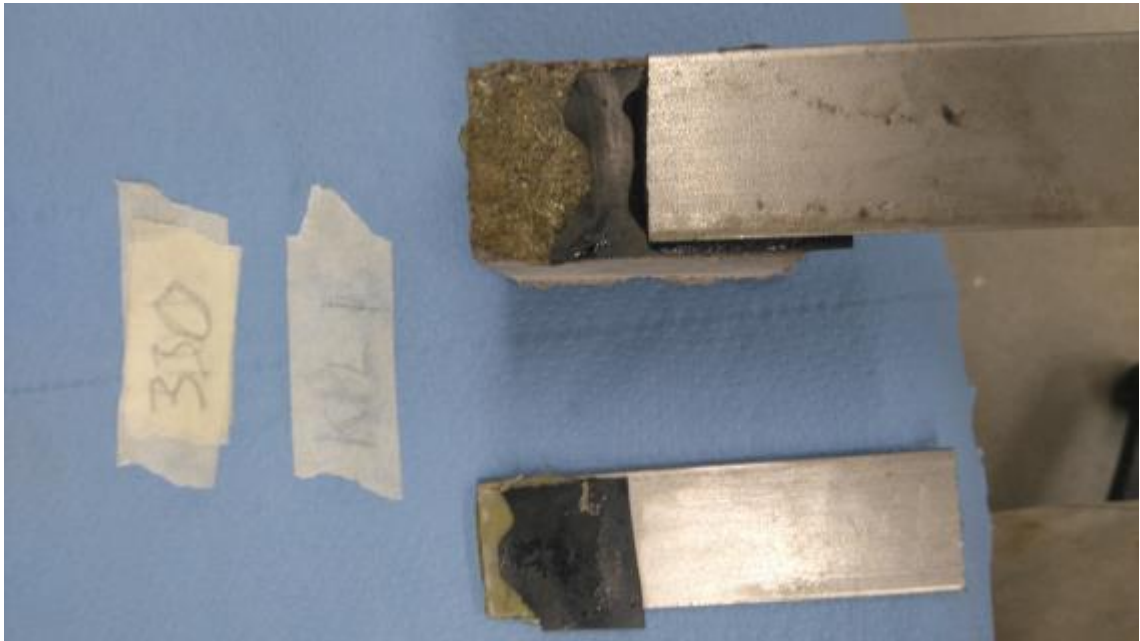
Leikkauslujuus on:

$$\tau = 915 \text{ N} / 600 \text{ mm}^2 = 1,53 \text{ N/mm}^2 = 1,53 \text{ MPa}$$

Aktivaattori kovetteisen akrylaattiliiman kappaleet 1–3 Leikkausvoima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat, kuvat murtumapinnasta ja leikkauslujuuden laskenta.

Kpl 1.





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

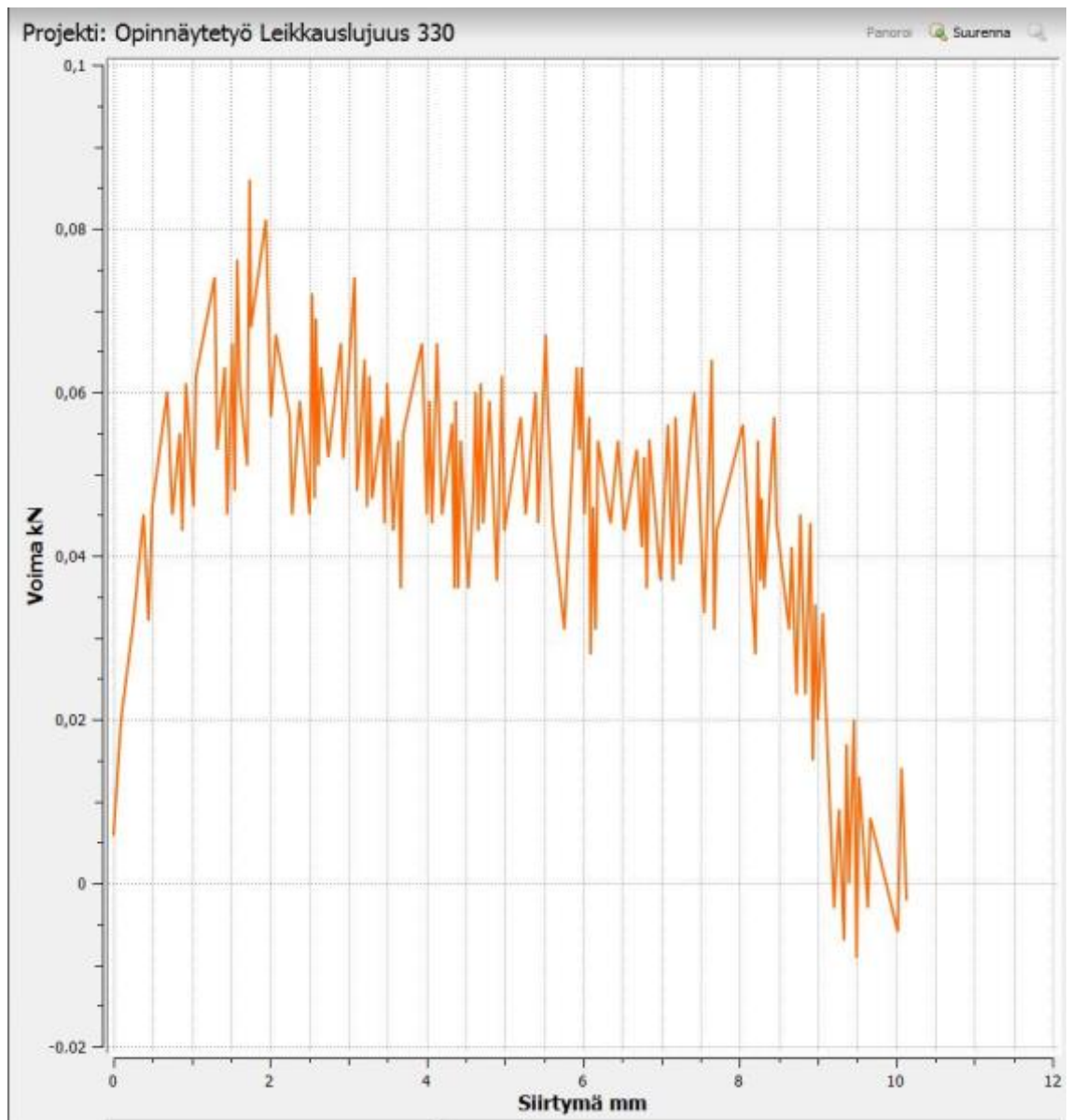
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta F = 271 N.

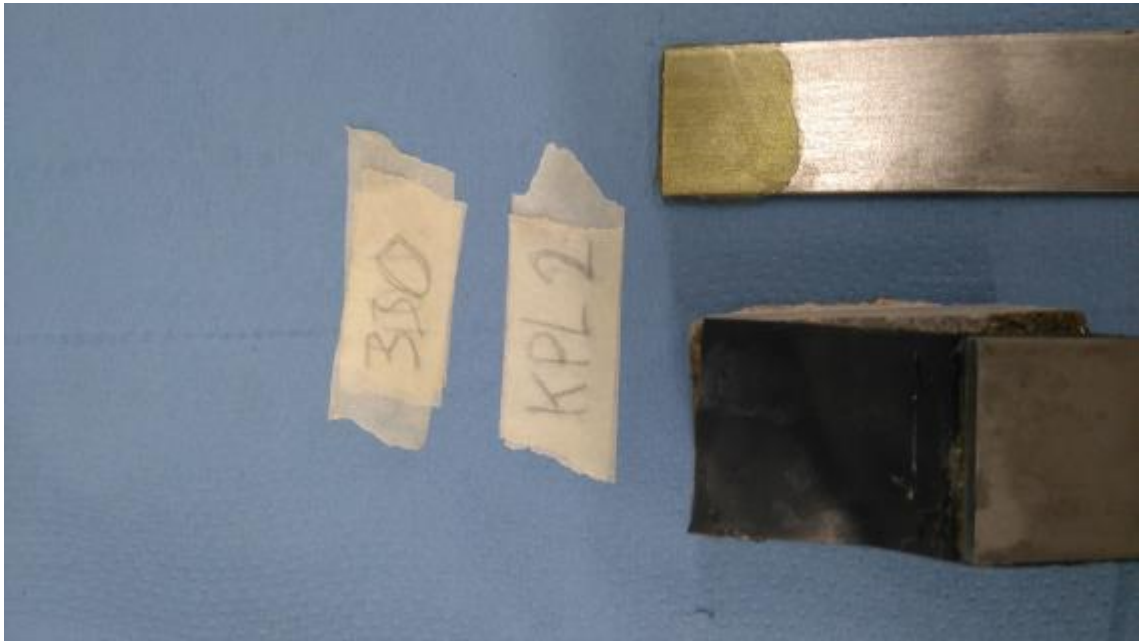
A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 750 mm²

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 271 \text{ N} / 750 \text{ mm}^2 = 0,36 \text{ N/mm}^2 = 0,36 \text{ MPa}$$

Kpl 2.





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

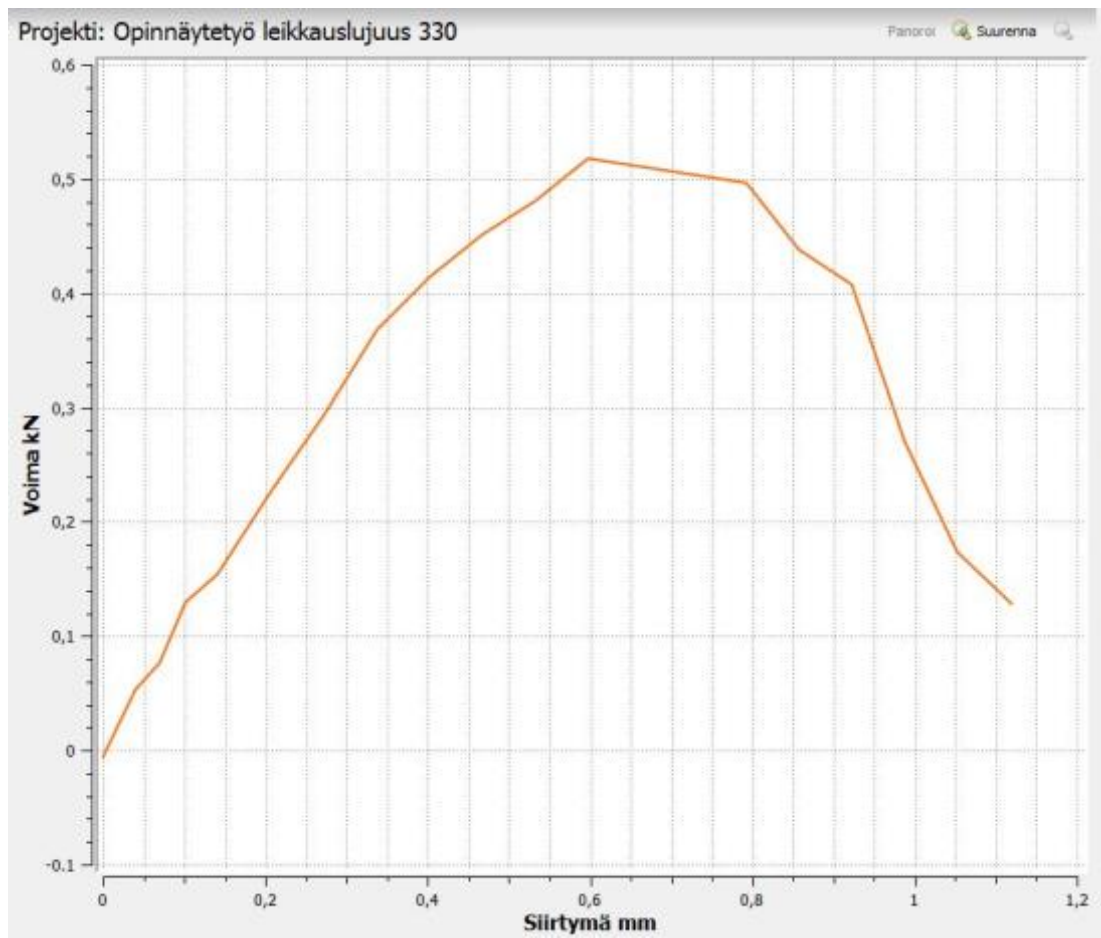
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta $F = 86$ N.

A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 750 mm^2

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 86 \text{ N} / 750 \text{ mm}^2 = 0,11 \text{ N/mm}^2 = 0,11 \text{ MPa}$$

Kpl 3.



Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

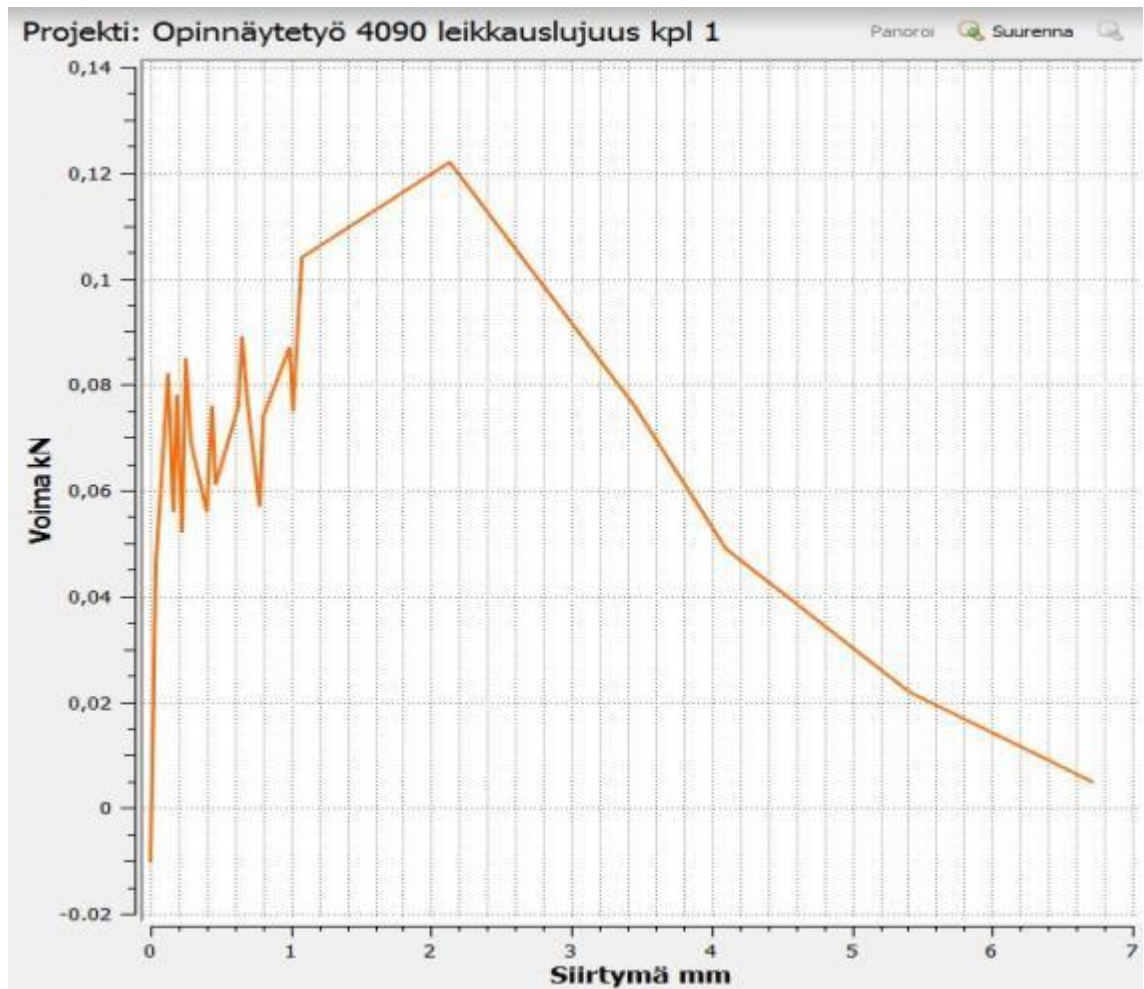
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta $F = 519$ N.

A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 660 mm^2

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 519 \text{ N} / 660 \text{ mm}^2 = 0,79 \text{ N/mm}^2 = 0,79 \text{ MPa}$$

Hybridiliimalla liimatut koekappaleet 1–3, niiden leikkausvoima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat, kuvat murtumapinnasta ja leikkauslujuuden laskenta.





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

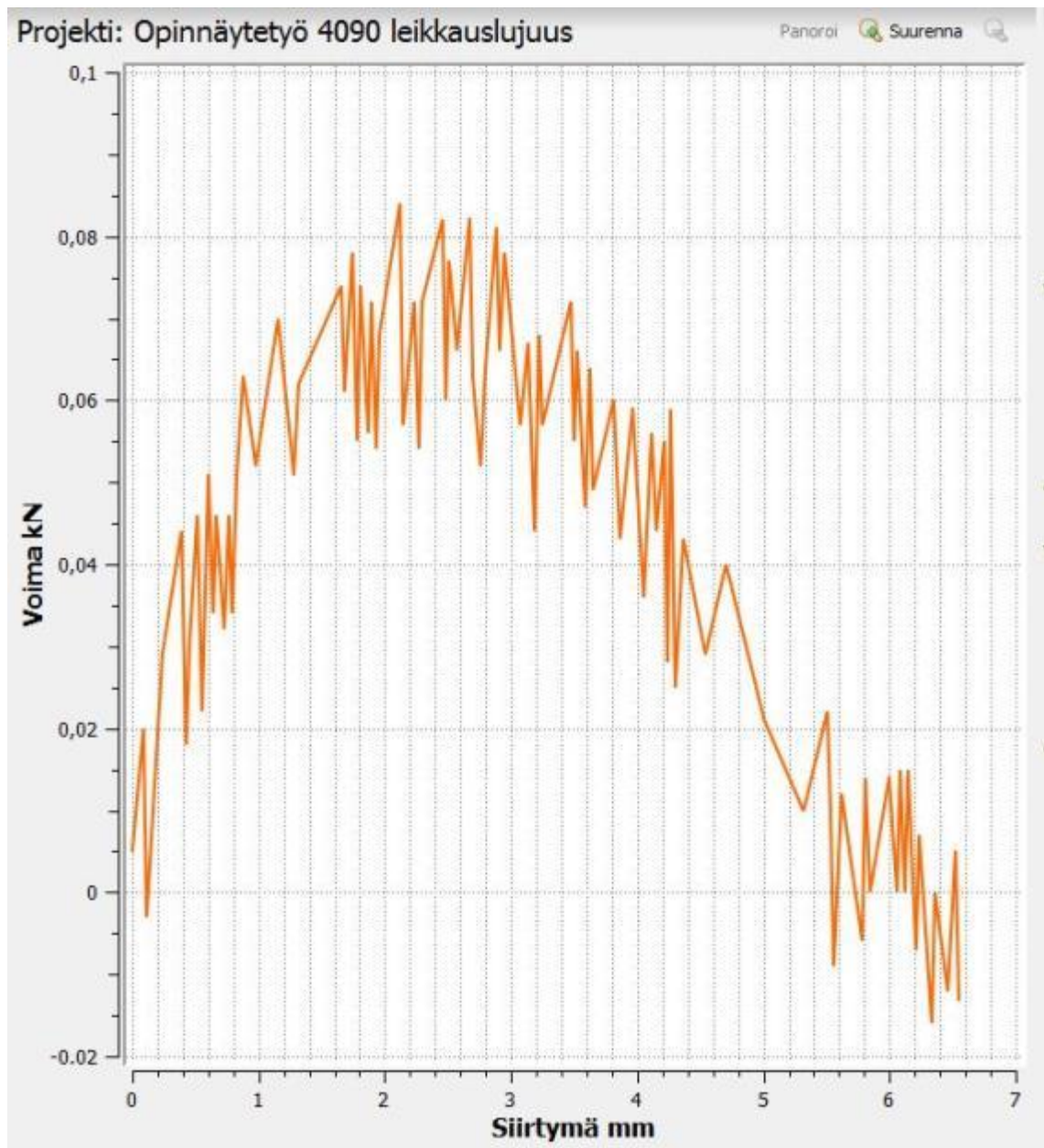
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta F = 123 N.

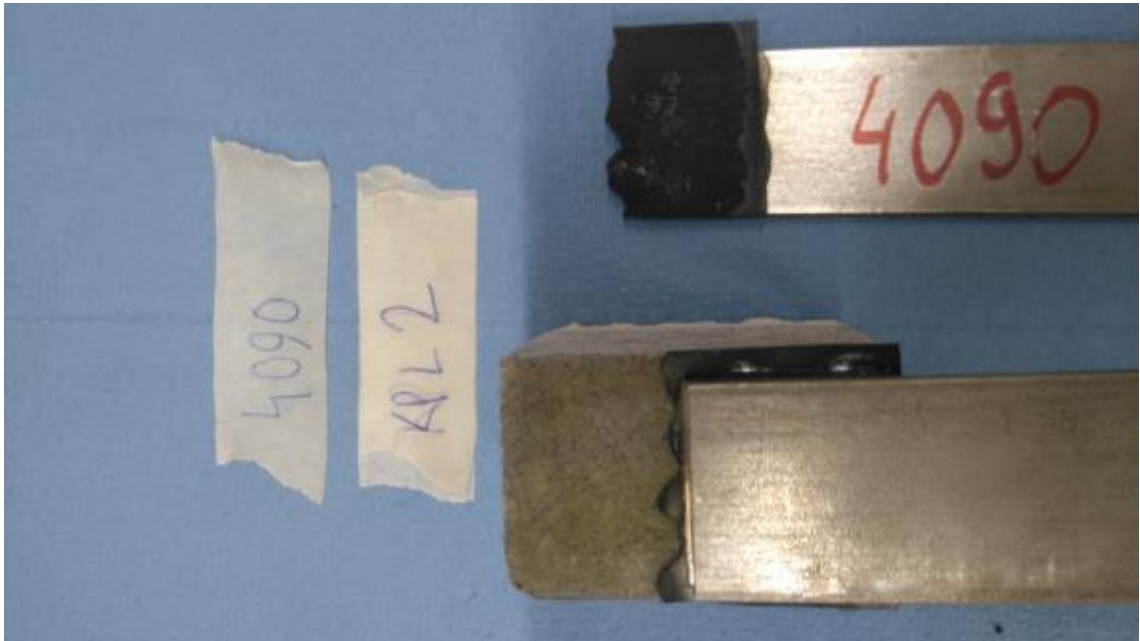
A = leikkauspinta-ala, eli peltäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 900 mm²

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 123 \text{ N} / 900 \text{ mm}^2 = 0,14 \text{ N/mm}^2 = 0,14 \text{ MPa}$$

Kpl 2.





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

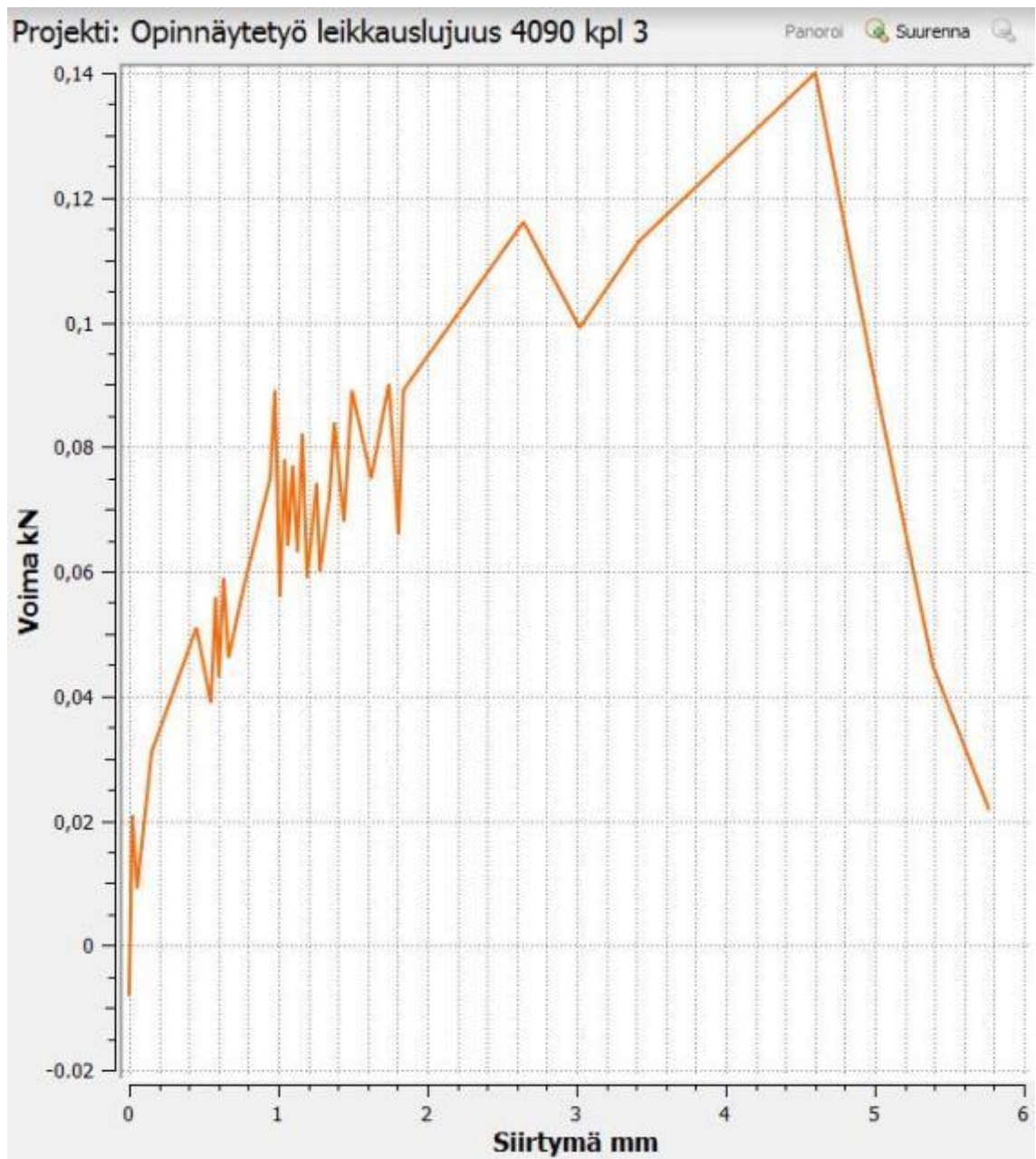
F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta $F = 8,4$ N.

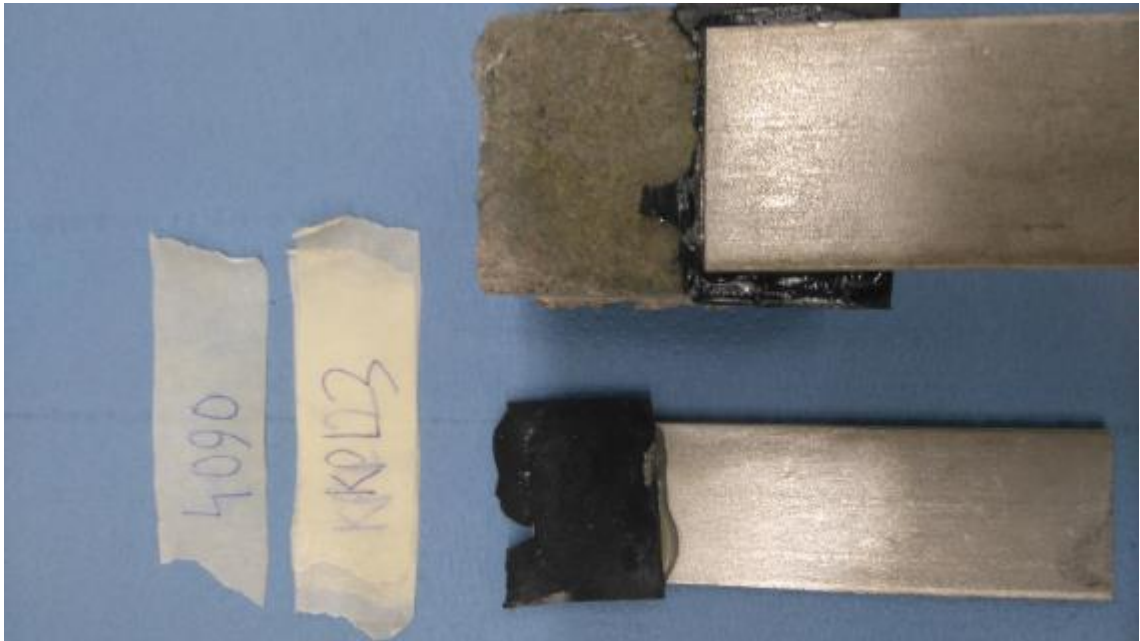
A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 780 mm^2

Leikkauslujuus on:

$$\tau = 8,4 \text{ N} / 780 \text{ mm}^2 = 0,01 \text{ N/mm}^2 = 0,01 \text{ MPa}$$

Kpl 3.





Lasku: leikkauslujuus $\tau = F / A$:

F = Suurin leikkausvoima, joka saadaan voima-akselilta $F = 140 \text{ N}$.

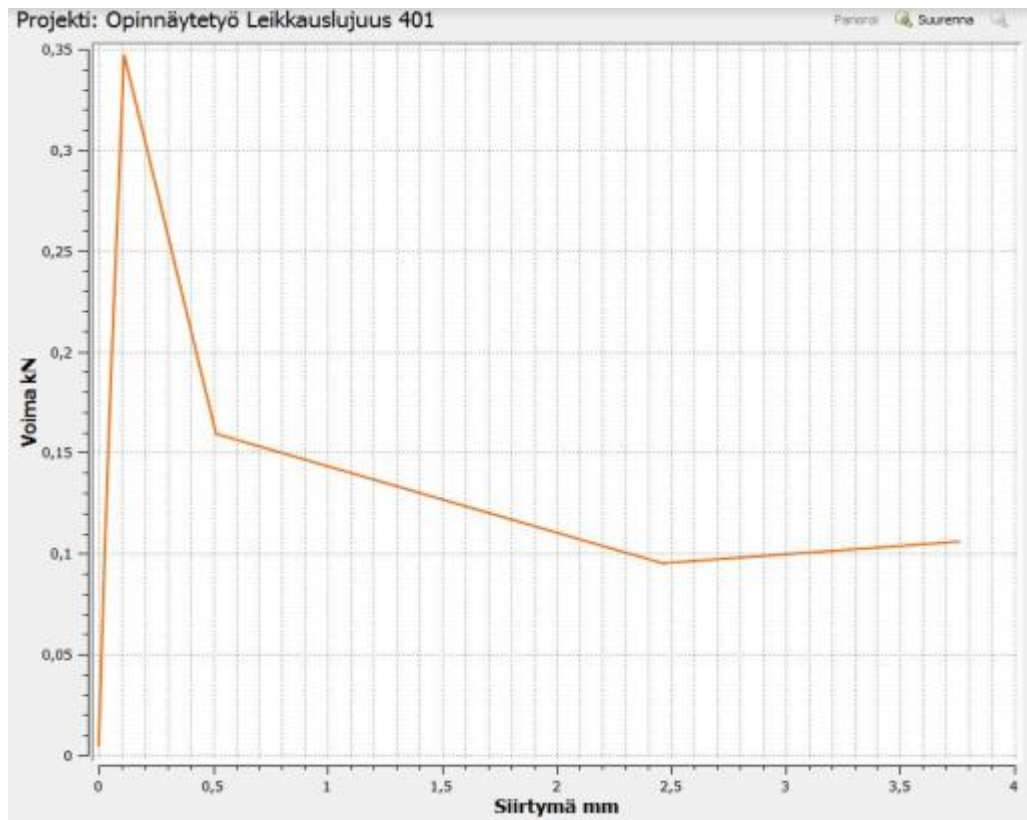
A = leikkauspinta-ala, eli pettäneen liimauksen pinta-ala, kappaleella 3 tarkka pinta-ala oli 690 mm^2

Leikkauslujuus on:

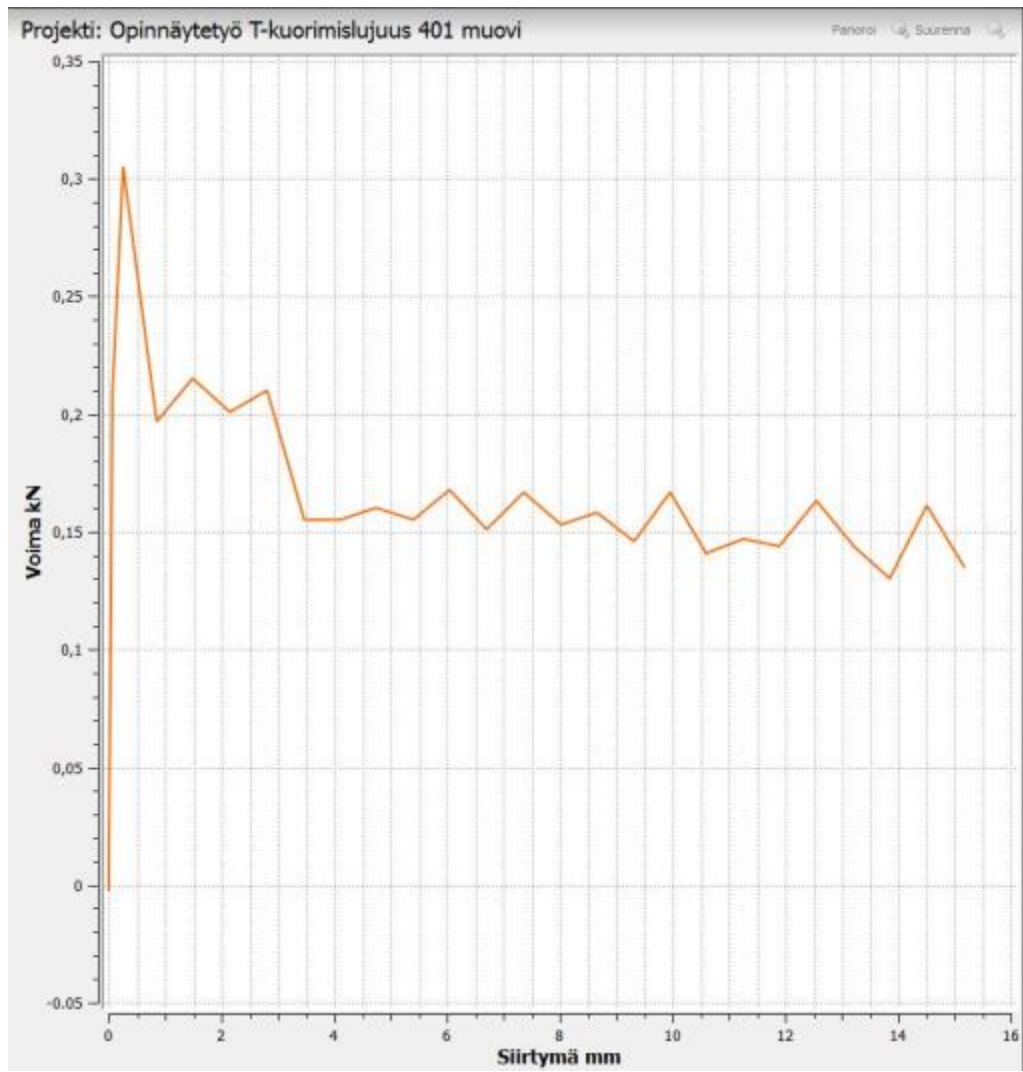
$$\tau = 140 \text{ N} / 690 \text{ mm}^2 = 0,20 \text{ N/mm}^2 = 0,20 \text{ MPa}$$

Syanoakrylaattiliiman muovikoeleikkien 1–3 T-kuorimislujuuksien voima (kN) siirtymän (mm) funktiona- kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.

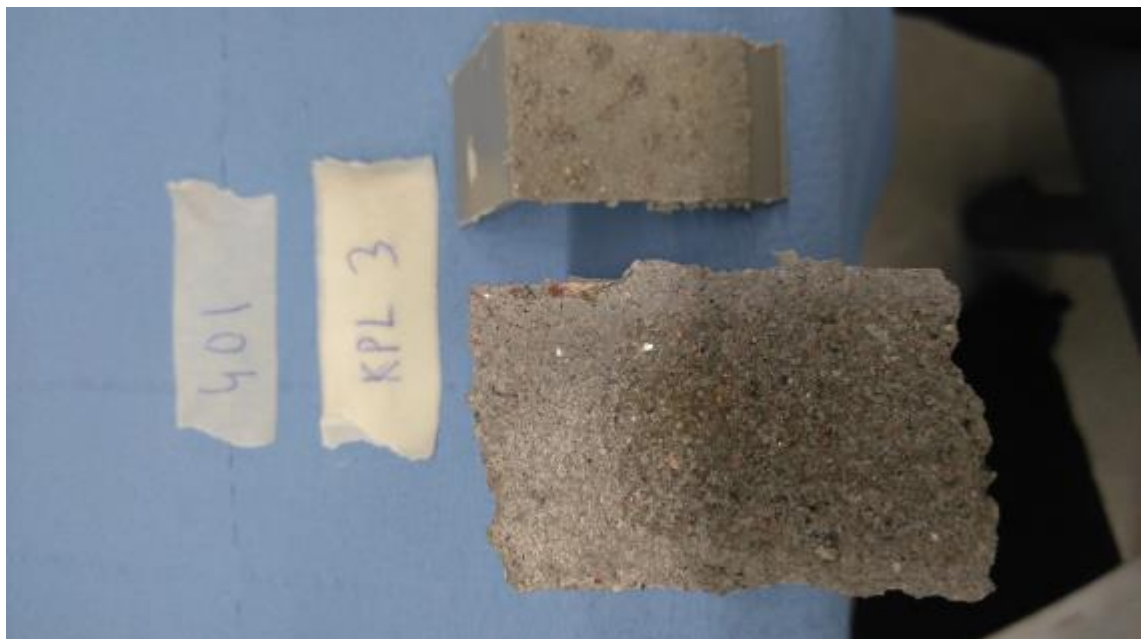
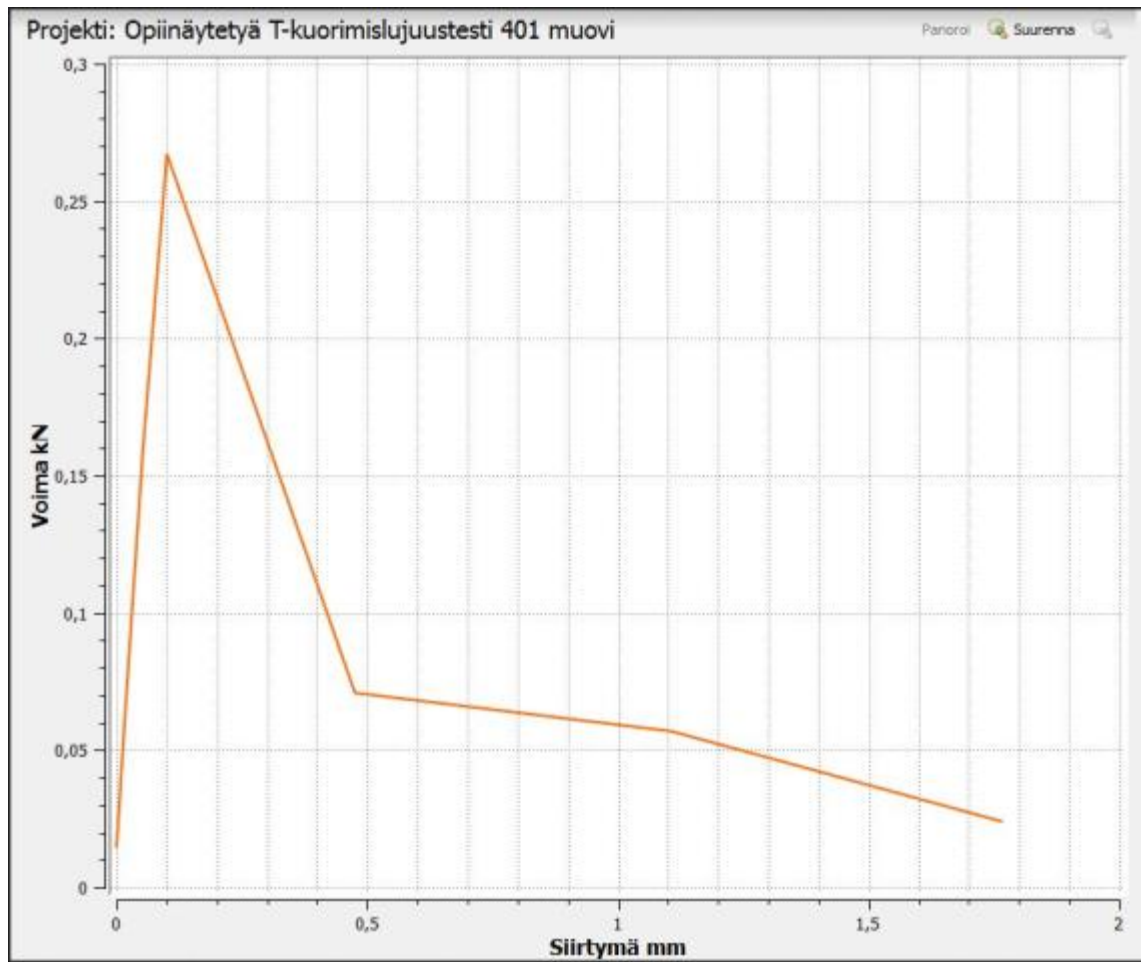
Kpl 1.



Kpl 2.

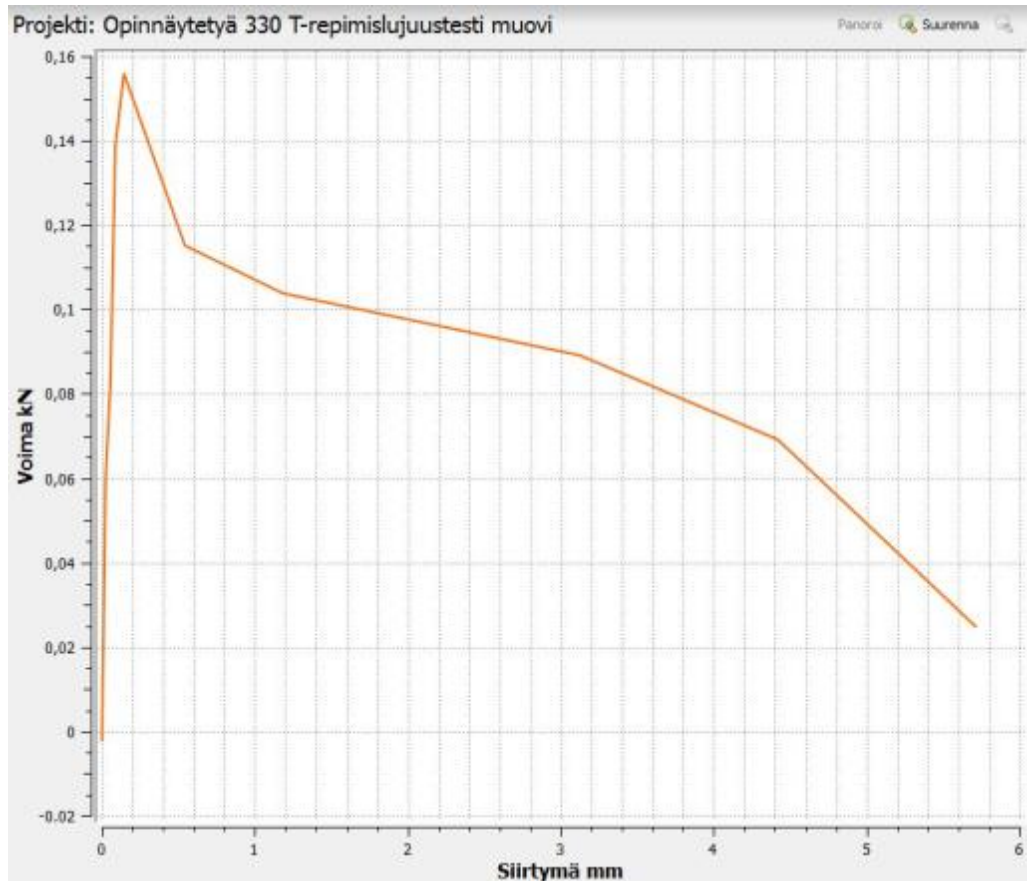


Kpl 3

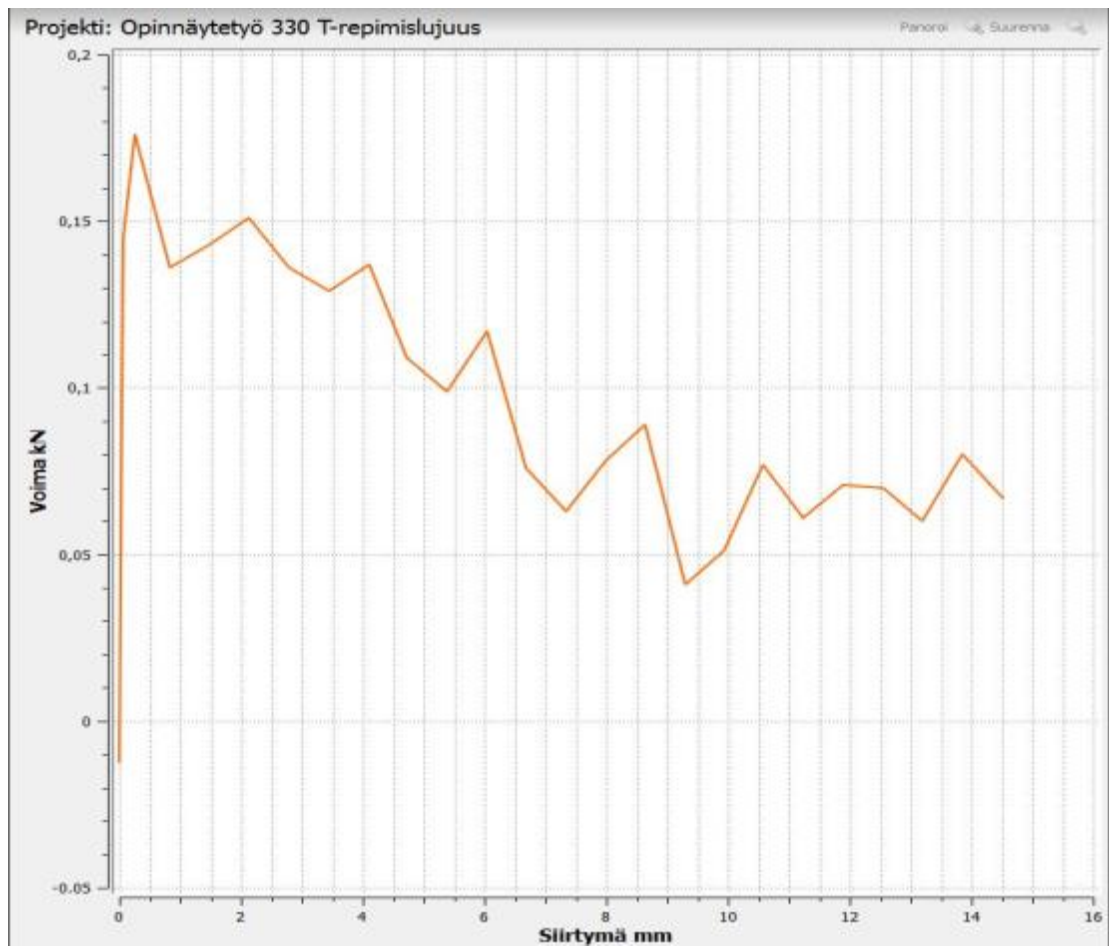


Aktivaattori kovettuvalla akryyliiimalla liimattujen muovikoe-kappaleiden 1–3 T-kuorimislujuuksien voima (kN) siirtymän (mm) funktiona-kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.

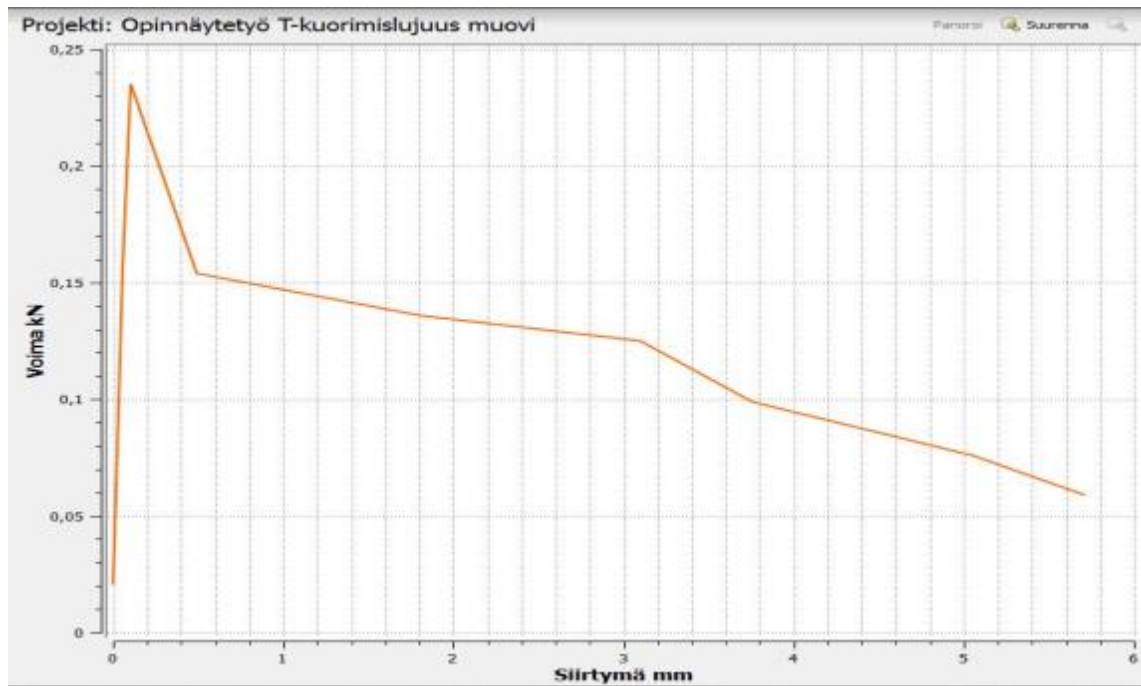
Kpl 1.



Kpl 2.

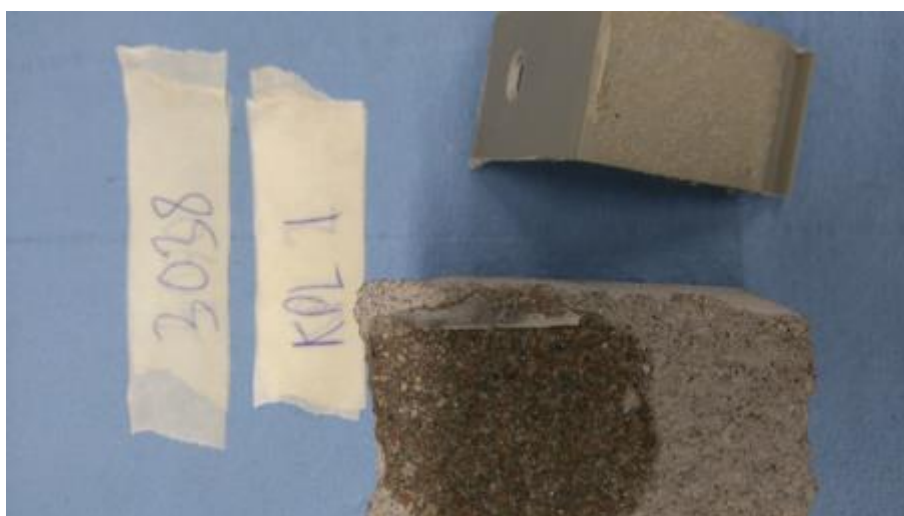
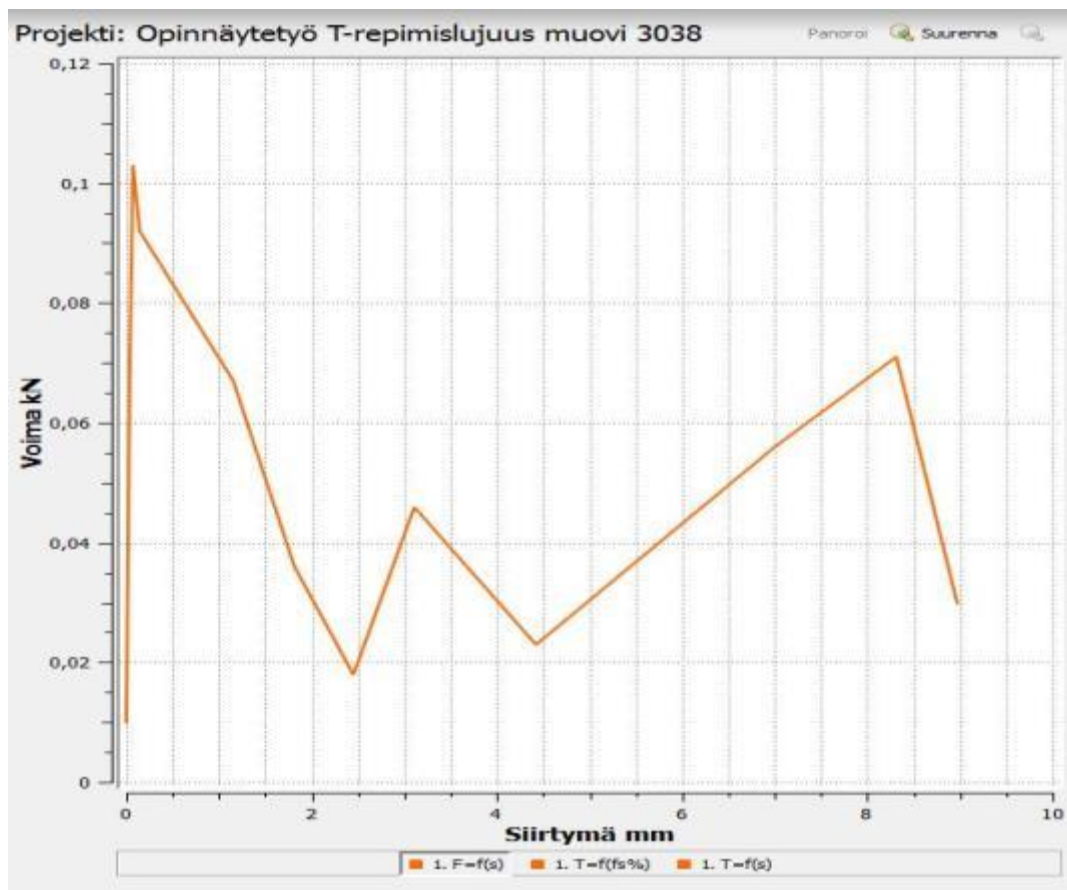


Kpl 3.

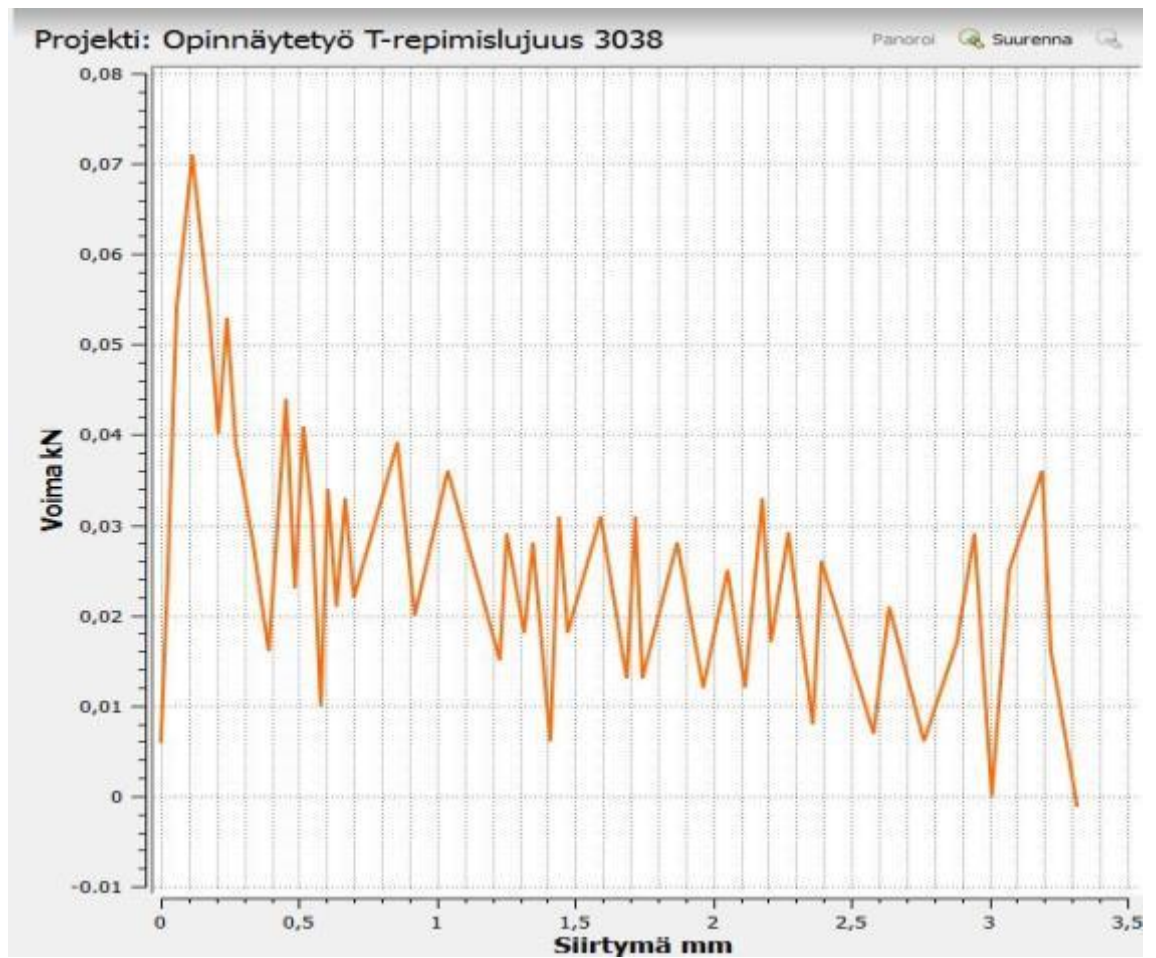


Kaksikomponentti akrylaattiliimalla liimattujen muovikoeekappaleiden 1–3 T-kuorimislujousteetin voima (kN) siirtymän (mm) funktiona-kuvaajat ja kuvat murtumapinnasta.

Kpl 1.



Kpl 2.



Kpl 3.

