

Joni Ketola

# **Työkoneen ikkunoiden liimausjärjestelmä**

Liimausjärjestelmän optimointi

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Joni Ketola

Työn nimi: Työkoneen ikkunoiden liimausjärjestelmä

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2019 Sivumäärä: 34

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Fortaco Ostrobothnia Oy:n kokoonpanon kehittämistyönä. Jatkuvasti kasvava ohjaamojen tuotanto lisää ikkunoiden liimauksen haasteita kokoonpanossa. Liiman täytyy kuivua riittävän nopeasti, jotta se ei rajoita kokoonpanoaikaa. Myös liiman lujuus on oltava riittävällä tasolla, jotta ikkuna pysyy paikallaan ulkoisten voimien rasittaessa ohjaamon runkoa. Tavoitteena oli löytää yritykselle sopivat liima- ja esikäsittelyaineet kokoonpanon tehostaminen, laatu ja automatisointi silmällä pitäen.

Teoriaosuudessa selvitettiin, mitä asioita täytyy huomioida liimausprosessin suunnitteluvaiheessa ja miten niitä sovelletaan ikkunoiden liimauksessa. Liimausprosessi pitää sisällään liitosgeometrian suunnittelun, pintaenergian selvittämisen, esikäsittelyn, liimat, UV-säteilyn huomioimisen ja ikkunan asennuksen. Onnistuneeseen liimaliitokseen vaaditaan siis kokonaisvaltaista liimausprosessin hyvää tuntemusta ja hallintaa.

Työn konkreettisessa osuudessa suoritettiin liimauskokeita neljälle erityyppiselle liimalle. Kokeissa käytettävät liimat valikoituivat liiman valmistajan suosittelemista liimoista Fortacolla käytettävien ikkunamateriaalien ja maalien mukaan. Liimoille suoritettiin vetokokeita, jotta pystyttiin selvittämään liimojen murtolujuus eri kuivumisaikojen jälkeen. Vetokokeita tehtiin myös korotetussa lämpötilassa. Vetokoe-tuloksien analysoinnissa havaittiin, että korotettu lämpötila nopeuttaa liimojen kuivumista huomattavasti yhtä liimaa lukuun ottamatta. Tuloksista pääteltiin myös, että yksi liima vastaa Fortacon asettamia tavoitteita kuivumisajan suhteen. Korotetun lämpötilan vetokoetuloksista päätellen on siis syytä kehittää liimaustilat niin, että liiman kuivumisen kannalta lämpötila olisi optimaalisella tasolla.

Avainsanat: adheesio, koheesio, liimat, vetokokeet, vetolujuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Joni Ketola

Title of thesis: Gluing System for the Windows of Heavy Duty Vehicles

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2019 Number of pages: 34

---

This thesis was made as a development work for Fortaco Ostrobothnia Oy. Constantly increasing cabin production increases the challenge of gluing windows in the assembly. The adhesive has to dry fast enough not to restrict the assembly time. The strength of the adhesive must be at a sufficient level to keep the window in place when the external forces effect the cab frame. The aim was to find suitable adhesive and pretreatment chemicals for the company to improve the assembly, quality and automation.

The theoretical part clarified, which matters need to be taken into account in the design phase of the gluing process and how they are applied to gluing windows. The bonding process includes the design of joint geometry, defining the surface energy, pretreatment, adhesives, and window installation. Also, UV radiation must be taken into account. A successful glue bond requires comprehensive knowledge and management of the gluing process.

In the practical part of the work, gluing tests were carried out with four different types of adhesives. The adhesives used in the experiments were selected from the adhesives recommended by the adhesive manufacturer regarding the window materials and paints used at Fortaco. Tensile tests were carried out on the adhesives to determine the tensile strength of the adhesives after different drying times. The tensile tests were also carried out at elevated temperatures. In the analysis of the test results, it was found out that elevated temperature accelerates the drying of the adhesives with the exception of one glue. Based on the results it was also concluded that one adhesive met the Fortaco's needs for drying time. Therefore, judging by the results of the elevated temperature test, it is necessary to develop the gluing facilities so that the temperature would be optimal for the drying of the adhesive.

Keywords: adhesion, adhesive, cohesion, tensile strength, tensile test

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tavoitteet ja rajaus .....	8
1.2 Työn rakenne.....	8
1.3 Yritys esittely .....	9
2 LIIMAUSPROSESSI .....	10
2.1 Liimaliitoksen edut ja haitat .....	11
2.2 Liitoksen geometria .....	11
2.3 Pintaenergia .....	13
2.4 Esikäsittely.....	15
2.5 Liimat .....	16
2.6 UV-säteily .....	18
2.7 Liimattavan ikkunan asennus .....	18
3 LIIMAUSKOKEET .....	19
3.1 Tarttuvuus- ja ikääntymiskokeet.....	19
3.2 Vetokoe .....	20
3.3 Liimauskokeiden suorittaminen .....	21
3.4 Tulosten analysointi.....	24
3.5 Johtopäätökset .....	30
4 YHTEENVETO.....	32
LÄHTEET .....	33
LIITTEET .....	35

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. ICE:n pintaenergiakynät .....	14
Kuva 3. Vetokoe .....	20
Kuva 4. Vetokoesauvat merkattuna. ....	22
Kuva 5. Primer levitettyä sauvoihin. ....	22
Kuva 6. Vetokoe liima numero 2, 60 minuutin kuivuminen.....	23
Kuva 7. Liima numero 2 60 minuutin kuivumisen jälkeen. ....	25
Kuva 8. Liima numero 4, 120 minuutin kuivuminen.....	25
Kuva 9. Liima numero 1, kuplia muodostunut 60 asteen lämmön seurauksena...	26
Kuvio 1. Jännitystyytit .....	12
Kuvio 2. Materiaalien pintaenergia. ....	13
Kuvio 3. Pintaenergian vaikutus adheesioon. ....	14
Kuvio 4. Liima 1, vetokokeen tulokset 180 min kuivumisen jälkeen 20,5 ja 60 asteen lämmössä. ....	27
Kuvio 5. Vetokoe liima numero 3, kuivuminen 180 minuuttia.....	28
Kuvio 6. Vetokoe liima numero 2 ja 180 minuutin kuivuminen 20,5 ja 60 asteessa. ....	29
Kuvio 7. Vetokoe liima numero 4, kuivuminen 180 minuuttia 20,5 ja 60 asteen lämpötiloissa.....	30

Taulukko 1. Vetokokeen tulokset 20,5 ja 60 asteen lämpötiloissa. ....	31
---	----

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Adheesio</b>	Adheesio tarkoittaa liiman tarttuvuutta rajapintoihin
<b>Koheesio</b>	Tarkoittaa liiman sisäistä lujuutta
<b>Aukioloaika</b>	Liimalle asetettu aika, jonka kuluessa liimattavat kappaleet on liitettävä yhteen.
<b>Esikäsittely</b>	Liimattaville kappaleille suoritettava käsittely ennen liimausta
<b>Primer</b>	Esikäsittelyaine, joka levitetään liimattavien kappaleiden pinnalle parantamaan liiman tartuntaa
<b>Liimausjärjestelmä</b>	Tarkoittaa yrityksessä käytettävää ikkunoiden liimaukseen liittyvää kokonaisuutta
<b>Murtolujuus</b>	Tarkoittaa materiaalin vetolujuuden rajaa, jonka ylittyessä se murtuu

# 1 JOHDANTO

Yrityksessä ajankohtainen kehittämistarve oli kokoonpanossa tehtävä ikkunoiden liimaus. Tällä hetkellä liimojen kuivumiseen kuluu liian paljon aikaa. Liiman tulee pitää ikkuna paikallaan suhteellisen nopeasti, jotta ohjaamo voidaan siirtää seuraavaan kokoonpanovaiheeseen. Mitä lyhempi kuivumisaika on, sitä enemmän saadaan tehtyä tehokasta kokoonpanotyötä. Liimauksessa on myös laatuongelmia erityisesti polykarbonaatti-ikkunoiden kanssa. Metsäkoneissa turvaohjaamojen ikkunat ovat erittäin tärkeässä tehtävässä turvallisuuden näkökulmasta, joten ikkunoiden laadukkaaseen liimaukseen on syytä kiinnittää huomiota.

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ikkunoiden liimausjärjestelmää mahdollisimman tehokkaaksi ja luotettavaksi, niin että liimaus on myös mahdollista toteuttaa automatisoituna kokoonpanona. Yksi työn tavoitteista oli tutkia ja löytää sekä lasille että polykarbonaatille sopiva esikäsittely- ja liimausaine testien ja kokeiden avulla. Tärkeä osa liimausjärjestelmää on selkeä ja yhdenmukainen liimauksen toimintaohje, joten myös liimauksen suoritusohjeeseen on syytä kiinnittää huomiota työssä. Työssä tutkitaan liimausjärjestelmää, jonka tavoitteena on soveltua myös automatisointiin. Itse automatisoitua liimausta ei kuitenkaan ole tarkoitus tutkia, vaan löytää automatisointiin soveltuvat liimat.

## 1.2 Työn rakenne

Työn alussa kerrotaan hieman Fortaco Ostrobothnia Oy:n toiminnasta ja yrityksen tämänhetkisestä kokoonpanosta. Seuraavaksi selvitetään, mitä liimausjärjestelmällä tarkoitetaan. Sen jälkeen selvitetään, mitä liimausprosessi ja liimausjärjestelmä pitää sisällään. Työn konkreettinen osuus on liimauskokeet. Ennen kokeita mainitaan liimaustesteihin liittyvät standardit ja avataan niitä lyhyesti. Sitten kerro-



taan liimauskokeista ja kokeiden tuloksista. Lopuksi kerrotaan yhteenvedona työn tavoitteiden onnistumisesta ja etenemisestä.

### **1.3 Yritys esittely**

Fortacogroup on itsenäinen yritys, jonka osaamiseen kuuluu ratkaisut raskaaseen ajoneuvoteollisuuteen ja meriteollisuuteen. Toiminta sisältää teknologiaa, ajoneuvojen ohjaamoja, teräsvalmisteita ja ajoneuvojen kokoonpanoja. Fortaco toimii useassa eri pisteessä Euroopassa (Fortacogroup, [viitattu 18.1.2019]). Fortaco Ostrobothnia Oy on osa Fortacogroup-yhtiötä ja se valmistaa ohjaamoja metsäteollisuus-, materiaalinkäsittely- ja kaivosajoneuvoihin. Isoimpia asiakkaita ovat Komatsu, Sandvik, Cargotec ja Rocla. Fortaco Ostrobothnia Oy sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Kurikassa, jossa ohjaamot suunnitellaan ja valmistetaan alusta loppuun. Valmistusprosessi etenee järjestyksessä hitsaus, maalaus, kokoonpano ja viimeisenä testaus.

Kurikan tehtaalla valmistetaan kymmeniä erilaisia ohjaamomalleja, joiden kokoonpanovaiheet eroavat toisistaan melko paljon. Tällä hetkellä kokoonpano tapahtuu asiakkaittain, eli jokaisella asiakkaalla on omat kokoonpanopisteensä. Kokoonpanotyö sisältää maalattujen ohjaamonrunkojen varustelua erilaisilla komponenteilla, kuten verhoilu, sähköt, hydraulikka ja ikkunat.

Ikkunoita kiinnitetään kokoonpanossa sekä ruuviliitoksilla että liimalla. Ikkunoiden kiinnitys tapahtuu tällä hetkellä ohjaamomallista riippuen eri vaiheissa kokoonpanoa. Kaikkia ikkunoita ei myöskään liimata yhdessä kokoonpano vaiheessa vaan ohjaamomallin mukaan sopivassa vaiheessa. Ikkunoiden liimausvaihe pyritään tulevaisuudessa vaiheistamaan kokoonpanon kannalta yhteen sopivaan paikkaan, jotta liimauksen automatisointi olisi mahdollista.

## 2 LIIMAUSPROSESSI

Liimauksen onnistuminen on monen tekijän summa. Tässä kappaleessa pyritään selvittämään liimaliitoksen edut ja haitat mekaanisiin liitoksiin verrattuna, liitosmuodon vaikutukset lujuteen, onnistuneen liimauksen tärkeimmät tekijät ja erilaiset liimatyyppit. Liimatyypeissä keskitytään kuitenkin ainoastaan ohjaamon ikkunoille sopiviin liimatyyppeihin. Liimausjärjestelmä ja liimausprosessi eivät tarkoita samaa asiaa, vaikka ne pitävätkin sisällään samankaltaisia asioita. Liimausjärjestelmällä tarkoitetaan ikkunoiden liimaukseen sisältyvää kokonaisuutta Fortacolla, kun taas liimausprosessilla liimaamiseen yleisesti liittyviä asioita. Liimausjärjestelmään sisältyy esikäsittely- ja liimausohjeet, esikäsittelyssä ja liimauksessa käytettävät työkalut, kemikaalit, apuvälineet ja laadunvarmistuksen. Liimausjärjestelmän tulee olla selkeä ja tehokas, jotta liimaus pystytään suorittamaan tehokkaasti ja ennen kaikkea laadukkaasti aina samalla tavalla.

Liimaukseen on tehty toimintaohjeet, joista selviävät käytettävät esikäsittelyaineet ja liimat sekä aineiden aukioloajat ja liimauksen suoritustapa. Ohjeissa on myös kuvattu käytettävät liimausapuvälineet, kuten ikkunan puristus- ja paikoitus- työkalut. Nykytilanteessa liimoille ja muille kemikaaleille ei ole erillistä varastoa. Liimaus tapahtuu tällä hetkellä täysin käsityönä alusta loppuun. Liimaus tapahtuu monessa eri ohjaamojen kokoonpanopisteessä ja liimausolosuhteet vaihtelevat vallitsevan säätilaan mukaan eri vuodenaikoina muutamalla asteella, sekä ilmankosteus vaihtelee huomattavasti.

Liimausjärjestelmän tavoitteena on entistä selkeämmät toimintaohjeet ja keskitetty liimausasema materiaalivirran kannalta sopivassa kohdassa kokoonpanoa. Tällä ratkaisulla välttyttäisiin kokoonpanon tilaa vieviltä liimauspisteiltä, sekä liimaus tapahtuisi aina liimaukseen erityisesti perehtyneiltä asentajilta. Liimausasema mahdollistaisi myös lämpötilan ja ilmankosteuden vakioinnin ihanteelliselle tasolle. Oikea huoneen lämpötila ja ilmankosteus nopeuttavat liiman kuivumista sekä edesauttaa liimauksen laatua. Keskitettyyn liimausasemaan olisi myös mahdollista asentaa liimauksen automatisointiin soveltuvia laitteita, kuten liimausrobotti. Yksi kehitettävä alue liimauksen edistämisessä on myös ohjaamojen ja ikkunoiden en-

tistä parempi mittatarkkuus, jolloin voitaisiin varmistua jännityksettömältä ikkunoiden asennukselta.

Liimauksessa on aina keskityttävä toimivaan kokonaisuuteen, joten oikean liimatyypin ja esikäsittelyn selvittäminen on suhteellisen iso ja aikaa vievä prosessi (Liiman valmistajan haastattelu 2018). Teollisuuteen tarkoitetuista liimoista ja esikäsittelyaineista löytyy hyvin vähän tietoa liimanvalmistajien sivustoilta, joten oli vaikeaa löytää oikea kokonaisuus omiin tarpeisiin ilman liimanvalmistajien ammattitaitoa ja suosituksia. Kestävän liimaliitoksen perustana ovat käsitteet adheesio ja koheesio. Adheesio tarkoittaa liiman tarttumista liimattaviin rajapintoihin ja koheesio liiman sisäistä lujuutta. Perussääntönä voidaan pitää sitä, että adheesiolujuuden tulee olla suurempi kuin koheesiolujuuden, jolloin liiman tartunta rajapintoihin on riittävä (Liiman valmistajan haastattelu 2018).

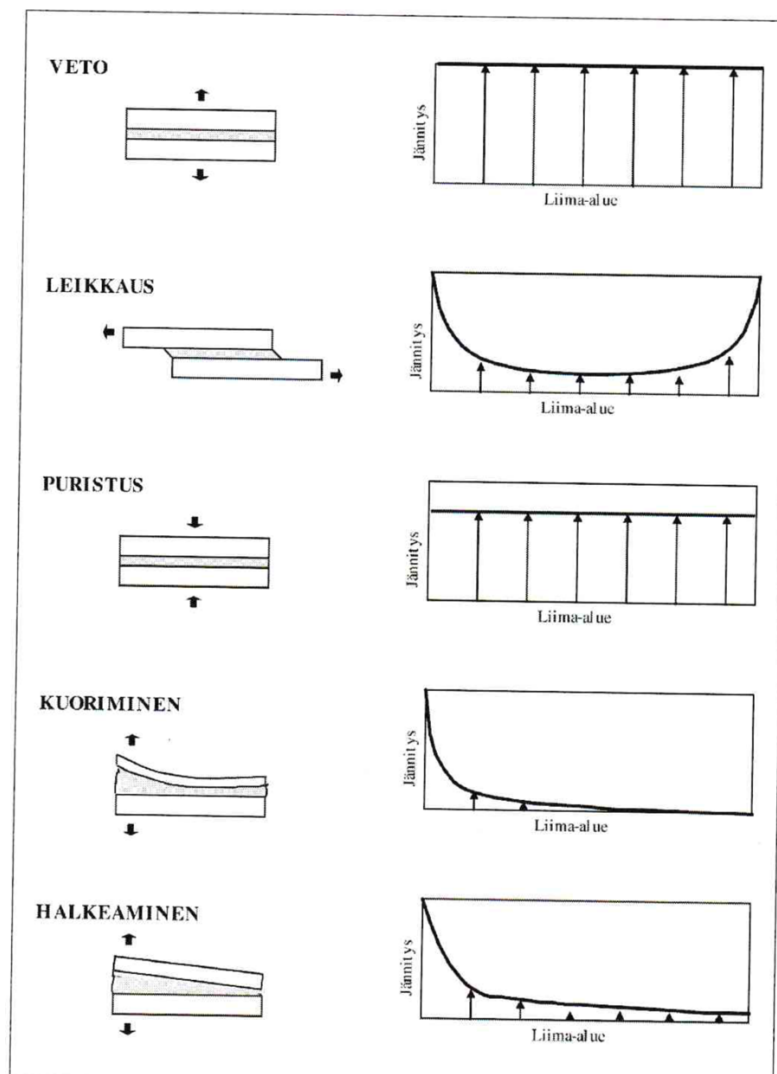
## **2.1 Liimaliitoksen edut ja haitat**

Fortacolla kiinnitetään ikkunoita sekä liimalla että ruuviliitoksilla. Ikkunoiden kiinnitystapaan vaikuttaa ikkunoiden materiaali ja muoto. Laseja kiinnitetään sekä liimalla että ruuveilla, mutta polykarbonaatti-ikkunat kiinnitetään aina liimalla. Liimaliitoksen etuja ikkunoiden kiinnityksessä ovat liitoksen joustavuus, liitoksen tiiveys ja eristyskyky, liitoksen keveys ja liimaliitoksessa jännitysten jakaantuminen tasaisesti pistemäisten kuormien sijaan (Nuuttinen 1999, 56). Lasi-ikkunoiden kiinnitys onnistuu myös ruuveilla, koska lasin ja metallin lämpölaajeneminen ei eroa suuresti toisistaan, kun taas polykarbonaatti laajenee noin neljä kertaa enemmän lämmönvaikutuksesta. Liimaliitoksen huonoja puolia ovat liiman kuivumisaika, liiman piehenkö leikkauslujuuden kesto, liiman ikääntymisen kesto varauksin ja liimauslaitteiston kustannukset ja liimausprosessin vaativuus. (Liiman valmistajan haastattelu 2018.)

## **2.2 Liitoksen geometria**

Liimaliitos täytyy ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta jännitykset saataisiin mahdollisimman tasaiseksi ja kestäväksi. Liitos tarvitsee myös suhteellisen

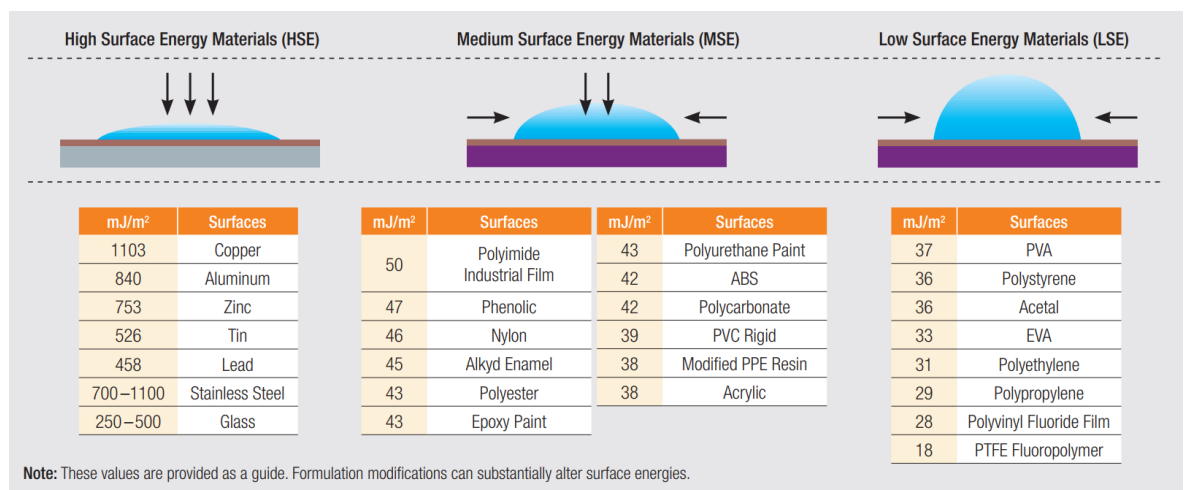
ison pinta-alan parhaan mahdollisen kestävyys saavuttamiseksi. Veto- ja puristusjännitys ovat kestävyys kannalta tavoiteltu jännityksen tyyppi, mutta käytännössä aina liitoksen päihin tulee myös leikkaus- tai kuorimisjännitystä. Kuorimisjännityksen syntymistä on vältettävä muotoilulla, koska se on erittäin kriittinen jännitys kestävyys kannalta (Nuuttinen 1999, 60). Kuvio 1 nähdään jännitysjaumat eri jännitystyypeillä. Polykarbonaatin suuren lämpölaajenemisen seurauksena liimasauman päihin syntyy usein leikkausjännitystä, jolloin liiman on oltava mahdollisimman elastinen. Käytettävälle liimalle ja materiaaleille on hyvä tehdä käytettävän liitosmuodon mukainen vetokoe, jolloin voidaan varmistua liitoksen lujuudesta. (Liiman valmistajan haastattelu 2018.)



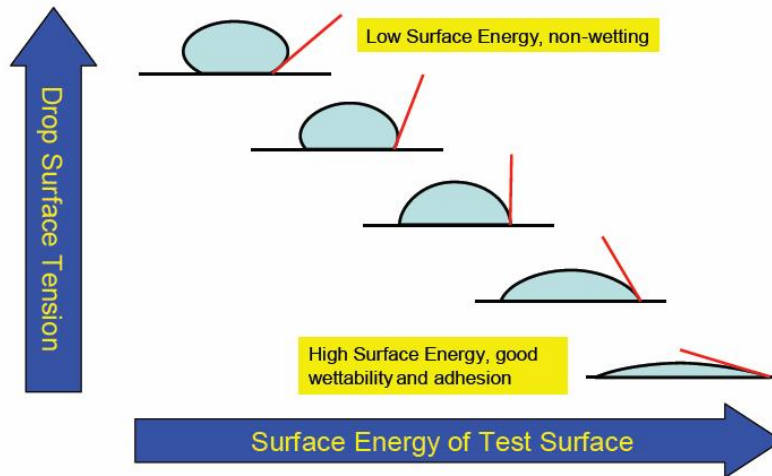
Kuvio 1. Jännitystyytit (Nuuttinen 1999, 60).

## 2.3 Pintaenergia

Liimausprosessin suunnittelussa pitää selvittää liimattavien pintojen materiaalit ja ominaisuudet. Kaikkien materiaalien pinnoilla vallitsee pintaenergia. Pintaenergialla on suuri merkitys liiman tarttuvuuteen rajapintoihin. Perussääntönä voidaan sanoa, että mitä suurempi pintaenergia, sitä parempi adheesio ja liimattavien materiaalien pintaenergia tulee olla suurempi kuin liiman pintaenergia. Puhtaalla metallilla on suuri pintaenergia, eli metallit ovat pääsääntöisesti hyvin liimattavia materiaaleja. Myös lasi on suuren pintaenergian omaava aine. Polykarbonaattilla on pienempi pintaenergia, joten liiman adheesio siihen on lähtökohtaisesti huonompi kuin metalliin ja lasiin. Polykarbonaatti luokitellaan keskisuuren pintaenergian materiaaliksi, kuten kuviosta 2 näkyy. Kuviosta 3 näkyy, että suuren pintaenergian pinnoilla on hyvä kostutus- ja adheesiokyky (3M 2018, 36-37).



Kuvio 2. Materiaalien pintaenergia (3M 2018).



Kuvio 3. Pintaenergian vaikutus adheesioon (Togwt 2015).

Erittäin tärkeää on ymmärtää, että maalauksen tai pinnoituksen jälkeen materiaalin pintaenergia määräytyy maalin tai pinnoitteen pintaenergian mukaiseksi (3M 2018, 36). Esimerkiksi alumiinilla on korkea pintaenergia, noin  $840 \text{ mJ/m}^3$  ja epoksimaalilla pintaenergia on keski-suuri noin  $43 \text{ mJ/m}^3$ , maalauksen jälkeen tartuntapinnan pintaenergia on siis epoksimaalin pintaenergiaa vastaava. Ikkunoissa on yleensä myös käyttökohteen ja tarpeiden mukaan monentyyppisiä pinnoitteita, joiden pintaenergia tulee myös selvittää. Pienen pintaenergian materiaalien liimausta tulee välttää, mutta tartuntaa voidaan kuitenkin parantaa eri tyyppisillä esikäsitteilyillä. Pintaenergian mittaukseen on myös olemassa välineitä, jos materiaalin pintaenergia ei ole tiedossa. Helppo tapa pintaenergian selvittämiseen on testikynät (Liiman valmistajan haastattelu 2018).



Kuva 1. ICE:n pintaenergiakynät (ICE [Viitattu 18.1.2019]).

## 2.4 Esikäsittely

Liimattaville pinnoille suositellaan aina esikäsittelyä paremman adheesion aikaansaamiseksi. Esikäsittelyn tehtäviä ovat irtonaisen materiaalin poisto, rasvanpoisto, ja liimattavien materiaalien kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien parantaminen. Esikäsittelyllä pyritään parantamaan liimattavien pintojen pintaenergiaa ja kostutuskkyä. (Ebnesajjad 2014, 3-4.)

Rasvan ja irtonaisen materiaalin poisto on lievin esikäsittely, joka on syytä suorittaa aina liimattaville pinnoille ennen liimausta. Rasvan poistoon on olemassa monia eri kemikaaleja, joten on syytä selvittää kemikaalin yhteensopivuus käsiteltävillä pinnoilla ja liimalle (Liiman valmistajan haastattelu 2018). Maalatuille pinnoille sopivia rasvanpoistoaineita on hyvä tiedustella esimerkiksi kohteessa käytetyn maalin toimittajalta. Liiman valmistajat suosittelevat yleensä omia esikäsittelytuotteitaan liimojensa kanssa käytettäväksi, jotta voidaan olla varmoja yhteensopivuudesta.

Erityisesti maalatuille pinnoille hyvä ja edullinen esikäsittelytapa on karhennus. Se auttaa kasvattamaan materiaalin pintaenergiaa ja kostutuskkyä paremman pinta-kontaktin ansiosta. Karhennus voidaan suorittaa esimerkiksi hiomapaperilla hionnalla pinta karkeaksi ja hionnan jälkeen hiomapölyn ja rasvan poisto. Jos liimattavan ikkunan pinnalla on kovapinnoite, on pinnoite ehdottomasti karhennettava tai poistettava hyvän adheesion aikaansaamiseksi. Kovapinnoitteella on alhainen pintaenergia, joten ilman esikäsittelyä adheesio on huono. Paljaalle metallille voidaan käyttää myös hiekka- tai metallikuulapuhallusta pinnan karhennukseen. (Liiman valmistajan haastattelu 2018.)

Rasvanpoisto yksin tai sen jälkeen karhennus riittää täyttämään monien liimaliitoksien vaatimukset. Suurimman lujuuden, toistettavuuden ja ikääntymiskestävyyden saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin kemiallinen tai elektrolyyttinen esikäsittely. Kemiallisten esikäsittelyjen valmistelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta varmistetaan riittävien sidoslujuuksien muodostamiseen tarvittavien komponenttien sekoitus oikeassa suhteessa. Altistumisaika kemiallisessa esikäsittelyssä on kriittinen. Jos altistumisaika on liian lyhyt, se ei aktivoi pintoja riittävästi, kun taas liiallinen altistuminen liuokselle muodostaa kerroksen kemiallisia reaktiotuotteita,

jotka voivat häiritä sidoksen muodostumista. (Ebnesajjad 2014, 3-4.) Joidenkin aineiden kohdalla huono yhteensopivuus tulee ilmi vasta ajan kuluessa. Kemiallisille esikäsittely aineille täytyy tehdä aina soveltuvuuskokeet liimattavien materiaalien kanssa, jotta voidaan varmistua aineiden yhteensopivuudesta materiaalien ja liimojen kanssa. Liimantoimittajat suorittavat pyydetessä kokeet, jonka jälkeen esikäsittely- ja liima-aineet voidaan hyväksyä tuotantoon. (Liiman valmistajan haastattelu 2018.) Vähemmän käytettyjä esikäsittelyjä ovat elektrolyyttiset esikäsittelyt, joita ovat liekitys ja plasma/corona-käsittely. Elektrolyyttisten käsittelyjen tarkoitus on poistaa orgaaniset jäämät aktivoimalla pinta hapettamalla. (Ebnesajjad 2014,3-6.)

## 2.5 Liimat

Rakenneliimoja markkinoilla on valtava määrä tarjolla, joten parhaan liiman löytäminen omiin tarpeisiin on haasteellinen työ. Rakenneliimalla tarkoitetaan liimaa, joka kannattelee tai pitää jotain rakennetta paikallaan. Teolliseen käyttöön suunnatut rakenneliimat täytyy lähes aina todeta toimivaksi liimaukskokeiden avulla (Liiman valmistajan haastattelu 2018). Suomessa ajoneuvoteollisuus on suhteellisen pieni osa-alue rakenneliimojen käyttäjistä, joten on hyvä selvittää myös ulkomaisen ajoneuvoteollisuuden käyttämät tuotteet. Yritykset pitävät salassa käyttämänsä liimatuotteet ja prosessit, myös Fortaco, joten salaisuus tuo omat haasteet hyvien referenssien saamiseen (Sillanpää 2018). Liimaukskokeet ja liimantoimittajien suositukset ovat siis lähes ainoa keino löytää sopiva liima.

Ohjaamojen kokoonpanossa tärkeä ominaisuus liimalle on nopea kuivuminen, jotta liimaus ei olisi pullonkaula tuotannossa. Muita vaadittuja ominaisuuksia ohjaamojen kokoonpanossa liimalle ovat suuri lujuus, automatisointiin sopivuus sekä polykarbonaattien liimauksessa joustavuus suuren lämpölaajenemisen takia (Sillanpää 2018.)

Nopea kuivuminen tarkoittaa liimojen kohdalla myös lyhyttä aukioloaikaa, joten liimauksen täytyy myös tapahtua ripeästi liiman levityksen jälkeen. Aukioloaika tarkoittaa aikaa liiman levityksen aloituksesta liimattavien kappaleiden yhteen puristukseen. Nopeilla liimoilla aukioloaika on noin 5-10 minuuttia. (Liiman valmista-



jan haastattelu 2018.) Lopullisen lujuutensa nopeatkin liimat saavuttavat vasta usean tunnin kuluttua liimauksesta, mutta riittävän lujuuden ohjaamon siirtoon liiman tulisi saavuttaa noin yhden tunnin kuluttua.

Ikkunoiden liimaukseen sopivat liimat ovat lähes poikkeuksetta yksikomponenttisiä. Yksikomponenttinen liima ei tarvitse kuivuakseen muita kemikaaleja, kun taas kaksikomponenttiliima sekoitetaan kovettajan ja liiman kanssa yhteen, jolloin aineet reagoivat keskenään. Kaksikomponenttiset liimat ovat jäykempiä liimoja ja liian nopeasti kuivuvia, joten ne eivät sovellu isojen pinta-alojen liimaukseen. Yksikomponenttiliimoilla kuivumisaika on yleensä suhteellisen pitkä, mutta kuivumista voidaan kiihdyttää kosteuspastalla. Se on kosteudesta kuivuville liimoille sopiva kiihdytin, joka sekoitetaan liiman kanssa. Yksikomponenttinen liima kuivuu ulkoa sisäänpäin ilmankosteuden ansiosta. Ilman kiihdytintä paksut liimakerrokset voivat jäädä sisältä kuivumatta, koska ilmankosteus ei pääse kuivuneen ulkokerroksen lävitse (Liiman valmistajan haastattelu 2018).

Polykarbonaatin suuren lämpölaajenemisen takia liimapalon leveys ja vahvuus on oltava suurempi kuin esimerkiksi lasia liimatessa, jotta liimasauma olisi riittävän joustava. Polykarbonaatille tarkoitettujen liimojen joustavuus on yleensä noin 400 %. Liiman valmistaja suosittelee polykarbonaatin liimauksessa liimapalon minimi-levydeksi 6 mm ja vahvuudeksi 4 mm. Liimapalon paksuutta ja leveyttä tulee kasvattaa ikkunan pinta-alan kasvaessa. Esimerkiksi jos ikkunan koko on 2 m x 2 m, tulee liimapalon vahvuuden olla noin 14 mm ja leveyden noin 14 mm. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että mitä vahvempi ja leveämpi liimapalko on, sitä kauemmin kuivuminen kestää. Polykarbonaatti tuo siis useita lisähaasteita liimaukseen lasien liimaukseen verrattaessa. (Liiman valmistajan materiaali 2018.)

Liimojen saatavuus automatisointiin soveltuviissa pakkauksissa vaihtelee myös eri liimanvalmistajilla. Fortacon tarpeisiin liimat täytyy olla sekä käsikäyttöisellä pistoolilla annosteltavissa että automatisointiin soveltuviissa pumppulaitteissa, jotta ikkunan asennuksia voidaan suorittaa sekä tuotannossa että asiakkaiden luona ikkunan vaihdon yhteydessä. Liimauskustannukset vaihtelevat suuresti vuositasolla liiman pakkauskoon mukaan eräillä liimanvalmistajilla. Käsikäyttöiseen pistooliin saatavat liimauspatruunat ovat huomattavasti hintavampia kilohinnaltaan kuin tynnyristä pumppulaitteella annosteltavat. (Sillanpää 2019.)

## 2.6 UV-säteily

UV-säteily on ikkunoiden liimauksessa haaste, sillä ikkunat ovat auringon UV-säteilyn läpäiseviä. UV-säteily aiheuttaa liimoissa vanhentumista ja erityisesti polykarbonaattien liimauksessa jännityshalkeilua. UV-säteilyn pääsy liimasaumaan täytyy siis estää. Ikkunan valmistajat painattavat pyydettäessä ikkunan reunoihin esimerkiksi mustan suojateipin, joka on UV-säteilyä läpäisemätön. UV-säteilyn läpäisemättömät pinnoitteet saattavat kuitenkin aiheuttaa ongelmia liiman tarttuvuuteen, joten on erittäin tärkeää, että liiman tarttuvuuskokeet tehdään nimenomaan käyttökohteen mukaan liimattavalle pinnalle, eikä esimerkiksi paljaalle polykarbonaatti tai lasipinnalle. On myös tärkeää varmistua, että UV-säteilyn estävä pinnoite on varmasti riittävä suoja UV-säteilylle. Polykarbonaattia liimattaessa UV-säteilyn läpäisy saa olla maksimissaan 0,5 %. (Liiman valmistajan materiaali 2018.)

## 2.7 Liimattavan ikkunan asennus

Liimattavien ikkunoiden asennuksessa erityisen tärkeä seikka on jännityksetön asennus. Jännityksettömällä asennuksella tarkoitetaan asennusta niin, että ikkunaa kiinnittäessä sitä ei tarvitse puristaa muotoonsa, vaan se painuu paikalleen ilman ylimääräisen jännityksen syntymistä. Jos liimattava ikkuna joudutaan puristamaan ja vääntämään muotoonsa, on todennäköistä, että siihen jää sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat jännityshalkeilua. Erityisesti polykarbonaatti on erittäin herkkä jännityshalkeilulle. Myös liimasaumaan tulee jännityksiä, jos asennusvaiheessa ikkuna joudutaan vääntämään paikalleen, ja tästä voi seurata liiman repeäminen ja nopea ikääntyminen. Jos jännityksetöntä asennusta ei voida taata, ei myöskään voida varmistua liiman kiinnipysyvyydestä. Ikkuna tulee myös asentaa tasaisesti painaen, jotta kolmion muotoinen liimapalko leviää ikkunapintaa vasten, jolloin liiman tartunta pinta-ala on yhtä leveä joka paikassa. (Liiman valmistajan materiaali 2019.)

### 3 LIIMAUSKOKKEET

Kuten jo aiemmin on todettu, liimaustestit ovat ainoa keino löytää sopiva liima omaan käyttökohteeseen. Liimoille tehtäviä testejä löytyy useista standardeista, joista autoteollisuuden käyttämiä ovat tarttuvuus ja ikääntymistestit DIN 54457 ja DVS 1618. Edellä mainittujen lisäksi leikkauslujuuskoe on helppo ja nopea tapa testata liimasauman lujuutta. Tällä hetkellä Fortacolla käytettävät liimat on valittu tartunta- ja ikääntymiskokeiden perusteella. Tällä hetkellä käytettävät liimat ovat kuitenkin hitaasti kuivuvia ja osittain automatisointiin kelpaamattomia. Myös liiman hinta on tärkeä pitää mielessä sitä valittaessa, koska liimauskustannukset vuositasolla ovat suurehkot liimojen suuren kilohinnan seurauksena. Liimauskokeet rajautuvat vain liimoihin, joita on saatavilla sekä käsikäyttöisiin liimauspistooleihin että tynnyristä pumppulaitteella annosteltaviin. Liimojen lisäksi testataan myös esikäsittelyaineiden vaikutusta liiman tarttuvuuteen ja lujuuteen.

#### 3.1 Tarttuvuus- ja ikääntymiskokeet

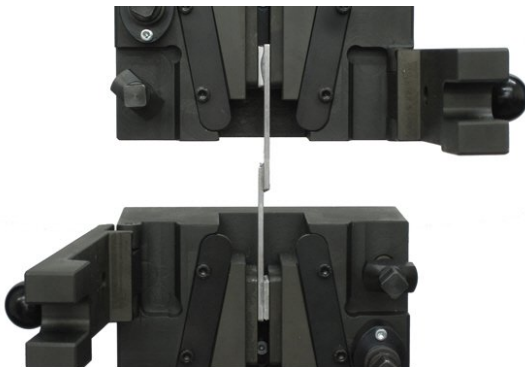
Tarttuvuuskokeita löytyy useista standardeista, mutta ikkunoiden liimauksessa paljon käytetty on DIN 54457:n mukainen. Kyseisessä tartuntatestissä levitetään liimapalkoja haluttua tuotetta vastaaville tartuntapinnoille, jonka jälkeen liimapalkojen annetaan kuivua seitsemän vuorokautta. Liimapalon kuivuttua aletaan veitsellä leikata viiltoja liimapalkoon, ja liimapalon päästä kärkipihdeillä repimällä seurataan liiman kiinnipysyvyyttä tartuntapinnassa. Jos liimapalko irtaoo tartuntapinnasta, on kyseessä adheesion pettäminen, jolloin tartunta on riittämätön. Jos liimapalko pysyy kiinni tartuntapinnassa ja leikkaantuu ainoastaan liimapalon sisäisesti, on kyseessä koheesio leikkaus, jota tavoitellaan. Jos liimapalossa esiintyy ainoastaan koheesioleikkausta, voidaan siirtyä tekemään DVS 1618:n mukaisia ikääntymiskokeita. Jokaisen ikääntymisaltistuksen jälkeen jatketaan liimapalon leikkausta veitsellä ja repimistä kärkipihdeillä.



Kuva 2. DIN 54457:n tarttuvuuskoe (Lackiererblatt 2009).

### 3.2 Vetokoe

Vetokokeessa liimataan kaksi vetotankoa yhteen ennalta määrätyltä pinta-alalta ja vedetään vetokoelaitteella liimatut kappaleet irti toisistaan. Vetokoelaitte mittaa venymää ja käytettyä voimaa kokeen aikana. Vetokokeesta saadaan tuloksena liiman murtoon vaadittava voima, murtojännitys ja venymä. Liimattujen kappaleiden vetokoe voidaan tehdä DIN 6017-3 -standardiin pohjautuen. Kuivumisajan selvitykseen vetokoe on hyvä tapa, sillä vetokokeita voidaan suorittaa eri kuivumisajoilla sekä täydellisen kuivumisen jälkeen, jonka jälkeen voidaan tuloksia verrata laskennallisesti riittävään ikkunoiden kiinnipysyvyyteen.

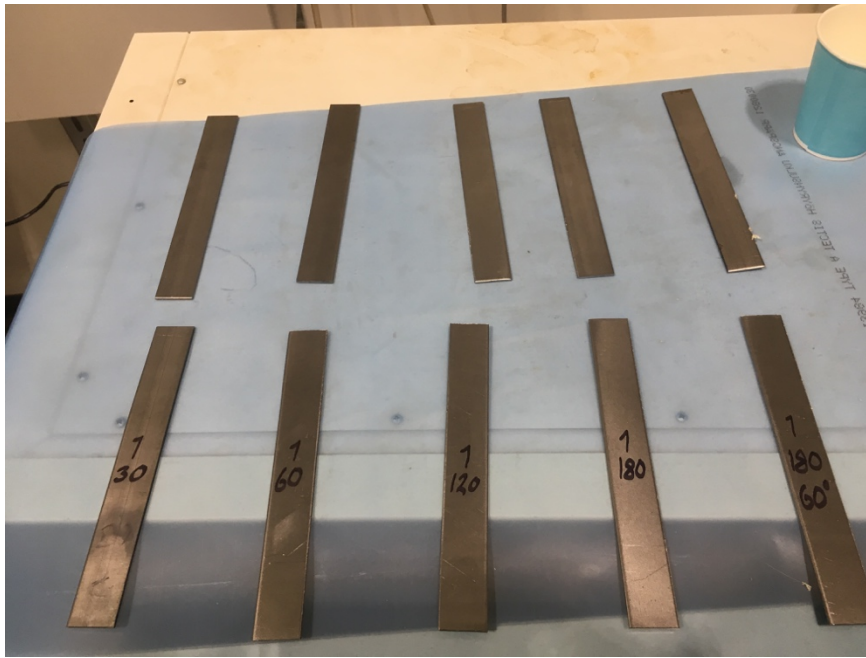


Kuva 3. Vetokoe (Andrew 2010).

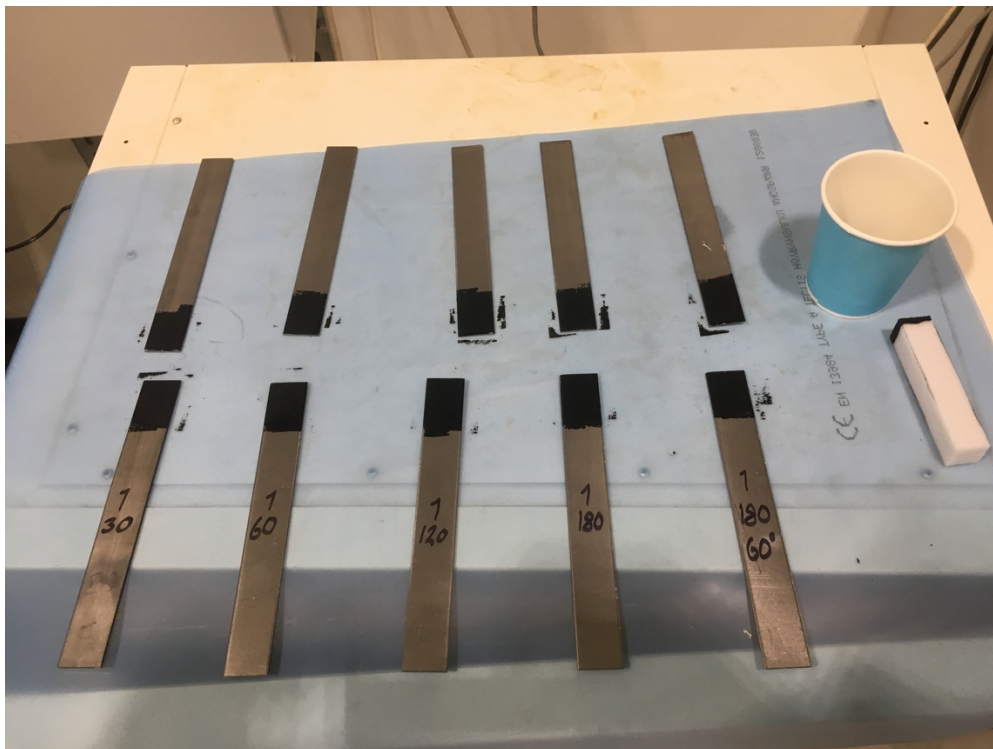
### 3.3 Liimauskokeiden suorittaminen

Vetokokeet suoritettiin liimatuille kappaleille neljällä erilaisella liimalla eri kuivumisaikojen jälkeen. Vetokokeet suoritettiin paljaalle teräslevylle, koska kiireisen aikataulun seurauksena ei voitu käyttää maalattuja kappaleita kokeissa. Paljaalle teräkselle suoritettujen kokeiden tulokset eivät ole yhtä luotettavia kuin tuotannossa käytettyjen pinnoitteiden kanssa tehdyt kokeet, mutta tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina. Liimauskokeissa käytettyjen liimojen toimittaja suorittaa myöhemmin DVS-standardin mukaiset tartunta- ja ikääntymiskokeet vetokokeissa käytetyille liimoille, joten liimojen soveltuvuus Fortacon tarpeisiin selviää myöhemmin. Vetokokeiden pohjalta voidaan myös poissulkea hitaasti kuivuvat liimat, minkä seurauksena säästetään aikaa myöhemmissä kokeissa. Vetokokeet tehtiin neljälle eri liimalle kuivumisajoilla 60, 120 ja 180 minuuttia, poikkeuksena liimalle numero 1 tehtiin vetokoe myös 30 minuutin kuivumisen jälkeen. 180 minuutin kuivumisen jälkeen tehtiin kokeet sekä huoneen lämmössä 20,5 asteessa ja ilmakehän kosteudessa 27 %, että 60 asteen lämmössä ja ilmakehän kosteudessa 50 %. Alkutietoina testeissä oli, että liima numero yksi on polyuretaanipohjainen nopea ainoastaan lasien liimauksen soveltuva liima. Liima numero kaksi on silaani-terminoitu polymeeriliima, joka soveltuu monipuoliseen liimaukseen. Liima numero kolme on polykarbonaatille ja joustaviin kohteisiin soveltuva polyuretaanipohjainen hitaasti kuivuva liima. Liima numero neljä on polyuretaanipohjainen liima monipuoliseen liimaukseen suhteellisen nopealla kuivumisajalla.

Kokeiden valmistelu aloitettiin leikkaamalla levyleikkurilla 150 mm pitkiä ja 25 mm leveitä vetosauvoja vahvuudeltaan 2 mm kylmävalssatusta teräslevystä. Leikkauksen jälkeen sauvat puhdistettiin liimantoinittajan suosittelemalla puhdistusaineella. Sen jälkeen kappaleet merkittiin liimanumeron ja kuivumisajan mukaan. Seuraavaksi levitettiin liimauspinnoille musta primer-aine, joka parantaa liiman tartuntaa vetosauvoihin.



Kuva 4. Vetokoesauvat merkattuna.



Kuva 5. Primer levitettyä sauvoihin.

Primerin annettiin kuivua 10 minuuttia tuoteselosteen ohjeen mukaisesti ennen liiman levitystä. Seuraavaksi liima levitettiin sauvoihin liimanvalmistajan liimapis-  
toolilla ja samaan aikaan ajastin laitettiin käyntiin, jotta pystyttiin seuraamaan kui-

vumisaikaa. Levityksen jälkeen sauvat puristettiin yhteen niin, että liimattu pinta-ala oli 25 mm leveä ja 25 mm leveä ja noin 2 mm vahva. Tämän jälkeen merkauksien mukainen vetosauva siirrettiin 180 minuutiksi lämpökaappiin, joka oli säädetty 60 asteen lämpötilaan ja 50 %:n ilmentösteuteen. Samat toimenpiteet suoritettiin kaikille vetosauvoille yksi liimatyyppe kerrallaan. Halutun kuivumisajan jälkeen vetokoesauvat asetettiin vetokoelaitteen leukoihin ja suoritettiin vetokokeet. Jokaisen kokeen jälkeen raportit tallennettiin, ja tuloksina näkyivät vetokappaleen murtolujuus, murtovoima ja venymä.



Kuva 6. Vetokoe liima numero 2, 60 minuutin kuivuminen.

### 3.4 Tulosten analysointi

Vetokokeista eri kuivumisajoilla selvisi, että liima numero 1 on riittävän nopea liima Fortacon tarpeisiin, ja on lujuudeltaan riittävän luja kannattelemaan ikkunan painoa jo noin kahden tunnin kuluttua levittämisestä. Murtolujuudeksi liimalle yksi 120 minuutin kuivumisen jälkeen saatiin 0,79 Mpa. Mielenkiintoinen tulos kyseisen liiman kohdalla oli korotetun lämpötilan aikaansaama kuplien muodostuminen liiman sisään, mikä aiheutti liiman heikentymisen. Kokeen perusteella 60 asteen korotetun lämpötilan käyttöä ei siis tule käyttää liimalla numero yksi. Liimanvalmistajan tiedoissa myös mainittiin liimauksen lämpötilasuositukseksi 10-35 astetta. Muiden liimojen kohdalla korotetun lämpötilan käyttö toi positiivisia tuloksia, vaikka liimanvalmistajan suosittama lämpötila ylitettiin reilusti. Ilman korotettua lämpötilaa liimalle numero 3 ei voitu tehdä vetokoetta lainkaan edes 180 minuutin kuivumisen jälkeen, koska liima oli täysin märkää. Korotetun lämpötilan ja 180 minuutin kuivumisen jälkeen liima oli pinnalta kuiva ja vetokoe pystyttiin suorittamaan. Liiman numero 3 vetokokeesta saatu murtolujuus jäi korotetun lämpötilan jälkeenkin vain lukemaan 0,13 Mpa, koska liima oli vielä sisältä märkää.





Kuva 7. Liima numero 2 60 minuutin kuivumisen jälkeen.



Kuva 8. Liima numero 4, 120 minuutin kuivuminen.



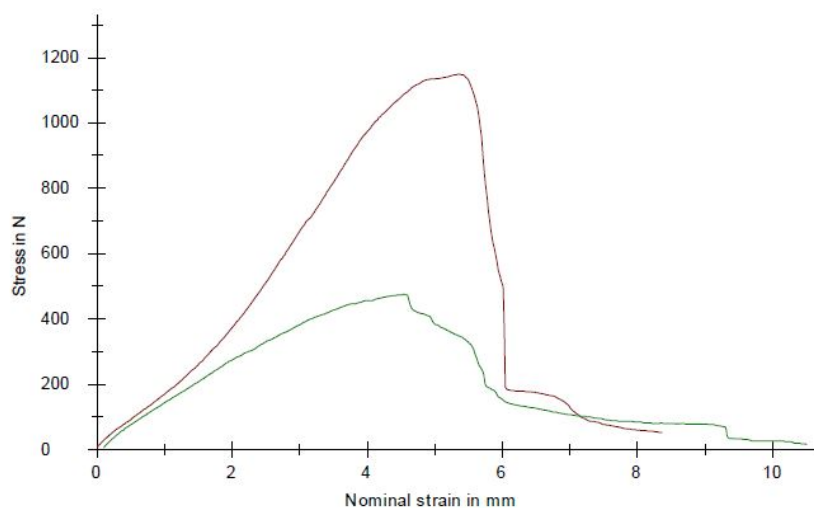
Kuva 9. Liima numero 1, kuplia muodostunut 60 asteen lämmön seurauksena.

**Parameter table:**

Customer	:	Fortaco
Tester	:	
Test standard	:	
Material	:	
Load cell	:	
Extensometer (path)	:	
Specimen grips	:	
Machine data	:	100L3S WN:131494
		Crosshead travel monitor WN:131494
		Force sensor ID:0 WN:131495 100 kN

**Results:**

	Rm	Force-Rm	$\epsilon$ Fmax.
Nr	N/mm <sup>2</sup>	N	mm
2	1.84	1148.82	5.36
3	0.76	474.28	4.46

**Series graphics:**

Kuvio 4. Liima 1, vetokokeen tulokset 180 min kuivumisen jälkeen 20,5 ja 60 asteen lämmössä.

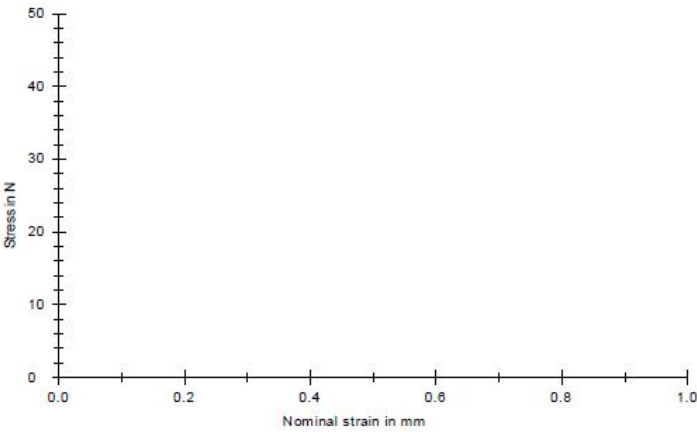
Parameter table:

Customer	: Fortao
Tester	:
Test standard	:
Material	:
Load cell	:
Extensometer (path)	:
Specimen grips	:
Machine data	: 100L3S WN:131494
	: Crosshead travel monitor WN:131494
	: Force sensor ID:0 WN:131495 100 kN

Results:

	Rm	Force-Rm	ε Fmax.
Nr	N/mm²	N	mm
✦1	0.13	79.59	5.05

Series graphics:



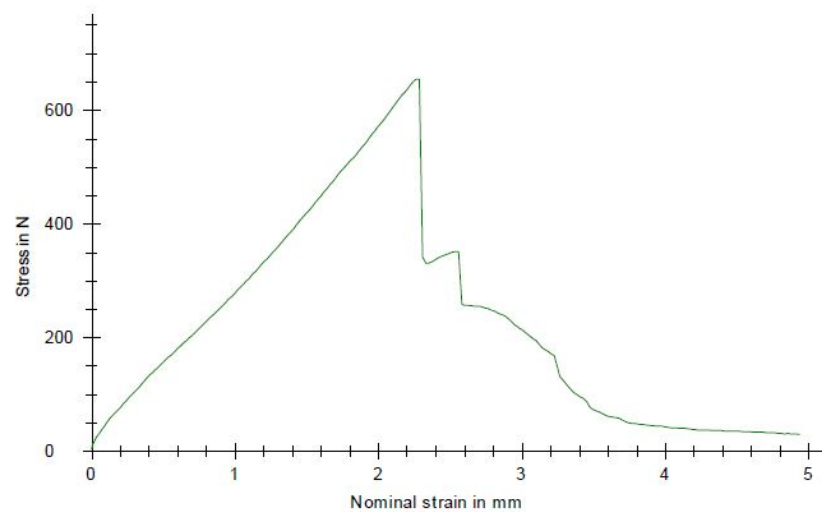
Kuvio 5. Vetokoe liima numero 3, kuivuminen 180 minuuttia.

**Parameter table:**

Customer	: Fortaco
Tester	:
Test standard	:
Material	:
Load cell	:
Extensometer (path)	:
Specimen grips	:
Machine data	: 100L3S WN:131494
	Crosshead travel monitor WN:131494
	Force sensor ID:0 WN:131495 100 kN

**Results:**

	Rm	Force-Rm	$\epsilon$ Fmax.
Nr	N/mm <sup>2</sup>	N	mm
1	0.04	27.85	1.91
2	1.05	655.12	2.28

**Series graphics:**

Kuvio 6. Vetokoe liima numero 2 ja 180 minuutin kuivuminen 20,5 ja 60 asteessa.

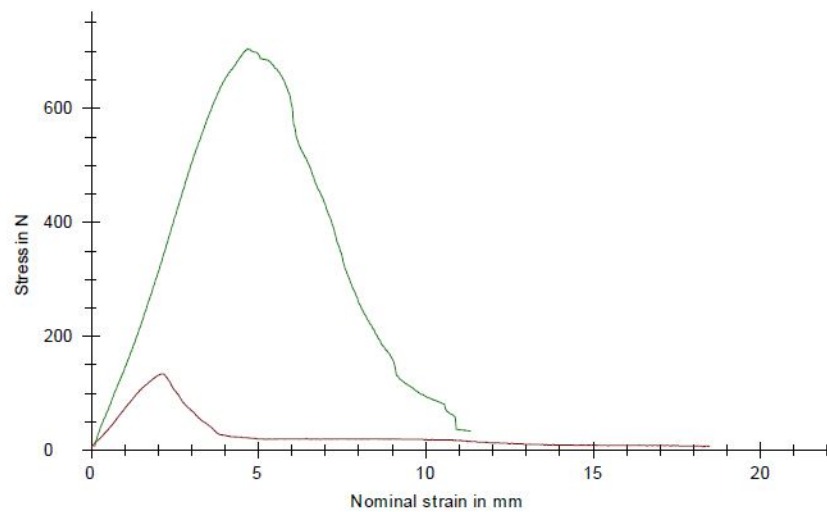
Kuvasta numero 13 voidaan tarkastella tuloksia liimalle numero 2. Veto numero 1 tehtiin 20,5 asteen lämmössä 180 minuutin kuivumisen jälkeen ja veto 2 tehtiin 60 asteen ja 180 minuutin jälkeen. Veto numero 1:n tulos murtolujuudesta oli vain 0,04 Mpa ja veto numero 2:n murtolujuus oli 1,05 Mpa. Samankaltainen muutos kuivumisessa tapahtui myös liimalla numero 4 korotetun lämmön jälkeen.

**Parameter table:**

Customer : Fortaco  
 Tester :  
 Test standard :  
 Material :  
 Load cell :  
 Extensometer (path) :  
 Specimen grips :  
 Machine data : 100L3S WN:131494  
 Crosshead travel monitor WN:131494  
 Force sensor ID:0 WN:131495 100 kN

**Results:**

	Rm	Force-Rm	$\epsilon$ Fmax.
Nr	N/mm <sup>2</sup>	N	mm
1	0.21	133.74	2.09
2	1.13	704.45	4.59

**Series graphics:**

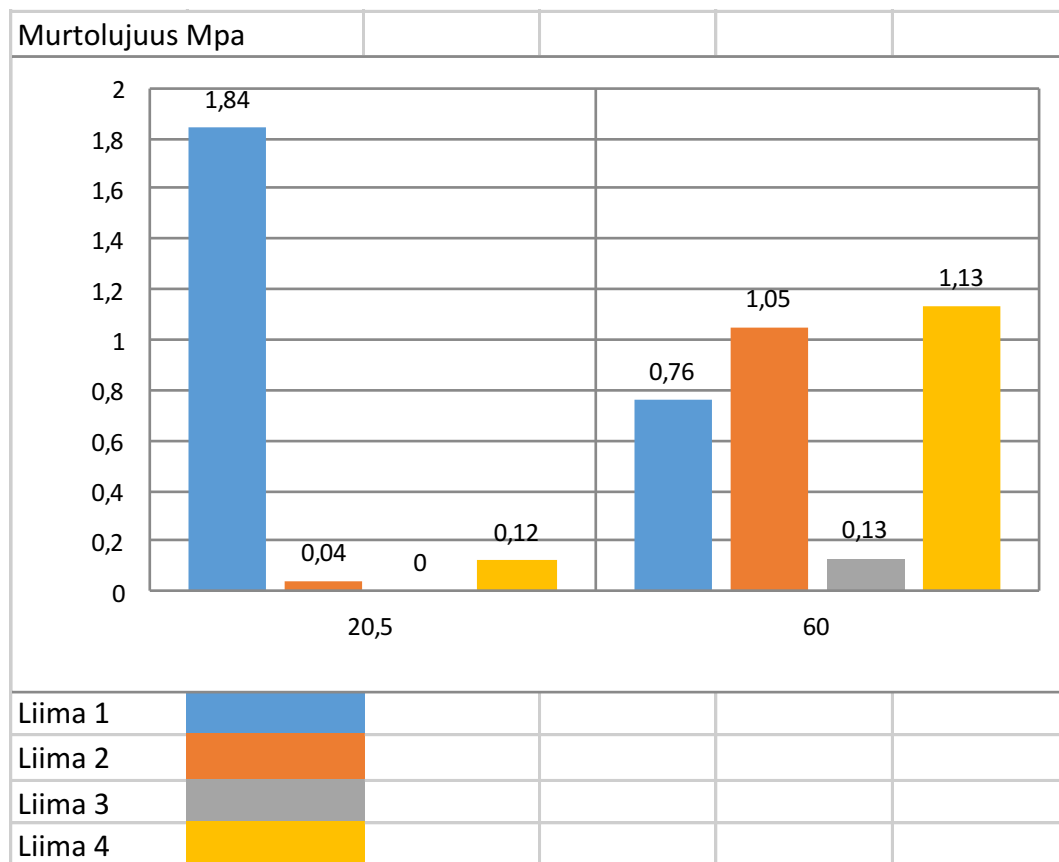
Kuvio 7. Vetokoe liima numero 4, kuivuminen 180 minuuttia 20,5 ja 60 asteen lämpötiloissa.

### 3.5 Johtopäätökset

Vetokokeissa selkeästi parempi tulos saavutettiin korotetun lämpötilan jälkeen liimoille 2, 3 ja 4. Liimalle numero 1 korotettu lämpötila ei ollut hyväksi, sillä liima alkoi kuplimaan ja heikensi siten vetokokeen tulosta. Vetokokeissa käytetyt ve-

tosauvat tulisi maalata Fortacolla käytetyillä maaleilla, jotta liimojen tartunta vastaisi todellista tilannetta paremmin. Vetokokeiden tuloksista kuitenkin voidaan havaita, että liima numero 3 on liian hidas kuivumaan normaaleissa tuotantolosuhteissa. Liima numero 1:n tulokset olivat erittäin positiiviset ja varmasti suositeltava liima Fortacon lasien liimaukseen. Liima numero 2 vaikuttaa kokeiden ja ominaisuuksien perusteella parhaalta vaihtoehdolta polykarbonaattien liimaukseen. Kaikille kokeissa käytetyille liimoille olisi hyvä suorittaa vetokokeet myös 35 asteen ja 50 %:n ilmakosteudessa, koska liiman valmistajan suurin suositeltu liimauslämpötila on 35 astetta. Liiman valmistaja suorittaa myöhemmin tartuntakokeet liimoille, jonka jälkeen voidaan tehdä ratkaisuja liimojen käyttöönoton suhteen. Taulukosta 2 voidaan tarkastella kaikkien kokeissa käytettyjen liimojen murtolujuuksia 180 minuutin kuivumisen jälkeen, sekä 20,5 asteessa 27 %:n ilmankosteudessa, sekä 60 asteessa 50 %:n ilmankosteudessa.

Taulukko 1. Vetokokeen tulokset 20,5 ja 60 asteen lämpötiloissa.



## 4 YHTEENVETO

Fortacon ohjaamojen kokoonpanossa ikkunoiden liimaus on hitain työvaihe pitkän liiman kuivumisajan seurauksena. Liiman levitys ikkunoiden kiinnityspinoille tapahtuu nykytilanteessa käsivaraisesti, josta saattaa seurata inhimillisiä virheitä. Käsivaraisesti levitys on hidasta ja liimapalon vahvuus saattaa vaihdella eri kohdissa liitosta. Liimausprosessia on siis syytä kehittää automatisoinnin ehdoilla. Automatisointia voidaan kehittää asteittain, mutta liimat on valittava jo varhaisessa vaiheessa automatisointiin sopivaksi. Fortacolla liimauksen kokonaisuudesta käytetään termiä liimausjärjestelmä, johon sisältyy siis kaikki liimaukseen liittyvä liimausohjeista aina laadunvarmistukseen saakka. Ennen kuin liimausjärjestelmää voidaan kehittää, on ymmärrettävä, mitkä kaikki asiat liittyvät onnistuneeseen ja toimivaan liimausprosessiin. Liimausprosessin kannalta tärkeää on ymmärtää pintaenergian ja esikäsitteilyn vaikutus adheesioon, UV-säteilyn vaikutus liiman ikääntymiseen ja jännityksetön asennus. Liimaliitoksen suunnittelu vaiheessa tärkeää on huomioida liitoksen geometrian vaikutus lujuuteen sekä materiaalien lämpölaajeneminen.

Työn konkreettisessa osuudessa suoritettiin vetokokeet neljälle erityyppiselle liimalle. Kokeet suoritettiin liiman eri kuivumisajoilla, jotta saatiin selville liiman murtolujuus lyhyen kuivumisajan jälkeen. Murtolujuutta tutkittiin myös korotetun lämpötilan ja ilmankosteuden kohotuksen jälkeen. Tuloksista selvisi, että yksi liima kuivui riittävän nopeasti ilman korotettua lämpötilaa, mutta kolme mutta liima tarvitsi nopeasti kuivuakseen korotettua lämpötilaa ja ilmankosteutta.

Tässä työssä ei saatu varsinaista ongelmaa ratkaisua Fortacon liimauksen kehittämiseen, mutta kuitenkin saatiin lupaava tulos liimauskokeita tehdessä, josta saattaa olla apua liimausongelmien ratkaisussa. Kokeiden tuloksen perusteella ikkunoiden liimaus olisi syytä suorittaa liiman kuivumisen kannalta optimaalisessa lämpötilassa ja ilmankosteudessa nopeamman kuivumisen saavuttamiseksi keskitetyssä liimausasemassa. Myös kokoonpanon kannalta liimausasema parantaisi liimauksen laatua ja selkeyttäisi materiaalin kulkua.



## LÄHTEET

3M. 2018. Kuinka liitos pysyy varmasti kiinni: teippi- ja liimakoulu. [Verkkosivu]. Espoo: 3M. [Viitattu 26.1.2019]. Saatavana: [https://content-prod-t.yeint.fi/sites/default/files/2018-08/3M\\_Opas\\_teipin\\_ja\\_liiman\\_valintaan\\_1.pdf](https://content-prod-t.yeint.fi/sites/default/files/2018-08/3M_Opas_teipin_ja_liiman_valintaan_1.pdf)

Andrew, D. 13.7.2010. How to Perform an Adhesive Lap Joint Shear Strength Test – ASTM D1002. [Verkkosivu]. Norwood: Admet. [Viitattu 21.1.2019]. Saatavana: <https://www.admet.com/how-to-perform-an-adhesive-lap-joint-shear-strength-test-astm-d1002/>

Ebnesajjad, S. 2014. Adhesives technology handbook. 2nd edition. USA: William Andrew. inc.

Fortaco. Ei päiväystä. This is Fortaco. [Verkkosivu]. Vantaa: Fortaco. [Viitattu 18.1.2019]. Saatavana: <http://www.fortacogroup.com/company/this-is-fortaco.html>

ICE. Ei päiväystä. Non toxic dyne pens. [Verkkosivu]. Toronto: ICE. [Viitattu 18.1.2019]. Saatavana: <https://ice-equipment.com/non-toxic-dyne-pens/>

Lackiererblatt. 3.4.2009. Unter dem Lack. [Verkkosivu]. Leinfelden: Lackiererblatt. [Viitattu 27.1.2019]. Saatavana: <https://www.lackiererblatt.de/themen/reparatur-technik/unter-dem-lack/>

Liiman valmistajan haastattelu 7.11.2018.

Liiman valmistajan materiaali 7.11.2018. Saatavilla vain yrityksen omaan käyttöön.

Merchant, J. Ei päiväystä. Surface Energy. [Verkkosivu]. USA: 3M. [Viitattu 23.1.2019]. Saatavana: <https://industrialcommunity.3m.com/blog/surface-energy/>

Nuuttinen, J. 1999. Ohutlevyjen liittäminen. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Sillanpää, J. 2018. Hankinta päällikkö. Fortaco Ostrobothnia Oy. Palaveri 17.10.2018.

Sillanpää, J. 2019. Hankinta päällikkö. Fortaco Ostrobothnia Oy. Haastattelu 29.1.2019.

Togwt. 22.6.2015. Surface Energy. [Verkkosivu]. USA: Togwt. [Viitattu 21.1.2019].  
Saatavana: <http://togwt1980.blogspot.com/2015/06/surface-energy.html>

**LIITTEET**



