

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Metalli

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

MUOVIEN LIIMAUS
PLASTIC BONDING

Lappeenrannassa 14.5.2010

Kimmo Kuparinen

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO	4
2	MATERIAALIT	5
2.1	Pinnoitettavat materiaalit	5
2.2	Pinnoitteet	7
2.2.1	PVDF	8
2.2.2	Polyesterit.....	9
2.2.3	Polyuretaanit	9
2.2.4	Plastisolit.....	10
2.2.5	Epoksit	10
2.2.6	Laminaatit	10
3	LIIMAAMINEN	11
3.1	Liimaliitoksen edut ja haitat.....	12
3.2	Liimaliitoksen suunnittelu.....	15
3.3	Esikäsitteilyt.....	17
3.3.1	Mekaaninen pintakäsittely	19
3.3.2	Kemiallinen pintakäsittely	19
3.3.3	Elektroniset menetelmät.....	20
3.3.4	Muut pintakäsittelyt	20
3.4	Liiman levitystekniikat	20
3.5	Hybridimenetelmät.....	22
3.5.1	Liima ja puristusliittäminen	24
3.5.2	Liimaushitsaus	25
3.5.3	Muut hybridimenetelmät.....	26
4	LIIMAT.....	27
4.1	Liimojen jaottelu	28
4.2	Fysikaalisesti kovettuvat liimat.....	29
4.2.1	Liuotinhenteiset liimat	29
4.2.2	Vesiohenteiset liimat.....	30
4.2.3	Kuumaliimat.....	31

4.3	Kemiallisesti kovettuvat liimat	32
4.3.1	Akrylaatit	33
4.3.2	Polyuretaaniliimat	33
4.4	Teipit	34
4.5	Liimojen vertailua ja ominaisuuksia	35
5	LIITOKSEN KESTÄVYYS	36
6	LIITOKSEN VAURIOITUMINEN	38
6.1	Ympäristön vaikutukset	38
6.1.1	Korkea lämpötila	39
6.1.2	Alhainen lämpötila	39
6.1.3	Kosteus	39
6.1.4	Ulko-olosuhteet	40
6.1.5	Kemikaalit ja liuottimet	40
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	40
	LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1: Kuumaliimatuotteiden ominaisuuksia

Liite 2: Eri liimatyypien kestävyysvertailua erilaisille rasituksille

KÄYTETYT LYHENTEET

PVDF	Polyvinyylidenifluoridi
ARS	Akryylnitriilibutadieenistyreeni (käytetään usein myös lyhennettä ABS)
PVC/PVC (F)	Polyvinyylikloridi
PUR	Polyuretaanihiima, jonka kovettaa materiaalissa oleva kosteus
PET	Polyeteeni tereftalaatti
AY	Akryyli
EP	Epoksi
SP	Polyesteri
SP-PA	Polyamidilla käsitelty polyesteri
HDP	UV-kestävä polyesteri
HDP-PA	Polyamidilla käsitelty UV-kestävä polyesteri
PUR	Polyuretaani
PUR-PA	Polyamidilla käsitelty polyuretaani
PVDF	Polyvinyylidenifluoridi
PVC (P)	Polyvinyylikloridi plastisoli
SA	Erikoisliima
HRNS	Kuumakestävä tarttumista estävä pinnoite
ZP	Hitsattava sinkkipinnoite
CP	Hitsattava ei-sinkkipitoinen pohjamaali
SP (PO)	Polyesteri
PVF (F)	Polyvinyylifluoridi
PE (F)	Polyeteeni
PET (F)	Polyeteeni tereftalaatti
PP (F)	Polypropeeni
CA (F)	Antikondenssikäsittely

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö käsittelee muovien liittämistä. Mekaaninen liittäminen, hitsaaminen ja liimaaminen ovat kolme päätyyppiä muovien liittämiseksi. Työssä keskitytään liimaamiseen ja siihen liittyviin ns. hybridi- eli yhdistelmämenetelmiin. Materiaalipuolelta erityishuomio kohdistuu muovipäällysteisiin metallilevyihin. Tavoitteena on selvittää millaisissa tapauksissa liimaus tai hybridimenetelmät ovat hyviä, miten liimaus tapahtuu ja kuinka hyvin eri liimaliitokset kestävät.

Työn alussa esitellään tutkittavat materiaalit; Mitä materiaaleja pinnoitetaan ja mitä muovilaatuja siihen käytetään. Lisäksi esitellään hieman materiaalien ominaisuuksia sekä tyypillisiä käyttökohteita. Materiaalit on esitelty pitkälti suomalaisen toimittajan Ruukki Oyj:n valikoiman perusteella. Seuraavassa luvussa käsitellään itse liimausprosessia; mitä asioita tulee ottaa huomioon ja miten liimaus tapahtuu. Liimauksen onnistumiseksi on hyvä tietää esimerkiksi kuinka liima levitetään ja mitä esikäsitteilyjä tarvitaan. Lisäksi tarkastellaan liimauksen etuja ja haittoja sekä tehdään vertailua muihin liittämismenetelmiin. Liimausprosessin yhteydessä esitellään lyhyesti myös liimauksen eri hybridimenetelmät. Neljännessä luvussa esitellään liimat, johon on valittu kovettumisreaktioon perustuva jaottelu. Tällöin liimat voidaan jaotella kolmeen pääryhmään, paineherkkiin liima-aineisiin, fysikaalisesti kovettuviin ja kemiallisesti kovettuviin liimoihin. Tässä työssä keskitytään erityisesti fysikaalisesti ja kemiallisesti kovettuviin liimoihin, paineherkkien liima-aineiden pääryhmästä esitellään ainoastaan teipit. Eri liimatyyppit eroavat merkittävästi toisistaan, joten hyvä tietää liimojen ominaisuuksia. Eri liimatyypeistä esitellään esimerkiksi kuivumiseen kuluvia aikoja, lämmönkestoa ja lujuusarvoja. Viidennessä luvussa esitellään kuinka kestävä liitoksesta liimaamalla saadaan; millaisia lukuarvoja löytyy eri materiaalien ja liimojen muodostamien liitosten kestävyydelle. Viides luku pitää sisällään myös lyhyen esittelyn kuinka liitoksen lujuuksia voidaan testata. Luvussa kuusi analysoidaan liitoksen rikkoutumista sekä ympäristön ja kemiallisten aineiden vaikutuksia liiman ja kappaleen sekä kappaleen eri komponenttien (muovi ja metalli) välillä. Lopuksi esitellään vielä johtopäätökset, joissa pyritään vastaamaan miksi, miten ja missä liimoja erityisesti käytetään.

2 MATERIAALIT

Pinnoitettu materiaali koostuu kahdesta pääkomponentista; pinnoitettavasta materiaalista sekä pinnoitteesta. Pinnoitettavina materiaaleina esiintyy pääasiallisesti muutamia teräsryhmiä, mutta pinnoitteita on sitä vastoin useita. Iso osa pinnoitteista on erilaisia maaleja, jotka voivat olla metallin molemmilla puolilla tai vain yhdellä puolella, jolloin toisen puolen pinnalle maalataan vain niin sanottu taustamaali. Tässä luvussa esitellään myös tarkemmin pinnoitetun materiaalin eri vyöhykkeet.

2.1 Pinnoitettavat materiaalit

Pinnoituksen perusaineena on yleensä metallisesti pinnoitettu tai pinnoittamaton kylmävalssattu ohutlevyteräs, jonka ainepaksuus on noin 3mm tai ohuempi. Korroosionkestäviin kohteisiin käytetään perusaineena puolestaan kuumasinkittyä tai sinkki-alumiiniseosteisia teräksiä. Muita pinnoitukseen sopivia perusaineita ovat esimerkiksi sähkösinkitty teräs ja alumiini.

Materiaalivalinta tapahtuu tuotteen lopullisen käyttökohteen perusteella, onko kappale sisätiloissa vai ulkokäytössä, jolloin se joutuu alttiiksi auringon ultravioletisäteilylle, kosteudelle, kylmyydelle tai kuumuudelle. Tämän vuoksi perusmateriaali on yleensä suojattu joillain keinoin. Materiaali on tyypillisesti suojattu sinkkikerroksella, joka estää uhrimetallina teräksen ruostumisen tapauksissa, joissa muovipinnoite vaurioituu tai materiaalin leikkausreunat ovat suorassa kosketuksessa ilmaan. Suojaamiseen voidaan käyttää myös leikkausreunat peittävää maalia tai lakkaa. Muita huomioitavia seikkoja, jotka vaikuttavat perusaineen valintaan, ovat tuotteen valmistettavuudelle ja ominaisuuksille asetetut muovattavuus- ja lujusvaatimukset. Esimerkiksi taivutus, saumaus tai syväveto vaatii materiaalilta hyvää muovattavuutta, kun taas rakennusteollisuus vaatii korkeaa lujuutta ja kohtalaista muovattavuutta, jolloin valinta kohdistuu rakenneteräksiin. (Jyrkäs et al. 1998, s 7.)

Ruukki Oyj:n käyttämät materiaalit maalilla pinnoitukseen ovat kuumasinkityt ja ei-sinkityt kylmävalssatut teräkset, joiden tarkemmat tiedot selviävät taulukoista 1 ja 2. Tuotteiden arkkipituus on 750- 6100 millimetriä. Taulukon 1 kuumasinkityt teräkset ovat standardin EN 10346 mukaiset. Standardi EN 10130 puolestaan määrittelee taulukon 2 kylmävalssatut teräkset. Karkeasti jaoteltuna sinkityt ovat ulkokäyttöön ja kosteisiin tiloihin, kun taas kylmävalssatut sopivat kuiviin sisätiloihin.

Taulukko 1. Ruukin maalipinnoitettujen kuumasinkittyjen terästen valmistusmitta-alueet (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007).

Paksuus mm	DX51D+Z Leveys mm	DX52D+(+)Z Leveys mm	DX53D+Z DX54D+Z Leveys mm	S220GD+Z S250GD+Z Leveys mm	S280GD+Z Leveys mm	S320GD+Z S350GD+Z Leveys mm
0,45 - 0,49	1000 - 1300	1000 - 1270		1000 - 1270	1000 - 1270	
0,50 - 0,54	1000 - 1460	1000 - 1300	1000 - 1280	1000 - 1400	1000 - 1400	1000 - 1280
0,55 - 0,59	1000 - 1500	1000 - 1430	1000 - 1400	1000 - 1400	1000 - 1400	1000 - 1280
0,60 - 0,64	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1460	1000 - 1500	1000 - 1330	1000 - 1330
0,65 - 0,69	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1330	1000 - 1330
0,70 - 0,94	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1460	1000 - 1460
0,95 - 1,50	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500

Taulukko 2. Ruukin maalipinnoitettujen kylmävalssattujen terästen valmistusmitta-alueet (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007).

Paksuus mm	DC01 Leveys mm	DC03 Leveys mm	DC04 Leveys mm
0,40 - 0,49	1000 - 1300	1000 - 1300	1000 - 1300
0,50 - 0,59	1000 - 1475	1000 - 1475	1000 - 1475
0,60 - 1,50	1000 - 1500	1000 - 1500	1000 - 1500

Z tarkoittaa kuumaupotusmenetelmällä valmistettua sinkkipinnoitetta. Standardissa on erilaisia muitakin sinkkiyhdistelmiä, mutta Ruukilla on käytössä ainoastaan 99% sinkkipitoisuuden omaava pinnoite. DX 51D tarkoittaa taivutus- ja profilointilaatua, DX52D vetolaatua, DX53D syvävetolaatua, DX54D erikoissyvävetolaatua. Lisäksi on olemassa vielä DX55D,DX56D ja DX57D, jotka ovat tarkoitettu erittäin vaativiin syvävetoihin. (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007)

Kylmävalssatuissa teräksissä merkintätapa etenee DC01:stä DC07:ään. Ruukki käyttää näistä kolmea. Tuotteet toimitetaan öljyllä suojattuna, koska niissä ei ole sinkkikerrosta suojaamassa korroosiolta. Ennen muovilla pinnoittamista pinnat täytyy puhdistaa öljystä käyttämällä esimerkiksi puhdistusliinoja ja liuottimia käyttäen. (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007)

2.2 Pinnoitteet

Standardin SFS-EN 10169 perusteella orgaaniset muovipinnoitteet on jaoteltu kolmeen pääryhmään: nestemäisiin ja jauhemaisiin maaleihin sekä laminaatteihin eli muovikalvoihin. Tarkempi luettelo standardin muoveista on esitetty taulukossa 3. Standardissa on myös esitelty pinnoitteiden paksuusalueet. Hyvin yleinen tapa lajitella muoveja on jakaa ne rakenteen perusteella kesto- ja kertamuoveihin. Lyhyesti selvitettyä kestumuovin ja kertamuovin ero on niiden muovattavuudessa. Kestumuovia voidaan sulattaa ja muotoilla useita kertoja, mutta kertamuoville on annettava lopullinen muotonsa ennen lopullista jähmettymistä. Erilaisia tapoja pinnoitteiden luokitteluun on varsin runsaasti eri lähteistä riippuen. (SFS-EN 10169 ja mukaillen Raaka-ainekäsikirja 4: Muovit ja kumit 2001, s 9.)

Taulukko 3. SFS-EN 10169 luetteloimat pinnoitteet.

PINNOITEAINE	TUNNUS
1.Nestemäiset maalit	
Akryyli	AY
Epoksi	EP
Polyesteri	SP
Polyamidilla käsitelty polyesteri	SP-PA
UV-kestävä polyesteri	HDP
Polyamidilla käsitelty UV-kestävä polyesteri	HDP-PA
Polyuretaani	PUR
Polyamidilla käsitelty polyuretaani	PUR-PA
Polyvinyyliidenifluoridi	PVDF
Polyvinyylikloridi plastisoli	PVC (P)
Erikoisliima	SA
Kuumankestävä tarttumista estävä pinnoite	HRNS
Hitsattava sinkkipitoinen pohjamaali	ZP
Hitsattava ei-sinkkipitoinen pohjamaali	CP
2.Jauhemaali	
Polyesteri	SP (PO)
3.Laminaatit	
Polyvinyylikloridi	PVC (F)
Polyvinyylifluoridi	PVF (F)
Polyeteeni	PE (F)
Polyeteeni tereftalaatti	PET (F)
Polypropeeni	PP (F)
Antikondenssikäsittely	CA (F)

Yksi erittäin käyttökelpoinen, vaihtoehtoinen tapa standardin esittämälle luokittelulle on nimetä pinnoiteryhmiä sidosaineiden perusteella, jotka vaikuttavat merkittävästi muovien ominaisuuksiin.

Tämänkin luokittelun taustalla on jako kesto- ja kertamuoveihin. Kertamuovit ovat yleensä korkeakiiltoisia, kovia ja kemiallista räsitusta kestäviä. Esimerkiksi yleisiä kertamuoveja ovat epoksi, polyesteri ja polyuretaani. Kestomuovit ovat puolestaan taipuisia, mutta kestävät heikommin naarmuuntumista ja kulutusta kuin kertamuovit. Yleisimpiä kestumuojeja ovat polyvinyylikloridi (PVC), polyvinyyliidenifluoridi (PVDF) ja akryyli (AY). Muovipinnoitteiden ominaisuuksia on esitelty tarkemmin taulukoissa 4 ja 5. Standardin luetteloimia maaleja voidaan myös jaotella väripigmenttien perusteella, esimerkiksi korroosionestopigmentit tai apupigmentit (täyteaineet). (Jyrkäs et al. 1998, s10.)

Taulukko 4. Ruukki Oyj:n pinnoitteet rakennusteollisuuteen (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007).

Ominaisuus	PVDF	PVDF HB	PVDF Hiarc	Pural	Pural matta	Polyesteri ulkokäyttöön	Polyesteri matta
Nimellispaksuus µm	27	40	60	50	50	25	35
Pintakuviointi	sileä	sileä	sileä	struktuuroitu	matta	sileä	matta
Kiilto, Gardner 60°	35	35	35	40	< 5	35	< 5
Pienin sallittu taivutussäde	1 t	1 t	0 t	1 t	1 t	3 t	2 t
Värisävyn kestävyys	erinomainen	erinomainen	erinomainen	erittäin hyvä	erittäin hyvä	tydyttävä	hyvä
Korroosiosuojaus	hyvä	erinomainen	erinomainen	erinomainen	erinomainen	hyvä	hyvä
Naarmukestävyys	hyvä	erittäin hyvä	erittäin hyvä	erittäin hyvä	erittäin hyvä	tydyttävä	tydyttävä
Puhtaanapysyvyys	erinomainen	erinomainen	erinomainen	erittäin hyvä	erittäin hyvä	tydyttävä	hyvä

Taulukko 5. Ruukki Oyj:n pinnoitteet metalliteollisuuteen (Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma 2007).

Ominaisuus	Polyesteri sisäkäyttöön	ARS polyesteri	Struktuuripolyesteri
Nimellispaksuus µm	25	25	30
Pintakuviointi	sileä	satiini	matala strukturi
Kiilto, Gardner 60°	15-90	touko.15	30-40
Korkein käyttölämpötila, °C	90	90	90
Alhaisin muovauslämpötila, °C	0	15	15
Pienin sallittu taivutussäde	4 t	2 t	1 t

2.2.1 PVDF

PVDF- pinnoitteen UV- säteilynkestävyys ja puhtaana pysyvyys ovat erinomaiset. Tällöin valittu pinnoiteväri ei haalistu tai muutu kovin herkästi. Valmistaja ilmoittaa esteettiseksi kestävyudeksi 20-30 vuotta olosuhteista riippuen. Myös huolellinen asennus, välttäen pinnoitteen naarmuuntumista, parantaa puhtaana pysyvyyttä ja täten esteettistä elinikää. Tyypillinen käyttökohde on rakennusten julkisivut, joihin käytetään erityisesti PVDF HB- laatua, jonka korroosionkesto on normaaliin nähden vieläkin parempi, paksumman pohjamaalikerroksen ansiosta.

Maalipinta on luja ja hyvin muokkausta kestävä, pinnoitettua levyä voidaan taivuttaa murtumatta lähes kaikissa olosuhteissa. Ruukin Hiarc- malli eroaa normaalista lähinnä erilaisten sävyvaihtoehtojen osalta, jolloin käytetään paksumpaa maalikerrosta ja saavutetaan täten parempi korroosionkestävyys. (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet PVDF ja PVDF HB 2007.)

2.2.2 Polyesterit

Polyesteri on erittäin monipuolinen pinnoite. Sitä löytyy jauhemaisena ja nestemäisenä maalina sekä useina erilaisina sovelluksina moneen käyttökohteeseen lukuisina eri väri- ja kiiltovaihtoehtoina. Struktuuripolyesteri on hyvin kulutusta kestävä pinnoite sisäkäyttöön. Niin sanottua tavallista polyesteriä on sekä ulko- että sisäkäyttöön. Struktuuripolyesterin pinnoite valmistetaan kahden maalikerroksen yhdistelmänä. Pohjapinnoite yleensä kuultaa pintaväriin läpi, jolloin saadaan aikaan elävä pinta, kuten kiven tai marmorin sävy. (Jyrkäs et al. 1998, s 11.)

ARS polyesteri on tarkoitettu erityisesti sähkö- ja elektroniikkateollisuuden koteloiden pinnoituksiin. Sisäkäyttöön tarkoitettujen polyesterin tyypillisiä käyttökohteita ovat sisäseinä- ja kattopinnat sekä erilaiset teollisuuden tuotteet kuten valaisimet ja lämmittimet. Ulkokäyttöön tarkoitettujen polyesterit ovat soveltuvat lähinnä vesikattoihin ja suojaPELLITYKSIIN. Polyesterit kestävät kohtuullisesti muovausta, mutta ovat melko herkkiä naarmuuntumaan, paitsi struktuuripolyesteri, jolla on hyvä naarmuuntumisenkestävyys. Yleensä polyesterit on suojattava suojakalvoilla ja käytettävä erityistä huolellisuutta valmiiden tuotteiden käsittelyssä ja asentamisessa. (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet ARS polyesteri 2007.)

2.2.3 Polyuretaanit

Ruukki on suunnitellut polyuretaani-hartsin perustuvan pinnoitteen, josta käytetään tuotenimikettä Pural. Pinnoitetta käytetään erityisesti rakennustuotteisiin hyvän korroosionkeston, kulutus- ja muovauskestävyyden perusteella. Myös UV-säteilyn kestävyys on huippuluokkaa. Korroosionkesto vaikuttaa merkittävästi pinnoitteen vaatima paksu kaksikerroksinen pohjamaali., joka sisältää myös epoksia. Valmistaja lupaa Puralin esteettiseksi kestävyudeksi 20 – 30 vuotta, mutta sitä voidaan pidentää huoltomaalauksilla. Tyypillisiä käyttökohteita polyuretaanipinnoitteille ovat sadevesijärjestelmät ja katot. Puralin pinta on kevyesti strukturoitu ja sen naarmuuntumisen kesto hyvä, mutta silti materiaalin suojaamiseen käytetään suojakalvoja asennuksista aiheutuvien naarmujen estämiseksi. (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet Pural matta 2007.)

2.2.4 Plastisolit

Plastisoli nimi tulee polyvinyylidiklodin (PVC) valmistusvaiheessa muodostuvasta liuksesta, jossa on PVC:n lisäksi lisääaineita ja pehmittimiä. PVC:n mekaaninen lujuus ja kemiallinen kestävyys riippuvat pehmittimien määrästä. Plastisolit kestävät hyvin esimerkiksi happoja, hapettavia aineita ja suolaliuoksia, mutta ei estereitä. Pinnoitteena PVC soveltuu sekä ulko- että sisäkäyttöön. Yleisimmät käyttökohteet löytyvät rakennusteollisuuden puolelta. Pinnoitteella on hyvä sään- ja korroosionkesto, mutta ne voivat ajan myötä haalistua ja liituuntua UV-säteilyn takia sekä mahdollisesti kutistua, kovettua ja haurastua pehmittimien haihtuessa pois lämpötilaerojen vuoksi. (Jyrkäs et al. 1998, s 12.)

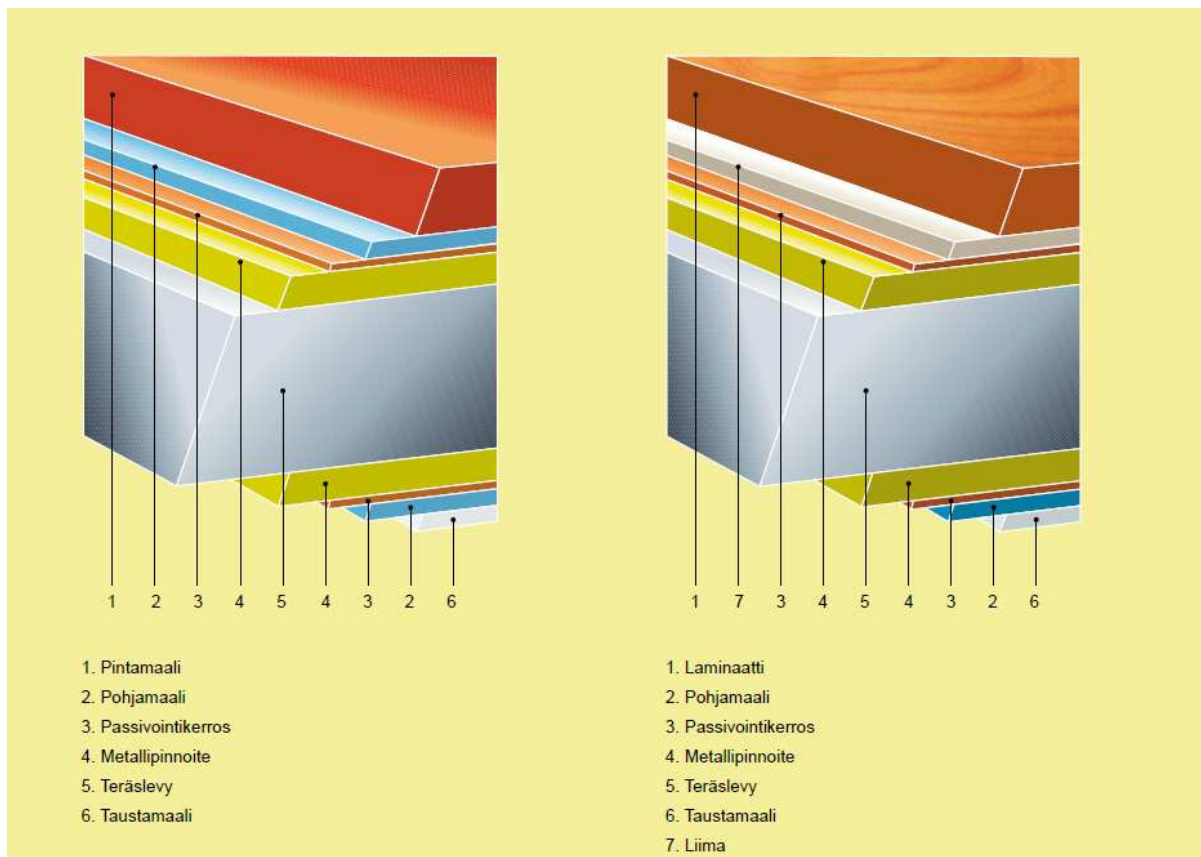
2.2.5 Epoksit

Epoksit ovat yleensä hartsimuodossa, joka kovetetaan kertamuovirakenteeksi katalyyttisellä reaktiolla tai silloittavien aineiden avulla. Epoksinpinnoitteiden hyviä puolia ovat hyvä tartuttavuus sekä hyvä kemikaalien, liottimien, veden ja kuumuuden kestävyys. Huonoina puolina voidaan pitää liituuntumista ja huonoa kiillonkestävyyttä ulkokäytössä. Epoksia ei käytetä näkyvissä kohteissa eikä ulkokäytössä, vaan sen pinnalle tulee jokin muu pinnoite. Epoksi on siis pohjamaali. (Jyrkäs et al. 1998, s.12.)

2.2.6 Laminaatit

Laminaatit ovat metallin pintaan liimattavia muovikalvoja, joiden kiinnitys tapahtuu yleensä liimoilla. Laminaateilla saavutetaan hyvä korroosionkesto ja erittäin hyvä muovattavuus. Laminaattien väri- ja kuviovaihtoehdot ovat erittäin laajat, joten sen suosittuja käyttökohteita ovat rakennusteollisuuden sisäseinät ja -ovet, telakkateollisuuden hytit sekä myymäläkalusteiden ulkopinnat. Laminaattimuoveja on laaja joukko, sivun 5 taulukossa 3 esiteltyyn standardiin on kirjattu viisi eri muovilajia sekä antikondenssikäsittely. (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet värilliset laminaatit 2007.)

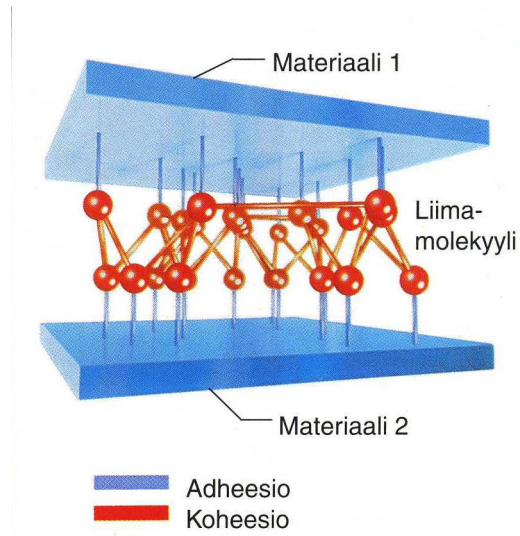
Maalattu ja laminaattipintainen teräslevy eroavat hieman rakenteeltaan toisistaan. Kuvassa 1 on esitetty laminaatti- ja maalipinnoitettujen levyjen kerrokset. Kummassakin tapauksessa vaaditaan metallipinnoite, passivointikerros sekä pohjamaali, mutta laminaatti tarvitsee lisäksi liimakerroksen tarttuakseen materiaalin pinnalle. Pinnoitusprosessi on molemmissa tapauksissa hyvin samanlainen. Esimerkiksi molemmat pinnoitustavat vaativat linjastolta uunin maalin kuivumiseen tai liiman kuumennukseen. (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitusprosessi 2007.)



Kuva 1. Maalattun ja laminaattipinnoitetun teräslevyn kerrokset (Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitusprosessi 2010).

3 LIIMAAMINEN

Liitosmekanismi riippuu kahdesta tekijästä: adheesiosta ja koheesiosta. Adheesiolla tarkoitetaan liiman ja materiaalin välistä liitoslujuutta eli kuinka suurella voimalla liima tarttuu liimattavaan pintaan. Koheesiolla puolestaan tarkoitetaan liiman sisäistä lujuutta eli millaiset ovat liimamolekyylien väliset vetovoimat ja kuinka hyvin ne lukittuvat keskenään. Kuva 2 hahmottaa adheesiota ja koheesiota liimausraajapinnassa. (Loctite, 1998 s 22-23.)



Kuva 2. Adheesio ja koheesio liimausrayapinnassa (Loctite, 1998, s.22).

Liimaaminen voidaan jakaa konstruktion suunnitteluun, liimattavien pintojen esikäsittelyyn, liiman levitykseen (sekä kovettumiseen) ja laadunvalvontaan. Liimattava tuote ja sen tuotanto on suunniteltava alusta asti liimausta silmällä pitäen. Materiaalivalinta tehdään laajasta valikoimasta, koska eri pinnoitteita on runsaasti erilaisia. Toinen merkittävä asia on, että muovia voidaan liittää useisiin muihin materiaaleihin kuten puuhun, kankaaseen tai metalliin. Valitun materiaalin ja liimaamisen yhdistelmänä saavutetaan yleensä kevyempi ja paremmin korroosiota kestävä tuote. (Penttilä & Kujanpää 1991, s. 33-34.)

Liimausprosessin ongelmat eivät yleensä johdu huonosta materiaalivalinnasta tai liitossuunnittelusta vaan huonosta liimausprosessien toteutuksesta. Liimauksessa on tärkeää noudattaa tarkasti valmistajien ohjeita ja tehdä joka vaihe huolellisesti. Erityisen tärkeää on liiman valinta ja pintojen oikeanlainen esikäsittely. (Petrie 2001, chapter 12 s.15.)

3.1 Liimaliitoksen edut ja haitat

Liimaamisella saavutetaan runsaasti erilaisia etuja verrattuna muihin liittämismenetelmiin. Huonoja puolia on melko vähän ja ne liittyvät yleensä liitoksen kestävyteen tai pitkään kovettumisaikaan. Suurimmat edut muihin menetelmiin verrattuna ovat kuormituksen jakautuminen laajemmalle pinta-alalle sekä liimaliitoksen hyvä taivutuksen ja värinänkestokyky. Liimauksessa saavutetaan tiiviste ja liitos samanaikaisesti. Tällöin korroosioriski pienenee merkittävästi, esimerkiksi mekaaniset liittämismenetelmät ovat selkeästi korroosioalttiimpia. Lisäksi erimuotoisten

kappaleiden liimaaminen onnistuu yleensä helpommin kuin esimerkiksi ruuvi- tai puristusliitoksella. (Loctite 1998, s148.)

Seuraavassa on esitelty laajemmin liimaamisen hyviä puolia, jotka ovat: (Nuutinen et al. 1999, s 56 ja Perustietoa liittämistä 2010.)

- Rasitus jakaantuu tasaisesti koko sauman alueelle (pistemäisiä rasitushuippuja)
- Liitettävien pintojen rakenne, ulkonäkö tai mittatarkkuus ei muutu, kuten esimerkiksi hitsatessa
- Vaihtoehtoja mekaniikan suunnitteluun rakenteiden, materiaalien ja muotojen osalta
- Joustavan sauman äänieristyskyky ja lämpölaajenemiset eivät tuota ongelmia
- Ei rasisitusmurtumia
- Liima- ja viskoelastiset liitokset kestävät melko hyvin leikkausvoimia jatkuvassa rasituksessa
- Mahdollistaa kevyemmän rakenteen, koska voidaan käyttää ohuempia materiaaleja
- Liitosta ei tarvitse erikseen tiivistää esimerkiksi liialta tai kosteudelta
- Ei sähköistä korroosiota eri materiaalien välillä, joka voi vaikuttaa tuotteen takuuseen ja käyttöikään
- Pinnoitteet ja suojakäsittelyt eivät vahingoitu liimausprosessin aikana esimerkiksi alhaisesta lämmöntuonnista johtuen
- Voidaan käyttää pintavalmiita materiaaleja
- Vähemmän valmistelu- ja viimeistelytyötä
- Kokoonpano yleensä helppo ja nopea
- Lyhyt läpimenoaika tuotannossa
- Työntekijöiden koulutusaika lyhyt
- Lopputuote yleensä siisti, ei näkyviä kiinnityksiä
- Voidaan liittää toisiinsa erilaisia ja eripaksuisia materiaaleja
- Liimaliitos on kevyt (100- 300 g/m²).

Liimaamisen huonoja puolia on melko vähän, koska liimoja on kehitetty monille eri materiaaleille ja erilaisiin käyttökohteisiin. Lisäksi liimaamisen kanssa voidaan helposti käyttää muita liittämistekniikoita yhtä aikaa liitoksen parantamiseksi ja kestävyuden varmistamiseksi. Liimaamisen huonoja puolia ovat: (Jyrkäs et al. 1998, s36 ja Perustietoa liittämistä 2010.)

- Liimauksen onnistuminen vaatii yleensä huolellisen pintojen esikäsitteilyn ja pitkän esikäsitteilyajan verrattuna muihin menetelmiin
- Pitkä kovettumisaika monien liimojen kohdalla, vaatii mahdollisesti välivaraston
- Liimaliitos on pysyvä
- Joistain liimatyypeistä voi aiheutua terveydellisiä haittoja
- Jos liiman kovettumista joudutaan nopeuttamaan lämmittämällä, niin muovipinnoite saattaa vaurioitua liian korkeasta lämpötilasta
- Repimis- ja kuorimislujuus saattaa olla heikko, tämä johtuu liiman ja perusaineen rajapintojen heikkokosta leikkauslujuuden kestästä.
- Liitoksen lujuus saattaa heikentyä tietyissä olosuhteissa, tietyillä liimoilla ja materiaaleilla.

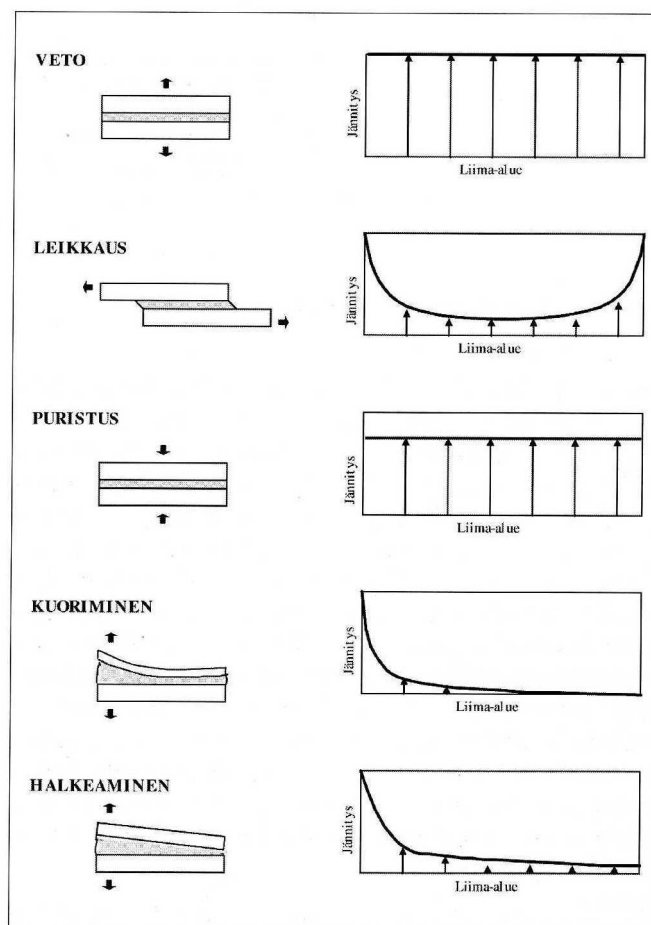
Vertailussa muihin liittämismenetelmiin, liimauksen vahvuusiksi nousevat liitoksen tiiviys ja tasainen rasitus liitoksessa, sekä esityöstön ja virheiden vähyys. Lisäksi liimaus tuottaa hyvän liitoksen ilman jälkikäsitteilyitä. Huonoina puolina muihin menetelmiin verrattuna korostuvat huono lämmönkestävyys, korjattavuus sekä vaadittavat pintojen esikäsitteilyt. Taulukossa 6 on esitelty Edward M. Petrien (2000) laatima vertailu eri liittämismenetelmien välillä.

Taulukko 6. Vertailua eri liittämismenetelmien kesken. Merkinnät: 1=huono, 2= välttävä, 3=hyvä ja 4=erinomainen, jos vertailukohde on esimerkiksi tarve niin silloin 1=erittäin vähäinen, 2=vähäinen, 3=kohtalainen ja 4=runsas (Mukaillen Petrie, 2000, s. 22).

Vertailukohde	Niittäus	Hitsaus	Juotto	Liimaus
Vaadittavat esityöstöt	1	4	1	4
Soveltuvuus ohutlevyille	1	1	2	4
Soveltuvuus eripariliitoksille	2	1	1	4
Pinnan esikäsitteilyt	4	3	2	1
Työkalujen tarve	4	2	2	2
Liitoksen luoksepääsevyys tarve	1	1	4	4
Lämmöntuonnin tarve	4	1	1	4
Jännitysten jakautuminen	1	2...3	4	2...3
Tiiviys	1	2	4	4
Aika, jolloin liitos saavuttaa lujuutensa	4	4	4	1
Virheet ja muodonmuutokset	2	1	2	4
Tarve viimeistelylle/jälkityöstölle	3...4	2	4	4
Tarve jälkilämpökäsittelyille	4	2	2	4
Liuottimien kestävyys	4	4	4	2
Lämmönkestävyys	4	4	4	1
Korjattavuus	3	1	1	2
Ammattitaidon tarve	4	3	4	4

3.2 Liimaliitoksen suunnittelu

Suunnittelija kohtaa ongelmia liitosta suunnitellessaan. Esimerkiksi: Onko liitos epäkäytännöllinen? Liian kallis toteuttaa tai asentaa? Liitoksen suunnittelussa tulee huomioida liitokseen kohdistuvan rasituksen muoto; onko se vetoa, leikkausta, puristusta, kuorimista vai halkeamista. Kuvassa 3 on esitelty liitokseen kohdistuvia rasituksia. Veto- ja puristuskuormituksen jännitysjakauma on erittäin tasainen. Todellisuudessa pelkät veto- tai puristuskuormitukset ovat harvinaisia. Liitoksessa tavataan usein myös leikkaus-, halkeamis- ja kuorimisvoimia, joiden jännityksen jakautuminen on epätasaista ja vaikeaa määrittellä. Esimerkiksi kuorimiskuormituksessa levyn päihin kohdistuu suurimmat jännityshuiput. (Petrie 2002, s.409- 410 ja Loctite 1998, s.151-156.)



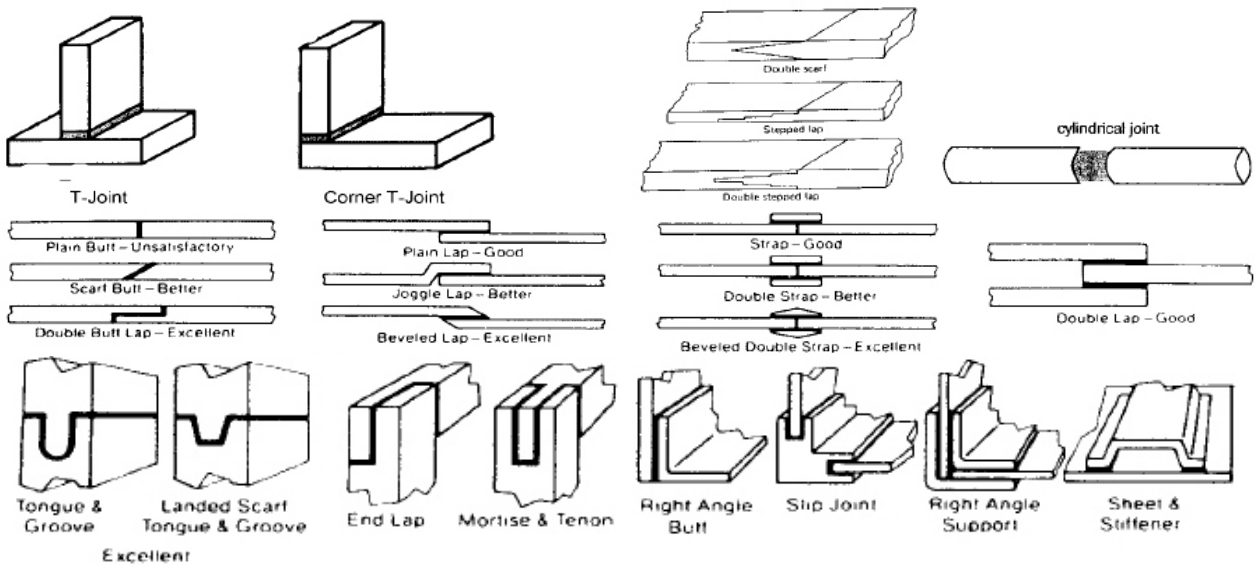
Kuva 3. Liimaliitoksen yleisimmät kuormitus- jännitystyyppit (Nuutinen et al. 1999, s.60).

Jännityksiä voidaan minimoida seuraavilla tavoilla. Liitoslinjalla jännityksien tulisi olla mahdollisimman pienet ja jännitystyyppin tulisi olla leikkausta, koska liimaliitos on herkin vaurioitumaan halkeamis- ja kuorimisjännitysten alaisena. Liitoksen kestävyyttä parannetaan myös

kohdistamalla jännitykset mahdollisimman laajalle alueelle. Tämä voidaan toteuttaa levittämällä liima mahdollisimman laajalle alueelle ja usein myös lisäämällä liitettävien pintojen pinta-alaa. Kuvan 5 kohdassa d on esimerkki kuinka liimattavaa pinta-alaa voidaan lisätä. Liitoksen jäykkyydellä voidaan myös hallita jännityksiä. Liitoksen suunnittelussa on hyvä huomioida, että yleensä jäykät liitokset kestävät paremmin leikkauskuormaa ja joustavat liitokset paremmin kuorimisjännityksiä. (Mukaiillen Petrie 2002, s.410.)

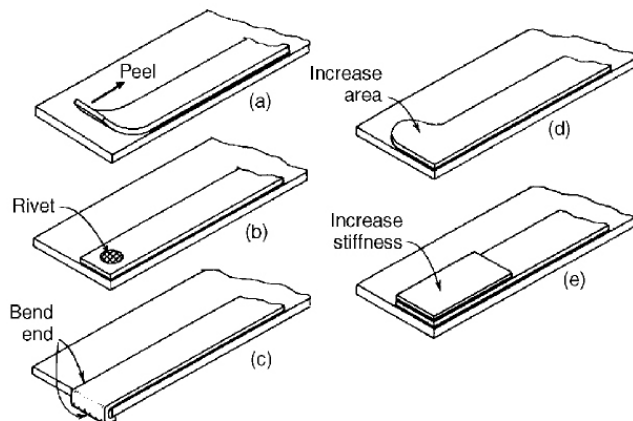
Liimaliitokseen kohdistuvat voimat ja jännitykset vaikuttavat merkittävästi liitoksen muotoiluun. Liimausliitoksille on tyypillistä, että leikkausvoimaa vastustavat voimat ovat suuremmat kuin kohtisuora vetolujuus liitospinnan tasoa vastaan. Tästä syystä liitokset tulisi muotoilla niin, että liitosta kuormittava voima olisi leikkauskuormitusta ja liitoksen pinta-ala olisi mahdollisimman suuri. (Nuutinen et al. 1999, s.60.)

Kuvassa 4 on erilaisia liitostyyppisiä ja -muotoja, joiden valinnalla päästään parhaimpiin kestävyystuloksiin. Yleensä päittäisliitos on helpoin toteuttaa, mutta se kestää melko huonosti esimerkiksi taivutusta, jolloin liima halkeaa herkästi. Erilaisilla limiliitostyypeillä saavutetaan huomattavasti paremmat kestävyysarvot, koska kappale on jäykempi, suurempi liimattava pinta-ala sekä hyvä leikkausvoiman kestävyys. Yksinkertaisen limiliitoksen riskinä on että liimattava kappale taipuu. Tällöin on syytä harkita esimerkiksi kuvan 4 kaksoislimiliitosta (double strap tai beveled double strap), siinä on päittäisliitokseen ja yksittäiseen limiliitokseen verrattuna suurempi paksuus ja liimapinta-ala. (Petrie 2002, s.409- 415.)



Kuva 4. Erilaisia liitostyyppjä (Andrew 1997, s.155)

Kuorimisen ehkäisemiseksi on liitettävien pintojen päiden viistämisen ohella muutamia menetelmiä, jotka ovat esitelty kuvassa 5. Vaihtoehtoina voidaan harkita niittiä, päiden taivuttamista sekä paksuuden tai pinta-alan lisäämistä. (Petrie, 2002, s.409- 415)



Kuva 5. Menetelmiä kuorimisen välttämiseksi: (a) = kuorinta, (b) = niittaus, (c) = päädyn taivutus, (d) = pinta-alan kasvattaminen ja (e) = jäykkyyden kasvattaminen, joka yleensä tapahtuu materiaalia paksuntamalla (Petrie 2002, s.414).

3.3 Esikäsittelyt

Liimattavien pintojen esikäsittelyt ovat erittäin tärkeitä liitoksen vahvuuden ja kestävyuden kannalta. Sopivimmat ja parhaatkaan liimat eivät tuota hyvää liitosta ilman oikeanlaista

esikäsitteilyä. Esikäsitteilyjen tehtävänä on puhdistaa ja edistää liiman tarttumista liitettävien pintojen välillä. Esikäsitteilyt ovatkin yleensä pintakäsittelyjä. Liimaliitoksen muotoilulla on myös merkitystä, mutta se on selkeästi enemmän suunnittelua kuin esikäsitteilyä. Pintojen liimattavuutta häiritseviä tekijöitä ovat esimerkiksi rasva, pöly, öljy tai metallipintojen kohdalla erilaisten oksidien muodostuminen. Vaadittava pintakäsittely määräytyy liitettävien materiaalien ja poistettavaksi halutun häiriötekijän perusteella. Muoville sopivimmat esikäsitteilymenetelmät selviävät taulukosta 7. Yleisimmin muovi-muovi liitokselle käytetään mekaanista, kemiallista tai elektronista pintakäsittelyä. Näiden menetelmien lisäksi on olemassa pieni joukko uudempia, esimerkiksi UV-valoon ja laseriin perustuvia pintakäsittelyjä. Joskus käytetään myös lämpöön perustuvaa pintakäsittelyä. (Andrew, 1997, s.147)

Taulukko 7. Käytetyt esikäsitteilymenetelmät eri materiaaleille. Selitteet: xxx = suositeltavin menetelmä, x = vaihtoehtoinen tai lisämenetelmä (Loctite, 1998, s.41).

Pinta	Esikäsitteilymenetelmä					
	Rasvanpoisto	Mekaaninen karhennus	Peittaus	Primerit (riippuen liimasta)	Korona-käsittely	Matalaplasma käsittely
Metallit	xxx	xxx	x	x		x
Lasi	xxx	x	x	x	x	x
Keramiikka	xxx		x	x	x	x
Muovi	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx
Kumi	xxx	x		x	x	x
Puu	x	xxx		x		x

Liimapinta voi olla myös liian liukas, jolloin sitä täytyy karhentaa mekaanisen lukittumisen varmistamiseksi. Esikäsitteilyillä voidaan säädellä pinnan poolisuutta ja pintaenergiaa sidosten syntymisen edellyttämälle tasolle. Esikäsitteilyllä varmistetaan myös että liitoksen heikoin kohta syntyy liimakerrokseen eikä liiman ja liimattavan kappaleen rajapinnalle. Esikäsitteilyn valintaan vaikuttavat useat eri asiat, kuten liitettävien materiaalien luonne, liitokselta vaaditut lujuusarvot sekä liimauksessa ja esikäsitteilyissä käytettävissä olevat aineet. Pintojen käsittelyä ei tarvitse välttämättä tehdä itse, koska useat valmistajat toimittavat varsinkin muovipinnoitettuja ja maalattuja levytuotteita valmiiksi esikäsitteilyinä. (Nuutinen et al. 1999, s 61- 62.)

3.3.1 Mekaaninen pintakäsittely

Mekaaniset pintakäsittelyt sisältävät runsaasti erilaisia tapoja pintojen liimattavuuden parantamiseksi. Perinteisempiä menetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset hiomisjauheet, hiomistyökalut ja hiomapaperi. Yleisimmin pinnat hiotaan hiomapaperilla tai harjataan teräsharjalla. Tehokkaammissa menetelmissä käytetään hyödyksi erilaisia hiomiskoneita, tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi hiekka-, rae- ja kuulapuhallus. Mekaaniset pintakäsittelymenetelmät ovat huomattavasti yleisempiä metallipinnoille kuin muovipinnoille. Mekaaniset menetelmät puhdistavat ja karhentavat sekä laskevat materiaalin moolimassaa. Liiman tartuttavuus riippuu epäpuhtauksien ja roskien kerääntymisestä liimattaville pinnoille, hiomatarvikkeista ja pintamateriaalista. Hiomisen seurauksena syntynyt irtonainen materiaali puhdistetaan pyyhkeellä, harjalla, paineilmalla tai imurilla. (Andrew 1997, s.147- 148.)

3.3.2 Kemiallinen pintakäsittely

Kemiallisissa pintakäsittelymenetelmissä käytetään pesuaineita, liottimia ja emäksisiä aineita pintojen puhdistukseen tai pinnoitteen syövyttämiseksi, jotta liima tarttuisi paremmin. Pesuaineiden hyvänä puolena ovat niiden edullisuus sekä myrkyttömyys. Pinnat voivat vaatia vain pesuaineen ruiskutuksen, voimakasta hankausta tai jopa kappaleen upottamista kokonaan pesuainesaltaaseen, johon johdetaan ultraääntä. Pesuaineet poistavat melko hyvin öljyn ja lian, mutta saattavat reagoida joidenkin metallihiukkasten kanssa muodostaen uusia liimausta haittaavia epäpuhtauksia. Mahdollisimman korkeassa lämpötilassa tapahtuva puhdistus minimoi uusien epäpuhtauksien syntymistä. (Andrew 1997, s.148.)

Liuottimeen perustuvat pintakäsittelyt poistavat paljon liimaamista haittaavia aineita ja epäpuhtauksia. Liuottimet saattavat myös tarttua materiaalin pinnalle muovaamisen ajaksi. Hioutuissa pinnoissa epäpuhtaudet saattavat öljyn tai rasvan mukana kulkeutua syvemmälle kappaleen sisälle, jolloin liotin pohjaiset menetelmät ovat erittäin tehokas ja hyvä ratkaisu poistamaan epäpuhtaudet. Liuotinpuhdistus olisi suositeltavaa tehdä aina ennen ja jälkeen hiovan esikäsittelyn. Liuottimien valinta on tärkeää, koska kaikki liuottimet, kuten metyylibentseeni tai asetoni eivät puhdistu tiettyjä pintoja tarpeeksi hyvin pinnoitteen syövyttämiseksi. Liotinkäsittelyn jälkeen suoritetaan usein vielä materiaalien puhdistaminen, upottamalla ne noin 77 -90 °C:een emäksiseen liuokseen. Emäksinen käsittely poistaa hyvin metallipartikkeleita, öljyä ja epäpuhtauksia. Emäksisten aineiden jäämät on puhdistettava lopuksi vedellä ja kuivattava. (Andrew 1997, s.148.)

Hieman harvemmin muovipinnoille käytettyjä kemikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi primerien käyttö tai peittäus, niiden tehokkuus perustuu pintojen muuttumiseen. Primerikäsittelyssä liuottimeen hajaantunut reaktiivinen kemikaali ikään kuin syövyttää muovin pintaa ja toimii kemiallisena siltana liiman ja pinnan välillä. Primeriliuos ruiskutetaan liimattaville pinnoille, jonka jälkeen se harjataan ja odotetaan että itse liuosaine haihtuu pois ja jäljelle jää aktiivinen kemikaali. Peittäus on melko samanlainen pintakäsittely kuin primerikin. Peittäuksessa käytetään aggressiivisiä kemikaaleja tuottamaan liimattaville pinnoille onkaloita, jotka mahdollistavat liiman paremman lukittumisen. Peittäus ei ole kovinkaan yleinen esikäsittelymenetelmä, koska peittäusliuosten käsittely ja hävittäminen on hankalaa ja kallista. (Loctite 1998, s.40- 41.)

3.3.3 Elektroniset menetelmät

Yleisimmin muoveille käytettyjä elektronisia menetelmiä ovat korona- ja matalaplasmakäsittely. Koronakäsittelyä käytetään ohuiden muovikalvojen esikäsittelyyn. Käsiteltävä pinnan pintaenergiaa nostetaan ionisoivan kaasun ja elektronisen laitteiston avulla. Pinta reagoi kaasun kanssa, jolloin pinnasta tulee karkeampi. Ionisoivana kaasuna toimii usein ilma, joka hapettaa liitettävät pinnat. Joissain tapauksissa voidaan käyttää ionisoivana kaasuna myös typpeä. Toinen elektroninen menetelmä on matalaplasmakäsittely. Siinä radioaallolle altistettu matalapaineinen kaasu (happi, argon, helium tai ilma) irrottaa kappaleen pinnalta vettä, öljyä ja muita orgaanisia aineita. Matalaplasmakäsittely sopii useille eri muovilaaduille. (Andrew 1997, s.150.)

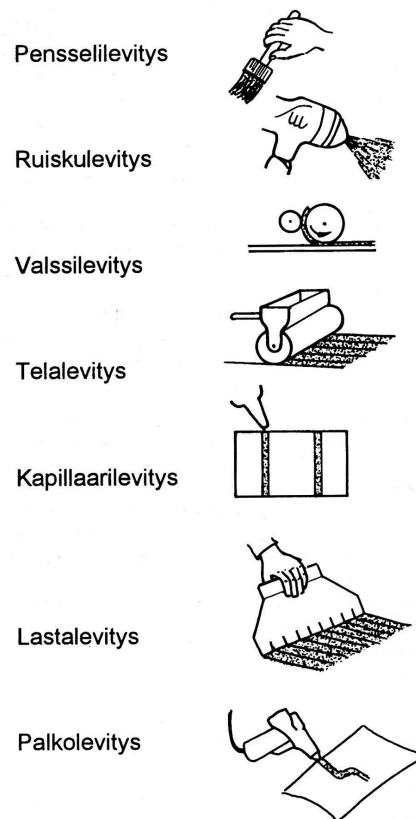
3.3.4 Muut pintakäsittelyt

Muovien pintakäsittelyyn voidaan myös käyttää laseria tai liekkiä poistamaan pinnan epäpuhtauksia hapettamalla liitospintoja. Laserimetelmää käytetään parantamaan adheesiota ja yleensä myös koheesiota. Erityisesti eri polypropeeni ja polyeteeni laadut sopivat laserikäsiteltäviksi. Laserin tyyppi ja käytetty taajuus, sekä käsiteltävä materiaali ovat kaikki merkittäviä tekijöitä pintakäsittelyn onnistumisen kannalta. Liekkikäsitelyä käytetään melko harvoille muovilaaduille, mutta esimerkiksi PET on sovelias liekkikäsiteltäväksi. Liekillä parannetaan erityisesti liiman tartuttavuutta. (Andrew 1997, s.149- 151.)

3.4 Liiman levitystekniikat

Liimojen levitykseen käytetään runsaasti erilaisia tekniikoita, joita voidaan luokitella käsin ja koneella levitettäviin menetelmiin. Kuvassa 6 on esitelty erilaisia tekniikoita liimojen

levittämiseksi. Levitystavan valintaan vaikuttavat esimerkiksi liiman olomuoto, tuotannon luonne ja volyymi sekä liimattavien pintojen suuruus ja muoto. Liimojen olomuoto vaihtelee nesteestä, pastasta ja pulvereista sauvoihin ja kalvoihin. Tuotannon suuruus on yksi merkittävimpiä tekijöitä levitystavan valitsemiseksi, pienien sarjakokojen kohdalla liiman levitys tapahtuu yleensä käsin ja vastaavasti koneellisia tapoja suositaan silloin kun sarjasuuruus on iso. Käsin levitystä hidastavat usein erilaiset mittaukset, kuten liiman punnitus, tilavuuden tai liimakerroksen paksuuden mittaaminen. Levitystavan valinnassa ja toteutuksessa on hyvä tietää liimavalmistajan suosittelemat tekniikat sekä ohjeet. Tärkeitä tietoja ovat esimerkiksi liiman määrä, avoin-, asettumis- ja käsittelylujuusaika. Liiman levityksessä on kuitenkin tärkeintä varmistaa että liima levittyy kaikkialle liitettäviin pintoihin ja liimakerros on oikean paksuinen. Yleisohjeena on että liimakerroksen paksuus tulisi olla noin 0,05mm:stä 0,20mm:iin. Tällöin tasaisesti levitetty liima tuottaa parhaat kestävyysominaisuudet. Paksuimpien kerrosten riskinä on, että liimaan jää ilmataskuja ja että rasiukset voivat olla erityisesti nurkissa suuremmat ja kuormitusta on tällöin vaikeampi pitää aksiaalissuuntaisena. Usein liiman määrä selvitetään kuitenkin kokemukseräisesti. (Nuutinen et al. 1999, s.62 ja Petrie 2002, s.100- 101.)



Kuva 6. Liiman levitystekniikat (Nuutinen et al.1999, s.61).

Liiman valmistaja 3M (Perustietoa liittämisestä, 2010) on määritellyt ajat seuraavalla tavalla:

- Avoin aika = liuotin liiman levittämisen jälkeinen aika, jonka sisällä kappaleet pitää liittää yhteen”. Pitkä avoin aika mahdollistaa laajojen alueiden liimauksen.
- Asettumisaika = tämän ajan kuluttua teipin liima-aine tai koko rakeenne on tarttunut (ns. valunut) lopullisesti pintarakenteeseen.
- Toinen määritelmä asettumisajalle = liuotinkiimoilla vaadittava aika, jonka kuluttua voidaan irrottaa puristimet ja liikuttaa kappaleita”.
- Käsittelylujuusaika = rakenneliimoilla (valmistajan määrittelemä leikkauslujuuden kesto vähintään 7 N/mm²) vaadittava aika, jonka kuluttua voidaan irrottaa puristimet ja liikuttaa kappaleita.

Liiman annostelija voi olla tarpeellinen suurien sarjakokojen yhteydessä. Annostelija voi olla erillinen laite tai se voi olla sijoitettu levityslaitteiston yhteyteen. Oikean annostelun lisäksi laite myös sekoittaa liiman. Oikea annostelu antaa parhaan liimaustuloksen ja samalla liimahävikki pienenee. Kuvassa 7 on esimerkki paineilmakäyttöisestä täysautomaattisesta liimanannostelulaitteistosta.(Loctite: Rakenneliimauksen ratkaisut 2007.)

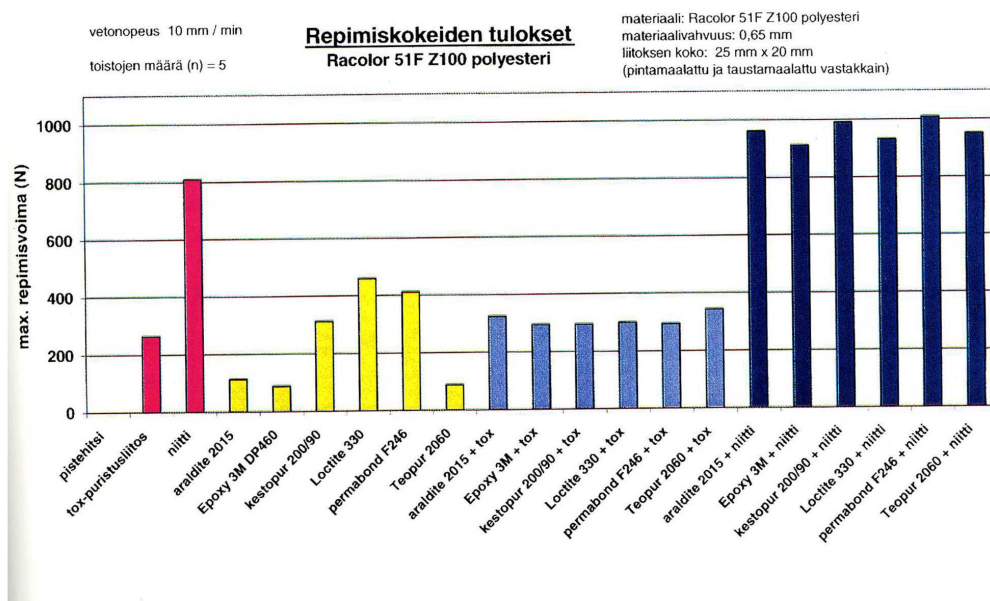


Kuva 7. Täysautomaattinen liima-annostelija (Loctite: Rakenneliimauksen ratkaisut 2007).

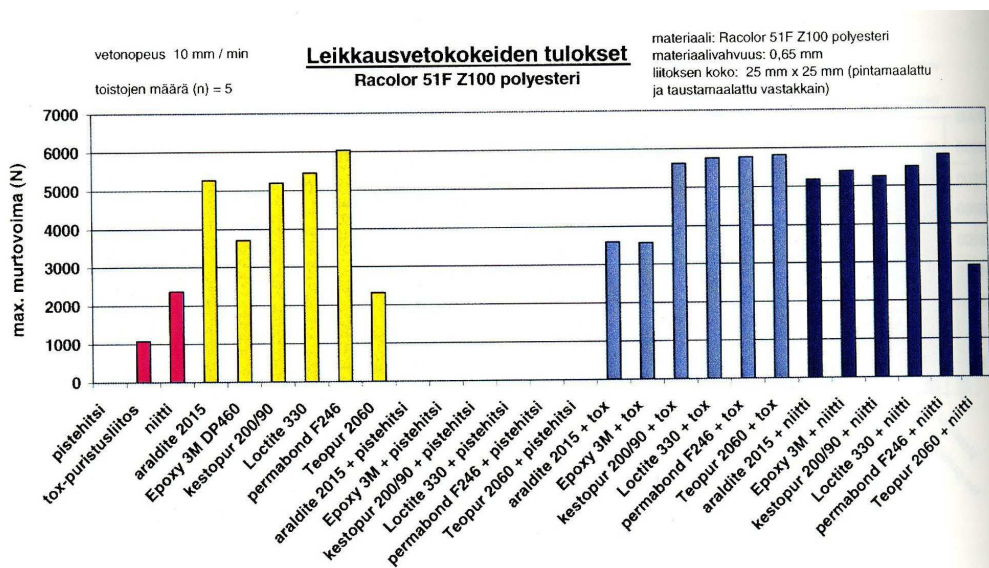
3.5 Hybridimenetelmät

Hybridiliittämisellä tarkoitetaan vähintään kahden eri liittämismenetelmän yhdistelmää. Liimauksen kanssa käytettäviä muita menetelmiä ovat hitsaus, puristusliittäminen, niittaus ja ruuvaus. Liiman

tehtävä yhdistelmässä on varmistaa liitoksen tiiviys ja jäykistää rakennetta. Lisäksi liima soveltuu hyvin eripariliitoksille. Liimatessa liitoksen vääntöjäykkyys paranee, kun kappaleet eivät pääse liikkumaan erityisesti hitsauksen pistemäisten liitoksen välillä. Toisen menetelmän tehtävänä on yleensä varmistaa kappaleiden kiinnipysyvyys esimerkiksi kappaleiden siirrossa, kun liima ei ole vielä täysin kuivunut. Tärkeimpänä tehtävänä on kuitenkin parantaa liimaliitoksen repimislujutta, iskunkestävyyttä ja pitkäaikaiskestävyyttä. Kuvista 8 ja 9 voidaan hahmottaa millainen etu hybridimenetelmillä saavutetaan yksittäisiin menetelmiin verrattuna. (Jyrkäs et al. 1998, s.39.)



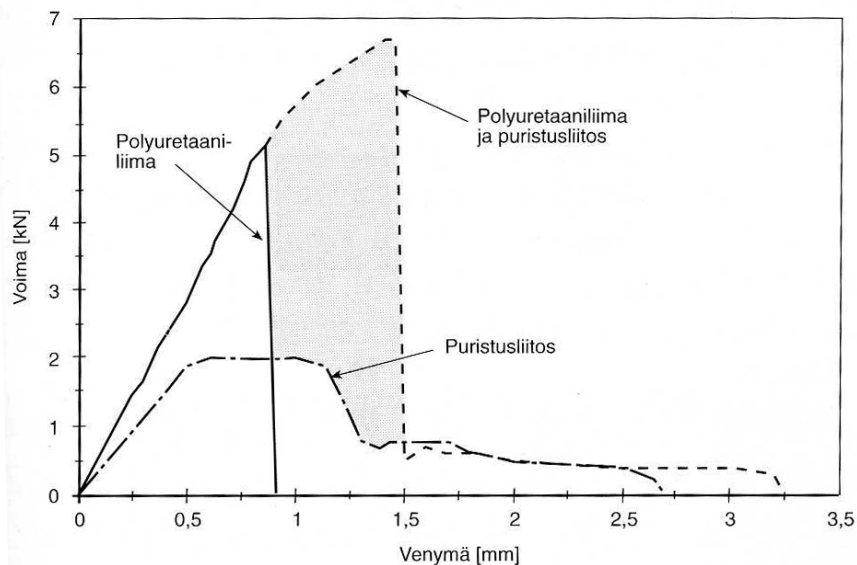
Kuva 8. Repimiskoe maalipinnoitetulle levyllä (Nuutinen & Raunio 2000, liite s.3).



Kuva 9. Leikkausvetokoe maalipinnoitetulle levyllä (Nuutinen & Raunio 2000, liite s.5).

3.5.1 Liima ja puristusliittäminen

Puristusliittäminen ja liimaaminen sopivat erittäin hyvin yhdistelmäliittämisen pareiksi, koska yhdistelmässä korostuvat molempien tapojen hyvät puolet, liima kestää hyvin leikkausvoimia, kun taas puristusliittäminen lisää kohtisuoran vetolujuuden kestävyyttä. Liimojen valinta on myös hybridimenetelmien kohdalla erittäin tärkeää, koska pieleen mennyt liimavalinta ei tuota liitokseen haluttuja ominaisuuksia. Kuvasta 10 pystyy hahmottelemaan liiman ja puristusliittämisen yhdistelmäliitoksen parantunutta kestävyyttä. Pelkkä liima rikkoutuu aiemmin ja puristusliitos venyy herkemmin, kuin liima-puristus yhdistelmäliitos. Esimerkkitapauksessa molempien menetelmien hyvät puolet yhdistyvät hybridimenetelmässä lähes optimaalisesti, mutta kaikki yhdistelmäliitokset eivät kuitenkaan yhdistele eri menetelmien hyviä puolia yhtä hyvin. (Jyrkäs et al. 1998, s.39.)

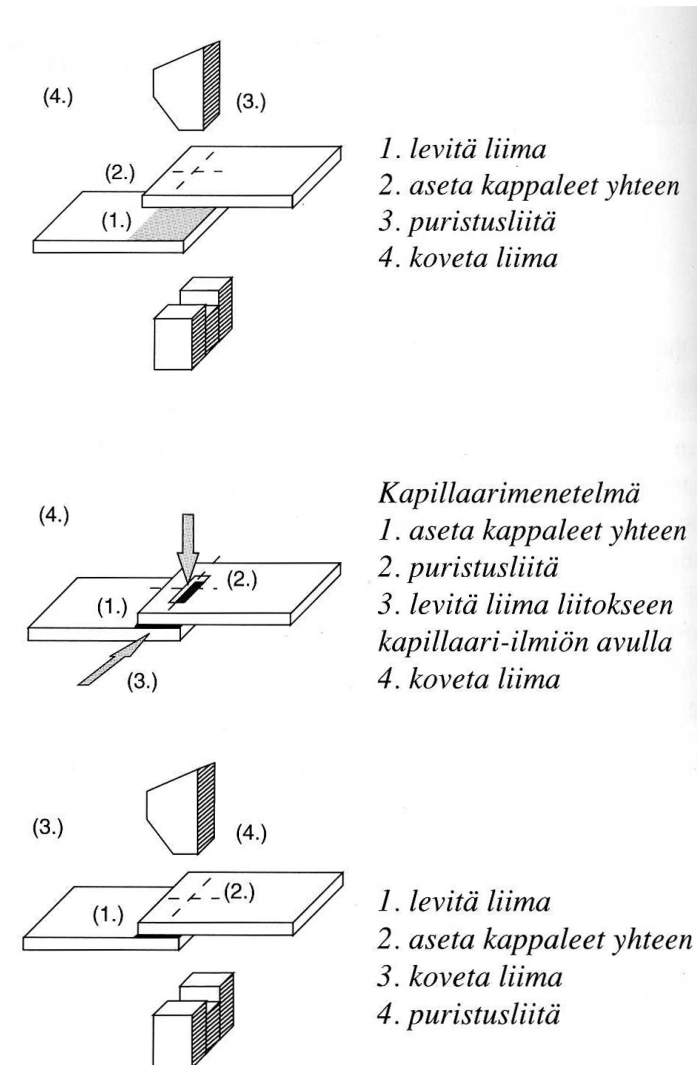


Kuva 10. Voima- venymäpiirros liima-, puristus- ja hybridiliitokselle (Jyrkäs et al. 1998, s.39).

Muita liima-puristusliittämisen selkeitä etuja, verrattuna pelkkään liimaliitokseen, ovat parempi pitkäaikaiskestävyys ja ettei liiman kovettumista tarvitse yleensä odottaa pitkään, koska puristusliitos takaa kappaleiden kiinnipysyvyyden toisissaan. Näin ollen liittämässä käytetyt jigat vapautuvat nopeammin seuraavien kappaleiden liittämiseen. (Nuutinen et al. 1999, s.103.)

Liima voi olla useissa eri muodoissa, kuten juoksevana, kiinteänä tai pastamaisena. Myös teipit soveltuvat liima- puristusliittämiseen. Liiman levitys ja kappaleiden liittäminen voidaan suorittaa kolmella eri tavalla, jotka ovat esitelty kuvassa 11. A vaihtoehto on erittäin yleinen tapa, B

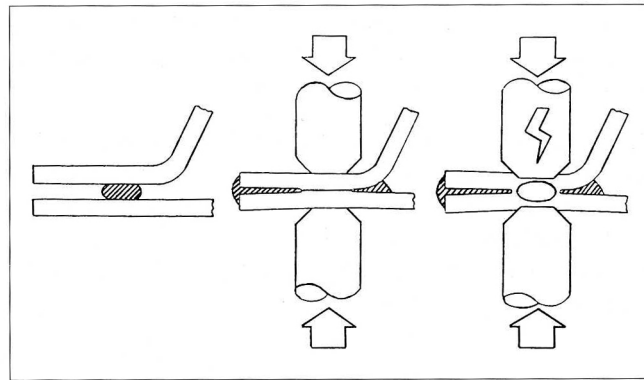
puolestaan vaatii hyvin juoksevan liiman sekä läpiviiltävän puristustyökalun ja C on vahvasti liimaperustainen. (Nuutinen et al. 1999, s.103.)



Kuva 11. Liiman levitys- ja puristusliittämisvaihtoehdot (Varis 1997, s. 47).

3.5.2 Liimaushitsaus

Liimaushitsaus muodostuu liimauksesta sekä vastushitsauksesta, kuten piste- tai kiekkohitsauksesta. Menetelmä on esitelty kuvassa 12, jossa esitellään kolme eri toteutustapaa. Ensimmäinen vaihtoehto on levittää liima koko liitospinnoille ja sen jälkeen hitsata liimakerroksen läpi, ennen kuin se kovettuu. Toinen tapa liimaushitsaukselle on jättää liimakalvoon erilliset reiät hitsausta varten. Viimeisenä tapana on hitsata levyt ja levittää liima liitoksen reunalle, josta se kulkeutuu liitospintojen väliin lämmön tai kapillaarivoiman avulla. (Nuutinen & Raunio 2000, s.21- 22.)



Kuva 12. Liimaushitsausmenetelmä, jossa hitsaus tapahtuu liimakalvon läpi (Sjöberg & Vähäkainu 1988, s.11).

Liimauksen yhdistäminen hitsaukseen parantaa liitoksen väsymislujuutta verrattuna pelkästään pistehitsattuun rakenteeseen. Väsymislujuuden parantuminen on seurausta liiman tasoittavasta ominaisuudesta jännityshuippujen suhteen. Vastaavasti hitsauksen yhdistäminen liimaukseen parantaa liitoksen iskunkestävyyttä, sekä repimislujuutta verrattuna ainoastaan liimattuun rakenteeseen. Lisäksi menetelmä mahdollistaa liitosten nopeamman ja yksinkertaisemmän tuotannon. Liimaushitsaus on myös melko helppo mekanisoida ja automatisoida, joiden avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna muihin liittämismenetelmiin. (Nuutinen & Raunio 2000, s.21-22.)

Liitoksen suunnittelussa on erityisen tärkeää oikean liiman valinta, kuten liimauksessa yleensäkin. Liimojen ominaisuuksista tärkein on viskositeetti, ei niinkään liimatyyppi tai täyteaineet. Liimaa valittaessa tulee huomioida esimerkiksi että hitsauksessa syntyvä lämpö ei saa höyrystää eikä kuumentaa liimaa liikaa, niin että se vaikuttaisi liitoksen ominaisuuksiin. Liima ei myöskään saa merkittävästi häiritä hitsausta, vaan liiman on liikuttava pois hitsausalueelta. Liimaushitsaukselle soveliaimpia liimoja ovat epoksi- ja polyuretaanipohjaiset liimat. (Nuutinen & Raunio 2000, s.21-22.)

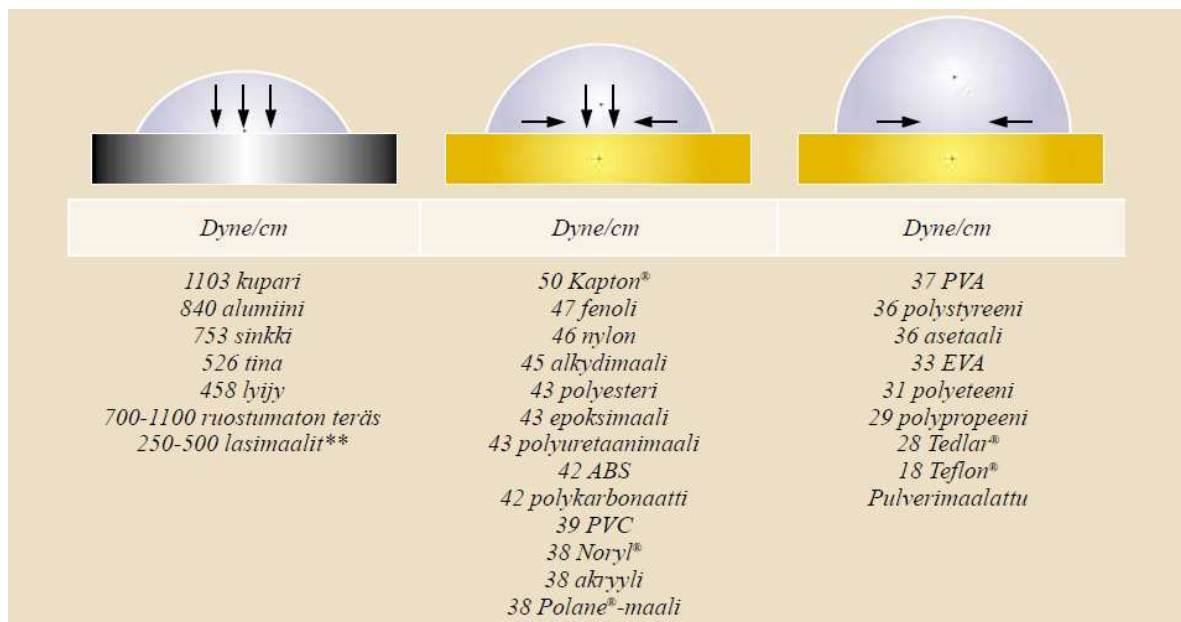
3.5.3 Muut hybridimenetelmät

Liimauksen kanssa voidaan käyttää mekaanisista liittämismenetelmistä puristusliittämisen lisäksi myös erilaisia ruuveja ja nittejä. Puristusliitoskohdassa esitellyt edut pätevät pitkälle myös muihin mekaanisiin menetelmiin. Esimerkiksi ruuvien avulla varmistetaan kappaleiden kiinnipysyvyys, parannetaan repimislujuutta, sekä pitkäaikais- ja iskunkestävyyttä. (Jyrkäs et al. 1998, s.39.)

Jotkut mekaanisista menetelmistä menettävät yhden hyvän ominaisuuden eli helppouden purkaa ja asentaa uudelleen, koska liima kappaleiden pintojen välissä estää tämän ominaisuuden. Joissain tapauksissa myös kiinnikkeet saattavat liimautua kappaleeseen. Jos hybridiliimaliitos kuitenkin tarvitsee joskus purkaa, on sen toteuttaminen selvästi helpompaa, jos esimerkiksi ruuvi ei ole liimautunut kappaleeseen.

4 LIIMAT

Erilaisia liimatuotteita on eri toimittajilla satoja, koska erityisesti kemianteollisuuden kehittämät uudet materiaalit ja teknisten muovien kasvanut käyttö ovat vaikeuttaneet liiman tai teipin valintaa, ja täten pakottaneet valmistajat kehittämään runsaasti uusia liimatuotteita. Liiman valinnan vaikeus piilee liitettävien materiaalien alhaisessa pintaenergiassa, joka tarkoittaa liiman huonoa tartuttavuutta materiaalin pinnalle ja täten vaikeuttaa liimaamista perinteisillä liimoilla ja teipeillä. Esimerkkinä vaikeasti liimattavista materiaaleista ovat tietyt liukkaat muovilaadut ja pulverimaalit. Pinnoitteiden pintaenergioita on esitelty kuvassa 13, jossa on myös metallisten pinnoitteiden lukuarvoja vertailukohtana muovisille pinnoitteille. Matala pintaenergia katsotaan alkavan noin 37 dyne/cm kohdalla. (Perustietoa liittämisestä 2010.)



Kuva 13. Erilaisten pinnoitteiden pintaenergioita (Perustietoa liittämisestä 2010).

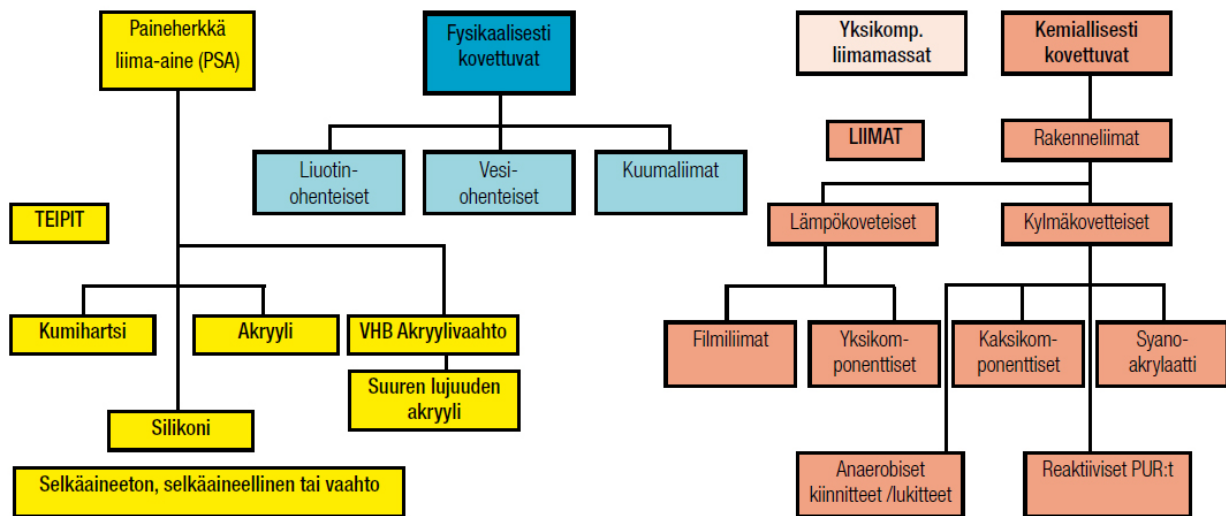
Liimaamisen onnistumiseen vaikuttaa lukuisia tekijöitä pintaenergioiden lisäksi. Tällaisia ovat esimerkiksi olosuhteet, tuotteen pinta sekä asennustapahtuma, joita voidaan myös eritellä tarkemmin. Eri seikkojen vaikutukset riippuvat merkittävästi käytetyistä materiaaleista sekä oikein valitusta liimasta. Olosuhteista voidaan tarkemmin mainita kosteus, UV-säteily, käyttöikä, erilaiset kemikaalit ja pehmittimet, joiden vaikutuksen alaisiksi lopputuotteet joutuvat. Ulkokäytössä kappale joutuu yleensä olosuhteiden puolesta kovemmille kuin sisäkäytössä. Kappaleen pinnan vaikutus voidaan jakaa kolmeen kohtaan: pinnan muotoon, tasaisuuteen ja pintaenergiaan. Viimeinen merkittävä asia on asennus, jonka kohdalla voidaan miettiä esimerkiksi seuraavia kysymyksiä: minkälaisissa lämpötiloissa työskennellään?, kuinka puhtaita liimattavat pinnat ovat?, onko liima kuivunut riittävän kauan? tai onko liimasaumaan saatettu riittävä paine liimauksen onnistumiseksi? (Perustietoa liittämisestä 2010.)

4.1 Liimojen jaottelu

Liimojen jaottelu voidaan tehdä seuraavin perustein: (Koppanen 2000)

- toiminto
- kemiallinen koostumus
- kovettumisreaktio
- fysikaalinen olotila
- levittämistapa
- käyttö

Kaikki edellä mainitut tavat ovat kuitenkin enemmän tai vähemmän päällekkäisiä. Tähän työhön on valittu kovettumisreaktioon perustuva jaottelu. Kuvassa 14 liimat on lajiteltu kolmeen pääryhmään, paineherkkiin liima-aineisiin, fysikaalisesti kovettuviin ja kemiallisesti kovettuviin liimoihin. Kolmannesta pääryhmästä esitellään työn rajauksen mukaisesti ainoastaan teipit. Muoveille sopimattomat tai huonosti soveliaat liimat, kuten anaeroobiset liimat, jotka vaativat kosketuksen metallipintaan on jätetty esittelemättä. (Perustietoa liittämisestä 2010.)



Kuva 14. Liima-aineiden pääryhmät (Perustietoa liittämistä 2010).

Muovin liimaamiseen toisen muovin kanssa soveltuvat parhaiten fysikaalisesti kovettuvista kuumaliimat ja kemiallisesti kovettuvista kaksikomponenttiset PUR:t, syanoakrylaatit sekä yksi- ja kaksikomponenttiset epoksipohjaiset liimat. (Perustietoa liittämistä 2010 ja Loctite 1998, s.160.)

4.2 Fysikaalisesti kovettuvat liimat

Fysikaalisesti kovettuvissa liimoissa kovettuminen tapahtuu joko liuotinaineen haihtumisena tai kuumaliiman kohdalla liiman perusraaka-aineen, termoplastisen muovin perusteella, joka jäähtyessään kiinteytyy ja antaa liitokselle sen lujuuden. Suosituin vaihtoehto muovien liimaamiseen on kuumaliima, koska liitettävien materiaalien kirjo on varsin laaja, lisäksi menetelmä on nopeampi kuin liuotin- tai vesiohenteiset liimat. Saavutettava leikkauslujuus on kaikilla fysikaalisesti kovettuvilla liimoilla lähes yhtä hyvä. (Perustietoa liittämistä 2010.)

4.2.1 Liuotinohenteiset liimat

Liuotinohenteiset liimat koostuvat orgaanisen liuottimen ja liima-aineen liuoksesta. Liuottimen tehtävä on toimia kantoaineena ja mahdollistaa liiman levittäminen nestemäisessä muodossa. Liiman kuivussa liuotin haihtuu ja liima saavuttaa lujuutensa. Liuottimella ei ole merkitystä kuivuneen liiman ominaisuuksiin, vaan ne määräytyvät liiman perusaineen perusteella. (Kontaktiliimat 2010.)

Liotinliimat ovat usein aerosolipakattu, jolloin liiman tartuttavuus on hyvä ja lisäksi liima kovettuu melko nopeasti. Liitoksen leikkausvoiman kesto on kohtuullinen ja yhtä hyvä kuin vesiohenteisilla liimoilla. Kuvassa 15 on esitelty 3M:n valmistamien liuotinohenteisten aerosolipakattujen liimatuotteiden ominaisuuksia. Tuotteet Spray 77, 80 ja 90 soveltuvat muovi-muoviliitospinnalle. (3M- teollisuusaerosolit 2010)

	Spray 74	Spray 75	Spray 77	Spray 80	Spray 90
Suhteellinen tartuntalujuus	Hyvä	Irrottava	Kohtalainen	Erittäin hyvä	Hyvä
180°kuorintalujuus N/25mm	89	22	67	155	111
Säänkestävyys	Hyvä	Kohtalainen	Erittäin hyvä	Hyvä	Hyvä
Vedenkestävyys	Hyvä	Hyvä	Erittäin hyvä	Erittäin hyvä	Hyvä
UV-säteilykestävyys	Kohtalainen	Hyvä	Kohtalainen	Hyvä	Kohtalainen
Pehmittimien kestävyys	Huono	Huono	Kohtalainen	Erittäin hyvä	Huono
Öljyn- ja polttoaineenkestävyys	Huono	Huono	Huono	Hyvä	Huono
Ikääntymisenkesto	Erinomainen	Erinomainen	Erittäin hyvä	Erinomainen	Erinomainen
Lämpötilankesto	49	49	43	93	71
Avoin aika	-	5 sek - tunteja	30 sek - 15 min	-	30 sek - 2 min
Yksi pinta	-	5 sek - tunteja	30 sek - 30 min	4 min - 30 min	2 min - 10 min
Molemmat pinnat	15 min	5 sek - tunteja	30 sek - 30 min	4 min - 30 min	2 min - 10 min
Suutintyyppi	Säädettävä	Kiinteä	Säädettävä	Kiinteä	Säädettävä
Sumutyyppi	Seittimäinen	Hiukkasmäinen	Hiukkasmäinen	Seittimäinen	Seittimäinen

Kuva 15. Aerosolituotteiden ominaisuuksia (3M- teollisuusaerosolit 2010).

4.2.2 Vesiohenteiset liimat

Vesiohenteisiä liimoja käytetään runsaasti joustavien materiaalien, kuten kankaan ja nahkan liimaamisen ja ei ole täten paras vaihtoehto melko jäykkien metallisten muovilla pinnoitettujen levyjen liittämiseen. Vesiohenteisten liimojen hyvänä puolena voidaan kuitenkin pitää hyvää tartuttavuutta, mikä mahdollistaa useiden eri muovilaatujen liimaamisen, jopa pienen pintaenergian omaavien muovien. Lisäksi ne ovat edullisempia sekä käyttäjä- ja ympäristöystävällisempiä kuin liuotinliimat. Lisäksi liimojen levittäminen tapahtuu pensseleillä, ruiskuilla, teloilla tai siveltimillä, jotka ovat melko edullisia. Vesiohenteisten liimojen huonona puolena on hidas kovettumisnopeus ja kohtuullinen liitoksen leikkauslujuus. Vesiohenteisten liimojen valintaan tarkoitettu opas on esitetty kuvassa 16. (Mukaillen 3M- vesiohenteiset liimat 2010)

Liima	Kontaktiliima			Tarraliima			Vaahkoliima	Eristeliima	
Tuote	3M Fastbond 30	3M Fastbond 40	3M Fastbond 2000	3M Fastbond 9309	3M Fastbond 7434	3M Fastbond 4235	3M Fastbond 100	3M Fastbond 49	
Ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> - Hyvä mekaaninen suorituskyky laminoitiin - Pitkä avoin aika - Jälkimuovattava - Erinomaisia monikäyttöliimoja 			<ul style="list-style-type: none"> - Hyvä tarttuvuus pienen pintaenergian muoveihin - Yksipuolinen tartunta mahdollinen - Avoin aika jopa useita päiviä 			<ul style="list-style-type: none"> - Nopeasti kovettava liima - Liimaa useita huokoisia aineita - Levitys yhdelle pinnalle - Pehmeät liimasauumat - Ei kuoppaanu 		<ul style="list-style-type: none"> - Nopea tarttuvuus - Paineherkkä - Levitys yhdelle pinnalle - Liittää keveitä materiaaleja
Peruspolymeeri	Polykloropreeni			Akryyli			Polykloropreeni	Akryyli	
Väri (kuivana)	Läpinäkyvä tai sininen	Vaalea	Läpinäkyvä tai sininen	Vaalea	Vaalea	Läpinäkyvä	Läpinäkyvä tai laventeli	Läpinäkyvä	
Koostumus	Ohut neste	Paksu neste Tiksoitettua	Ohut neste	Keskipaksu neste	Keskipaksu neste	Keskipaksu neste	Ohut neste	Ohut neste	
Viskositeetti (cps) (noin)	400	8000	400	5000	4000	4000	15 - 40	450 - 650	
Kuivaainepitoisuus (noin)	50%	49%	50%	50%	52%	55%	47%	47%	
Avoin aika	Jopa 4 tuntia	Jopa 4 tuntia	Jopa 4 tuntia	Jopa 3 päivää	Jopa 3 päivää	Yli 30 päivää	20 minuuttia	Yli 20 päivää	
Käyttölämpötila-alue	-40°C +110°C			-40°C +90°C			-40°C +60°C	+110°C +160°C ¹⁵⁾	-40°C +90°C
Riittoisuus (m ² /l) ¹⁶⁾	7 - 21	6 - 18	7 - 21	6 - 18			jopa 24	jopa 20	
Levitystavat	Ruisku, tela, sivellin	Ruisku, tela, sivellin, relalevitys, kaavinlevitys, lasta	Co-spray	Ruisku, tela, sivellin			Ruisku	Ruisku, tela, sivellin	
Materiaalit (esimerkkejä)	Puu, korkki, nahka, huopa, muovit (ml. PP), joustava ja kova vaahdo, korkeapainelaminaatti, matto, teräs ¹⁶⁾ , alumiini, maalatut metallit, GFRP, CFRP, eriste (lasi- ja kivivilla), solupolystyreeni			Solupolystyreeni, lasivilla, kangas, paperi, pahvi, muovi (ml. PE, PP), kumi (ml. EPDM), puu, lasi, teräs ¹⁶⁾ , alumiini, maalatut metallit			Joustava PU-vaahdo, lateksivaahdo, kangas, polyesterikangas, puu, vaneri, lastalevy, monet muovit ja metallit	Lasi- ja kivivilla, lumpipurilla, paperi ja muut materiaalit, eriste muovien ja metallien ¹⁶⁾	

Kuva 16. Vesiohenteisten liimojen ominaisuuksia (3M- vesiohenteiset liimat 2010).

4.2.3 Kuumaliimat

Kuumaliimojen toiminta perustuu termoplastiseen perusaineeseen, jonka sulamispiste on alhaisempi kuin liitettävien materiaalien. Osien liimaaminen on suoritettava nopeasti, ennen kuin sulanut liima jäähtyy ja kovettuu. Monilla kuumaliimoilla on kuitenkin huonot kosteuttamisominaisuudet. Mitkä vaikuttaa pintojen liimattavuuteen. Lisäksi kuumaliimojen kesto lämpötilan vaihteluille on huono, joidenkin kuumaliimatuotteiden sulamispiste on melko alhainen. Hyvinä puolina kuumaliimoissa on niiden hyvä liuottimien ja polttoaineiden vastustuskyky eli liimaliitos ei vaurioidu näistä aineista. Lisäksi kuumaliimoilla saavutetaan hyvät leikkauslujuus sekä liimattavien pintojen hyvä kuoriutumisenkestokyky. Liitteessä 1 on lukuarvoja kuumaliiman ja sillä tehdyn liitoksen ominaisuuksista. (Andrew 1997, s.140.)

Kuumaliimojen sulattamislämpötilat ovat perinteisesti noin 210 °C, mutta nykyään on myös alhaisemman noin 130 °C sulattamispisteen omaavia liimoja. Kuumaliimat vaativat liimauspistoolin, joka voi olla myös varustettu paineilmalaitteella, jolla saadaan levitettyä suuria määriä liimaa. Pistoolista aiheuttaa hieman lisäkustannuksia muihin liimoihin verrattuna, mutta on silti halvempi kuin esimerkiksi hitsaus- tai puristusliitoslaitteisto. Kuumaliimamenetelmä on jätteen

osalta erittäin ympäristöystävällinen, liimapatruunoiden pakkaukset ovat lähes ainoa syntyvä jäte. Menetelmän selkeimpänä haittapuolena on liimaushöyry. Kuvassa 17 on esitelty paineilmakäyttöinen liimauspistooli. (3M- kuumaliimat 2010.)



Kuva 17. Paineilmakäyttöinen liimapistooli ja liimapatruunoita (3M- kuumaliimat 2010).

4.3 Kemiallisesti kovettuvat liimat

Kemiallisesti kovettuvat liimat koostuvat kahdesta osasta, liimaosasta ja kovettimesta. Näiden kahden aineen sekoituessa käynnistyy kemiallinen reaktio, joka saa aikaan liiman kovettumisen. Kovettimen ei tarvitse aina olla nestemäinen tai kiinteä aine, vaan se voi olla myös esimerkiksi lämpö tai ilma. Kun puhutaan 2-komponenttiliimasta, niin kovettimena on aina jokin tuote, kovetinaine. Kemiallisesti kovettuvat liimat ovat usein nopeita kovettumaan ja niillä saavutetaan liitoksen hyvä leikkauslujuuden kestävyys. Kuvassa 18 on esimerkki erään valmistajan kemiallisesti kovettuvista epoksipohjaisista liimoista. Kuvasta huomaa että myös kemiallisten liimojen ominaisuuksissa voi olla runsaasti eroja eri tuotevariaatioiden välillä. (Mukaiillen perustietoa liittämisestä 2010 ja mukailen 3M- EPX järjestelmä 2010)

Tuotenro	Väri	Sekoitusuhde (B:A)	Työskentelyaika (minuuttia)	Aika käsittelylujuuteen	Viskositeetti	Leikkauslujuus (Alumiini, MPa)			Kuorimislujuus (Alumiini, N/cm)	Lämpötila
						-50°C	-25°C	-80°C		
EPOKSISEOKSET										
DP 100	kirkas	1:1	3 - 5 min.	15 min.	juokseva	6	9	2	4	-50 - 80°C
DP 105	kirkas	1:1	4 - 5 min.	20 min.	juokseva	24	14	2	62	-50 - 80°C
DP 110	kirkas tai harmaa	1:1	8 - 10 min.	20 min.	melko juokseva	14	18	1	35	-50 - 80°C
DP 125	harmaa	1:1	25 min.	2 - 3 tuntia	melko juokseva	24	24	3	62	-50 - 80°C
DP 190	harmaa	1:1	90 min.	4 - 6 tuntia	melko juokseva	11	18	3	21	-50 - 80°C
DP 270	kirkas tai musta	1:1	60 - 70 min.	4 - 6 tuntia	erittäin juokseva	8	17	2	<4	-50 - 80°C
DP 410	vaalea	2:1	8 - 10 min.	30 min.	tiksotrooppinen	29	34	8	100	-50 - 80°C
DP 460	vaalea	2:1	60 min.	4 - 6 tuntia	melko juokseva	31	31	5	107	-50 - 80°C
DP 490	musta	2:1	180 min.	4 tuntia	tiksotrooppinen	24	30	12	92	-50 - 120°C
DP 760	valkoinen	2:1	45 - 60 min.	4 - 6 tuntia	tiksotrooppinen	20	29	24	60	-50 - 230°C

Kuva 18. Kemiallisesti kovettuvien epoksipohjaisten liimojen ominaisuuksia. Muoville sopivat seuraavat tuotenumerot: DP 110, 125, 190, 410 ja 460. (3M- EPX järjestelmä 2010)

4.3.1 Akrylaatit

Syanoakrylaatit tunnetaan myös nimellä pikaliimat. Niiden kuivuminen tapahtuu erittäin nopeasti ilman kosteuden avulla normaalissa huoneenlämmössä. Myös pH-arvolla on hieman vaikutusta liiman kovettumiseen, happamat pinnat haittaavat liimaamista ja emäksiset pinnat puolestaan nopeuttavat liimaamista. Pikaliimat soveltuvat parhaiten huokosettomille pinnoille sellaisiin kohteisiin, joihin kohdistuu ainoastaan staattista kuormitusta, koska syanoakrylaattiliimat ovat kuivuessaan kovia ja niiden iskutkeys on heikko. Lisäksi huonona puolena mainittakoon huono lämmön- ja liuottimienkestävyys. Pikaliimojen hyvinä puolina voidaan pitää hyvää leikkaus- ja vetolujuutta. (Nuutinen et al. 1999, s.57-58.)

Akrylaattiliimoja on olemassa myös niin sanottuja muunneltuja, aktivaattoreilla kovettuvia malleja. Kovettuminen tapahtuu huoneenlämmössä, joko sekoittamalla liima ja aktivaattori, tai levittämällä ne eri liitospinnoille, jolloin kovettuminen alkaa kun kappaleet liitetään yhteen. Muunneltujen akryyliiliimojen hyvinä puolina ovat erityisesti soveltuvuus erittäin laajalle materiaalikirjolle ja hyvä leikkaus- ja murtolujuus. (Loctite 1998 s.42 ja s.161.)

4.3.2 Polyuretaaniliimat

Polyuretaanipohjaisia liimoja on useita erilaisia, on olemassa lämpökovetteisia yksikomponenttisia, kaksikomponenttisia huoneen lämmössä kovettuvia tai ilman kosteuden vaikutuksesta kovettuvia

liimoja. Polyuretaaniliimoilla on hyvinä puolina hyvä tartuttavuus eri materiaaleihin, liitoksen hyvä halkeamislujuus sekä sitkeys ja joustavuus, jotka säilyvät hyvin myös alhaisiin lämpötiloihin asti. Polyuretaaniliimojen huonot puolet liittyvät kaksikomponenttisiin tuotteisiin, jotka ovat herkkiä kosteudelle ja lisäksi niillä huono lämmönkestävyys. Kosteusherkkyyys tulee esille liimaliitoksen kuplimisena, joka aiheutuu komponenttien reaktiosta veden kanssa. (Nuutinen et al. 1999, s.57.)

Polyuretaaniliimat voivat vaatia liimauslaitteen, joka lämmittää ja annostelee liiman. Liimauslaite on hyvin samantapainen kuin sulateliimojen yhteydessä esitelty liimauspistooli. Kaksikomponenttiliimojen kanssa voidaan tarvita sekoitus-, annostelu- tai kovettamislaitteita. Kuvassa 16 on esitelty PUR (lämmitettäviä)- liimojen ominaisuuksia

Tuote	Kuvaus	Levitys- lämpötila	Viskosi- teetti	Väri	Avoin aika	Asettu- misaika	Shore D	Vetolu- juus	Venyä-	Moduuli
TE-030	Pursotettava. Asettuu nopeasti. Sopii parhaiten puun ja monien muovien liimaukseen.	121°C	16.000 cps	Valk./ vaalea	1 min	30 s	60	26,2 MPa	725 %	77,2 MPa
TE-031	Pursotettava. Asettuu nopeasti, sopii monenlais- ten muovien, mukaan lukien polystyreenin ja akryylin liimaukseen.	121°C	13.000 cps	Valk./ vaalea	2 min	30 s	50	26,9 MPa	725 %	36,6 MPa
TE-100	Pursotettava. Keskinopea asettuminen ja pieni viskositeetti, sopii puun ja vaikoitujen muovien liimaukseen. Ohut liimasauma.	121°C	7.000 cps	Valk./ vaalea	2 min	1 min	61	29 MPa	675 %	84,1 MPa
TE-200	Pursotettava, matala viskositeetti. Pitkä avoin aika. Ohut liimasauma. Erittäin suuri liitoslujuus puuhun. Liimaa valkoituja muoveja.	121°C	3.000 cps	Valk./ vaalea	4 min	2 min	60	27,6 MPa	625 %	66,9 MPa
TE-230	Ruiskutettava/pursotettava. Pitkä asettumisaika, sopii monille muoveille, mukaan lukien polystyreeni ja akryyli. Liimaa alumiinia ja lasia muoviin ja puuhun	121°C	9.000 cps	Valk./ vaalea	4 min	2,5 min	45	22,8 MPa	700 %	37,2 MPa
TE-430	Pursotettava, erittäin pitkä avoin aika. Pitkä asettu- misaika. Ohut liimasauma. Puulle ja joillekin muo- veille.	121°C	3.200 cps	Valk./ vaalea	8 min	4,5 min	60	32 MPa	600 %	280 MPa

Kuva 19. PUR – liimojen ominaisuuksia (3M: PUR- liimat, taulukko 2010).

4.4 Teipit

Muovipinnoitettujen levyjen liimaukseen soveltuvat kaksipuoliset teipit, joita käytetään yleensä sellaisissa tapauksissa, joissa tuotannossa tarvitaan välitöntä käsittelyä, nopea läpimenoaika, tai kun liitoksen leveys ja saumapaksuus on vakioitu. Teipit ovat myös erinomainen liittämiskäyttö, kun tarvitaan niin sanottua 2- vaiheista liittämistä, jossa valmistaja kiinnittää teipit kappaleisiin, mutta vasta kuluttaja liimaa liitettävät pinnat toisiinsa. Teippien liima-aineita on kahta tyyppiä,

kovettumatonta kumihartsia ja akryyliä. Kumihartsi on pehmeää kuumaliima- tai liuotinpohjaista liima-ainetta. Tämän tyyppisiä teippejä käytetään melko vähäisille rasituksille joutuvat sisätalakohteet. Akryyli on puolestaan kovaa vesi- tai liuotinpohjaista liima-ainetta. Akryyliperusteisia teippejä voidaan käyttää sisäkäytön lisäksi myös ulkokäyttöön. Teippien lämpötilan kesto vaihtelee noin +50 °C:sta hieman yli +100 °C:een. Liimavalmistajat antavat melko vähän lukuarvoja teippien kestävyydelle, mutta yleensä teippien leikkauslujuuden kestävyys on kaikki liimatyyppit huomioiden keskitasoa tai hyvä. 180^o kuorimistestien tuloksia erilaiselle teipeille puolestaan löytyy, hyvin muovien liimaukseen sopivien kaksipuolisten teippien kuorimiskestävyys vaihtelee noin 3 N/cm ja 15 N/ cm välillä. (Perustietoa liittämisestä 2010.)

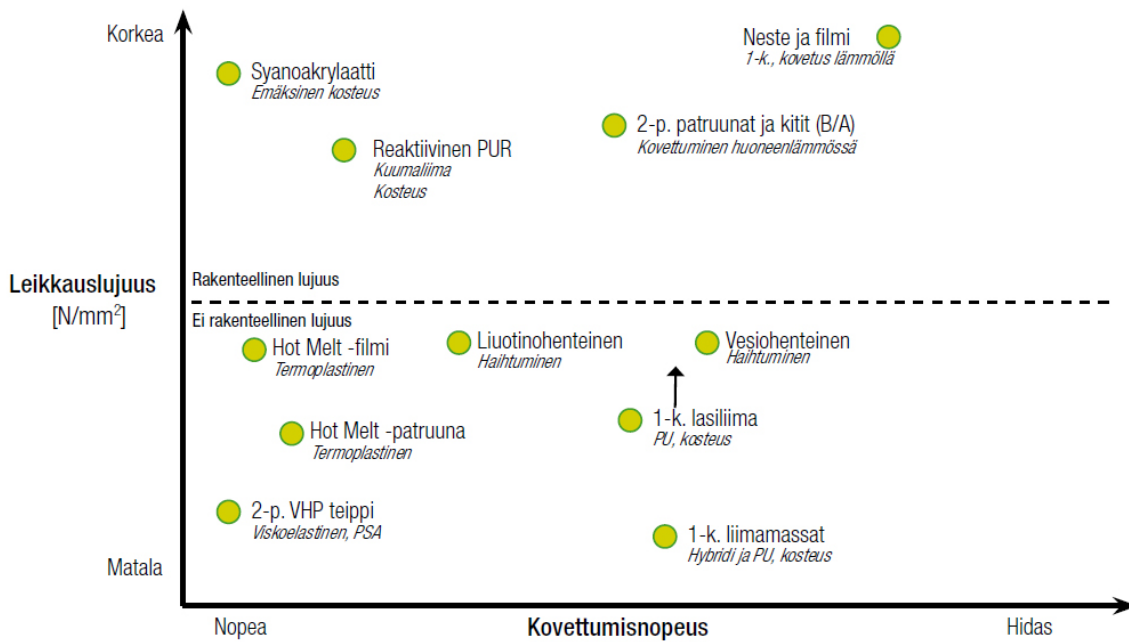
4.5 Liimojen vertailua ja ominaisuuksia

Liimojen merkittävimpiä ominaisuuksia ovat käyttöympäristön olosuhteiden kestävyys, jännitysten kestävyys ja liimautumiseen kuluva aika. Ympäristöolosuhteista selkeästi yleisin ominaisuus on liiman käyttölämpötila-alue, joka mainitaan lähes poikkeuksetta liimojen tuotetiedoissa. Liimojen kiinnittymis- ja kovettumisajoista sekä käyttölämpötila-alueista on tehty vertailu taulukossa 8. Taulukon liimat ovat lähinnä kemiallisesti kovettuvia liimoja. Myös liitteestä 2 löytyy liimatyyppien ominaisuus vertailua.

Taulukko 8. Liimojen kiinnittymis- ja kovettumisaikoja sekä käyttöön soveliaat lämpötilat (Loctite: Plastic Bonding 2005).

Liimatyyppi	Kiinnittymis aika	Täysin kovettunut	Lämpötila-alue
Syanoakrylaatit	3s... 1min	1h... 20h	- 70... 120°C
Muut akryyliliimat	5s... 30min	2h... 1pv	-65... 150°C
Rektiiviset polyuretaaniliimat	45min... 3h	6h... 1pv	-60... 100°C
Epoksipohjaiset liimat	30min... 10h	1pv... 1vko	-65... 200°C

Vertailtaessa kemiallisesti kovettuvia liimoja fyysisesti kovettuviin liimoihin huomataan kuvasta 16 että liitoksen leikkauslujuus on kemiallisesti kovettuvien kohdalla korkeampi (syanoakrylaatti, reaktiivinen PUR, joka on polyuretaaniliima ja filmi+neste). Seuraavasta luvusta löytyy hieman kattavampi lukuarvoinen vertailu eri liimatyyppien jännityksien kestoista. Kovettumisnopeudessa ei pääryhmien välillä ole eroja, molemmista ryhmistä löytyy nopeasti ja hitaasti kovettuvia liimoja.

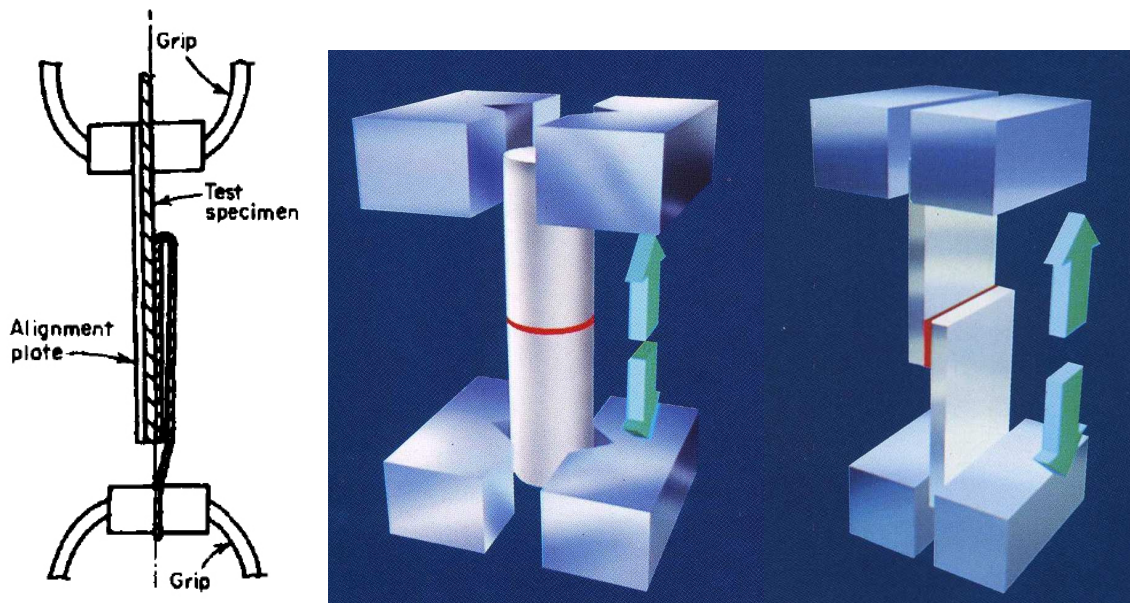


Kuva 16. Eri liimatyyppien leikkauslujuuksien ja kovettumisnopeuksien vertailua (Perustietoa liittämisestä 2010).

Parhaita testaustuloksia saavuttavat syanoakrylaattiliima (korkean lämpötilankeston, lyhyen kovettumisajan ja hyvän leikkauslujuuden osalta) ja liutinoehenteinen liima (hyvän kuorislujuuden osalta). Toisaalta on hyvä muistaa että eri käyttökohteet asettavat erilaiset vaatimukset liimoille, lähes kaikilla liimoilla on hyvät ja huonot puolensa ja joistain ryhmistä löytyy liimatyyppille ominaisista piirteistä poikkeava niin sanottuja erikoistuotteita.

5 LIITOKSEN KESTÄVYYS

Liitoksen kestävyys vaikuttaa monet tekijät, kuten materiaali, esikäsitteleminen, liima, liimattavien kappaleiden/pintojen suunnittelu ja lämpötila. Liitoksen kestävyttä voidaan arvioida erilaisilla testeillä, joiden tuloksena saadaan esimerkiksi liiman leikkaus-, kuoris- ja vetolujuuden lukuarvoja. On myös runsaasti erilaisia testejä esimerkiksi kemikaalien, liuotimien, lämmön, veden ja UV-valon kestävyydelle. Niiden arviointiin on olemassa lukuarvoja, mutta tuoteselosteissa käytetään usein sanallista arviointia, kuten erittäin hyvä – hyvä – välttävä – huono. Kuvassa 17 on esitelty erilaisia lujustestausperiaatteita. (Loctite 1998, s. 218-222)



Kuva 17. Vasemmalla 180^o-kuorimistesti, jossa kiinnitinosat (grip) taivutetaan niin että liimattu kappale taipuu 180^o:tta. Keskellä vetolujuustesti ja oikealla leikkauslujuustesti. (Petrie 2002 s.422 ja Loctite 1998, s.219- 220.)

Taulukossa 9 on listattu eri liimatyypin kestävyyslukuarvoja. Myös liitteestä 2 saa käsityksen liimojen lujuuksista. Muita ja myös osa taulukon liimojen ominaisuuksia on esitelty jo aiemmin liimojen esittelyjen yhteydessä. Kaikki taulukon tiedot on koostettu liimavalmistajien tuotetiedoista. Kaikista liimoista ei löytynyt kaikkia taulukkoon valittuja tietoja. Lisäksi joidenkin ominaisuuksien kohdalla vertailu on vaikeaa, koska ilmoitetut arvot poikkeavat toisistaan materiaalien osalta. Taulukkoon on merkitty tummennetulla muoville löytyneet arvot. Useissa tapauksissa itse liima kyllä kestäisi, mutta materiaali ei, joka täten määrää liitoksen ominaisuudet.

Taulukko 9. Liimojen ominaisuuksien lukuarvoja (Tuotetiedot 2010).

Liima	Kuorintalujuus 180° [N/cm]	Vetolujuus [N/mm ²]	Lämpötila-alue [°C]	Leikkauslujuus (N/mm ²) +23°C:ssa
Liutotinhenteiset	5...60		-30...93	
PUR-liimat		20...35	-40...80	1,82...13
Teipit	1,3...15 (rst-teräs)	100	-35...150	
Epoksipohjaiset	21...107 (alumiinille)	36...44	-50...80	0,4...5
Kuumaliimat	10...28	4,5	0...105	1,7...3,9
Syanoakrylaatit		15...25	-50...250	4...13
Vesiohenteiset	10...17	0,17...0,59	-40...160	1,23...2,41

6 LIITOKSEN VAURIOITUMINEN

Rikkoutuneesta liimaliitoksesta voidaan tehdä selkeitä johtopäätöksiä, mistä rikkoutuminen on aiheutunut ja mikä voisi olla vaihtoehtona välttää vauriot. Ensimmäisenä tulee tarkistaa onko liima kovettunut täysin, onko liima oikea ja oikein levitetty (riittävästi). Liitoksen rikkoutuminen voidaan jakaa kahteen osaan, adheesion ja koheesion pettämiseen. Adheesiosta aiheutuvassa rikkoutumisessa liima voidaan erottaa kokonaan liimapinnoista. Tämän ehkäisemiseksi on tarkasteltava liiman ja materiaalien soveltuvuutta sekä tarkistaa pintojen puhtaus ja valita uusi ja soveliaampi esikäsitteily. Koheesion pettämässä puolestaan liima murtuu, jonka pystyy havaitsemaan molemmista liimaus pinnoista löytyvinä liimajäänteinä. Tällöin rikkoutumien on usein seurausta ulkoista tekijöistä aiheutuvista ylijännityksistä. Yleensä kappaleiden tai pintojen geometrian muuttamisella tai uuden liiman valinnalla ehkäistään koheesiosta aiheutuvaa rikkoutumista. Taulukossa 10 on eritelty tarkemmin rikkoutumisen aiheuttajia ja niiden välttämiseen soveliaita ratkaisuja. (Loctite 1998, s.46-48.)

Taulukko 10. Liimaliitoksen vaurioitumisen aiheuttajia ja ratkaisuja (Loctite 1998, s.47).

Mahdollinen aiheuttaja	Ratkaisu
Valliset pinnat	Tarkista toleranssit, välykset ja materiaalit
Epäpuhtauksia pinnoilla	Tarkista pintojen esikäsitteily ja tarvittaessa muuta (esimerkiksi puhdistusaine tai puhdistusprosessi)
Väärä tai riittämätön kovettuminen	Tarkista kaikki prosessin parametrit, optimoi kovettumistapa ja -aika ja tarkista riittävätkö olosuhteet liiman kovettumiseen
Liiman riittämätön kovettuminen	Tarkista olosuhteet (esimerkiksi välys, hapettomuus, lämpötila ja kosteus). Vertaa kovettumisaikaa tiedotteista saatuihin tietoihin. Tarkista onko liima vanhaa
Mekaaninen ylikuormitus tai epäsuotuisa kuorimitustapa (repeytyminen)	Suurena liimausala tai muuta liimauksen geometria. Tarkista liiman soveltuvuus kyseessä olevaan jännitystyyppiin (veto, leikkaus, jne.)
Lämmön aiheuttama ylijännitys	Valitse liima, jolla on parempi lämmönkesto
Korroosio tai muu haitta, jonka aiheuttavat nesteet tai kaasut	Suojaa kontaktipinnat sopivalla pinnoitteella tai suunnittele liimattavat osat niin, etteivät ne joudu kontaktiin aggressiivisten aineiden kanssa

6.1 Ympäristön vaikutukset

Kestävän liimaliitoksen tarvitsee mekaanisten rasitusten ohella kestää runsaasti ympäristöstä aiheutuvia rasituksia, kuten lämpöä, kosteutta, kemikaaleja ja liuottimia. Liiman ominaisuudet

heikentyvät merkittävästi, jolloin seurauksena voi olla liitoksen ennenaikainen rikkoutuminen. Liitteessä 2 on esitelty kuinka hyvin eriliimatyyppit kestävät ympäristörasituksia. Seuraavissa alaluvissa esitellään muutamia yleisimpiä ympäristö rasituksia tarkemmin. (Petrie 2002, s. 482.)

6.1.1 Korkea lämpötila

Kaikki polymeeristen materiaalien fysikaaliset ominaisuudet heikentyvät lämpötilan kohotessa. Lisäksi korkeammat lämpötilat nopeuttavat lämpövanhenemistä. Eri liimamateriaalien lämmönkestävyydessä on merkittäviä eroja, mutta yleensä korkeampia lämpöjä kestävä liimat ovat huomattavasti kalliimpia. Tärkeimpiä liimojen ominaisuuksia lämmönkeston kannalta ovat sulamispiste ja kyky vastustaa hapettumista. Korkean lämpötilan liimoille on myös tyypillistä jäykkä polymeerirakenne, korkea pehmittymislämpötila ja vakaa kemiallinen rakenne. Tällaisten liimojen merkittävänä haittapuolena on, että liimausprosessi on vaikeampi kuin monien muiden liimojen. (Petrie 2002, s. 483)

6.1.2 Alhainen lämpötila

Liitoksen kestävyden alhaisissa lämpötiloissa määräävät seuraavat tekijät: lämpölaajenemiskertoimien eroavaisuus liiman ja liitospintojen välillä, kimmokerroin ja liiman lämmönjohtokyky. Näistä erityisen tärkeä on lämpölaajenemiskerroin silloin kun kimmokerroin pienenee lämpötilan laskiessa. Liiman tulisi säilyttää jonkin verran kimmoisuudestaan, jotta liitos säilyy kestävä. Tämä korostuu kun lämpölaajenemiskertoimissa on suuri eroavaisuus. Useiden liimojen kohdalla erityisesti kuorimislujuus heikentyy, kun lämpötila laskee runsaasti pakkasen puolelle. (Petrie 2002, s. 489- 490.)

6.1.3 Kosteus

Kosteus voi vaikuttaa liitospintaan kahdella eri tavalla. Joiden liimojen, kuten tiettyjen polyuretaaniliimojen kohdalla kovuus ja kestävyys heikentyvät. Pahimmassa tapauksessa kuivunut liima voi muuttua kosteuden vaikutuksesta nestemäiseksi. Toisessa tavassa vesi voi tunkeutua liimaan, jolloin liiman kosketus liimattaviin pintoihin häiriintyy. Tämä on yleistä silloin kun liiman kestävyys heikentyy kosteissa olosuhteissa. Liiman kestävyys kosteissa olosuhteissa riippuu liiman perusaineen kemiallisesta koostumuksesta, käytetyn katalyytin tyyppistä ja määrästä sekä liiman joustavuudesta. (Petrie 2002, s. 490.)

6.1.4 Ulko-olosuhteet

Kuumuus ja kosteus ovat ulkokäyttöön tulevissa liitoksissa merkittävimmät liimaa heikentävät ja vanhentavat tekijät. Lämpötilavaihteluilla, UV-säteilyllä ja kylmyydellä on huomattavasti pienempi vaikutus liiman ominaisuuksiin. Liitoksen kestävyys tulee myös huomioida materiaalit, liima ja rasiukset, jotta pystytään arvioimaan milloin liitos pettää ulko- olosuhteissa. (Petrie 2002, s. 491-492.)

6.1.5 Kemikaalit ja liuottimet

Lähes kaikki liimat säilyttävät hyvin ominaisuutensa joutuessaan alttiiksi kemikaaleille tai liuottimille lyhyeksi ajanjaksoksi huoneenlämpöön. Joiden epoksipohjaisten liimojen kohdalla liitoksen kestävyys voi olla jopa parempi, kun liuottimena on polttoaine tai öljy. Epoksipohjaiset liimat ovat yleisesti ottaen hyvä valinta nestemäiseen ympäristöön. Yhtä parasta vaihtoehtoa ei kuitenkaan ole, koska jotkin liimat kestävät erinomaisesti emäksiä, mutta happojen kesto on vastaavasti heikko. Liiman valinta on yleensä helppo jos kemikaaleja on vain yksi, mutta useamman erilaisen kemikaalin tai liuottimen mukana olo tuottaa vaikeuksia valita oikea liimatyyppi. Yleisohjeena korkeita lämpötiloja kestävät liimat kestävät myös melko hyvin kemikaaleja ja liuottimia. (Petrie 2002, s. 493.)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Liimaus on usein mielletty puun ja muovien liimaamiseen, mutta nykyään lähes kaikentyypisiä materiaaleja pystyy liimaamaan ja se onkin erittäin hyvä vaihtoehto muovipinnoitettujen levyjen liittämiseksi. Tyypillisiä käyttökohteita, joissa muovia tai muovipäällysteisiä tuotteita liimataan, löytyy rakennus- ja kokoonpanoteollisuudesta. Käyttökohteita löytyy useista paikoista, koska kehittyneet liimat ovat mahdollistaneet myös alhaisen pintaenergian muovien liimaamisen, joka aiemmin oli hankalaa. Lisäksi lähes kaikille muoveille on kehitetty runsaasti erilaisia liimoja erikoisiinkin käyttökohteisiin ja tarpeisiin.

Liimausprosessissa korostuvat erityisesti liimattavien pintojen huolellinen suunnittelu sekä liiman valinta. Suunnitellessa liimausliitosta on syytä miettiä mitä materiaaleja ollaan pinnoittamassa, onko liimaus paras menetelmä kappaleiden liittämiseksi ja tarvitseeko liitoksen lujuutta parantaa liitossuunnittelulla. Tärkeää on tutustua liimanvalmistajan ohjeisiin. Tässä kohtaa ilmenee myös

ongelma liiman valinnan suhteen: kuinka vertailla eri valmistajien tuotteita keskenään? Liiman päätyypin valinta kohdistuu varmasti kaikkien valmistajien kohdalla samaan, mutta sen jälkeen suoritettava tuotteiden keskinäinen vertailu on melko hankalaa, koska lähes kaikilla valmistajilla on jollain lailla erilaiset tai eri tavoin kehitetyt tuotteet. Muita ongelmia liimojen vertailussa tuottavat ominaisuuksien lukuarvojen puuttuminen sekä eroavaisuudet testaus olosuhteissa, materiaaleissa tai jopa mittausyksiköissä, jotka on joskus itse muutettava samaan yksikköön. Lisä hankaluuksia kuluttajalle tuo myös tuotteiden vaikeasti muistettava, usein numerokoodeihin perustuva nimeämistapa.

Itse asennustyössä tulee olla erittäin huolellinen esivalmistelujen ja oikein suoritettun liimausprosessin suhteen. Esimerkiksi huonosti suoritettu tai vääränlainen esivalmistelu näkyy välittömästi liiman kestävyudessa. Asennusprosessissa kannattaa kiinnittää huomiota oikeaan liimamäärään ja sen levittämiseen mahdollisimman tasaisesti. Myös riittävä kovettuminen, on tärkeä seikka hyvän lopputuloksen aikaan saamiseksi.

Liimaliitoksen etuja on selkeästi enemmän kuin haittoja. Selkeimpinä etuja voidaan mainita tasainen kuormituksen jakautuminen, siisti ulkonäkö, liitoksen tiiviys ja vähäinen laitteisto tarve. Pahimpina haittapuolina voidaan pitää huonoa purettavuutta ja heikkoja lujuusarvoja tietyissä tapauksissa. Tässä kohtaa on hyvä muistaa myös hybridiliittämismenetelmät, joilla saavutetaan parempia lujuusarvoja. Onnistunut liimaliitos voi tiettyihin kohteisiin olla monella tavoin parempi, edullisempi ja siistimmän lopputuloksen tuottava menetelmä kuin esimerkiksi hitsaus tai mekaaninen liittäminen.

LÄHTEET

Andrew, W. Handbook of Plastics Joining. Plastics Design Library.1997. 623 p. Electronic ISBN 978-0-8155-1766-5.

Jyrkäs, K., Kajaste, V., Lepistö, T., Nummela, N., Nuutinen, J., Sipilä, R., Vasko, J. 1998. Tekninen tiedotus: Muovipinnoitetut ohutlevyt ja niiden käyttö 2/98. Helsinki. Metalliteollisuuden keskusliitto. 71 s. ISBN 951-817-682-5.

Kontaktiliimat. [Hotmelt www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa <http://www.hotmelt.fi/cgi/esittely.cgi?04002>

Koppanen, M. Ohutlevyterästen ja – tuotteiden liimattavuus. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan koulutusohjelma.2000. 114 s.

Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, valmistusohjelma. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/FA1FDB8D19FCFA01C2257296003DDB5B/\\$File/KyVaTe_MFI02_001FI_03_2007.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/FA1FDB8D19FCFA01C2257296003DDB5B/$File/KyVaTe_MFI02_001FI_03_2007.pdf?openElement)

Loctite: Muovin ja elastomeerin liimausopas. [Henkel Loctite Finland www-sivuilla]. Päivitetty 2005 [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://www.loctite.fi/fis/content_data/PlasticBonding_FIN.pdf

Loctite: Rakenneliimauksen ratkaisut [Henkel Loctite Finland www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://www.loctite.fi/fis/content_data/4401_Epoxy_Cat_FIN_approved.pdf

Loctite, Worldwide Design Handbook. 2.painos. Erasmusdruck GmbH Mainz, Germany. 1998, 450 p. ISBN 978-0964559004.

Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet ARS polyesteri. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/F6ED377CBD51B939C22572EA001E412A/\\$File/ARS%20polyesteri_CC_05.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/F6ED377CBD51B939C22572EA001E412A/$File/ARS%20polyesteri_CC_05.2007_FI.pdf?openElement)

Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitusprosessi. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/D6D42343444AF2FDC22572ED00462F00/\\$File/Pinnoitusprosessi_CC_05.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/D6D42343444AF2FDC22572ED00462F00/$File/Pinnoitusprosessi_CC_05.2007_FI.pdf?openElement)

Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet Pural matta. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/D1396F9D2713AD59C22572D50038014C/\\$File/Pural%20matta_CC_05.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/D1396F9D2713AD59C22572D50038014C/$File/Pural%20matta_CC_05.2007_FI.pdf?openElement)

Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet PVDF ja PVDF HB. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/AD7635EFE15C5536C22572EA001E0984/\\$File/PVDF%20ja%20PVDF%20HB_CC_05.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/AD7635EFE15C5536C22572EA001E0984/$File/PVDF%20ja%20PVDF%20HB_CC_05.2007_FI.pdf?openElement)

Maalipinnoitetut levyt ja kelat: pinnoitteet värilliset laminaatit. [Ruukin www-sivuilla]. Päivitetty 2007. [viitattu 17.3.2010]. Saatavissa

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/367732F3E0F4F46EC22572EA001E72A6/\\$File/V%C3%A4rilliset%20laminaatit_CC_05.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/367732F3E0F4F46EC22572EA001E72A6/$File/V%C3%A4rilliset%20laminaatit_CC_05.2007_FI.pdf?openElement)

Nuutinen, J., Kinos, T., Tarkiainen, R., Lehtonen, V., Varis, J., Talonen, J., Lepistö, T., Lassila, J., Tunturi, P., Taitto, A. Tekninen tiedotus: Ohutlevyjen liittäminen 7/99. Helsinki. Metalliteollisuuden keskusliitto. 1999. 112 s. ISBN 951-817-705-8.

Nuutinen, J. & Raunio, J. Ohutlevyjen hybridiliittäminen: Tekes - tavoitetutkimusprojektin tulokset. Hämeen ammattikorkeakoulu. 2000. 83 s. ISBN 951-784-085-3.

Penttilä, R., Kujanpää, V. Leviääkö liimaus levypajoihin? Ohutlevyuutiset 1/1991.

Perustietoa liittämistä. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [viitattu 25.3.2010]. Saatavissa http://solutions.3msuomi.fi/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=fi_FI&lmd=1263890722000&assetId=1258560442082&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile

Petrie, E. M. Handbook of Adhesives and Sealants. New York. McGraw-Hill.2000. 902 p. ISBN 978-0-07-049888-4.

Petrie, E. M. Handbook of Materials for Product Design. Edited by Charles Harper. New York, McGraw-Hill. 2001. 1000 p. ISBN 978-0-07-135406-6.

Petrie, E. M. Handbook of Plastics, Elastomers and Composites. Edited by Charles Harper. 4th edition. New York, McGraw-Hill. 2002. 884 p. ISBN 978-0-07-138476-6

Raaka-ainekäsikirja 4: Muovit ja kumit. Tammer- Paino. Metalliteollisuuden keskusliitto.2001. 178s. ISBN 951-817-745-7.

SFS- EN 10130. Kylmävalssatut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset: tekniset toimitusehdot. Helsinki. Suomen standardoimisliitto. 2007. 20 s.

SFS-EN 10169-1. Orgaanisilla aineilla pinnoitetut (muovipinnoitetut) ohutlevyteräkset. Osa 1: yleiset tiedot (määritelmät, materiaalit, toleranssit, koemenetelmät). Helsinki. Suomen standardoimisliitto. 2004. 38 s.

SFS- EN 10346. Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut muovattavat ohutlevyteräkset: tekniset toimitusehdot. Helsinki. Suomen standardoimisliitto. 2009. 40 s.

Sjöberg, T., Vähäkainu, O. Valtion teknillinen tutkimuskeskus tiedotteita nro 910: Liimaushitsaus – liimauksen ja vastushitsauksen vaihtoehto. Espoo. 1988. 42 s. ISBN 951-38-3276-7.

Tuotetiedot.[liimavalmistajien www-sivuilla]. Koostettu liimavalmistajien sivuilta. 2010. Saatavissa www.hotmelt.fi, www.3m.com, www.loctite.fi ja www.permabond.com

Varis, J. Tekninen tiedotus: Ohutlevyjen puristusliittäminen 2/97. Helsinki. Metalliteollisuuden keskusliitto. 1997. 55 s. ISBN 951-817-665-5.

3M- EPX järjestelmä. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vOY_vev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

3M- kuumaliimat. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vO8_1ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

3M- kuumaliimat, taulukko. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vO8_Gev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

3M: PUR- liimat, taulukko. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vOY_Sev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

3M- teollisuusaerosolit. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vO8_Zev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

3M- vesiohenteiset liimat. [3M www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 12.3.2010]. Saatavissa http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUmY_vO8_Bev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--

Liite 1

Kuumaliimatuotteiden ominaisuuksia (3M-kuumaliimat, taulukko 2010)

Jet-Melt liima	Ominaisuudet/Käyttöalueet	Väri	Saattavana (a)	Lämmönkesto (b)	Viskositeetti (c)		Vetolujuus 22°C		Leikkauslujuus Douglas kuusella 22°C (d)		Iskunkestävyys Joulea		Kuorimislujuus 22°C (e)		Limansyöttönopeus (sek) (f)	EC Lämpötila-asetus para
					190°C	230°C	N/mm ²	PSI	N/mm ²	PSI	-18°C	22°C	N/cm	PIW		
LOW MELT TEKNOLOGIA: Liiman levitys vain 130°C:ssa, näillä Jet-Melt liimoilla voidaan kiinnittää herkkiä materiaaleja, kuten polystyreenivaahtoa.																
3762LM	Parannettu "kuumatarttuvuus", kun levitetään low melt lämpötilassa. Liittää kartonkia, näyttelymateriaaleja yms.	vaalean ruskea	LT EC	55°C	(4000 @ 121°C)	4.1	600	3.3	480	1.1(10)	1.4(13)	10	6	45	1	
3778LM	Liittää puuta ja puutuotteita, sekä monia muoveja.	vaalean ruskea	LT EC	55°C	(7000 @ 121°C)	2.1	300	3.0	435	1.1(10)	1.5(14)	14	10.5	62	1	
3792LM	Pitkä avoinaika kun levitetään low melt lämpötilassa liittää puuta, näyttelymateriaaleja, kartonkia, polyolefineja ja muita kevyitä materiaaleja.	kirjas	LT EC	60°C	(10500 @ 121°C)	3.8	547	2.4	350	1.2(11)	7.0(64)	22	13	57	1	
KUUMALIIMATEKNOLOGIA																
3738	Nopea levittää ja pitkä työskentelyaika. Yleiskäyttöön puulle, kartongille, näyttelymateriaaleille ja lastulevyille.	ruskea	TC TOQ EC PG2	55°C	2875	1200	2.5	360	2.58	375	1.4(13)	4.0(38)	23	13	35	4
3747	Yleiskäyttöön, muovit ja puu mukaanlukien. Hyvä lämmönkesto ja joustavuus. Keskiluja liima. Voidaan liittää kevyitä metallirakenteita.	vaalean ruskea	TC TOQ EC PG2	65°C	4100	2400	5.2	750	2.98	430	1.3(11)	2.8(25)	35	20	45	4
3748	Hyvä lämmönkesto ja sähköiset ominaisuudet. Ei oksidoi kuparia. Liittää polypropyreenia ja polyeteeniä.	luonnonvalkoinen	TC TOQ EC PG2	80°C	5000	2400	2.6	375	1.7	250	1.3(11)	2.6(24)	31	18	65	4
3748V-O	3748:sta itsestäänsumuva versio, UL 94 V-0, UL 1410 asetukset täyttävä. Liittää epoksilevyjä, polypropyreenia ja lasikuitua.	vaalean keltainen	TOQ EC	80°C	5500	2700	1.4	200	1.89	275	1.1(10)	5.5(50)	26	15	65	4
3762	Loistava "kuumatarttuvuus", nopeasti kartonkipakkauksiin asettava, pakkausten korjaukseen ja uudelleen sulkemiseen varastoissa. Eduellinen, yleiskäyttöön. Liittää lastulevyä, puuta.	ruskea	TC TOQ EC PG2	55°C	1870	750	3.1	450	3.75	545	1.3(11)	2.2(20)	12	7	30	3
3764	Liittää monia muoveja. Hyvä iskunkesto aihaloissa lämpötiloissa liittää ABS:ää, polykarbonaattia, kovaa PVC:tä, polypropyreenia, polyeteeniä.	kirjas	TC TOQ EC PG2	60°C	6000	4250	4.5	650	2.69	390	1.5(14)	6.4(58)	25	14	55	4
3779	Hyvät sähköiset ominaisuudet, korkea lämmönkesto valukoiteimain. UL 94 V-0. Hyvä poltonesteyden ja öljyn kesto.	löpikuultava, keltaruskea	TC TOQ EC PG2	150°C	7000	2000	14.5	2100	4.82	700	1.2(11)	2.4(22)	32	18	75	5
3789	Luja tarttuvuus muoveihin. Iskunkestävä. Liittää myös puuta, vinyylia, ABS:ää ja lasikuitua.	löpikuultava, keltaruskea	TOQ EC PG2	105°C	5200	1400	3.6	520	3.9	570	1.5(14)	4.25(40)	28	16	70	5
3792	Kirkas yleisliima puulle, kartongille ja kevyille materiaaleille. Huonekalut, verhoilu, somistus. Liittää kangasta ja muita kevyitä materiaaleja.	kirjas	TC TOQ EC PG2	60°C	5000	2200	2.8	400	1.7	250	1.4(13)	4.6(42)	23	13	45	4
3796	Lämpöä kestävä yleisliima. Luja tarttuvuus muoveihin ja metalliin.	ruskea	TC PG2	100°C	37750	7500	2.5	363	3.8	550	1.4(13)	3.3(29)	51	29	100	-

Eri liimatyyppien kestävyysvertailua erilaisille rasituksille. (Petrie 2002, s. 485- 486.)

Table 7.36 Relative Resistance of Synthetic Adhesives to Common Service Environment (from Ref. 38)

Adhesive type	Shear	Peel	Heat	Cold	Water	Hot water	Acid	Alkali	Oil, grease	Fuels	Alcohols	Ketones	Esters	Aromatics	Chlorinated solvents
<i>Thermosetting adhesives</i>															
1. Cyanoacrylate	2	6	5	–	6	6	6	6	3	3	5	5	5	4	4
2. Polyester + isocyanate	2	2	3	2	1	3	3	2	2	2	3	2	2	6	2
3. Polyester + monomer	2	6	5	3	3	6	3	6	2	2	2	6	6	6	6
4. Urea formaldehyde	2	6	3	3	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5. Melamine formaldehyde	2	6	2	2	2	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6. Urea-melamine formaldehyde	2	6	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
7. Resorcinol formaldehyde	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8. Phenol-resorcinol formaldehyde	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9. Epoxy (+ polyamine)	2	5	3	5	2	2	2	2	2	3	1	6	6	1	
10. Epoxy (+ polyanhydride)	2	5	1	4	3	3	2	2	–	2	2	6	6	2	
11. Epoxy (+ polyamide)	2	2	6	2	2	6	3	6	2	2	1	6	6	3	
12. Polyimide	2	4	1	1	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
13. Polybenzimidazole	2	4	1	1	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14. Acrylic	2	6	5	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15. Acrylate acid diester	2	5	3	3	4	4	6	6	3	3	5	5	5	4	4
<i>Thermoplastic adhesives</i>															
16. Cellulose acetate	2	6	2	3	1	6	1	2	–	2	4	6	6	6	6
17. Cellulose acetate butyrate	2	3	3	3	2	–	3	2	–	–	6	6	6	6	6
18. Cellulose nitrate	2	6	3	3	3	3	3	6	2	2	6	6	6	6	6
19. Polyvinyl acetate	2	6	6	–	3	6	3	3	2	2	6	6	6	6	6
20. Vinyl vinylidene	2	3	3	3	3	3	–	–	2	2	2	2	2	–	–
21. Polyvinyl acetal	2	6	5	2	2	–	6	3	2	2	3	3	6	3	2
22. Polyvinyl alcohol	–	2	3	–	6	6	5	5	2	1	3	1	1	1	1

Table 7.36 Relative Resistance of Synthetic Adhesives to Common Service Environment (Continued) (from Ref. 38)

Adhesive type	Shear	Peel	Heat	Cold	Water	Hot water	Acid	Alkali	Oil, grease	Fuels	Alcohols	Ketones	Esters	Aromatics	Chlorinated solvents
23. Polyamide	2	3	5	–	5	6	6	2	2	2	6	2	2	2	6
24. Acrylic	2	2	4	3	3	3	–	–	2	–	–	4	4	–	4
25. Phenoxy	2	3	4	3	3	4	3	2	3	5	5	–	–	6	–
<i>Elastomer adhesives</i>															
26. Natural rubber	2	3	3	–	3	–	3	3	6	6	2	4	4	6	6
27. Reclaimed rubber	2	3	3	–	2	–	3	3	6	6	2	4	4	6	6
28. Butyl	3	6	6	3	2	6	1	2	6	6	2	2	2	6	6
29. Polyisobutylene	6	6	6	3	2	6	2	2	6	6	2	2	2	6	6
30. Nitrile	2	3	3	3	2	5	5	6	2	2	3	6	6	3	6
31. Styrene butadiene	3	6	3	3	1	–	3	2	–	5	2	6	6	6	6
32. Polyurethane	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2	5	5	–	5
33. Polysulfide	3	2	6	2	1	6	2	2	2	2	2	6	6	2	6
34. Silicone (RTV)	3	5	1	1	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3
35. Silicone resin	2	2	1	2	2	2	–	2	2	2	2	4	4	3	6
36. Neoprene	2	3	3	3	2	–	2	2	2	2	3	6	6	6	6
<i>Alloy adhesives</i>															
37. Epoxy-phenolic	1	6	1	3	2	2	2	2	3	3	2	6	6	2	
38. Epoxy-polysulfide	2	2	6	2	1	6	2	2	2	2	2	6	6	2	6
39. Epoxy-nylon	1	1	6	2	2	6	–	–	–	2	3	6	6	6	6
40. Phenolic-nitrile	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6
41. Phenolic-neoprene	2	3	3	2	2	–	3	2	2	2	3	6	6	6	6
42. Phenolic-polyvinyl butyral	2	3	3	3	2	3	4	2	2	2	4	6	6	6	6
43. Phenolic-polyvinyl formal	2	3	6	6	2	6	6	4	2	2	2	4	6	6	6

Key: 1. Excellent; 2. Good; 3. Fair; 4. Poor; 5. Very poor; 6. Extremely poor

