



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT-Metalli

Rakenne- ja lujuustekniikan laboratorio

Kandidaatintyö

## **Teippaaminen ja liimaaminen teräsrakenteissa**

Työn tekijä: Tuomas Lähde

Työn ohjaaja: Professori Timo Björk

Työn teettäjä: Juha Peippo, Kone Cranes

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEIPPAAMINEN JA LIIMAAMINEN LIITTÄMISMENETELMÄNÄ</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>LIIMA-AINEEN TARTTUMISEN TÄRKEIMPIÄ TEORIOITA</b> .....	<b>2</b>
2.1.1	Pintaenergia .....	2
2.1.2	Absorptioteoria .....	2
2.1.3	Mekaaninen teoria.....	3
2.1.4	Sähköstaattisuusteoria teoria.....	3
2.1.5	Heikon rajapinnan teoria.....	3
<b>2.2</b>	<b>METALLIEN LIITTÄMISEEN KÄYTETTYJÄ LIIMOJA JA TEIPPEJÄ</b> .....	<b>4</b>
2.2.1	Rakenteellisen lujuuden liimat.....	4
2.2.2	Alle rakenteellisen lujuuden liimat .....	7
2.2.3	Alle rakenteellisen lujuuden paineherkät teipit .....	8
<b>2.3</b>	<b>LIITTÄMISMENETELMIEN VERTAILU</b> .....	<b>10</b>
2.3.1	Liimaaminen vai teippaaminen?.....	12
<b>2.4</b>	<b>MUIDEN LIITTÄMISMENETELMIEN KÄYTTÖ TEIPIN TAI LIIMAN KANSSA</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5</b>	<b>TEIPPAAMISESTA JA LIIMAAMISESTA TEHTYJÄ TUTKIMUKSIA</b> .....	<b>13</b>
2.5.1	Lämpötilamuutosten vaikutukset metallien liimaliitoksiin.....	13
2.5.2	Rakenteellisten liimojen käyttö runkorakenteiden vahvistamiseksi.....	13
2.5.3	Akryylivaah toteipin suorituskyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden arviointi.....	14
<b>3</b>	<b>METALLIPINNAN ESIKÄSITTELY</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>ESIKÄSITTELYMENETELMÄT</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>TEIPPAAMISEN JA LIIMAAMISEN SOVELLUSKOHTEITA</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>PRIMÄÄRIRAKENTEET</b> .....	<b>17</b>
4.1.1	Golfmailan varren kiinnitys päähän.....	17
<b>4.2</b>	<b>SEKUNDÄÄRIRAKENTEET</b> .....	<b>18</b>

4.2.1	Lentokoneen siiven laskusiivekkeen kulumaliuskan kiinnitys .....	18
4.2.2	Rakennuksen ulkoseinän paneelien kiinnitys .....	18
4.2.3	Kuorma-auton sivupaneelien kiinnitys runkoon .....	19
<b>5</b>	<b>YLEISIMMÄT KAUPALLISET TEIPIT JA LIIMAT.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>KAKSIPOULISET TEOLLISUUSTEIPIT .....</b>	<b>20</b>
5.1.1	Kaksipuoliset VHB™-teipit.....	20
5.1.2	Muut teollisuusteippien valmistajat .....	22
<b>5.2</b>	<b>TEOLLISUUDESSA KÄYTETTÄVIÄ LIIMOJA .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>NÄKÖKOHTIA LIIMA- JA TEIPPILIITOKSEN MITOITTAMISEEN.....</b>	<b>24</b>
<b>6.1</b>	<b>JÄNNITYSTYYPI.....</b>	<b>24</b>
6.1.1	Puristus.....	25
6.1.2	Leikkaus.....	25
6.1.3	Veto.....	25
6.1.4	Repivä .....	25
6.1.5	Halkaiseva.....	25
6.1.6	Iskumainen ja väsyttävä.....	26
<b>6.2</b>	<b>TEOREETTISEN ANALYYSIN KÄYTTÖ LIITOKSEN SUUNNITTELUSSA .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3</b>	<b>KOKEELLISTEN TULOSTEN KÄYTTÖ LIITOKSEN SUUNNITTELUSSA .....</b>	<b>26</b>
<b>6.4</b>	<b>LIITOKSEN KESTÄVYYDEN PARANTAMISEN YLEISIÄ PERIAATEITA.....</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>KAAPELIKOURUN LIITTÄMINEN KUORMAPALKIN UUMAAN TEIPPAAMALLA .....</b>	<b>28</b>
<b>7.1</b>	<b>KAAPELIKOURUN RAKENTEEN MUUTTAMINEN TEIPPILIITOKSELLE SOPIVAKSI.....</b>	<b>29</b>
<b>7.2</b>	<b>KÄYTETTÄVÄN TEIPIN VALINTA .....</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>31</b>

# 1 JOHDANTO

Mekaanisten liittämismenetelmien ja hitsaamisen lisäksi teippaamista ja liimaamista voidaan käyttää myös teräsrakenteissa. Sillä on omat hyvät ja huonot puolensa, joita tässä työssä käydään erilaisten teippien ja liimojen sovelluskohteita tarkastelemalla. Työ tehdään Kone Cranesille. Työn tavoitteena on tutkia yleisesti teippejä ja liimoja. Lisäksi työssä on tarkoitus selvittää, soveltuuko liima- tai teippiliitos teollisuusnosturin kaapelikourun liittämiseksi kuormapalkin uumaan. Sovelluskohteista pitää yrittää tutkia käytetäänkö liimaamista tai teippaamista paikoittamisessa ennen hitsaamista ja kitkan parantamiseen pulttiliitoksissa. Mitoittamiseen on myös tarkoitus etsiä ohjeita ja selvittää onko esimerkiksi pitkäaikaiskestävyydelle ja lämpötilan vaikutukselle suunnitteluohjeita. Eri liimojen ja teippien valmistajilta tulee hankkia tietoa siitä, mihin sovelluskohteisiin niitä on käytetty ja mitkä ovat käytetyimpiä liimoja ja teippejä.

## **2 TEIPPAAMINEN JA LIIMAAMINEN LIITTÄMISMENETELMÄNÄ**

Liimoilla ja teipeillä voidaan yleensä liittää kappaleita kiinni toisiinsa helpommin ja nopeammin kuin esimerkiksi pulteilla ja hitsaamalla. Käyttötarkoituksia on lähes rajaton määrä, mutta yleensä liitosten suunnittelu perustuu edelleen yritykseen ja erehdykseen. Liimoja ja teippejä löytyy lähes kaikkiin teollisuuden käyttökohteisiin, aina suurta lujuutta vaativista liitoksista kevyiden osien kiinnittämiseen. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 2)

### **2.1 LIIMA-AINEEN TARTTUMISEN TÄRKEIMPIÄ TEORIOITA**

Liima-aineen tarttumista on vaikea selittää käyttämällä vain yhtä tarttumisen teoriaa. Liitosta suunniteltaessa tulee ymmärtää, mikä vaikutus kullakin tartunnan teoriolla on. Eri liimaamisen ja teippaamisen käyttökohteissa liittymismekanismi voi vaihdella. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 6)

#### **2.1.1 Pintaenergia**

Pintaenergia voidaan määritellä työnä, joka tarvitaan erottamaan kaksi toisiinsa tarttunutta pintaa irti toisistaan (Petrie, M. Edward, 2000, s. 51). Korkean pintaenergian materiaalien pintaan liima-aine tarttuu hyvin, kun taas liima-aine hylkii matalan pintaenergian materiaaleja. Hyvin liimaan tarttuvia materiaaleja ovat esimerkiksi ruostumaton teräs, alumiini ja lasi. Huonosti tarttuvat esimerkiksi silikoni, teflon ja polypropeeni. (3M, 2008b, s. 6)

#### **2.1.2 Absorptioteoria**

Teorian mukaan adheesion muodostaan kahden kappaleen välille molekyyllitason kosketuksena ja pintojen väliin muodostuneista voimista. Adheesion muodostavia voimia ovat sekundäärinen- ja Van der Waals-voimat, jotka vaativat läheisen molekyyllitason kontaktin liimattavaan pintaan. Jatkuvan kosketuksen aikaan saamista kutsutaan

kostutukseksi. Hyvä kostutus saadaan aikaan, kun liima valuu kappaleen kuoppiin ja halkeamiin. Huonolla kostutuksella kappaleen ja liimasauman välinen pinta-ala jää pienemmäksi epätasaisuuksiin jäävien ilmakuplien takia ja liimasauman lujuus heikkenee. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 59) Hyvä kostuminen aikaansaadaan, kun liiman pintaenergia on paljon pienempi, kuin liimattavan pinnan. Hyvä liimasauma muodostuu esimerkiksi polyetyleni-liima-aineen ja metallin välille. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 61)

### 2.1.3 Mekaaninen teoria

Liimattava pinta ei ole koskaan täysin tasainen, vaan siinä on aina pieniä epätasaisuuksia. Kun liima-aine valuu liimattavien pintojen kuoppiin ja kovettuu, pinnat pysyvät toisissaan kiinni mekaanisesti. Pinnan epätasaisuus lisää liimasauman pinta-alaa ja siten parantaa liitoksen lujuutta. Mekaanisen teorian mukaan tiettyyn rajaan asti liimasauman kiinnittymisen pinta-alaa kasvattamalla saadaan parempi liitoksen suunnittelu. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 62–63) Pinnan epätasaisuudet parantavat liimasaumaa mekaanisen lukittumisen avulla. Tällöin liimasaumaan kohdistuva leikkausvoima joutuu työntämään liima-aineen liimattavan materiaalin läpi. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 63)

### 2.1.4 Sähköstaattisuusteoria teoria

Liimasauma ja liimattava materiaalin rajapinta kiinnittyvät toisiinsa elektrostaattisen ilmiön johdosta. Rajapinnan välillä tapahtuu elektronien siirtymistä, joka saa aikaan sähköisen sidosrakenteen muodostumisen. Elektrostaattisuusteoria selittää hyvin polymeeri-metalli-liitoksen tartunnan. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 8)

### 2.1.5 Heikon rajapinnan teoria

Murtuminen voi johtua liimasauman rajapinnassa joko liiman murtumisesta tai heikosta rajapinnasta. Heikko rajapinta voi olla peräisin liimasta, liimattavasta materiaalista, ympäristöstä tai kaikista näistä kolmesta tekijästä. Polyetyleenillä ja metallioksidilla on esimerkiksi luonnostaan heikko rajapinta. Heikko rajapinta voidaan poistaa pintakäsittelyllä. Ympäristön vaikutuksesta johtuva heikko rajapinta on hyvin yleinen, tyypillisesti ilman aiheuttamana. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 13–14)

## **2.2 METALLIEN LIITTÄMISEEN KÄYTETTYJÄ LIIMOJA JA TEIPPEJÄ**

Erilaisia liimoja ja teippejä löytyy paljon eri käyttötarkoituksiin. Liimoista suurin osa on rakenteellisen lujuuden liimoja. Teipeistä lähes kaikki ovat suunniteltu sekundäärirakenteille. Rakenteellisen lujuuden raja on teippi- ja liimaliitoksissa  $7 \text{ N/mm}^2$ . (3M, 2008b, s.3)

### **2.2.1 Rakenteellisen lujuuden liimat**

Rakenteellisen lujuuden liimojen oletetaan kestävän jännityksiä aina niiden myötörajalalle asti. Liitoksen on tarkoitus säilyttää lujuutensa pitkiä aikoja, joka voi olla monia vuosia. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 1) Monen komponentin liimojen oikea sekoitussuhde on tärkeää, sillä yli viiden prosentin heitto sekoitussuhteessa voi alentaa liiman suorituskykyä. (Salminen, E. 2011, s. 10)

### **Epoksiliimat**

Epoksiliimoja käytetään monissa käyttökohteissa teollisuudessa. Epoksit ovat monikäyttöisiä liimoja, koska ne tarttuvat moniin materiaaleihin ja niiden ominaisuuksia voidaan helposti muuttaa. Yleisiä ominaisuuksia ei pystytä määrittämään, koska ominaisuudet muodostuvat eri epoksihartsen kovetinaineiden yhdistelmästä. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 355–356) Epoksiliimoja on saatavilla yksikomponenttisina, lämpökovetteisina ja monikomponenttisina, jotka kovettuvat joko huoneenlämmössä tai korkeammassa lämpötilassa. Kovettumisaika on yleensä 18–72 tuntia, riippuen käytetystä hartsista ja lämpötilasta. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 356) Lämpötilaa nostaessa kovettumisaikaa saadaan laskettua huomattavasti. Esimerkiksi  $66 \text{ °C}$  lämpötilassa liima voi kuivua jo kahdessa tunnissa (Salminen, E. 2011, s.6).

Epoksit omaavat luonnostaan hyvät kostumisominaisuudet kaikilla materiaaleilla, paitsi muutamilla matalan pintaenergian materiaaleilla. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 356) Epoksilla on todella hyvä kesto kemikaaleja vastaan ja hyvä korkean lämpötilan kesto.

(Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 81) Liimasauma kestää hyvin leikkausvoimia. (Salminen, E. 2011, s. 9) Liimattava pinta täytyy esikäsitellä hyvin, jotta saadaan suurin lujuus. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 81)

### **Polyuretaaniliimat**

Polyuretaanit ovat todella joustavia liimoja, joten niitä käytetään esimerkiksi kalvojen ja kumien liimaamisessa (Petrie, M. Edward, 2000, s. 382). Liimasauma kestää hyvin kuorivaa voimaa. Polyuretaaneja käytetään myös kiinteässä muodossa, äärimmäisen kylmissä olosuhteissa liimaamiseen ja kulumista kestävässä pinnoitteina. Suurin käyttökohde on huonosti liimautuvien muovien liittäminen metalleihin tai muihin materiaaleihin. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 112)

Polyuretaaneja on satavilla yksikomponenttisina ja kaksikomponenttisina. Yksikomponenttiset kovettuvat huoneenlämmössä altistuessaan kosteudelle tai kuumentamalla. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 383) Kaksikomponenttisiä on saatavissa nestemäisessä muodossa, joko liuottimen kanssa tai ilman. Kaksikomponenttiset kovettuvat huoneenlämmössä kuudessa päivässä ja kuumentamalla muutamassa tunnissa. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 112) Polyuretaania on myös saatavilla kuumaliimana, joka muodostaa liitoksen muutamassa sekunnissa ja lopullinen kuivuminen kestää 1-3 päivää (Petrie, M. Edward, s. 385).

### **Fenolit**

Fenoleita käytetään yleensä puitten liimaliitoksissa (Petrie, M. Edward, 2000, s. 374). Niitä käytetään myös metalliliitoksen esikäsitelyyn ennen liittämistä (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 104). Hyviä ominaisuuksia ovat kuumuuden kesto ja muodonpysyvyys (Petrie, M. Edward, 2000, s. 374).

Fenoleita on saatavissa erilaisilla lisäaineilla modifioituina, koska pelkkiä fenoleita käytettäessä liitoksella on taipumus murtua iskuista ja värähtelystä. Modifioidut fenolit soveltuvat hyvin metallien liittämiseen. Kumi-, ja termoplastisten materiaalien yhdistäminen fenoleihin parantaa liitoksen joustavuutta. Modifioituja fenoleita ovat nitrili-, vinyyli- ja neopreeni-fenolit. Metalleita liitettäessä toisiinsa nitrili-fenoleilla on suuri



leikkauslujuus ja erinomaiset kuorimisen ja väsymisen kesto. Vinyyli-fenolit ovat eniten käytettyjä rakenteellisen lujuuden liimoja erinomaisen leikkaus- ja kuorimislujuuden takia. Neopreeni-fenolit kestävät suuria lämpötilaeroja ja hyvä kestävyys virumista vastaan. Väsymisen ja iskujen kestävyys on myös neopreeni-fenoleilla erinomainen. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 374–377)

### **Syanoakrylaatit**

Syanoakrylaatit ovat saatavilla metyyli- tai etyyli-pohjaisena, usein yksikomponenttisisä muodossa (Petrie, M. Edward, 2000, s. 389). Veto- ja leikkauslujuus ovat erinomaisia, tosin kosteuden kesto on melko heikko. Syanoakrylaatit tarttuvat hyvin moniin materiaaleihin ilman kuumentamista tai lisättyä katalyyttia. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 75) Metalleja liitettäessä metyyli-syanoakrylaattiliitokset ovat vahvempia ja iskunkestävämpiä, kuin etyyli-syanoakrylaattiliitokset (Petrie, M. Edward, 2000, s. 389). Liitoksen kovettuminen kestää usein noin 0,5–5 minuuttia (Petrie, M. Edward, 2000, s. 290).

### **Anaerobiset liimat**

Anaerobista liimaa on suositeltu käytettäväksi tiivisteaineena (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 67). Liima kuivuu, kun ilma on poistettu liimaliitoksesta. Liimoilla voidaan liittää metallia, lasia, keraameja ja kertamuoveja. Anaerobiset liimat kuivuvat nopeasti huoneenlämmössä ja niitä on helppo käyttää. Tärkein anaerobisten liimojen käyttökohde on toimia nestemäisenä aluslaattana ruuveille ja pulteille. Suuren tunkeutumiskyvyn ansiosta liima voidaan levittää ennen mekaanista liittämistä tai sen jälkeen. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 385–389)

### **Polyromaattiset korkean lämpötilan liimat**

Polyaromaattisia korkean lämpötilan liimoja ovat muun muassa polyimidi, bismaleimidi, polybenzimidazoli (Petrie, M. Edward, 2000, s. 378). Erinomaisen lämpötilan keston takia niitä käytetään esimerkiksi ylääänikoneissa ja satelliiteissa, joissa tarvitaan yli 300 °C lämpötilan kestoä. Korkean lämpötilan liimoja on saatavilla filmeinä ja teippeinä. Huonona puolena on hinta, joka on usein kymmenkertainen epoksipohjaisiin liimoihin verrattuna. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 68–69)

### 2.2.2 Alle rakenteellisen lujuuden liimat

Alle rakenteellisen lujuuden liimoja käytetään kevyiden kappaleiden kiinnittämiseen. Kappaleilta ei vaadita suurten jännitysten kestoa ja niitä ei ole tarkoitettu käytettäväksi liitoksissa, joissa esiintyy yli  $7 \text{ N/mm}^2$  jännityksiä. (3M, 2008b, s. 3)

#### **Akryyliliimat**

Lämpömuovattavilla akryyleilla ovat erinomaiset liimausominaisuudet (Petrie, M. Edward, 2000, s. 409). Esimerkiksi alumiini, messinki, kupari, teräs ja hiiliteräs saadaan liitettäväksi toisiinsa tai eri metalleihin (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 65). Akryyliliimoja on saatavissa liuoksena, emulsiona ja polymeeri-monomeeri seoksena, jotka kuivuvat ultraviolettivalossa, lämmittämällä tai kemiallisella katalyytillä (Petrie, M. Edward, 2000, s. 409).

Polyakryyleja käytetään paineherkissä liimoissa, joilta vaaditaan korkeaa suorituskykyä. Niillä on erinomainen lujuus ja pitkäaikaiskestävyys ulkotiloissa. Niitä käytetään esimerkiksi autojen maalipinnan suojusten ja muiden ulkoisten osien asennusteippinä. Melko uusi liimatyyppi on akryylinen kuumaliimattava paineherkkä liima. Liimaus voidaan suorittaa kuumaliimaamalla, liimattavalla pinnalla ne käyttäytyvät paineherkän liiman tavoin. Kuumaliimattavilla paineherkillä liimoilla on parempi UV:n kesto kuin normaaleilla paineherkillä liimoilla tai kuumaliimoilla. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 409)

Useimpien akryyliliimojen kuivuminen kestää 2–20 minuuttia, mutta jotkut kuivavat jopa 10 minuutissa. Kaikissa tapauksissa kuivuminen tapahtuu 24 tuntiin mennessä. Akryyliliimat kestävät  $-107$ – $+121$  °C lämpötiloissa erinomaisesti leikkausta ja kuorimista, myös iskutkeys on erinomainen. Akryyliliimasidokset kestävät hyvin erilaisia kemikaaleja, sään kesto ja suolaveden kesto ovat myös erinomaisia. Alkaleja ja happoja vastaan tosin liimasidos ei kestä. Muita akryyliliimojen hyviä puolia ovat, että ne sietävät öljyisiä ja huonosti esikäsiteltyjä pintoja ja niillä on pieni kuivumisesta johtuva kutistuma. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 64–65)

#### **Kumipohjaiset liimat**

Luonnolliseen kumiin tai synteettiseen kumiin perustuvilla liimoilla on erinomainen kuorimislujuus, mutta heikko leikkauslujuus. Virumista kuormituksen aikana tapahtuu jo huoneen lämmössä. Tyypillisesti kumipohjaisia liimoja käytetään liitoksissa, jotka eivät vaadi rakenteellista liimaa. Kumipohjaisiin liimoihin kuuluvat luonnonkumi, neopreenikumi, nitrilikumi ja silikoni. Kumipohjaisia liimoja käytetään muun muassa kontaktiliimoina ja paineherkkinä liimoina. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 393–395)

Monilla kontaktiliimoilla saadaan liimaliitos syntymään hetkessä pienen ulkoisen paineen avulla. Muilla kontaktiliimoilla liimaliitoksen syntymiseen tarvitaan myös lämpöä. Kontaktiliimat muodostavat melko lujia sidoksia suurella leikkaus- ja kuorimislujuudella, mutta liimaliitos viruu korotetuissa lämpötiloissa. Niitä käytetään usein metalli – metalliliitokselle. Kontaktiliimoja käytetään usein rakenteellisina liimoina. Paineherkät liimat muodostavat materiaalien välille sidoksen nopeasti paineen vaikuttaessa liitokseen. Virumista tapahtuu kuormituksen alaisena jopa matalissa lämpötiloissa. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 393–395)

### 2.2.3 Alle rakenteellisen lujuuden paineherkät teipit

Paineherkkiä teippejä käytetään lähes samalla tavalla, kuin kontaktiliimoja. Niillä saadaan luotua heti hyvä tarttuvuus. Kontaktiliimoista poiketen niiden tarttuvuus on pysyvää ja niille ei ole määritelty sopivaa kiinnityshetkeä. Kiinnityksen jälkeen suurimman lujuuden saavuttaminen kestää useita päiviä. Paineherkkiä teippejä käytettäessä liimattavat pinnat on oltava puhtaita ja kuivia. Virumisesta johtuen ne kestävät vain pieniä kuormia ja sopivat siksi vain sekundäärirakenteisiin. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 301–306)

Paineherkistä teipeistä on kehitetty lähes rakenteellista lujuutta kestäviä korkean lujuuden teippejä. Vaahdon käyttö teipissä auttaa rakojen täyttämässä ja jännitysten jakamisessa. Korkean lujuuden paineherkkien teippien liitoksen lujuus voi olla 10-kertainen tavallisiin paineherkkiin teippeihin verrattuna. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 302–304)

Paineherkkien teippien tarttuvalla pinnalla on laineri, jonka poistettaessa liima-aineen liuotin haihtuu ja teippi on valmiina käytettäväksi. Teippi voi olla joko yksi- tai

kaksipuolinen. Paineherkkiä teippejä on saatavana kumi-, akryyli- ja silikoniteippeinä. Taulukossa 1 on vertailtu näitä teippejä. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 301–302)

	Hyvät puolet	Rajoittavat tekijät
Kumit	<p>Hyvä joustavuus</p> <p>Korkeampi välitön tarttuvuus, kuin akryyleilla</p> <p>Halvin</p> <p>Hyvä leikkauslujuus</p> <p>Hyvä liimautuvuus matalan ja korkean pintaenergian pintoihin</p> <p>Sopii väliaikaiseen tai pysyvään kiinnitykseen</p>	<p>Matala tarttuminen ja liimautuvuus ilman lisäaineita</p> <p>Kestää huonosti vanhenemista, alttiina kellastumiselle</p> <p>Keskinkertainen käyttöikä, kiinnityksen heikentyminen alkaa n. 2 vuoden kuluttua ja kiinnityksen hajoaminen n. 5 vuoden kuluttua</p>
Akryylit	<p>Hyvä UV kestävyys</p> <p>Hyvä kestävyys vedessä (kumeja parempi)</p> <p>Hyvä tartunnan muodostuminen</p> <p>Hyvä liuotinkestävyys</p> <p>Hyvä käyttölämpötila-alue -45 °C -121 °C</p> <p>Helpompi kiinnittää, kuin kumit</p> <p>Hyvä leikkauslujuus</p> <p>Hyvä käyttöikä</p> <p>Kohtuullinen hinta verrattuna kumeihin ja silikoniin</p>	<p>Huonompi virumisen kesto, kuin kumeilla</p> <p>Heikko välitön tarttuvuus</p>
Silikoni	<p>Erinomainen kemikaalien ja liuottimien kesto</p> <p>Laaja käyttölämpötila-alue -73 °C —+260 °C</p> <p>Hyvä hapettumisen kesto</p> <p>Hyvä liimautuvuus matalan ja korkean pintaenergian</p>	<p>Korkein hinta verrattuna kumeihin ja akryyleihin</p>

	pinnoille	
--	-----------	--

Taulukko 1. Paineherkkien teippien liima-aineiden vertailu. (Salminen, E. 2011, s. 14), mukailten (Petrie, M. Edward, 2000, s. 302).

## 2.3 LIITTÄMISMENETELMIEN VERTAILU

Kahden kappaleen kiinnitykseen löytyy harvoin parasta mahdollista liittämismenetelmää. Joissain tilanteissa voi kuitenkin rajata pois liittämismenetelmän, joka ei sovi kyseiseen tilanteeseen. Esimerkiksi yleensä liimoja ja teippejä ei voi käyttää äärimmäisen kuumissa olosuhteissa. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 19) Taulukossa 2 on vertailtu mekaanista kiinnitystä ja hitsaamista liimaamisen ja teippaamisen.

	Liimaaminen ja teippaaminen	Mekaaninen kiinnitys	Hitsaaminen
Liitoksen pysyvyys	Pysyvät liitokset liimaamalla, kiinnitysteipeillä saadaan väliaikaisia liitoksia	Esimerkiksi pulttiliitokset sallivat irrotuksen	Pysyvät liitokset
Kuormituksen jakautuminen	Kuormitus on tasaisesti jakautunutta, paitsi kuorivassa kuormituksessa	Liitoksen kohdassa jännityskeskittymät	Rakenteessa paikallinen jännityskeskittymä
Ulkonäkö	Liitos lähes näkymätön	Näkyvät pultin päät ja mutterit eivät ole hyvän näköisiä	Liitosten ulkonäkö on yleensä hyväksyttävä. Käsittelyä tarvitaan tasaisemman pinnan aikaansaamiseksi
Liitettävät materiaalit	Sopii hyvin kahden eri materiaalin liitoksiin	Lähes kaikkia materiaaleja ja niiden yhdistelmiä voidaan kiinnittää	Yleensä rajoitettu samojen materiaaliyhdistelmien liittämiseen

Lämpötilan kesto	Heikko korkean lämpötilan kesto	Hyvä korkea lämpötilan kesto	Todella korkea lämpötilan kesto
Mekaaninen kestävyys	Erinomainen väsyttävän kuormituksen kesto. Liima-aineen sähköä vastustava ominaisuus vähentää korroosiota	Tarvitaan tiettyjä rakenneratkaisuja, jotta väsyttävä kuormitus ei pääse irrottamaan liitosta.	Tarvitaan tiettyjä rakenneratkaisuja, jotta voidaan parantaa väsymiskestävyyttä
Liitoksen esikäsitteily	Puhdistus on yleensä tarpeellista	Reikien esikäsitteily ja usein kierteytys pulttiliitoksille	Vähän tai ei ollenkaan ohuille materiaaleille. Reunojen esikäsitteily paksuille levyille
Jälkikäsitteily	Ei yleensä tarvittavaa	Ei yleensä tarvita, mutta joskus tarvitaan pulttien uudelleenkiristystä	Liitosten hiontaa tai muuta jälkikäsitteilymenetelmää tarvitaan joskus väsymiskestävyuden parantamiseksi
Tarvittavat laitteet	Ainoastaan isot monitoimiset, monikomponentti-annostelijat ovat kalliita	Melko halpa, paikan päällä tehtävä liittäminen	Melko kalliita, kookkaita ja tarvitsevat usein raskaan virtalähteen
Kustannukset	Rakenteelliset liimat ovat melko kalliita	Melko kallis. Kustannukset koostuvat useasta tekijästä, esimerkiksi esikäsitteily, suunnittelu, asennus ja ruuvit	Langat ja puikot ovat melko halpoja
Valmistusnopeus	Sekunneista tunteihin liimalla, minuuteista kymmeneen minuutteihin teipeillä	Liitosten esikäsitteily ja manuaalinen kiristäminen on hidasta. Mekaaninen liittäminen sujuu	Voi olla todella nopeaa

		melko nopeasti	
Laadunvarmistus	Voi olla hyvin vaikeaa ilman ennalta tehtäviä testejä. NDT (rikkomaton aineenkoetus) testaus rajoitettua	Pulttiliitokset usein varmoja, jos käytetään oikeaa kiristysmomenttia	NDT testaus mahdollista monille prosesseille

Taulukko 2. Liimaamisen ja teippaamisen vertailu mekaaniseen kiinnittämiseen ja hitsaamiseen verrattuna. (Wurth, 2006, s. 2), (3M, 2008b, s.3), mukailen (Petrie, M. Edward, 2000, s. 20-21)

### 2.3.1 Liimaaminen vai teippaaminen?

Liimaliitoksen hyvät puolet verrattuna teippiliitokseen:

- Uudelleen asemointi ja kappaleen liikuttaminen mahdollista liitettäessä
- Liittäminen monimuotoisille ja sylinterimäisille pinnoille
- Tarvitaan tiiviyttä esimerkiksi elektroniikkaa suojaavassa kotelossa
- Voidaan täyttää välystä
- Materiaalin pinta voi olla huokoinen

Teippiliitoksen hyvät puolet verrattuna liimaliitokseen:

- Tuotannon nopea läpimeno ja nopea käsittelyaika
- Teipin paksuuden ja koon määrittelemä vakioitu saumanpaksuus ja leveys
- Saadaan myös tiiviyttä umpisoluisilla teipeillä
- Hyvä melun ja värinän vaimennus
- Kaksivaiheinen liittäminen mahdollista valmistajan ja käyttäjän tekemänä

(Salminen, E. 2011, s. 15)

## 2.4 MUIDEN LIITTÄMISMENETELMIEN KÄYTTÖ TEIPIN TAI LIIMAN KANSSA

Syanoakrylaattiliimoja ja anaerobisia liimoja voidaan käyttää apuna pulttien kiinnittämisessä. Lisäksi kierrelukite estää hyvin korroosiota ja ruostetta. [3M, 2008a,

s.16–21] Rakenneliimoilla voidaan lisätä liitoksen jäykkyyttä ja kestävyyttä käytettäessä sitä yhdessä pistehitsauksen kanssa. Tällaista liitosta käytetään esimerkiksi autojen runkorakenteissa. Liimaliitos voidaan tehdä silloin myös vaikeasti hitsattavissa oleviin kohtiin. (Hornung, M. et al., 2008, s. 1)

## **2.5 TEIPPAAMISESTA JA LIIMAAMISESTA TEHTYJÄ TUTKIMUKSIA**

Liima- ja teippiliitokset vaativat lähes aina tutkimuksia ennen kuin niitä voidaan käyttää tietyssä käyttökohteessa. Monet asiat vaikuttavat liitoksen pitkäaikaiskestävyyteen, kuten lämpötila, ilman kosteus ja liitettävien pintojen esikäsittely. Kaikkia ympäristön vaikutuksia on vaikea ottaa huomioon liitosta suunniteltaessa.

### **2.5.1 Lämpötilamuutosten vaikutukset metallien liimaliitoksiin**

Tässä diplomityössä oli tutkittu lämpötilan vaikutusta liimaliitoksessa magneetin ja rakenneteräksen väärillä. Liimoina käytettiin akryyli- ja silikoniliimoja. Lämpötilan muutoksella huomattiin olevan merkittävä vaikutus liitoksen pitkäaikaiskestävyyteen. Työssä tultiin siihen johtopäätökseen, että liitoksessa kannattaisi käyttää mekaanista kiinnitystä ja liimaliitosta yhdessä. (Ketolainen, Anssi, 2010)

### **2.5.2 Rakenteellisten liimojen käyttö runkorakenteiden vahvistamiseksi**

Pistehitsausta ja liimausta käytetään yhdessä esimerkiksi autoteollisuudessa. Tässä tutkimuksessa oli tutkittu miten paljon liimaliitoksen käyttö lisää auton runkorakenteen kestävyyttä verrattuna jos käytetään pelkkää pistehitsausta. Testissä käytettiin ohutlevystä valmistettua neliöpalkkia. Vääntöjäykkyydessä oli lievä parannus, kuin myös aksiaaliseen puristuksessa. Tutkimuksessa huomattiin, että vaikka liimaliitoksen kanssa pistehitsejä vähennetään puolella, ei sillä ole negatiivista vaikutusta vääntöjäykkyyteen tai aksiaaliseen puristuksen keston. [Hornung, M. et al., 2008]



### 2.5.3 Akryylivaahoteipin suorituskyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden arviointi

Akryylivaahoteippiä oli testattu rakennuksen ikkunalasin kiinnityksessä ja tutkittu miten se pystyy kestämään tuulikuormasta aiheutuvan toistuvan kuormituksen. Tutkimuksessa oli käytetty Palmgren-Minerin kumulatiivista vaurioteoriaa arvioitaessa liitokseen kohdistuvaa väsyttävää kuormitusta. Tutkimuksessa ei ollut otettu huomioon mitä vaikutusta kuormituksen välissä tapahtuvalla jäännösjännityksestä palautumisella on. (Benjamin, W. Townsend, Donatus, C. Ohanehi, David, A. Dillard 2010)

### 3 METALLIPINNAN ESIKÄSITTELY

Pinnan esikäsitteily on yksi tärkeimmistä tekijöistä kestävän sidoksen aikaansaamiseksi. Pinnan käsittelemättömyys voi johtaa huonoon kostumiseen tai heikkoon rajapintaan, joka voi olla valmiina materiaalin pinnalla tai syntyä pitkän käyttöiän aikana. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 206–207)

Puhtaasta metallista pintaan päin mentäessä tullaan rajaan, jossa metallilla on erilainen kemiallinen koostumus, kuin puhtaalla metallilla. Seuraavaksi tulevat metallioksidikerros sekä hydroksidikerros, jossa jälkimmäisessä voi olla absorboitunutta vettä. Pinnalla voi olla lisäksi esimerkiksi ilmasta tulleita epäpuhtauksia, pölyä ja öljyä. Metallin eri valmistus- ja työstötavoista johtuen epäpuhtauskerrokset eivät ole aina samanlaisia. Suojaavaa oksidikerrosta ei aina kannata poistaa. Esimerkiksi alumiinilla ohut ja kestävä oksidikerros suojaa hyvin korroosiolta. Taulukossa 3 on esimerkki esikäsitteilyn vaikutuksesta liimaussauvan leikkauskestävyyteen. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 200–203)

	Liima	Käsittelemätön	Etsaus
Ruostumaton teräs	Vinyylifenoli	$0,036 \frac{N}{mm^2}$	$0,049 \frac{N}{mm^2}$
Kylmämuovattu teräs	Epoksi	$0,020 \frac{N}{mm^2}$	$0,031 \frac{N}{mm^2}$
Alumiini	Vinyylifenoli	$0,017 \frac{N}{mm^2}$	$0,036 \frac{N}{mm^2}$

Taulukko 3. Esikäsitteilyn vaikutus liimasauman leikkauskestävyyteen. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 208)

#### 3.1 ESIKÄSITTELYMENETELMÄT

Metallipinnan esikäsitteily sisältää useita eri vaiheita, joista kaikkia ei aina käytetä. Esikäsitteilyn hintaa tulee verrata siitä saatavan liitoksen luotettavuuden ja kestävyyskannalta. Eri vaiheita (1–5) voidaan käyttää esikäsitteilyyn, tosin vaiheita 4 ja 5 käytetään harvemmin. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 38)

1. Puhdistus liuottimella tai jollain muulla kemikaalilla

2. Heikon materiaalin irroitus mekaanisella hiomisella tai raepuhalluksella
3. Korroosiokestävyyden parantaminen
4. Pinnan pohjustus
5. Pinnan kovettaminen mekaanisesti tai kemiallisesti vahvistamaan pintaa

Liuotinpuhdistus poistaa lian materiaalin pinnalta ilman materiaalin fyysistä tai kemiallista muutosta. Eri menetelmiä ovat: liuottimen höyryllä, ultraäänihöyryllä, ultraäänellä tai liuottimella pyyhkiminen. Mekaanisella hiomisella saadaan heikko materiaali irrotettua ja karhennettua liimasauma, mikä lisää sauman pinta-alaa. Kemiallista käsittelyä käytetään puhdistamaan liuottimella puhdistettu pinta kemiallisesti. Pinnan kemiallisen luonteen muuttuessa liittämisen ominaisuudet paranevat. Pohjustuksella saadaan suojattua pintaa hapettumiselta puhdistuksen jälkeen ja parannettua pinnan kostumista. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s. 38–40)

## 4 TEIPPAAMISEN JA LIIMAAMISEN SOVELLUSKOHTEITA

Teippejä käytetään usein suurilla liitospinnoilla, koska ne pystyvät myötäilemään paremmin lämpölaajenemisesta aiheutuvia liitoksen pituuden muutoksia kuin esimerkiksi pulttiliitokset. Liitettävien pinojen ulkonäkö säilyy samana liittämisen jälkeen, mutta hitsaus voi muuttaa liitoksen ulkonäköä. (3M, 2008b, s. 4) Liimoja voidaan käyttää myös kohteissa, joissa vaaditaan suurempaa jännityksen kestäkykyä kuin teipeillä. (Henkel, 2011)

### 4.1 PRIMÄÄRIRAKENTEET

#### 4.1.1 Golfmailan varren kiinnitys päähän

Liimaus on suoritettu sovelluskohteeseen epoksiliimalla kuvassa 1. Liimaliitoksen tulee olla joustava ja sitkeä, jotta se kestää toistuvat iskut. (3M, 2008a, s. 10)



Kuva 1. Golf mailan varren kiinnitys mailan päähän. (3M, 2008a, s. 10)

## 4.2 SEKUNDÄÄRIRAKENTEET

### 4.2.1 Lentokoneen siiven laskusiivekkeen kulumaliuskan kiinnitys

Sovelluskohteessa on käytetty teippiä, joka kestää suuria ja nopeita lämpötilan muutoksia. Lämpötilat voivat vaihdella 65 °C ja -40 °C välillä. Laskusiivekkeen materiaalina käytetään alumiinia ja kulumaliuska on ruostumatonta terästä. Sovelluskohde on kuvassa 2. (3M, 2005b, s. 4)



Kuva 2. Lentokoneen siiven laskusiivekkeen kulumaliuskan kiinnitys. (3M, 2005b, s. 4)

### 4.2.2 Rakennuksen ulkoseinän paneelien kiinnitys

Dubaissa sijaitsevan hotellin alumiinista valmistetut paneelit on kiinnitetty rakennuksen teräsprofiiliin teipillä. Teippi kestää kovia tuulesta aiheutuvia kuormia ja suuria vuorokauden välisiä lämpötilanvaihteluja. Kuvassa 3 näkyy teräsprofiilin ja alumiinipaneelin liitos. (3M, 2005b, s. 4)



Kuva 3. Rakennuksen ulkoseinän paneelien kiinnitys. (3M, 2008c, s. 7)

#### 4.2.3 Kuorma-auton sivupaneelien kiinnitys runkoon

Sivupaneelit on kiinnitetty runkoon teipillä. Liitoksesta saadaan tasaisemman ja pehmeämmän näköinen kuin niittejä käytettäessä. Liimasauma vaimentaa myös värähtelyjä. Kuvassa 4 näkyy sivupaneelien liitos runkopalkkiin. (3M, 2005b, s. 5)



Kuva 4. Kuorma-auton sivupaneelien kiinnitys runkoon. (3M, 2005b, s. 5)

## 5 YLEISIMMÄT KAUPALLISET TEIPIT JA LIIMAT

Teollisuuteen suunniteltujen teippien ja liimojen kaksi suurinta valmistajaa ovat 3M ja Henkel. Henkel valmistaa käytännössä ainoastaan liimoja. 3M:n eniten teollisuudessa käytettävät teipit ovat VHB™-teippejä. Niitä käytetään paljon suurien ja ohuiden teräslevyjen liittämiseen. Tässä osiossa on käsitelty teippien ja liimojen ominaisuuksia.

### 5.1 KAKSIPUOLISET TEOLLISUUSTEIPIT

#### 5.1.1 Kaksipuoliset VHB™-teipit

VHB™-teippejä on saatavilla erilaisilla ominaisuuksilla varustettuna metallin liittämiseen. Teipit koostuvat akryylivaahdosta ja akryyliliima-aineesta. Tähän työhön on otettu esimerkeiksi teipit 4646, 4941, 4956, 5952 ja 9473. Taulukossa 4 on vertailtu näitä teippejä. Vertailut arvot ovat vain suuntaa antavia ja niitä ei voida käyttää lujuuslaskennassa. (3M, 2008c, s. 4-7)

Teippi 4646 on tarkoitettu metalli-metalli-liitoksille. Vaikeisiin olosuhteisiin sopiva teippi 4941 täyttää välyksiä, vaimentaa värinää ja sillä on myös erinomainen kemikaalien kesto. Teippiä 4941 voi muotoutuvan akryylivaahdon ansiosta käyttää geometrialtaan muuttuville pinnoille. Kappaleessa 4.2.2 esimerkkinä ollut teippi 4956 kestää suuria lämpötilan muutoksia. Teippi 5952 sopii moneen käyttökohteeseen ja se on erittäin muotoutuvaa. 9473 teippi oli käytetty esimerkkinä kappaleessa 4.2.1. Lämpötilan ja kosteuden kesto ovat sillä erinomaisia. (3M, 2008c, s. 4-7)

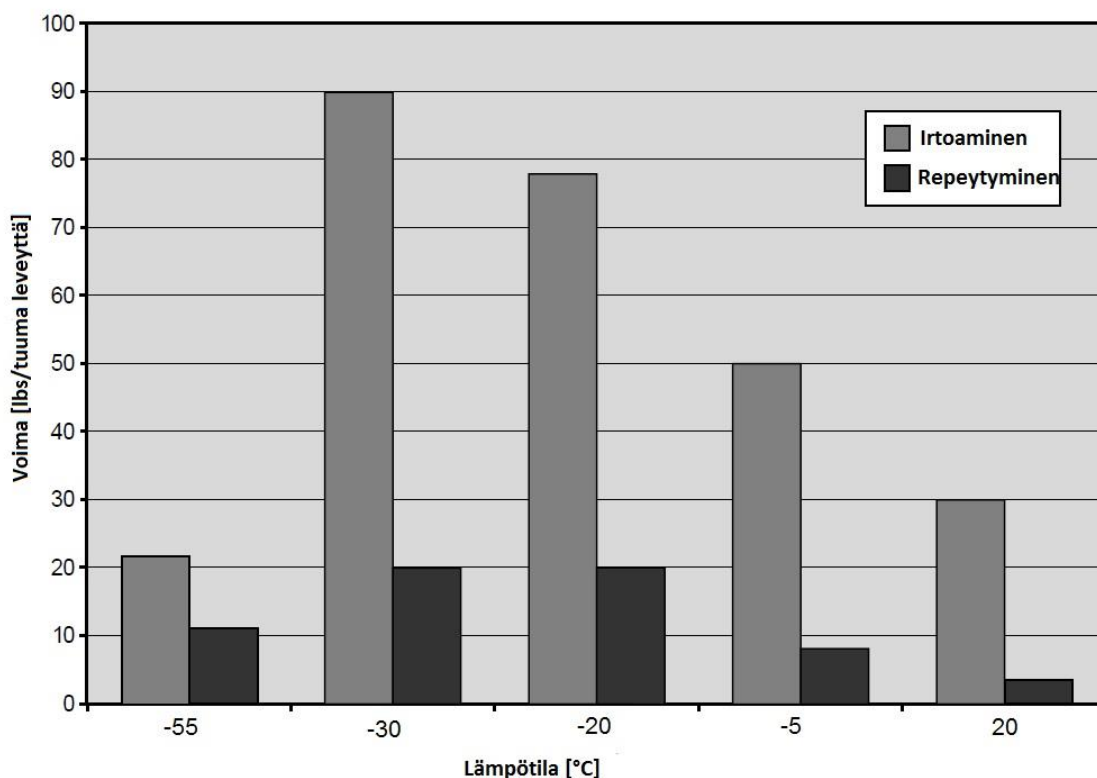
Teipin 50 % lujuus lopullisesta lujuudesta saavutetaan 20 minuutissa ja lopullinen lujuus kolmessa päivässä. (3M, 2008b. s. 8)

			Dynaaminen tartuntalujuus		
	Paksuus [mm]	Käyttölämpötila- alue [°C]	90° Repivä [N/100 mm]	Vetävä [MPa]	Leikkaava [MPa]
4646	0,6	-35 - +110	250	0,7	0,6
4941	1,1	-35 - +90	385	0,6	0,5

4956	1,5	-35 - +90	385	0,6	0,5
5952	1,1	-35 - +90	385	0,6	0,6
9473	0,25	-35 - +110	160	0,7	0,6

Taulukko 4. Teippien ominaisuuksia. (3M, 2008c, s.4), (3M, 2005a, s.2-3), (3M, 2010, s. 4-7)

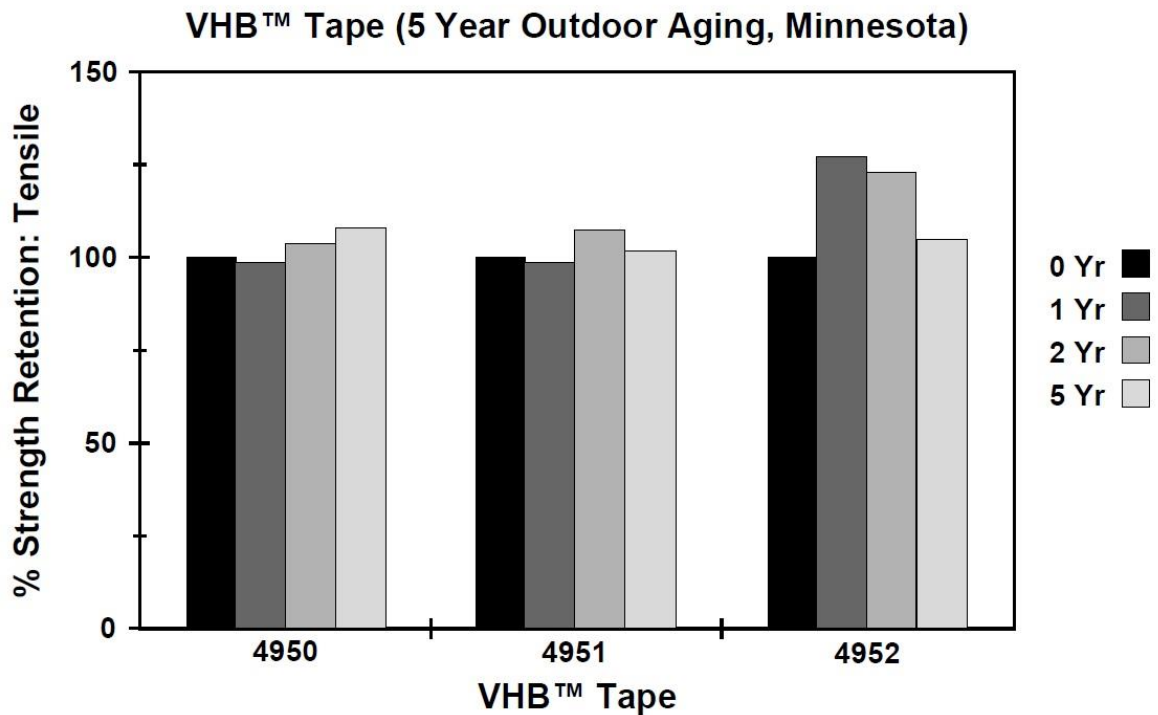
Kuvassa 5 on tutkittu 9473 teipin kuorimis- ja vetolujuutta eri lämpötiloilla. Teippi muuttuu pehmeämmäksi lämpötilan kasvaessa ja kiinteämmäksi lämpötilan laskiessa. Äärimmäisen alhaisissa lämpötiloissa teippi muuttuu todella jäykäksi ja lasimaiseksi, jolloin iskumaisten kuormitusten kesto heikkenee. (3M, 2005a, s.3)



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus 9473 teipin kuorimis- ja vetolujuuteen. Mukailten (3M, 2005a, s.3)

Teippien 4950, 4951, 4952 pitkäaikaiskestävyyttä on tutkittu Minnesotassa, jossa lämpötilat vaihtelevat paljon eri vuodenaikoina. Liitettävänä materiaaleina on ollut lasi, PVC ja maalattu metalli. Kuvassa 6 näkyy vetolujuuden säilyminen viiden vuoden testijakson aikana. (Beavers, A. et al.,1993, s.2)





Kuva 6. Viiden vuoden vanhenemisen vaikutus vetolujuuden säilymiseen. (Beever, A. et al., 1993, s.2)

### 5.1.2 Muut teollisuusteippien valmistajat

3M:n lisäksi teollisuusteippejä valmistavat myös taiwanilainen Seal King: <http://www.sealking.com.tw/>, sekä intialainen Jonson Tapes: <http://www.jonsontapes.com/>.

## 5.2 TEOLLISUUDESSA KÄYTETTÄVIÄ LIIMOJA

Metalliliitoksille sopivia liimoja löytyy Henkelin Loctite tuoteperheestä ja 3M:ltä. Vertailtavaksi on valittu rakenteellisia epoksiliimoja ja akryyliiliima. Tarkasteltavia liimoja ovat:

- 3M DP-810 akryyliiliima
- 3M DP-110 ja DP-460, sekä Loctite 3425 ja 9466 epoksiliimat

Valitut 3M liimat sopimaan hyvin metallipinnoille ja valitut Loctite liimat sopivat suurille metallipinnoille sekä kestävät hyvin leikkaavaa ja repivää kuormitusta. (3M, 2008c, s.32-43), (Henkel, 2011), (Henkel, 2007, s. 4-10)

Liimojen ominaisuuksia on tarkasteltu taulukossa 5. Arvot ovat vain suuntaa antavia ja liiman kovettumisnopeuteen vaikuttaa paljon kovettumisen aikana vallitseva lämpötila. Leikkauslujuudet ovat saatu eri esikäsittelymenetelmillä ja siksi ne eivät ole vertailukelpoisia.

	Työskentely-aika	Aika käsittely-lujuuteen	Leikkauslujuus (AI) [MPa]	Käyttölämpötila-alue [°C]
DP-110	8-10 min	20 min	18	-50- +80
DP-460	60 min	4-6 h	31	-50- +80
DP-810	8 min	10-15 min	30	-50- +80
3425	2 h	4 h	18-22	
9466	60 min	3 h	26	

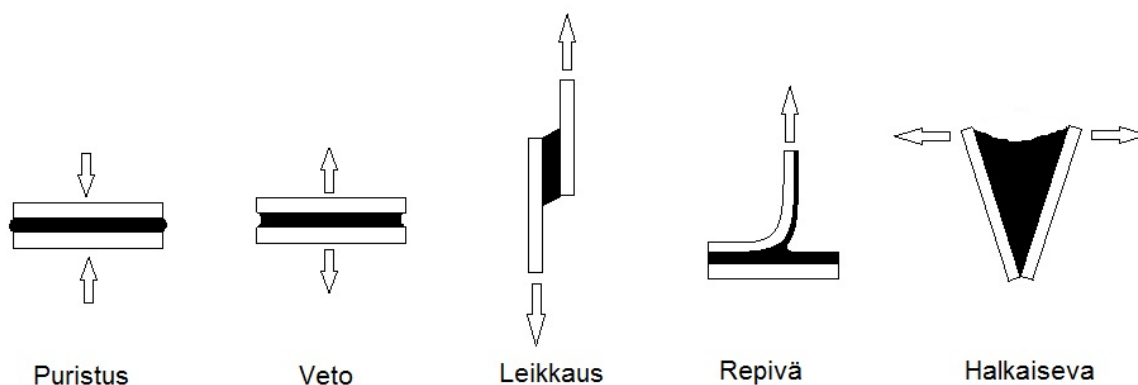
Taulukko 5. Metalliliitoksille tarkoitettujen liimojen ominaisuuksia (3M, 2008c, s.32), (Henkel, 2007, s.10)

## 6 NÄKÖKOHTIA LIIMA- JA TEIPPILIITOKSEN MITOITTAMISEEN

Liima- tai teippiliitos tulee suunnitella vain joko liiman tai teipin käyttöä varten. Rakenteen pieni muuttaminen liima- ja teippiliitosta varten ei johda yleensä hyvään lopputulokseen. Liitoksessa tulee maksimoida liitettävä pinta ala ja välttää jännityskeskittymiä. Liima- ja teippiliitoksen lujuuteen vaikuttavat: liima-aineiden ja liimattavien materiaalien lujuudet, mahdolliset sisäiset jäännösjännitykset, liima-aineen ja liimattavan materiaalin rajapinnan tarttuminen ja liitoksen geometria. Jäännösjännitykset voivat aiheutua liitettävien kappaleiden tai liima-aineen eri suuruisesta lämpölaajenemisesta. Liimat ja teipit kutistuvat kuivuessaan, jolloin kutistuma aiheuttaa liimaliitokseen jäännösjännityksiä. Liima-aineen suuri viskositeetti voi haitata ilman poistumista liitoksesta. Liitokseen jäänyt ilma heikentää liitettävien pintojen tarttumista. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.159)

### 6.1 JÄNNITYSTYYPIT

Liima- ja teippiliitoksiin voi kohdistua viittä eri jännitystyyppiä. Jännitystyyppit näkyvät kuvassa 7. Lisäksi liitokseen voi kohdistua iskumaista tai väsyttävää kuormitusta (Petrie, M. Edward, 2000, s. 7).



Kuva 7. Liima- ja teippisaumaan vaikuttavat jännitykset. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.160)

### 6.1.1 Puristus

Puristusjännityksellä kuormitettu liitos on muihin liitostyyppeihin verrattuna vähiten alttiina liitoksen pettämiselle, tosin tälle liitostyypille löytyy harvoin käyttökohteita teippaamisessa tai liimaamisessa. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.160)

### 6.1.2 Leikkaus

Aina kun mahdollista, teippi- ja liimaliitoksessa tulisi vallita leikkaava jännitys. Tämä jännitys jakautuu koko liitoksen alalle ja siksi se sietää parhaiten liitosvirheitä. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.160)

### 6.1.3 Veto

Vetojännitys jakautuu tasaisesti liitospinnalle, kuten leikkausjännitys. Muita jännityksiä voi olla mukana vetojännityksen kanssa, jos vetävä voima ei ole liitospinnan keskellä. Näitä jännityksiä ovat repivä ja halkaiseva jännitys. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.160)

### 6.1.4 Repivä

Toisen liitettävän materiaalin tulee olla taipuisaa tässä kuormitustyyppissä. Liitoksen reunaan aiheutuu todella suuri jännitys. Liitos lähtee repeytymään, ellei repeytymiselle altis reuna ole tarpeeksi leveä tai jännitys ole pieni. Tätä liitostyyppiä tulee välttää aina kun mahdollista. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.161)

### 6.1.5 Halkaiseva

Halkaiseva jännitys on melko samanlainen jännitys kuin vetävä jännitys. Halkaisevaa jännitystä esiintyy joustamattomilla rakenteilla momentin tai epätasaisesta vedon yhteydessä. Tämän jännitysmuodon pienentämiseen tarvitaan suuri pinta-ala, jolloin liitoksen kustannukset kasvavat. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.161)

#### 6.1.6 Iskumainen ja väsyttävä

Isku voi olla joko puristusta tai leikkausta. Iskualttius mitataan liima-aineen haurautena. Väsyttävää kuormitus on vaihtelevaa leikkausjännitystä tai veto-puristusjännitystä, joka pitkään jatkuessaan voi rikkoa liitoksen staattista kuormaa pienemmällä kuormituksella. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 7)

### **6.2 TEOREETTISEN ANALYYSIN KÄYTTÖ LIITOKSEN SUUNNITTELUSSA**

Suurin osa teoreettisista liitoksen analyysistä on liittynyt yleisesti käytettyihin leikkauskuormituksen alaisena oleviin liitoksiin. Analysoinnin yksinkertaistamiseksi esimerkiksi sisäiset jäännösjännitykset ja lämpötilanvaihtelut on jätetty huomioimatta. Viime aikoina liitosten mallit ovat muuttuneet paljon monimutkaisimmiksi. FE-laskentaa käytetään apuna muun muassa joustavien liitosten, lämpölaajenemiserojen ja liima-aineen kuivumisesta johtuvien jäännösjännitysten tutkimisessa. (Ebnesajjad, Sina, 2008, s.174)

Pitkäaikaiskestävyyden matemaattisissa malleissa käytetään kahta eri lähestymistapaa. Ensimmäisessä oletetaan, että liitoksen lujuuden laskeminen on suoraan verrannollinen kosteuden imeytymiseen, josta saadaan kosteuden imeytymiselle vakio. Toinen lähestymistapa on murtumismekaniikka, jossa tutkitaan jaksottaisesti kuormitettua liitosta kosteissa olosuhteissa. Näitä kahta menetelmää on käytetty myös yhdessä. (Beevers, A. et al.,1993, s. 29-30)

### **6.3 KOKEELLISTEN TULOSTEN KÄYTTÖ LIITOKSEN SUUNNITTELUSSA**

Liitoksien suunnitteluun ei löydy standardeja, joissa olisi valmiita varmuuskertoimia tai mitoitusehtoja. Liitoksen kestävyys vaikuttaa monet tekijät, jota on vaikea ennalta määrittellä. Siksi on erittäin vaikea ennustaa liitoksen käyttöikä. Ainoa toimiva liitoksen pitkäaikaiskestävyyden arviointimenetelmä on tutkia prototyypin liitoksen jännityksiä nopeutetuissa ympäristöolosuhteissa. (Petrie, M. Edward, 2000, s. 29) Liimaliitoksen testaamiseen standardeja on tehnyt ainakin ASTM ja ISO.

Pitkäaikaiskestävyydelle löytyy testejä esimerkiksi auto- ja ilmailuteollisuudessa. Liimaliitokset käyvät läpi tietyt testit, joilla voidaan olla varmoja liitoksen pitkäaikaiskestävyydestä. (Beevers, A. et al.,1993, s. 6)

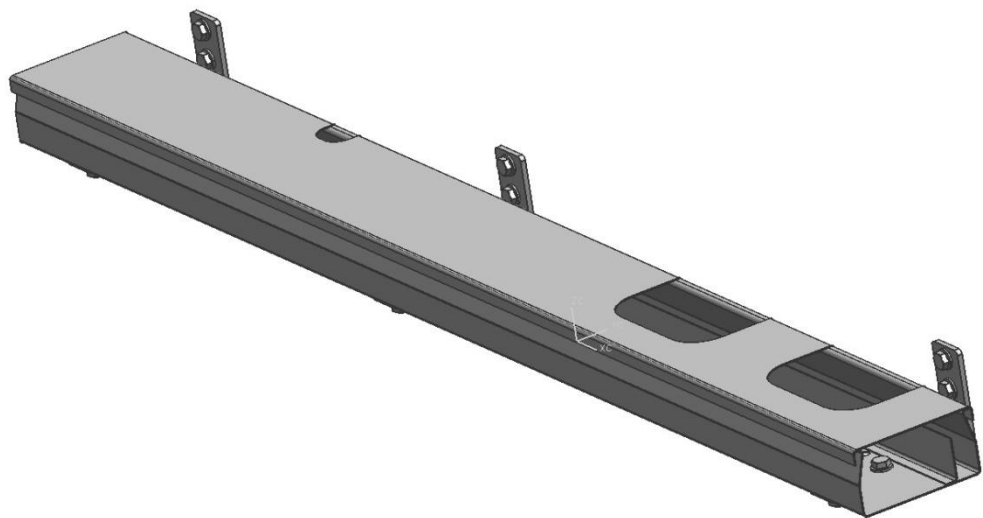
#### **6.4 LIITOKSEN KESTÄVYYDEN PARANTAMISEN YLEISIÄ PERIAATEITA**

- Kuormituksen tulisi aina olla leikkaavaa tai puristavaa ja vaikuttaa mahdollisimman suurelle pinta-alalle
- Kova liima-aine kestää paremmin leikkauskuormitusta, kuin joustava
- Repivällä, halkaisevalla ja väsyttävällä kuormituksella joustava liima-aine toimii paremmin kuin kova
- Repeytymiselle tai halkeamiselle alttiin liitoksen reunan jäykkyyttä kannattaa alentaa
- Paras tapa liitoksen lujuuden kasvattamiseen on liitoksen leveyden suurentaminen

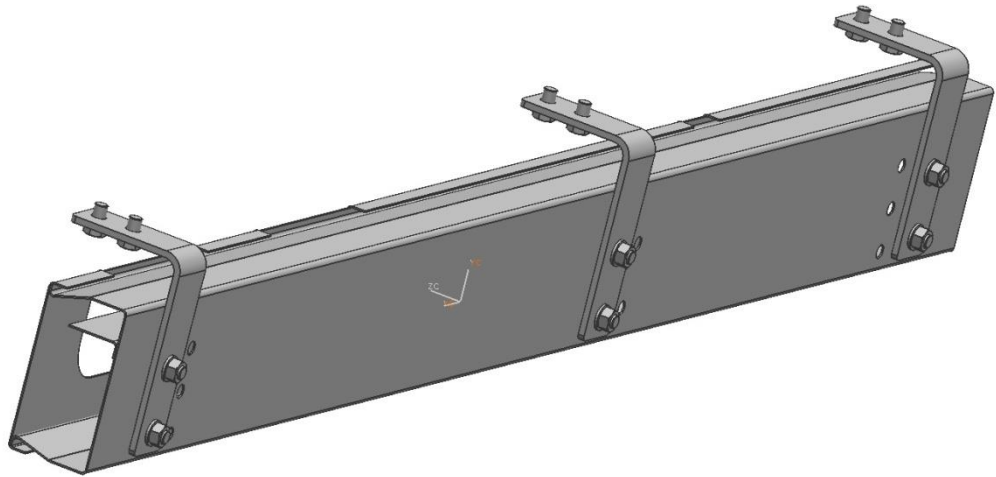
(Petrie, M. Edward, 2000, s. 98-99)

## 7 KAAPELIKOURUN LIITTÄMINEN KUORMAPALKIN UUMAAN TEIPPAAMALLA

Tällä hetkellä kaapelikouru on liitetty pulteilla nosturin kuormapalkin uumaan. Tämän hetkinen konstruktio näkyy kuvassa 8 ja 9. Liittäminen suunniteltiin tehtäväksi teippaamalla, koska se on yksinkertaisempi liittämistapa isoilla pinnoilla liimaamiseen verrattuna, kun halutaan nopeaa läpimenoaikaa tuotannossa. Isojen alueiden liimaus voi viedä paljon aikaa. Teipin kuivumisaika on myös hyvin nopea verrattuna useimpiin liimoihin. Lisäksi liitokselta ei vaadita primäärirakenteen edellyttämää kestävyyttä, koska kuormitus pinta-alaa kohden on pientä ja väsyttävää kuormitusta esiintyy harvoin.



Kuva 8. Kaapelikouru päältä.

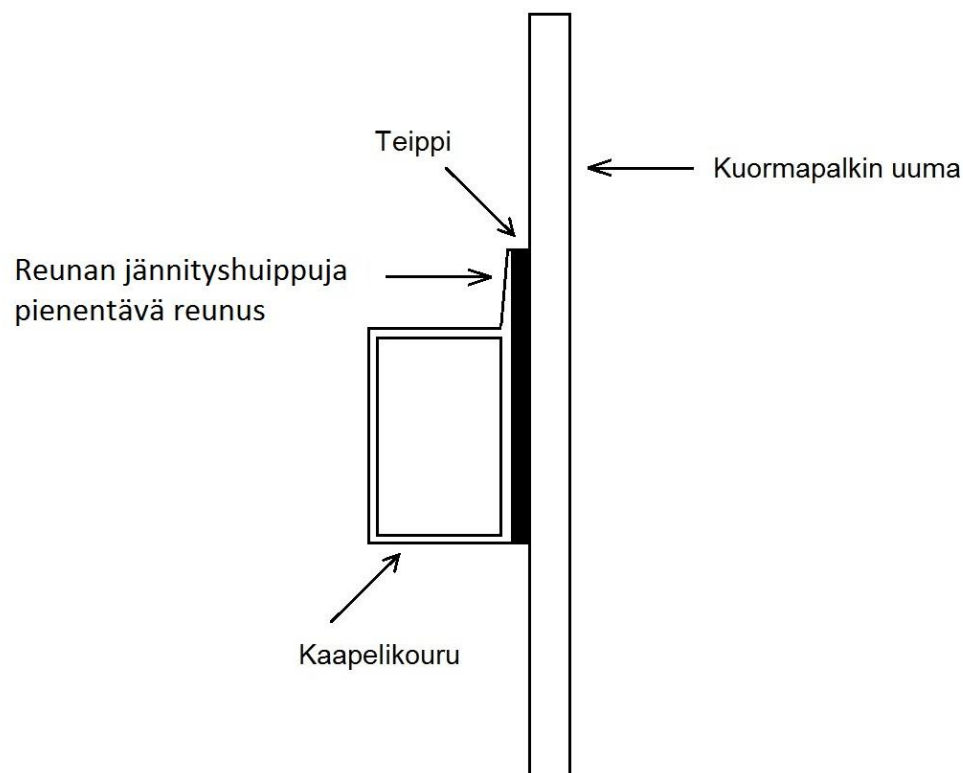


Kuva 9. Kaapelikouru alta.

## 7.1 KAAPELIKOURUN RAKENTEEN MUUTTAMINEN TEIPPILIITOKSELLE SOPIVAKSI

Teippiliitos joutuu kestämään leikkausjännitystä ja momentista johtuvaa halkaisevaa jännitystä. Teipattava reuna tulee olla tasainen ja sen pinta-alan täytyy olla mahdollisimman suuri. Siksi kaapelikourun reunassa oleva taitos tulisi korvata suoralla reunalla. Halkaisevan jännityksen pienentämiseksi reunaa voisi kasvattaa ylöspäin kaapelikourun levyisellä reunuksella, joka olisi hieman taipuisa. Tällainen yksityiskohta voisi kuitenkin olla vaikeasti toteutettavissa muovattavaan rakenteeseen. Halkaisevaa jännitystä saisi myös pienennettyä suurentamalla korkeutta ja pienentämällä kaapelikourun leveyttä, silloin tosin kaapeleille ei jää välttämättä tarpeeksi tilaa. Kuvassa 10 näkyy yksinkertaistettu liimaliitokselle modifioitu rakenne kaapelikourusta.





Kuva 10. Liimaliitokselle sopivaksi muutettu kaapelikouru.

## 7.2 KÄYTETTÄVÄN TEIPIN VALINTA

Käytettäväksi teipiksi olen valinnut akryylivaahdosta valmistetun VHB<sup>TM</sup>-teipin, joka oli tässä työssä käsiteltyyn liitokseen ainoa vaihtoehto. Teipin mallia en lähtenyt valitsemaan, koska olosuhteista ei ole riittävästi tietoa. Luultavasti joku kappaleen 5.1.1 teipeistä voisi olla sopiva tähän käyttökohteeseen. Teipin mallin valinta määräytyy siitä, millaisessa olosuhteessa sitä käytetään. Lisäksi liitospinnan koko ja pinnan ominaisuudet vaikuttavat teipin valintaan. Pitäisi tietää esimerkiksi, mitkä ovat käyttökohteen lämpötilavaihtelut, mikä on ilman kosteus, mitä kemikaaleja ilmassa on, kuinka suuret välykset liitoksessa on ja mikä on todellinen kuormitustilanne. Eri VHB<sup>TM</sup>-teipeillä voisi tehdä testejä nopeutetuissa ympäristöolosuhteissa ja valita sillä tavalla käyttökohteeseen sopivin teippi.

## 8 YHTEENVETO

Teippi- ja liimaliitosta suunniteltaessa pitää ottaa huomioon sellaisia asioita, jotka eivät ole mekaanisessa kiinnityksessä tai hitsaamisessa niin kriittisiä. Näitä asioita ovat esimerkiksi lämpötilan vaihtelu ja ilman kosteus. Teipeistä ja liimoista on tehty todella vähän tutkimuksia, jotka eivät olisi itse teippi- tai liimavalmistajan tekemiä. ASTM ja ISO ovat julkaisseet monia standardeja liimaliitosten testaamiseen. Yleensä ennen teipin tai liiman valintaa tulee niillä tehdä testejä niissä olosuhteissa ja kuormitustilanteissa, joihin niitä suunnitellaan käytettäväksi. Liima- ja teippiliitoksille löytyi sovelluskohteita, jotka ovat lähellä tässä työssä käytettyä kaapelikourun liittämistä. Liimaamista käytetään joissain tilanteissa mekaanisella ja hitsaamalla tehtyjen liitosten kanssa. Pulteissa käytetään kierrelukitetta, joka auttaa pulttia pysymään varmemmin kiinni. Teippejä en sen sijaan löytänyt käytettävän samaan tarkoitukseen. Pistehitsausta käytetään liimaliitoksen kanssa esimerkiksi autojen runkorakenteiden liitoksissa. Teippaamiselle en löytänyt sovelluskohteita, jossa olisi tutkittu menetelmin tarvetta ennen hitsausta tehtävään paikoittamiseen.

Teollisuusnosturin kuormapalkin uumaan kiinnitettävälle kaapelikourulle suunnittelin käytettäväksi teippiä, koska se olisi luultavasti helpoin ja nopein kiinnittää suurelle pinnalle. Lisäksi sillä olisi riittävät lujuusominaisuudet, koska kaapelikourun liitoksen ei tarvitse kestää rakenteellista lujuutta. Myös mahdollisesta liitoksen pettämisestä ei aiheudu rakenteelle tai sen ympäristössä työskenteleville ennalta arvaamatonta haittaa. Tässä työssä ei tehty lujuuslaskelmia sopivan teipin löytämiseksi, koska teippien ominaisuudet ovat hyvin sidonnaisia olosuhteisiin, joissa teippejä käytetään. Sopivan teipin valinta vaatii vielä testejä käyttökohteita jäljittelevissä nopeutetuissa ympäristöolosuhteissa.

## LÄHTEET

Beevers, A. et al.,1993. Environmental Durability Test Procedures [Verkkodokumentti]. Julkaistu 20.12.1993, [viitattu 28.5.2011]. Saatavissa: <http://www.adhesivestoolkit.com/PDFFiles/Project%203/P3r1.pdf>

Benjamin, W. Townsend, Donatus, C. Ohanehi, David, A. Dillard 2010. Evaluating the Performance and Durability of Acrylic Foam Tapes for Structural Glazing Applications [verkkodokumentti]. Julkaistu 2010. [viitattu 28.5.2011]. Saatavissa: <http://www.pstc.org/files/public/TECH33Papers/2010SalmonFay.pdf>

Design & production guide for application success [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2008a. [viitattu 2.4.2011]. Saatavissa: [http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtMxMVM8T2EVuQEcuZgVs6EVs6E666666--&fn=8120309%20AdhesiveNTapes\\_LR.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtMxMVM8T2EVuQEcuZgVs6EVs6E666666--&fn=8120309%20AdhesiveNTapes_LR.pdf)

Durability of 3M VHB Tapes [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2001. [viitattu 9.5.2011]. Saatavissa: <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?66666UuZjcFSLXTt58T2o8z6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->

Ebnesajjad, Sina, 2008. Adhesive technology handbook second edition. New York: William Andrew. 387 s. ISBN: 978-0-8155-1533-3

Hornung, M. et al., 2008. Structural Adhesives for Energy Management and Reinforcement of Body Structures [verkkodokumentti]. Julkaistu 2008. [viitattu 28.5.2011]. Saatavissa: [http://www.henkel-ap.com/ase/content\\_data/143093\\_Structural\\_Adhesives.Journal\\_of\\_the\\_Adhesion\\_Society\\_of\\_Japan.2008\\_.pdf](http://www.henkel-ap.com/ase/content_data/143093_Structural_Adhesives.Journal_of_the_Adhesion_Society_of_Japan.2008_.pdf)

Ketolainen, Anssi, 2010. Diplomityö: Lämpötilamuutosten vaikutukset metallien liimaliitoksiin, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Loctite: Tuotevalitsin. [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): Henkel, 2011. [viitattu 6.4.2011]. Saatavissa: <http://www.360bonding.com/>

Petrie, M. Edward, 2000. Handbook of adhesives and sealants. New York: MC-Graw Hill. 880 s. ISBN: 0-07-049888-1.

Rakenneliimauksen ratkaisuja [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): Henkel, 2007. [Viitattu 10.5.2011]. Saatavissa: [http://www.loctite.fi/fis/content\\_data/4401\\_Epoxy\\_Cat\\_FIN\\_approved.pdf](http://www.loctite.fi/fis/content_data/4401_Epoxy_Cat_FIN_approved.pdf)

Ruuviliitosten suunnittelu [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): Wurth, 2006. [viitattu 20.4.2011]. Saatavissa: <http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/suunnitteluopas06.pdf>

Salminen, E. 2011. 3M:n teollisuuteen tarjoamat tekniikat erilaisten materiaalien liittämiseen [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: tuomas.lahde@lut.fi. Lähetetty 3.2.2011 klo 17.29 (GMT +0200).

Teollisuusteipit ja liimat: Perustietoa liittämisestä [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2008b. [viitattu 6.4.2011]. Saatavissa: [http://solutions.3msuomi.fi/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=fi\\_FI&lmd=1263890722000&assetId=1258560442082&assetType=MMM\\_Image&blobAttribute=ImageFile](http://solutions.3msuomi.fi/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=fi_FI&lmd=1263890722000&assetId=1258560442082&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile)

Teollisuusteipit ja liimat: Tuoteluettelo [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2008c. [viitattu 6.4.2011]. Saatavissa: [http://solutions.3msuomi.fi/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=fi\\_FI&lmd=1257945899000&assetId=1180614648173&assetType=MMM\\_Image&blobAttribute=ImageFile](http://solutions.3msuomi.fi/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=fi_FI&lmd=1257945899000&assetId=1180614648173&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile)

VHB™ Adhesive Transfer Tapes with Adhesive 100MP [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2005a. [Viitattu 9.5.2011]. Saatavissa: <http://mws9.3m.com/mws/mediawebserver.dyn?6666660Zjcf6lVs6EVs66SYLCCOrrrrQ->

VHB™ Tapes Design Guide [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2005b. [viitattu 3.3.2011]. Saatavissa:

[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmx\\_v5Yt9ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=VHB%20Design%20Guide%20Low%20Res.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmx_v5Yt9ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=VHB%20Design%20Guide%20Low%20Res.pdf)

VHB™ Tapes Technical Data [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): 3M, 2010. [Viitattu 9.5.2011]. Saatavissa:

<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?66666UuZjcFSLXTtnxMtLXs6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->