



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henri Passi

LIIMAAMALLA KIINNITETTÄVIEN
LASITUSTEN JA JULKISIVUPANEE-
LIEN KÄYTTÖ KORKEASSA RAKEN-
TAMISESSA

Sweco Rakennetekniikka Oy

Tekniikka
2018

ALKUSANAT

Haluan kiittää Oy Sika Finland Ab:n teknistä päällikköä Jukka Jaakolaa sekä teknistä johtajaa Kai Saloa yhteistyöstä ja aineistosta sekä Sweco Rakennetekniikka Oy osastopäällikkö Jukka Sammia ja erityisasiantuntija Maria Lindqvistiä ohjauksesta ja neuvoista opinnäytetyöprojektin aikana.

Vaasassa 18.4.2018

Henri Passi

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Henri Passi
Opinnäytetyön nimi	Liimaamalla kiinnitettävien lasitusten ja julkisivupaneelien käyttö korkeassa rakentamisessa
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	57
Ohjaaja	Mika Korpi Jukka Sammi, Sweco Rakennetekniikka Oy

Korkea rakentaminen on yleistymässä kasvavassa määrin myös Suomessa. Kiinnitysmenetelmänä liimausta on käytetty korkeiden rakennusten julkisivuissa ympäri maailmaa laajasti etenkin lasin rakenteellisen liimauksen muodossa. Tavallisten näkyvien kiinnitysmenetelmien lisäksi liimausta voidaan käyttää kiinnitysmenetelmänä myös tuulettuvissa julkisivuissa. Työn tavoitteena oli selvittää liimauksen ja saumausten käyttömahdollisuuksia kiinnitysmenetelmänä korkeissa rakennuksissa sekä kertoa vaatimuksista, jotka korkea rakentaminen sekä standardit asettavat liimoille. Työn toimeksiantajana toimi Sweco Rakennetekniikka Oy. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Oy Sika Finland Ab:n kanssa.

Opinnäytetyössä käytettiin aineistona standardeja, internetin tietokantoja, aiheen verkkojulkaisuja, alan kirjallisuutta sekä tuotevalmistajan tarjoamaa aineistoa. Opinnäytetyössä esitellään eri liimausmenetelmiä, sääsaumausta, liimattavia julkisivumateriaaleja, korkeassa rakentamisessa julkisivuille kohdistuvia rasituksia ja määräyksiä, standardien vaatimuksia, käytön kannalta oleellisia liimojen ominaisuuksia sekä toteutus- ja suunnitteluprosessin vaiheet. Lisäksi opinnäytetyötä varten tehtiin standardin mukainen mitoituskalkulaatio, jota verrattiin tuotevalmistajan laskentaohjelman tuloksiin.

Julkisivurakenteen toimivuuden ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta on tärkeää käyttää standardien mukaan testattuja liimamassoja sekä niiden kanssa yhteensopivia materiaaleja. Liimasaumat tulee mitoittaa standardin mukaisella laskennalla ja laskennan tulokset tarkistaa liimavalmistajalla. Liimavalmistajan suosittelemia liima- ja saumausmassakohtaisia esikäsittelyvaiheita sekä liimausolosuhteita tulee noudattaa, jotta saadaan aikaiseksi liimojen ja saumausmassojen parhaimmat adheesio-ominaisuudet. Elementtien väliset saumat tulee mitoittaa niin, että liikevara sekä saumausmassan ja materiaalin välinen tartunta ovat riittäviä.

Avainsanat	rakenteellinen liimaus, paneelien liimaus, korkea rakentaminen
------------	--

ABSTRACT

Author	Henri Passi
Title	Bonded Façade Systems in High-Rise Buildings
Year	2018
Language	Finnish
Pages	57
Name of Supervisor	Mika Korpi Jukka Sammi, Sweco Rakennetekniikka Oy

Construction of high-rise buildings is becoming more and more popular also in Finland. Adhesives have been widely used as a bonding method around the world especially in a form of structural glazing. Besides usual visible fastening methods also adhesives can be used in ventilated façades. The purpose of the thesis was to clarify the use of adhesives as a bonding method in high-rise buildings and to tell about the requirements that high-rise building and standards impose for adhesives. The client of the thesis was Sweco Structures Ltd. The thesis was made in cooperation with Oy Sika Finland Ab.

The material of the thesis included standards, databases, web publications and literature in the industry. Some of the material was also provided by the adhesive manufacturer. The thesis presents different bonding methods, façade materials suitable for adhesive bonding, stresses and directives for façades in high-rise buildings, requirements laid out by standards, properties of adhesives that are essential for their use and phases of the design and application process. The study also includes two calculation examples, one of which was made by using a standard based calculation method and the other made by using the adhesive manufacturer's calculation program. A short comparison was made between the results of the calculations.

In terms of functionality and long-term durability of facade structures it is important to use only adhesives that are tested according to standards and that the materials are compatible with chosen adhesives and sealants. Adhesive joints must be calculated according to standards and the calculations must be checked by the adhesive manufacturer. Adhesive and sealant specific pretreatment steps and bonding temperatures recommended by the manufacturer should be followed to obtain the best physical properties for adhesives and sealants. Joints between elements should be calculated so that the expansion joints and the adhesion between the sealant and material is sufficient.

Keywords Structural glazing, panel bonding, high-rise building

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	LIIMAUSMENETELMÄT.....	10
2.1	SG-lasitus.....	10
2.2	IG-lasitus.....	13
2.3	Paneelien liimaus tuulettuvissa julkisivuissa.....	15
2.4	Sääsaumaus.....	17
3	LIIMATTAVAT JULKISIVUMATERIAALIT.....	19
3.1	Alumiini.....	19
3.2	Keramiikka.....	20
3.3	Komposiitti.....	21
3.4	Korkeapainelaminaatti.....	22
3.5	Kuitusementtilevy.....	22
3.6	Lasi.....	22
3.7	Luonnonkivet.....	24
3.8	Teräs.....	25
4	KORKEAN RAKENTAMISEN VAATIMUKSET SUOMESSA.....	27
4.1	Käyttöikä.....	27
4.2	Julkisivun rasitukset.....	28
4.2.1	Kosteus.....	28
4.2.2	Tuuli.....	28
4.2.3	Pakkasrasitus.....	29
4.2.4	Lämpösäteily.....	29
4.2.5	UV-säteily.....	30
4.3	Palomääräykset.....	30
5	LIIMOJEN VAATIMUKSET.....	32
5.1	Mekaaniset ominaisuudet.....	32
5.2	Palokäyttäytyminen.....	33

5.3	Ympäristötekijöiden vaikutus.....	34
5.4	Vesihöyryn ja kaasun läpäisy	34
5.5	Yhteensopivuus kosketuksissa olevien materiaalin kanssa.....	35
6	LIIMOJEN OMINAISUUDET	36
6.1	Pitkäaikaiskestävyys.....	36
6.2	Adheesio- ja koheesiomurtuma	37
6.3	Lämpöliikkeet ja toleranssit	38
6.4	Palokäyttäytyminen	40
7	LIIMALIITOKSEN SUUNNITTELU JA MITOITUS	41
7.1	Suunnittelu- ja toteutusprosessi.....	41
7.2	Laskentaesimerkki.....	43
7.3	Tuotevalmistajan laskentaesimerkki	47
7.4	Mitoitusvertailu	51
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET.....	55

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. The Shard	9
Kuva 2. SG-lasielementin asennus	10
Kuva 3. ETAG 002 mukaiset kiinnitysrakenteet	11
Kuva 4. Havainnekuva IG-lasituksen kokoonpanosta	14
Kuva 5. Esimerkkirakenne tuulettuvasta liimakiinnitysjärjestelmästä	16
Kuva 6. Laattatyypien jaottelu	20
Kuva 7. Puuskanopeuspaineen määräytyminen korkeuden ja maastoluokan mukaan	29
Kuva 8. Adheesiomurtuma	37
Kuva 9. Koheesiomurtuma	38
Kuva 10. Sikasil® SG-500 jännitys-venymäkäyrä	39
Kuva 11. Liimasauman testaus	43
Kuva 12. Elementin korkeuden ja leveyden suhteen vaikutus pituuden muutoksen laskentaan	45
Kuva 13. Osuuden β määräytyminen	46
Kuva 14. Lasityypin nimeäminen ja tuulikuorman syöttö	47
Kuva 15. Lasituksen rakenteen mittojen syöttö	48
Kuva 16. Mitoituslämpötilat, rungon materiaali ja käytettävä liimamassa	49
Kuva 17. Ilmaston vaikutusten laskeminen	50
Kuva 18. Rakenne sekä liimasaumojen mitat	51
Taulukko 1. EN 1990 mukaiset käyttöiän luokat ja käyttöiät	27
Taulukko 2. Standardin EN 13501 mukainen jaottelu paloluokkiin	33
Taulukko 3. Lisämääreet savuntuotolle sekä palavien pisaroiden muodostumiselle	33
Taulukko 4. Suunnittelu- ja toteutusprosessin vaiheet ja niiden sisältö	41
Taulukko 5. Tulosten vertailu	51

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tehtävänä on selvittää liimaamalla kiinnitettävien julkisivupaneelien ja -lasitusten käyttömahdollisuuksia korkeassa rakentamisessa sekä selvittää liimakiinnityksen käytölle asetettuja määräyksiä sekä rajoituksia. Työssä esitellään eri julkisivutyyppejä sekä niissä käytettäviä liimamassoja ja pintamateriaaleja. Lisäksi tutkitaan korkean rakentamisen sekä standardien vaatimuksia liimamassoille ja käydään läpi liimojen ominaisuuksia. Työn lopussa esitellään suunnittelu- ja toteutusprosessin kulku. Työhön tehdään myös mitoitusesimerkki käsinlaskennalla sekä Sika Joint Calculatorilla ja vertaillaan näistä saatuja tuloksia. Työn toimeksiantaja on Sweco Rakennetekniikka Oy. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Oy Sika Finland Ab:n kanssa.

1970-luvun alusta lähtien liimausta on käytetty tuulilasien kiinnityksessä auton koriin. Autoteollisuudessa käytettävät liimat ovat yksikomponenttisiä polyuretaani- tai muunneltuja siloksaanipolymeriliimoja. Silikoniliimamassoja on käytetty ensimmäistä kertaa kaksisivuisessa liimauksessa vuonna 1968 Yhdysvalloissa ja vuonna 1971 Detroitiin valmistui ensimmäinen lasin putoamisen estävällä mekaanisella varmistuksella varustettu nelisivuinen liimaus, jossa silikoniliima välitti kaikki rakenteelliset kuormat. Ensimmäinen nelisivuinen liimaus ilman lasin putoamista estävää mekaanista varmistusta valmistui Chicagoon vuonna 1974. /1, 2/

Lasin rakenteellista liimausta on suosittu korkeissa rakennuksissa eri puolilla maailmaa vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa. Moskovassa rakenteellista lasitusta on käytetty Federation Towers -pilvenpiirtäjäkompleksissa, joissa on myös käytetty ensimmäistä kertaa argonilla täytettyjä eristyslaselementtejä Venäjällä. Federation Towers koostuu kahdesta tornista, 242,5 metriä korkeasta Zapad-tornista sekä 373,7 metriä korkeasta Vostok-tornista, joka on Euroopan korkein rakennus. Moskovassa rakenteet altistuvat samankaltaisille rasituksille kuin Suomen olosuhteissa, kuten esimerkiksi pakkasrasitukselle ja kosteudelle viistosateen sekä lumisateen muodossa /3–5/.

Yhdistyneissä arabiemiirikunnissa rakenteellista liimausta on käytetty Abu Dhabin sijaitsevilla Etihad Towersissa, joka koostuu viidestä tornista. Tornien kor-

keus vaihtelee 218 metristä 305 metriin. Maantieteellisen sijaintinsa vuoksi Etihad Towersin tornit altistuvat suurille lämpörasituksille sekä UV-säteilyn määrille. Lasin rakenteellista liimausta on käytetty Euroopassa myös Euroopan keskuspankin pääkonttorissa sekä Lontoon keskustassa sijaitsevassa The Shardissa (kuva 1), joka on Iso-Britannian korkein rakennus. Julkisivupaneelien liimausta on käytetty esimerkiksi Romanian Bukarestissa City Gate -toimistorakennuksessa. /3, 4/



Kuva 1. The Shard. /4/

2 LIIMAUSMENETELMÄT

2.1 SG-lasitus

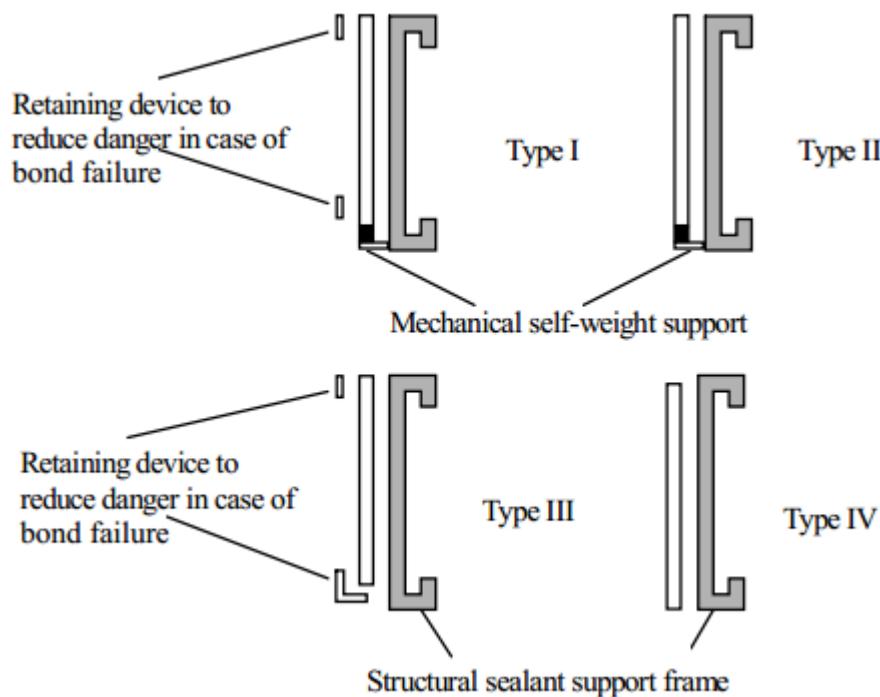
SG-lasitus (*structural glazing*) on julkisivulasin kiinnitysmenetelmä, jossa lasi kiinnitetään runkorakenteeseen standardin EOTA ETAG 002 mukaisten silikoniliimojen avulla. SG-lasituksessa silikoniliima siirtää rakenteelliset kuormat, kuten tuulikuorman, rakenteen muihin osiin. Silikoniliimojen etuina ovat niiden hyvä kestävyys vanhenemista, virumista, säätä, auringon UV-säteilyä, hapettumista, kemikaaleja ja kosteutta vastaan. Silikoniliima kestää elastisuutensa vuoksi hyvin lämpötilavaihteluista johtuvia muodonmuutoksia. Lisäksi silikoniliima ei aiheuta korroosiota metalleissa. /6–8/



Kuva 2. SG-lasielementin asennus. /41/

SG-lasitetut julkisivut voivat olla yksi-, kaksi- tai kolmilasisia, mutta toimivan ja energiataloudellisen rakennuksen kannalta on suositeltavaa käyttää kahta tai kolmea lasia. SG-lasituksessa käytettävän uloimman lasin täytyy olla laminoitu. SG-

lasitus voidaan toteuttaa nelisivuisella liimauksella, jossa kaikki sivut ovat liimattuja, tai kaksisivuisella liimauksella, jossa kaksi vastakkaista sivua ovat liimattuja (pysty- tai vaakasisivut) ja kaksi vastakkaista sivua ovat kiinnitetty mekaanisesti. Kahden sivun ollessa liimattu ja kahden mekaanisesti kiinnitetty saadaan aikaan korkeampi mekaaninen varmuus. Sekä liimatut että mekaanisesti kiinnitetyt sivut auttavat jakamaan tuulikuormia. Mekaanisella kiinnityksellä ei ole vaikutusta kahden liimattuun reunaan kohdistuviin tuulikuormiin. /7/



Kuva 3. ETAG 002 mukaiset kiinnitysrakenteet. /8/

Mikäli mekaanisia kiinnikkeitä ei käytetä, tulee nelisivuisessa liimauksessa käyttää ETAG 002:n mukaisia rakenteita, jotka on esitetty kuvassa 3. Type I:ssä liimaliitos välittää tuulikuorman rakenteeseen. Omaa painoa varten rakenteessa on mekaaninen tuki, joka välittää lasin painon rakenteeseen. Lisäksi rakenteessa on erillinen mekaaninen rakenne kiinnityksen varmistamiseksi. Type II toimii samalla periaatteella kun Type I, mutta siinä ei ole erillistä mekaanista rakennetta kiinnityksen varmistamiseksi. Type III:ssa liimaliitos välittää tuulikuorman sekä lasin oman painon rakenteeseen. Kuten Type I:ssä, myös Type III:ssa on kiinnitys varmistettu erillisellä mekaanisella rakenteella. Type IV:ssä liimaliitos siirtää kaikki

kuormat rakenteeseen ja siinä ei ole erillistä mekaanista rakennetta kiinnityksen varmistamiseksi. Kaikkien sivujen ollessa liimattuna silikoniliima pystyy välittämään kuormia tehokkaammin ja tasaisemmin. Nelisivuisessa liimauksessa lasin lämpötila jakautuu tasaisemmin jolloin saavutetaan ideaalinen lämpötilajakautuma lasille ja lämpörasituksesta johtuva lasin rikkoutumisen riski pienenee. Nelisivuisessa liimauksessa rakenne on energiatehokkaampi, koska siinä ei ole ulkoisia metallisia osia, jotka toimisivat kylmäsiltoina. Lisäksi nelisivuisessa liimauksessa kaikki saumat ovat suljettuja. Samalla saadaan aikaan kehyksettömän näköinen ulkomuoto. /7, 8/

SG-lasituksessa käytettävät silikoniliimat ovat joko yksikomponenttisiä tai kaksikomponenttisiä liimamassoja. Yksikomponenttiset liimat kovettuvat ilman kosteuden vaikutuksesta ja kaksikomponenttiset liimat alkavat kovettua heti komponenttien sekoitusten jälkeen. Kovettumisnopeuteen vaikuttaa yksikomponenttisillä liimoilla lämpötila sekä ilman suhteellinen kosteus ja kaksikomponenttisillä liimoilla lämpötila. Liimasauman lämmittäminen kovettumisen nopeuttamiseksi ei ole suositeltavaa, koska se voi johtaa ilmakehien muodostumiseen. /7/

Yksikomponenttiset liimat ovat käyttövalmiita ja niiden levittäminen tapahtuu liimapyssyn tai -pumpun avulla. Kaksikomponenttisten liimojen komponentit yhdistetään sekoittimessa ja liiman levittäminen tapahtuu pumpun avulla. Komponenttien sekoituksessa tulee huolehtia komponenttien oikeasta sekoitussuhteesta, jotta saadaan aikaiseksi silikonimassan parhaimmat fysikaaliset ominaisuudet. /7/

Liimojen fysikaalisten ominaisuuksien kannalta tärkeää ovat tehtaan työpisteen olosuhteet. Työpisteen tulee olla mahdollisimman pölytön, mikä onnistuu parhaiten tehdasolosuhteissa. Lämpötilat, joissa liimasaumojen tehdään riippuvat valmistajasta. Liimattavien pintojen tulee olla kuivia ja ne täytyy puhdistaa pölystä, rasvasta, öljystä ja muusta mahdollisesta liasta siihen soveltuvalla puhdistusaineella. Puhdistetulle pinnalle levitetään adheesiota parantavaa pohjustusainetta. Asennuksen helpottamiseksi sekä oikean kokoisen ja tasaisen liimasauman saamiseksi on syytä käyttää välikenauhaa (*spacer tape*, ks. kuva 4). Tehtaalla valmistettavien lasituselementtien etuna on se, että ne voidaan valmistaa hallituissa olosuhteissa ja

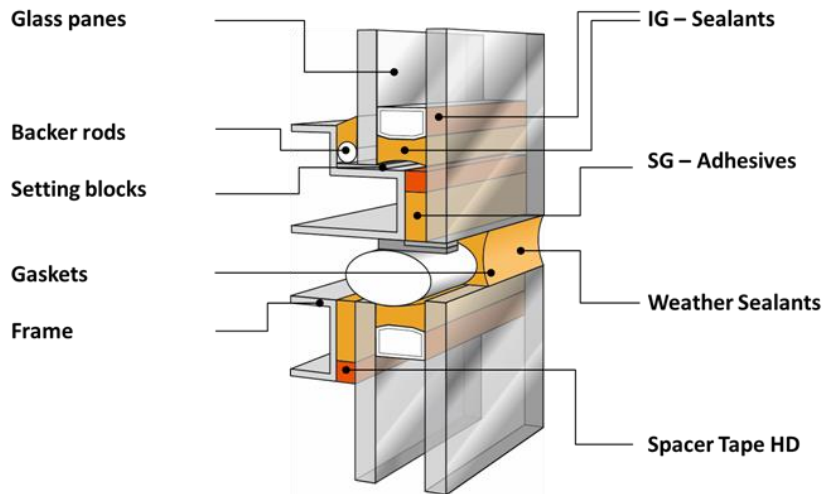
siirtää työmaalle asennusvaiheessa, jossa ne nosturin avulla asennetaan paikalleen. Rikkoutuneet elementit tulee aina korjata tehtaalla soveltuvampien olosuhteiden vuoksi, mutta elementit voidaan myös korjata irrottamatta elementtiä julkisivuverhouksesta. Mikäli elementti korjataan irrottamatta sitä, tulee korjattu elementti tukea väliaikaistuennalla, kunnes liima on kovettunut kauttaaltaan. Jos elementin lasi rikkoutuu kuljetuksen tai asennuksen aikana, tulee rikkoutunut lasi vaihtaa uuteen tehdasolosuhteissa, jossa olosuhteet ovat sopivammat. /9/

SG-lasituksessa käytettäviä silikoniliimoja ovat esimerkiksi Sikasil® SG-20 ja Sikasil® SG-500 ja SG-550, joista SG-20 on yksikomponenttinen ja SG-500 sekä SG-550 ovat kaksikomponenttisiä. Niiden käyttölämpötila on välillä -40 °C ... +150 °C. Liimasaumat voidaan tehdä lämpötilan ollessa +5 °C ... +40 °C, mutta optimilämpötila sauman tekoon on +15 °C ... +30 °C. Edellä mainituista liimoista SG-20 ja SG-500 täyttävät ETAG 002 ja EN 13022 vaatimukset ja SG-550 täyttää ETAG 002 sekä EN 15434 vaatimukset. Kaikki edellä mainitut liimat ovat CE-merkittyjä. /7, 9/

2.2 IG-lasitus

IG-eristyslasipaketti (*insulating glazing*) koostuu kahdesta tai kolmesta lasilevyystä, jotka on liimattu kaasutiiviiseen välilistaan. Välilista varmistaa lasilevyjen välille oikean etäisyyden. Optimi lasiväli on kolmilasille 19 – 20 mm ja kaksilasille 15 – 16 mm. Lasien välitila on täytetty ilmalla tai täytekaasulla. Välilista voi olla muovista, alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu ja sen sisällä on kosteutta sitova kuivikeaine. Välilistan ja lasin välissä on sisempi tiivistys, joka estää kosteuden pääsyn välitilaan sekä minimoi täytekaasun vuotoa. Sisempi tiivistys tehdään yleensä polyisobuteenista. Ulomman tiivistysmassan tehtävänä on liittää lasilevyt yhteen sekä luoda mekaanista varmuutta ja toimia kosteuskulkuna. Ulompana tiivistysmassana käytetään siihen soveltuvaa IG-silikoniliimamassaa. SG-silikoniliima kiinnittää sisemmän tai ulomman lasin runkoon riippuen rakennetyypistä. IG-lasituksen rakenne on kuvattu kahdella tapaa kuvassa 4, ylempi on porrastettu IG-lasitus ja alempi symmetrinen IG-lasitus. IG-

lasitus on suositeltavaa toteuttaa mekaanisesti tuettuna, sillä tukemattomana saumalle kohdistuu liian suuret rasitukset. /7, 23/



Kuva 4. Havainnekuva IG-lasituksen kokoonpanosta. /7/

IG-lasituksen lämmön- ja ääneneristävyyttä voidaan parantaa täyttämällä lasilevyjen välitila ilmaa paremmin eristävällä kaasulla. IG-lasituksessa käytettäviä kaasuja ovat esimerkiksi argon, ksenon ja krypton, joista argon on eniten käytetty eristekaasu. Eristyslasin välitilan täyttö tapahtuu joko valmistuksen yhteydessä tai käsitäytönä. IG-lasituksen ongelmana on täytekaasun vuotaminen tiivisteiden läpi, jolloin lasielementin lämmöneristävyys huononee. Vuodon määrään vaikuttaa tiivistemassan läpäisevyys, massasauman paksuus sekä leveys. Lisäksi massauksen aikana tapahtuvat virheet sekä niistä aiheutuvat viat vaikuttavat vuodon suuruuteen. Ongelmana IG-lasituksissa on myös lämpötilavaihtelujen ja ilmanpaineen aiheuttama lasien taipuminen sekä polyisobuteenin venymättömyys, jotka aiheuttavat vuotoa sisemmästä tiivisteestä. /7, 10, 11/

IG-lasituksen silikoniliimamassoina voidaan käyttää yksikomponenttisiä tai kaksikomponenttisiä silikoniliimamassoja. Yksikomponenttiset liimamassat kovettuvat ilman kosteuden vaikutuksesta ja kaksikomponenttiset alkavat kovettumaan heti komponenttien sekoituksen jälkeen. IG-silikoniliimamassojen kovettumisen nopeuteen vaikuttavat yksikomponenttisillä ja kaksikomponenttisillä liimamassoilla samat tekijät kuin SG-silikoniliimamassoilla. /7/

IG-liimaliitos tulee tehdä tehtaalla ja siihen pätevät samat ohjeet kuin SG-liimaliitosten tekoon. Pintojen täytyy olla kuivat ja ne täytyy puhdistaa liasta sopivalla puhdistusaineella. Adheesion parantamiseksi käytetään pohjustusainetta. Lämpötila, jossa silikoniliimoja voidaan käyttää, riippuu valmistajasta. Yksikomponenttisten IG-liimamassojen levitys tapahtuu liimapyssyllä tai -pumpulla. Kaksikomponenttisten IG-liimamassojen sekoitus tapahtuu siihen soveltuvalla sekoittimella ja levitys pumpulla. Toimivan liimasauman kannalta on tärkeää kiinnittää huomiota olosuhteisiin, materiaalien puhdistukseen, liiman levitysnopeuteen sekä kaksikomponenttisilla liimamassoilla oikeaan sekoitussuhteeseen. /7/

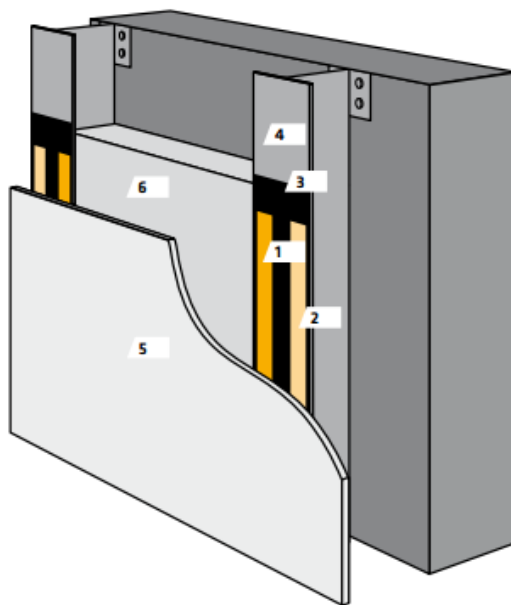
IG-lasitukseen soveltuvia liimamassoja ovat esimerkiksi Sikasil® IG-16 ja Sikasil® IG-25 HM Plus -silikoniliimamassat, joista IG-16 on yksikomponenttinen ja IG-25 HM Plus on kaksikomponenttinen. Ne soveltuvat sekä ilma- että kaasutäytteisiin IG-lasituksiin ja niiden käyttölämpötila on -40 °C ... +150 °C. Sikasil® IG-16 täyttää EN 1279-2, -3 ja -4 vaatimukset. Sikasil® IG-25 HM Plus on CE-merkitty ja se täyttää ETAG 002, EN 13022, EN 15434 sekä EN 1279-2, -3 ja -4 vaatimukset. /7/

2.3 Paneelien liimaus tuulettuvissa julkisivuissa

Tuulettuva julkisivu on julkisivurakenne, jossa julkisivupinnan takana on yhtenäinen tuuletusväli. Ulkoverhouksen tehtävä on suojata kantavaa seinää sateelta. Tuuletusväli kuivattaa rakennetta ja sen avulla tuuletusväliin päässyt vesi ohjataan ulos rakenteesta. Vesi ei myöskään pääse kondensoitumaan materiaalien pinnalle. Tuulettuvan julkisivun rakenneosia ovat kantavaan runkoon kiinnitettävät kiinnitysrankat, kiinnitysrankoihin kiinnitettävät julkisivupaneelit, rankojen väliin asennettavat lämmöneristeet sekä tuulensuojalevy. Tuulettuva julkisivu voidaan asentaa myös vanhan julkisivurakenteen päälle.

Julkisivupaneelin kiinnitys tapahtuu joko näkyvillä kiinnikkeillä tai piilokiinnikkeillä. Näkyviä kiinnikkeitä ovat esimerkiksi niitti-, ruuvi- ja profiilikiinnitykset. Niitti- ja ruuvi kiinnityksessä julkisivupaneeliin täytyy esiporata reiät kiinnitystä varten. Niitit ja ruuvit jäävät näkyviin ja ruostuessaan ne värjäävät julkisivun pintaa. Liimakiinnitys on yksi piilokiinnitystavoista ja sen etuina ovat sen nopea

asennus, liimojen elastisuus, kustannustehokkuus sekä sillä saavutettava siisti ja tasainen julkisivupinta ilman mekaanisia kiinnikkeitä. Liimojen elastisuus sallii rakenteiden lämpötilan sekä kosteuden vaihteluista ja tuulesta aiheutuvat liikkeet, jolloin pakkovoimia ei synny. Liima myös estää galvaanisen korroosion, jolloin ruostealumia ei synny. Liimat voivat olla esimerkiksi polyuretaanimuovi- tai silikonipohjaisia, joista silikonipohjaisilla liimamassoilla on paremmat lämmön- ja palonkesto-ominaisuudet. Liiman ja julkisivulevyn yhteensopivuus on testattava tapauskohtaisesti, jotta voidaan varmistaa liiman ja levyn välille riittävä adheesio-
lujuus. Lisäksi on syytä käyttää saman liimavalmistajan muita tuotteita yhteensopivuuden varmistamiseksi. /12–14/



Kuva 5. Esimerkkirakenne tuulettuvasta liimakiinnitysjärjestelmästä. /13/

Esimerkkirakenne liimakiinnitysjärjestelmästä on esitetty kuvassa 5. Rakenne koostuu liimamassan kanssa yhteensopivasta julkisivupaneelistä (5), kiinnitysrangoista (4), liimakiinnitysjärjestelmän liimamassasta (1), asennusteipistä (2), pohjustusaineesta (3) ja rankojen väliin asennettavasta lämmöneristeestä (6). /13/

Liimakiinnitysjärjestelmänä voidaan käyttää esimerkiksi SikaTack® Panel-50 -liimausjärjestelmää, johon kuuluu yksikomponenttinen SikaTack® Panel-50-silikoniliimamassa, SikaTack® Panel-asennusteippi, SikaTack® Panel Primer-

pohjustusaine ja Sika® Aktivator-aine. Käyttölämpötila SikaTack® Panel-50-liimamassalle on -40 °C ... +150 °C. Suositeltava asennuslämpötila SikaTack® Panel-50 -liimausjärjestelmälle on +15 °C ... +25 °C. Työmaaolosuhteissa tähän ei kuitenkaan aina päästä, joten liimaliitos voidaan tehdä lämpötilan ollessa välillä +5 °C ... +40 °C. Ilman suhteellisen kosteuden täytyy olla alle 75 %, eikä lämpötila saa pudota alle +5 °C viiden tunnin aikana. Kondensaation välttämiseksi liimattavien osien lämpötilan täytyy olla vähintään 3 °C yli kastepisteen. Liimattavien pintojen täytyy olla puhtaita, pölyttömiä eikä niissä saa olla rasvaa, öljyä tai muuta likaa. Joillain materiaaleilla, kuten korkeapainelaminaatilla ja komposiittipaneelilla, pintojen hiominen voi olla tarpeellista. Parempien olosuhteiden luomiseksi rakennus voidaan myös huputtaa, jolloin liimaliitos voidaan toteuttaa säältä suojatuissa olosuhteissa. /13, 15/

Pintojen puhdistuksen ja hiomisen jälkeen liimattaville pinnoille levitetään Sika® Aktivator-ainetta, jonka tehtävänä on parantaa adheesiota. Sen annetaan vaikuttaa 10 minuuttia, jonka jälkeen liimattaville pinnoille levitetään SikaTack® Panel Primeria, joka parantaa adheesiota ja varmistaa liimaliitoksen kestävyuden. Primerin annetaan vaikuttaa 30 minuuttia, jonka jälkeen kiinnitysrangan asetetaan SikaTack® Panel-asennusteippi. SikaTack® Panel-50-silikoniliima levitetään liimapyssyn avulla vähintään 5 mm:n päähän asennusteipistä ja kiinnitysrangan reunasta. Tämän jälkeen asennusteipistä poistetaan suojateippi ja liimattava paneeli asetetaan oikealle kohdalle ja painetaan kiinni asennusteippiin. SikaTack® Panel-asennusteippi pitää paneelin paikallaan liiman kovettumisvaiheessa. Liimakiinnitysjärjestelmä voidaan asentaa joko työmaalla tai käyttää valmiiksi tehtaalla paneelisiin liimattuihin profiileihin. /13/

2.4 Säasaumaus

Julkisivusaumauksessa käytettävän saumausmassan (*weather sealant*, ks. kuva 4) täytyy sallia lämpöliikkeistä ja muista rasituksista aiheutuvat elementtien liikkeet sekä kestää UV-säteilyä, lämpövaihteluita ja vaihtelevia sääolosuhteita. Säasaumaus on eri asia kuin liimakiinnitys, sillä saumaus ei siirrä voimia rakenteeseen. Ominaisuuksien puolesta silikonipohjaiset saumausmassat sopivat hyvin ulko-

saumauksiin, sillä ne kestävät säätä, auringon UV-säteilyä ja kosteutta sekä absorboivat joustavuutensa takia hyvin elementtien liikkeitä. Julkisivun ulkonäön kannalta täytyy kiinnittää huomiota siihen, etteivät saumaussmassat tahraa julkisivupintoja, kuten joitain luonnonkiviä tai itsepuhdistuvia laseja. Paloluokitelluissa julkisivuissa tulee käyttää niihin soveltuvia saumaussmassoja. /7/

Saumaussmassat tulee testata projektikohtaisesti muiden käytettävien materiaalien kanssa yhteensopivuuden ja riittävän adheesion varmistamiseksi. Saumattavien pintojen täytyy olla puhtaita ja kuivia eikä niissä saa olla öljyä, rasvaa tai pölyä. Saumauksessa täytyy noudattaa valmistajan ohjeita materiaalien esikäsitteystä sekä saumauslämpötilasta. Mikäli saumaus toteutetaan talviolosuhteissa, täytyy saumauksessa noudattaa valmistajan talvisaumausohjetta. /7/

SG-lasituksen sääsaumaukseen soveltuvia saumaussmassoja ovat esimerkiksi yksikomponenttiset Sikasil® WS-355 sekä Sikasil® WS-605 S. Saumaussmassoista WS-355 soveltuu käytettäväksi luonnonkivipintojen kanssa, sillä se ei aiheuta tahraantumista luonnonkiviin. WS-605 S soveltuu käytettäväksi lasi- ja metallipintojen kanssa. Paloluokiteltuihin julkisivuihin soveltuu Sikasil® FS-665 saumaussmassa. Se on luokiteltu standardin BS476-20 mukaan neljän tunnin palonkestolle ja standardin DIN4102 mukaan syttyvyysluokkaan B1. Mainitut saumaussmassat ovat CE-merkittyjä ja täyttävät EN 15651-1 sekä -2 vaatimukset. /7/

Sikasil® WS ja FS saumaussmassojen käyttölämpötila on $-40\text{ °C} \dots +150\text{ °C}$. /7/ Sääsaumaus voidaan suorittaa lämpötilan ollessa $+5\text{ °C} \dots +40\text{ °C}$, mutta optimilämpötila sääsaumaukselle on $+15\text{ °C} \dots +25\text{ °C}$. Sääsaumauksen aikana on kiinnitettävä huomiota siihen, että ympäröivän ilman lämpötilan tulee olla koko saumauksen ajan 3 °C yli kastepisteen. /7, 16/

3 LIIMATTAVAT JULKISIVUMATERIAALIT

3.1 Alumiini

Hyvän korroosionkestävyyden takia alumiini soveltuu hyvin käytettäväksi julkisivuissa. Sen korroosionkestävyys johtuu alumiinin ja ilman välisestä reaktiosta. Alumiinin ollessa kosketuksissa ilman kanssa sen pinnalle muodostuu 0,01 – 0,02 µm paksu oksidikerros, joka suojaa alumiinilevyä. Alumiinia käytettäessä on rakenteesta tehtävä tuulettuva oksidikerroksen muodostumista varten. Alumiini kestää yleensä hyvin happamia olosuhteita sekä suolaista meri-ilmastoa sekä se on kevyttä ja helposti muotoiltavaa. Käytettäessä alumiinia julkisivussa tai runkorakenteessa on otettava huomioon alumiinin lämpölaajenemiskerroin $24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, joka on suurempi kuin teräksen. /8, 17, 18/

Alumiinin korroosionmuotoja ovat pistekorrosio, piilokorroosio, galvaaninen korrosio ja jännityskorroosio. Pistekorrosiota syntyy kloridisuolojen vaikutuksesta ja sitä esiintyy lähinnä maassa ja vedessä olevien rakenteiden kanssa heikentäen niiden lujuutta. Ilman kanssa vaikutuksessa olevien alumiinimateriaalien lujuuteen pistekorrosio ei vaikuta merkittävästi. Piilokorroosiota esiintyy kohdissa, jotka ovat pitkään kosketuksissa esimerkiksi puun tai lämmöneristeen kanssa. Vedessä toistuvasti makaavat kohdat tai alumiinin pinnalla olevat epäpuhtaudet estävät kosteuden haihtumisen ja ovat herkkiä syöpymiselle. Galvaanista korroosiota esiintyy, kun alumiini on vaikutuksessa sähkökemiallisessa jännitesarjassa jalomman metallin kanssa. Tällainen metalli on esimerkiksi kupari. /18/

Alumiinin ollessa kosketuksissa raudan tai teräksen kanssa on syöpyminen vähäistä, mutta alumiini tulisi silti suojata niiden väliseltä kosketukselta. Poikkeuksena on ruostumaton teräs, joka ei aiheuta galvaanista korroosiota ollessaan kosketuksissa alumiinin kanssa. Jännityskorroosiota esiintyy hitsatuissa, taivutetuissa tai vedettyinä olevissa rakenneosissa, jotka ovat sinkkiseostettuja alumiiniseoksia. Tavalliset alumiiniseokset eivät ole herkkiä jännityskorroosiolle. /18/

Alumiinin pintakäsittely ei ole korroosionkestävyyden kannalta välttämätöntä. Pintakäsittelyllä pystytään vaikuttamaan pinnan ulkonäköön sekä sen käytön kannalta merkittäviin ominaisuuksiin. Julkisivuissa käytettävät alumiinilevyt anodisoidaan tai polttomaalataan. Anodisoinnissa alumiinin pinnalle muodostuu tiivis, kova, kiinni pysyvä ja kulutusta kestävä pinta. Mikäli alumiinia halutaan värjätä, alumiinilevy voidaan normaalianodisoinnin jälkeen värjätä elektrolyyttisellä värjäyksellä. Elektrolyyttisellä värjäyksellä saadaan aikaan valoa kestävä värjäys, joskin värisävyjä on vähän tarjolla. /18/

3.2 Keramiikka

Keraaminen laatta on savesta valmistettu poltettu laatta, johon voidaan lisätä lisäaineita. Keraamisia laattoja on usein käytetty betonielementtijulkisivuissa, mutta suurikokoisia laattoja voidaan käyttää tuulettuvissa julkisivurakenteissa. Tällöin suurin laattakoko 8 millimetrin paksuiselle laatalle on 1200x1200 mm². /17, 19/ Keraamiset laatat jaetaan kuvan 6 mukaisesti käyttökohteisiin vedenimukyyn mukaan:

A1a, B1a soveltuu ulkotiloihin ·

A1b, B1b soveltuu osittain ulkotiloihin

A1Ia, B1Ib soveltuu sisätiloihin

A1II, B1II soveltuu sisätiloihin.

Laattatyyppi	Ryhmä I		Ryhmä IIa	Ryhmä IIb	Ryhmä III
Vedenimukyky (E) %	E < 0,5	0,5 ≤ E ≤ 3	3 < E ≤ 6	6 < E ≤ 10	E > 10
Märkäpuristetut laatat, ryhmä A	Ryhmä A1a	Ryhmä A1b	Ryhmä A1Ia-1 Ryhmä A1Ia-2	Ryhmä A1Ib-1 Ryhmä A1Ib-2	Ryhmä A1II
Kuivapuristetut laatat, ryhmä B	Ryhmä B1a	Ryhmä B1b	Ryhmä B1Ia	Ryhmä B1Ib	ryhmä B1II
Muu valmistustapa, ryhmä C		Ryhmä C I	Ryhmä C IIa	Ryhmä C IIb	Ryhmä C III

Kuva 6. Laattatyyppien jaottelu. /19/

Täysin sintraantuneita laattoja (ryhmä BIa) voidaan käyttää julkisivuissa. Mitä sintraantuneempi laatta, sitä tiiviimpi ja säänkestävämpi laatta on. Täysin sintraantuneen eli porcellanatolaatalla ei ole käyttörajoituksia ja sen vedenimukyky on alle 0,5 %. Porcellanatolaatta voidaan valmistaa joko lasitettuna tai lasittamattomana. /19/

Kuivapuristetut klinkkerilaatat (ryhmä BIb) soveltuvat osittain ulkotiloihin. Ulkotiloissa käytettävien klinkkerilaattojen vedenimukyky saa olla enintään 1 %. Ulkotiloissa käytettäviä klinkkerilaattoja on saatavilla himmeä- ja kiiltävälasiitteisina. /19/

Suunniteltaessa keraamisista laatoista tehtyä julkisivua on otettava huomioon auringon säteilyn aiheuttamat lämpörasitukset. Keraamiset laatat kestävät yleensä äkillisiä lämpötilanvaihteluita, joita voi esiintyä julkisivuissa. Laattojen lämpötilan vaihtelun kestävyys testataan standardin EN ISO 10545-8 mukaan. Pakkaskestävyys täysin sintraantuneilla laatoilla ja ulkokäyttöön soveltuvilla kuivapuristetuilla klinkkerilaatoilla on hyvä. Näiden laattojen pakkaskestävyys perustuu niiden pieneen vedenimukykyyn. Keraamisten materiaalien lämpölaajenemiskerroin on $4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. /12, 19/

3.3 Komposiitti

Komposiittilevyt koostuvat tavallisesti väliainekerroksesta sekä kahdesta metallilevystä. Levyn paksuus vaihtelee valmistajan mukaan. Väliainekerroksen materiaali vaikuttaa komposiittilevyn palo-ominaisuuksiin. Levyn pinta voi olla maalattu, ruostumatonta tai haponkestävää terästä tai muuta metallia. Myös elektronisesti kovetettua akryyliä ja murskattua luonnonkiveä voidaan käyttää pintamateriaaleina. Polymeerikomposiittilevyjen lämpölaajenemiskerroin vaihtelee välillä $20 - 30 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ /12, 17/

Esimerkiksi Steni-julkisivulevyjen ydin on murskattua kalkkikiveä ja niiden EN 13501-1 mukainen paloluokka on B-s1,d0. Reynobond-alumiinikomposiittilevyjä on saatavilla FR-laatuna, jonka EN 13501-1 mukainen paloluokka on B-s1,d0 ja palamattomana A2-laatuna, jonka paloluokka on A2-s1,d0. /20, 21/

3.4 Korkeapainelaminaatti

Korkeapainelaminaatti koostuu pintamateriaalista ja ytimestä. Korkeapainelaminaatti valmistetaan liittämällä levymateriaali laminaatin runkoon. Korkeapainelaminaatin ydin voi olla puupohjainen, mineraalilevy, kennorakenteinen, metallilevy, muovimateriaalia tai orgaanista tai epäorgaanista materiaalia. Korkeapainelaminaattien lämpölaajenemiskerroin on $20 - 25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ valmistajasta riippuen. /12, 22/

3.5 Kuitusementtilevy

Julkisivujen kuitusementtilevyjen koostumus muodostuu enimmäkseen sementistä ja täyteaineista, joita on noin 90 %. Kuitusementin elastisuutta, säänkestävyyttä ja palonkestävyyttä parannetaan pienillä määrillä lisäaineita. Kuitusementtilevy on hengittävä ja palamaton julkisivumateriaali. Kuitusementtilevyjen paksuus julkisivukäytössä vaihtelee välillä 8 – 16 mm ja sen lämpölaajenemiskerroin on $5 - 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ valmistajasta riippuen. /12, 17/

Kuitusementtilevyjä voidaan valmistaa myös valkosementistä tai siihen voidaan lisätä väriaineita, jolloin saadaan aikaiseksi tasainen vaalea väri ja levy voidaan jättää pinnoittamatta. Kuitusementtilevyn eri pintakäsittelyjä ovat esimerkiksi polyuretaanimaalaus, akrylaattimaalaus ja levyjä saa myös kivisirotepinnoitteella. Työmaalla levyt voidaan asennuksen jälkeen maalata tai kevytrapata. Pinnoittamaton levy käyttäytyy sateessa samalla tavalla kuin betoni. /17/

3.6 Lasi

Rakentamisessa eniten käytetty lasityyppi on float-lasi eli tasolasi. Muita käytettäviä lasityyppejä ovat karkaistu lasi ja laminoitu lasi. Float-lasi valmistetaan hiekasta, soodasta ja kalkkikivestä ja siihen lisätään dolomiittia ja maasälpää sekä se on useimpien jalostettujen lasituotteiden perusta. Float-lasi valmistetaan floatmenetelmällä, jossa sula lasi levitetään sulan tinakylvyn päälle lasinauhaksi, joka jäähdytetään ja leikataan halutun kokoisiksi levyiksi. Lopputuloksena on sileäpintainen, läpinäkyvä ja tasapaksuinen lasi. Julkisivuissa käytettävän lasin paksuus on yleensä 4 – 12 mm. Float-lasin huonoina puolina julkisivukäytössä ovat sen

rikkoutumistapa sekä huono lämmön- ja ääneneristävyys. Rikkoutuessaan float-lasi hajoaa suuriksi kappaleiksi, jotka aiheuttavat pudotessaan vaaran ohikulkijoille. /23/

Karkaistu lasi valmistetaan float-lasista kuumentamalla, jonka jälkeen lasi jäähdytetään nopeasti. Kuumennuksen aikana lasi pehmenee sekä lasissa olevat jännitykset katoavat. Jäähdyttäessä lasin pintaosiin syntyy puristusjännitys ja keskiosaan vetojännitys. Lämpökarkaisu parantaa lasin kuormituskestävyyttä sekä pienentää lämpöjännityksestä johtuvan hajoamisen riskiä. Lämpökarkaisulla ei ole vaikutusta valonläpäisevyyteen, läpinäkyvyyteen, pintakovuuteen tai naarmuuntumattomuuteen. Hajotessaan karkaistu lasi hajoaa pieniksi muruiksi, jotka eivät ole teräviä kuten tavallisen float-lasin sirpaleet. /23/

Laminoitu lasi valmistetaan laminoimalla kaksi float-lasia kiinni muovikalvoon, joka on yleensä PVB-kalvo (*polyvinylbutural*). Lämmittämällä muovikalvoa sekä lasipaneeleja riittävässä lämpötilassa saadaan aikaiseksi muovikalvon kiinnittyminen laseihin. Tämän jälkeen lasi siirretään autoklaaviin, jossa suuren paineen ja lämpötilan avulla muovikalvo sulaa kiinni laseihin. Laminointi ei vaikuta lasin optisiin ominaisuuksiin sekä se pienentää UV-läpäisyä enintään 2 %. Rikkoutuessaan laminoitu lasi rikkoutuu kuten tavallinen float-lasi, mutta muovikalvon ansiosta sirpaleet jäävät muovikalvoon kiinni, eikä niistä ole vaaraa ohikulkijoille. /23/

Lasin ominaisuuksia auringon säteilyä vastaan voidaan parantaa esimerkiksi pinnoittamalla. Lasi voidaan pinnoittaa esimerkiksi metallioksidikerroksella, jolloin auringon pitkäaalton säteily heijastuu pinnoitteesta. Lasit pinnoitetaan joko on-line-tekniikalla tai off-line-tekniikalla. On-line-pinnoitteiden lisääminen tapahtuu valmistusprosessin aikana lasin ollessa kuumaa ja off-line-pinnoitteet lisätään valmistusprosessin jälkeen. Off-line-pinnoitetut lasit läpäisevät paremmin valoa sekä niissä on parempi selektiivisyys ja lämmöneristävyys kuin on-line-pinnoitetuissa. On-line-pinnoitettujen lasien käsiteltävyys ja työstettävyys on kuitenkin helpompaa kuin off-line-pinnoitettujen. Molemmilla tekniikoilla pinnoitet-

tuja laseja saa karkaistuina ja laminoituina. Lasin lämpölaajenemiskerroin on $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. /8, 23/

3.7 Luonnonkivet

Julkisivuissa käytettävien luonnonkivilaattojen koko on tavallisesti alle 1 m^2 . Yli 1 m^2 :n kokoisia laattoja ei suositella käytettäväksi niiden vaikeamman käsittelyn takia. Luonnonkivilaatan sivumittojen suhde saa olla enintään 1:4, pienimmän suositeltavan sivumitan ollessa 300 mm ja suurimman 1500 mm. Kivilaatan paksuuteen vaikuttavat laatan koko, kivilajin lujuus ja eheys, laatan pintakäsittely sekä sille kohdistuva kuormitus. Julkisivulaatan paksuus riippuu käytettävästä kivilajista. 30 mm paksuista ehyttä ja lujaa kiveä käytettäessä verhouslaatoille saadaan yleensä hyvä rakenteellinen varmuus. /17, 24/

Julkisivuissa käytettäviä kivilajeja ovat graniitti ja muut syväkivilajit, kalkkikivet, marmorit ja kalsiitti-iskosteiset hiekkakivet, kvartsihiekkakivet, vuolukivi sekä liuskeet. Graniitti sekä muut syväkivilajit ovat eniten käytettyjä julkisivukiviä niiden fysikaalisten ominaisuuksien ja säänkestävyyden vuoksi. Kalkkikivien, kalsiitti-iskosteisten hiekkakivien ja marmorien käyttö julkisivuissa on nykyisin vähäistä niiden puutteellisen säänkestävyyden takia. Kvartsihiekkakivet sekä kvartsiitit soveltuvat yleensä julkisivukäyttöön, joskin huokoisempien kivilajien paksuudenkestävyys tulee tarkastaa. Vuolukivi soveltuu hyvin julkisivuun ja sen käyttö onkin lisääntynyt. Liuskeet ovat vielä harvinaisia julkisivumateriaaleja, mutta fysikaalisten ominaisuuksien ja säänkestävyyden puolesta ne sopivat hyvin julkisivuihin. Luonnonkiven pinta voi olla kiillotettu, hiottu, ristipäähakattu, poltettu, hiekkapuhallettu tai lohkopintainen kivilajista riippuen. Esimerkiksi vuolukivi ei sovellu kiillotettavaksi sen pehmeiden vuoksi. Pintakäsittely vaikuttaa kiven väriin, likaantumisalttiuteen sekä kostumisen näkymiseen kivessä. /24/

Lämpötilavaihteluiden aiheuttamat muodonmuutokset ovat luonnonkivillä suhteellisen pieniä, mutta ne tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Luonnonkivien lämpölaajenemiskerroin vaihtelee välillä $1 - 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ kivilajista riippuen. Äkilliset lämpötilamuutokset saattavat aiheuttaa joissain kivilajeissa käyritystä. Esimerkiksi eräät tiiviit marmorit voivat kylmässä ilmastossa kaareutua niin,

että palautumisen sijaan kaareutuminen jatkaa kasvua. Kaareutuminen vaikuttaa marmorin lujuuteen ja kimmoisuuteen. Myös toispuolinen kastuminen aiheuttaa tietyissä marmoreissa käyritystä. /12, 17, 24/

3.8 Teräs

Puhtaan teräksen huonosta korroosionkestävyydestä johtuen yleisimmät julkis-
vuissa käytettävät teräkset ovat sinkittyjä, maalattuja, maalipinnoitettuja, säänkes-
täviä tai ruostumattomia teräksiä. Teräksen orgaanisia pinnoitteita ovat PVC-
plastisoli, polyuretaani, PVDF ja polyesteri. Kuumasinkittyjen teräksien sinkki-
pinnoitteiden paksuus ulkoilmassa on yleensä joko noin 25 µm molemmin puolin
tai pinnoitetta käytettäessä 20 µm molemmin puolin. 25 µm paksuisella kuuma-
sinkityksellä saavutetaan hyvä perusta korroosionkestävyydelle, mutta kaupunki-
olosuhteissa levy tulee maalata ilmastossa olevien rikkiyhdisteiden takia, sillä ne
syövyttävät sinkkikerrosta. Sinkkipinnoitteen paksuuteen vaikuttavat käyttöikä
sekä ilmasto-olosuhteet. Sinkkiseospinnoitetun teräksen pintakäsittelyä käytetään
tuotestandardin EN 10346 mukaisia metalliseoksia, joissa on sinkin lisäksi 5 % tai
55 % alumiinia. Sinkkiseospinnoitetun teräksen kerrospaksuuden tulee vastata
kuumasinkittyjen ohutlevyjen sinkkikerrosta. Korroosiota sinkityille teräksille
kaupunki- ja teollisuusolosuhteissa olevien rikkiyhdisteiden lisäksi aiheuttavat
voimakkaat hapot, emäksiset aineet, kuuma vesi ja höyry, meri-ilmastosta sekä kupa-
riyhdisteet. Teräksen korroosionmuotoja ovat ilmastollinen korroosio, rakokorroo-
sio, pistekorroosio, galvaaninen korroosio, tummuminen ja valkoruoste. /25, 26/

Korroosionkestävyys ruostumattomilla teräksillä pohjautuu teräksessä olevaan
kromiin, jota täytyy olla vähintään 10,5 %. Kromin reagoitessa ilmassa olevan
hapen kanssa syntyy levyn pinnalle kromioksidikerros, joka suojaa terästä. Kro-
mioksidikerroksen vaurioituessa se uusiutuu tavallisesti itsestään. Yleisimmin
käytetyt ruostumattomat teräkset ovat austeniittisiä teräksiä, joissa on kromin li-
säksi hiiltä ja nikkeliä. Tällainen austeniittinen teräs kuitenkin syöpyy meri-
ilmastossa, jolloin tulee käyttää molybdeeniseosteista austeniittista teräslajia, jota
kutsutaan myös haponkestäväksi teräkseksi. Molybdeeni parantaa teräksen kor-

roosionkestävyyttä. Ruostumattomia teräksiä käytetään yleensä sellaisinaan ilman erillistä pinnoitusta. Teräksen lämpölaajenemiskerroin on $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. /12, 25/

4 KORKEAN RAKENTAMISEN VAATIMUKSET SUOMESSA

4.1 Käyttöikä

Rakenteelle määritetään käyttöiän tavoite, jonka rakenteen tulee saavuttaa. Suunniteltuun käyttöikään vaikuttavat esimerkiksi sijainti, rasitusolosuhteet, käytettävät materiaalit sekä huollettavuus. Rakenne tulee suunnitella siten, että se kestää suunnitellun käyttöikänsä ajan ne kuormat ja rasitukset, jotka sille kohdistuu sen toteutuksen ja käytön aikana sekä säilyy käyttökelpoisena. Palotilanteessa rakenteen täytyy kestää määrätyn ajan eikä esimerkiksi räjähdys saa vaurioittaa rakennetta suhteettoman paljon. /12, 27/

Taulukko 1. EN 1990 mukaiset käyttöiän luokat ja käyttöiät. /27/

<u>Rakenteen suunnitellun käyttöiän luokka</u>	<u>Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)</u>
1	10
2	10...25
3	15...30
4	50
5	100

Taulukossa 1 on esitetty standardin EN 1990 mukaiset käyttöiän luokat sekä niiden vaikutus suunniteltuun käyttöikään. Luokkaan 1 kuuluvat tilapäisrakenteet, luokkaan 2 vaihdettavissa olevat rakenteen osat, luokkaan 3 maatalous- ja vastaavat rakenteet, luokkaan 4 talonrakennukset sekä muut tavanomaiset rakennukset ja luokkaan 5 monumentaaliset rakennukset kuten sillat. /27/

4.2 Julkisivun rasitukset

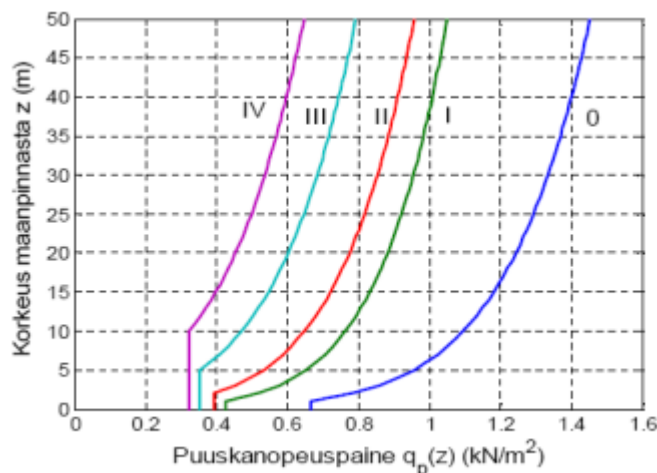
4.2.1 Kosteus

Julkisivulle kohdistuva merkittävin ulkopuolinen kosteusrasitus korkeassa rakentamisessa on sade. Oikein suunnitellussa julkisivussa saderasitus kohdistuu julkisivulle lähes aina viistoon, mutta välillä myös yläviistoon. Rakennuksen vaipan täytyy tällöin olla täysin vedenpitävä. Haitalliset määrät vettä tai kosteutta pääsevät rakenteeseen yleensä huonosti toteutettujen detaljien kautta. Rakenteeseen päässyt vesi tulee ohjata pois rakenteesta kosteusvaurioiden estämiseksi. Tuulettuvissa julkisivurakenteissa tuuletusrakoon joutunut vesi ja kosteus ohjataan painovoiman avulla pois rakenteesta. Huokoisissa materiaaleissa kosteus aiheuttaa rapautumista, metalleissa korroosiota sekä heikentää esimerkiksi liimojen ja saumausmassojen adheesio-ominaisuuksia. Lasijulkisivuissa on huomioitava, että vesihöyry ei pääse lasien välitilaan, sillä välitilassa vesihöyry kondensoituu vedeksi kylmän lasilevyn pinnalle. Joissain pintamateriaaleissa kosteus voi aiheuttaa myös kosteusliikkeitä, jotka tulee ottaa huomioon. /12, 17, 28/

Rannikolla julkisivuille kohdistuva viistosaderasitus on suurempaa kuin sisämaassa, sillä rannikolla tuulen voimakkuus on kovempi. Rannikolla myös kulkeutuu ilman mukana suolaa, joka aiheuttaa esimerkiksi metalleille korroosiota. /12, 28/

4.2.2 Tuuli

Julkisivun osien täytyy kestää tuulikuormasta aiheutuvat kuormat. Tuulettuvissa julkisivurakenteissa tuulikuorma aiheuttaa julkisivulevyille ja kiinnitysrangoille taiputuskuorman sekä kiinnitysrangoille kohtisuoran puristuksen seinäpintaa vasten. Liimoille tuulikuorma aiheuttaa puristusta ja värähtelyä sekä tuulen imu vetoa. Koska tuulella on vaikutus julkisivuun kohdistuvaan kosteusrasitukseen, on syytä kiinnittää huomiota rakenteen ilmatiiviyteen. /12, 28/



Kuva 7. Puuskanopeuspaineen määräytyminen korkeuden ja maastoluokan mukaan. /29/

Julkisivurakenteen mitoituksessa käytettävät tuulikuorman mitoitusarvot määritetään standardin EN 1991-1-4 mukaisesti, jota voidaan soveltaa enintään 200 metriä korkeille rakennuksille. EN 1991-1-4 mukaisella mitoituksella saatavat kokonaistuulikuormat voivat kuitenkin olla tarpeettoman suuria korkeissa rakennuksissa. Tuulenpaineen suuruuteen vaikuttavat rakennuksen muoto, korkeus sekä maastoluokka. Korkeuden vaikutuksen voi huomata kuvasta 7, josta nähdään korkeuden vaikutus puuskanopeuspaineeseen eri maastoluokissa. /12, 28, 30/

4.2.3 Pakkasrasitus

Kosteusrasituksille alttiit huokoiset materiaalit ovat taipuvaisia myös pakkasrasitukselle. Kun materiaalissa oleva vesi jäätyy, se laajenee ja aiheuttaa vetojännityksen materiaalin sisällä. Mikäli vetojännitys ylittää vetolujuuden, rapautuu materiaali pakkasen johdosta. Materiaaleissa, joihin vesi ei pääse tunkeutumaan, ei esiinny pakkasrapautumista. /12, 28/

4.2.4 Lämpösäteily

Auringon lämpösäteily aiheuttaa julkisivumateriaaleille lämpötilan muutoksista aiheutuvia lämpöliikkeitä. Etelään suuntautuvat julkisivut ovat voimakkaimman rasituksen alaisena. Myös julkisivun värillä on vaikutusta julkisivun lämpötilaan ja siten lämpöliikkeiden suuruuteen. Mustilla ja voimakkailla väreillä varustettu-

jen julkisivujen lämpötila nousee korkeammaksi kuin vaaleilla väreillä. Mikäli lasiverhouksien umpiosissa käytetään taustalla esimerkiksi tummaa tai mustaa tuulensuojalevyä, täytyy huomioida, ettei lämpötila saa nousta yli materiaalien sulamispisteen. Julkisivujen saumat sekä kiinnitys täytyy suunnitella niin, että ne sallivat julkisivulevyjen lämpöliikkeet. /12, 17, 28/

Lasijulkisivuissa lämpösäteily rakenteesta ulospäin voi viileinä ja kirkkaina öinä aiheuttaa kondenssia lasin ulkopintaan. Kondensoitumista tapahtuu, kun ulomaisen lasin lämpötila laskee alle ulkolämpötilan kastepisteen. Mikäli rakenne on suunniteltu oikein eikä kosteus pääse rakenteen sisälle, kondenssista ei ole muuta haittaa kuin näkyvyyden huonontuminen lasin läpi. Kirkkailla laseilla, joiden kokonaisläpäisevyys on suuri, lämpökuorma voi nousta erittäin suureksi vaikuttaen jäähdystarpeeseen sekä rakenteiden lämpötilaan ja lämpölaajenemiseen. /23, 28/

4.2.5 UV-säteily

Auringon UV-säteilyn vaikutukset ovat nähtävissä etenkin saumausmassoissa, tiivistenauihoissa sekä pinnoitteissa, joille se aiheuttaa halkeilua, hapertumista sekä värien haalistumista. UV-säteilyn vaikutusta liimamassoihin testataan standardien EN 15434 ja ETAG 002 mukaisilla testeillä. /12, 28/

4.3 Palomääräykset

Rakennuksen paloluokitus vaikuttaa rakennustarvikkeiden sekä rakennusosien vaadittaviin paloluokituksiin. Korkeat rakennukset kuuluvat vaativimpaan paloluokkaan P1, jossa ulkoseinä täytyy olla rakennettu pääosin A2-s1,d0-luokan (ks. luku 5.2) rakennustarvikkeista. Yli 56 metriä korkean rakennuksen ulkoseinän sekä tuuletusvälin ulkopinnan täytyy olla paloluokkaa A2-s1,d0. Julkisivuverhoilun kiinnitystarvikkeet voivat enintään 28 metriä korkeassa rakennuksessa olla vähäisissä määrin luokkaa D-s2,d2. Tätä korkeammille rakennuksille kiinnitystarvikkeiden luokitusta ei ole asetuksessa määritelty. /32/

Julkisivurakenne täytyy suunnitella ja rakentaa siten, että tulipalon syttyessä rakenteen voidaan olettaa kantavan tietyn ajan. Suunnittelussa tulee huomioida myös se, että savuntuotto ja palon leviäminen on rajoitettu rakenteessa tai vierei-

siin rakennuksiin. Julkisivuverhouksen laajojen osien tippumista palon aikana on myös rajoitettava. Lisäksi täytyy varmistaa, että paikallaolijat pystyvät poistumaan rakennuksesta turvallisesti tai heidät voidaan pelastaa muilla keinoin. Pelastusmiehistön turvallisuus täytyy myös ottaa huomioon. /8, 32/

5 LIIMOJEN VAATIMUKSET

5.1 Mekaaniset ominaisuudet

Rakenteellisissa lasituksissa käytettävien silikoniliimamassojen luontaisia ominaisuuksia testataan ETAG 002 ja EN 15434 -standardien mukaisilla testausmenetelmillä, joiden tarkoituksena on testata eri kuormitusten vaikutusta liimamassojen ominaisuuksiin. Testattavia ominaisuuksia ovat vetolujuus, leikkausjännityksen aiheuttama muutos, elastisuus, murtolujuus, väsyminen mekaanisen jaksottaisen kuorman vaikutuksesta sekä leikkauskuorman aiheuttama viruminen. /8, 31/

Täyttääkseen esimerkiksi standardien ETAG 002 ja EN 15434 vaatimukset tulee silikoniliimamassojen täyttää seuraavat vaatimukset: Murtuman pitää olla aina vähintään 90 % sisäistä eikä vetolujuuskokeen mukaisen keskimääräisen murtolujuusarvon saa olla alle 75 % alkuperäisestä 23 °C lämpötilassa suoritetusta arvosta, kun vetolujuuskoe suoritetaan -40 °C ja 80 °C lämpötiloissa. Vetolujuuskoe suoritetaan liimamassoille leikkausjännitys-, murtolujuus- ja väsymiskokeen yhteydessä. Huomioitavaa murtolujuuskokeessa on, ettei keskimääräinen murtolujuusarvo saa olla alle 50 % alkuperäisestä, jos liimamassaan ei ole lisätty mitään. Jos liimamassaan on lisätty esimerkiksi mekaaninen tuki, ei arvo saa olla alle 75 % alkuperäisestä. Elastisuuden keskiarvon tulee olla vähintään 95 % pitkäaikaisessa kuormituksessa. /8, 31/

Standardin EN 15434 mukaan silikoniliimamassat luokitellaan virumisluokkiin C1 tai C2 niiden virumistestin tulosten mukaan. Liimamassa kuuluu virumisluokkaan C1, jos 91 vuorokauden kuormituksen jälkeen muutos on stabiloitunut ja on enintään 1 mm sekä 24 tuntia kuorman poiston jälkeen maksimimuutos on enintään 0,1 mm. Liimamassat, jotka eivät täytä virumisluokan C1 vaatimuksia kuuluvat virumisluokkaan C2. Testausmenetelmät sekä täytettävät vaatimukset on esitetty tarkemmin standardeissa ETAG 002 ja EN 15434. /8, 31/

5.2 Palokäyttäytyminen

Liimamassat tulee luokitella paloluokkiin niin vaadittaessa. Luokittelu tapahtuu niiden palokäyttäytymisen mukaan standardin EN 13501-1 mukaisesti (ks. taulukko 2). Paloluokka kertoo rakennustarvikkeen syttyvyyden, savuntuoton sekä palavien pisaroiden muodostumisen. /31, 33/

Taulukko 2. Standardin EN 13501-1 mukainen jaottelu paloluokkiin. /34/

<u>Paloluokka</u>	<u>Selostus</u>
A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu paloon lainkaan.
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritelty.

Savuntuottoa ja palavien pisaroiden muodostumista ilmaistaan erillisin lisämäärein. Lisämääreet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Lisämääreet savuntuotolle sekä palavien pisaroiden muodostumiselle. /34/

<u>Lisämääre</u>	<u>Selostus</u>
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	Palavien osien tai pisaroiden tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

EN 13501-1 mukaisia koemenetelmiä rakennustarvikkeen paloluokituksen määrittämistä varten ovat palamattomuuskoe (EN ISO 1182), lämpöarvokoe (EN ISO 1716), yksittäisen palavan esineen koe (EN 13823) sekä syttyvyyskoe (EN ISO 11925-2). Käytettävien koemenetelmien laajuus riippuu palokäyttäytymisen tasosta. Vaadittavat koemenetelmät paloluokittain on esitetty standardissa EN 13501-1. Rakennustarvikkeiden palo-ominaisuuksia voidaan testata myös kansallisen standardin mukaisilla testeillä, kuten esimerkiksi saksalaisen standardin DIN 4102-1 mukaisella syttyvyyskokeella. Tällöin luokitus koskee vain kyseisen maan markkinoita. /33, 35/

5.3 Ympäristötekijöiden vaikutus

ETAG 002 sekä EN 15434 standardeissa on esitetty testausmenetelmiä, joilla pyritään selvittämään mahdollisesti silikoniliimamassojen kanssa vaikutuksessa olevien heikentävien aineiden vaikutusta rakenteellisissa lasituksissa käytettävien silikoniliimamassojen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Testattavia rasituksia ovat eri lämpötilojen vaikutus veto- ja leikkauslujuuteen, kosteus, UV-säteily, suolainen sekä rikkidioksidia sisältävä ilmasto, liimamassan kanssa kosketuksissa olevat muut materiaalit sekä julkisivun puhdistusaineet. Testausmenetelmissä liimamassat altistuvat samoille rasituksille kuin normaalissa käytössä. Testien laajuus riippuu rasituksien laajuudesta, joille liimasauma altistuu tavallisessa käyttötilanteessa. Testien toteutus on kuvattu ETAG 002 sekä EN 15434 -standardeissa. Täytäkseen standardien vaatimukset on testauksessa esiintyvän murtuman oltava vähintään 90 % liimamassan sisäistä. Keskimääräisen murtolujuusarvon ei saa olla alle 75 % alkuperäisestä. /8, 31/

5.4 Vesihöyryn ja kaasun läpäisy

Mikäli silikoniliimamassaa käytetään eristyslasien uloimpana tiivistysmassana, tieto liimamassan vesihöyryn ja kaasun läpäisevyydestä voidaan antaa. Eristyslasielementin kosteudentunkeutumisindeksin määrittäminen tapahtuu standardin EN 1279-2 mukaisesti. Viidellä kappaleella kosteudentunkeutumisindeksin keskiarvo ei saa ylittää 0,20 eikä korkeimman indeksin saaneen elementin arvo saa ylittää 0,25. Kaasutäytteisten eristyslasielementtien kaasuvuotonopeus määritetään stan-

dardin EN 1279-3 mukaisesti. Kaasutäytteisten eristyslaselementtien, joiden konsentraatio on suurempi kuin 15 % sekä ilmatäytteisten eristyslaselementtien vuotuisen kaasuhäviön tulee olla alle yhden prosentin. /31, 36, 37/

5.5 Yhteensopivuus kosketuksissa olevien materiaalien kanssa

Liimausmassan ja sen kanssa kosketuksissa olevan materiaalien kuten esimerkiksi saumausmassan tai tiivisteiden yhteensopivuus testataan standardin EN 15434 tai ETAG 002 mukaisella testausmenetelmällä joko UV-säteilylle altistettuna tai ilman. Testausmenetelmien kulku on kuvattu tarkemmin standardeissa EN 15434 ja ETAG 002. Täyttääkseen standardien vaatimukset ilman UV-säteilylle altistusta, ei liimamassassa saa esiintyä värimuutoksia eikä ominaismurtolujuuden saa olla alle 85 % alkuperäisestä. UV-säteilylle altistettuna ei värjäytymistä eikä materiaalien välisiä murtumia saa esiintyä vaatimusten täyttymiseksi. /8, 31/

6 LIIMOJEN OMINAISUUDET

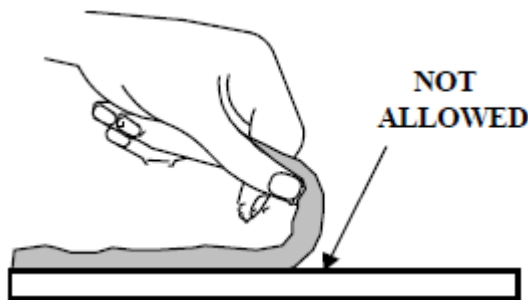
6.1 Pitkäaikaiskestävyys

SG-lasituksen ETAG 002 -standardi on kirjoitettu sillä oletuksella, että sen mukaisten rakenteiden tavoiteltu käyttöikä on 25 vuotta. Oletettua käyttöikää ei voida kuitenkaan pitää valmistajan tai hyväksyvän toimielimen antamana takuuna, vaan takuun myöntää tuotevalmistaja projektikohtaisesti. Koska silikoniliimojen ominaisuuksia ei pystytä testaamaan ainetta rikkomattomalla menetelmällä sen koivuutta lukuun ottamatta, ei voida olla varmoja adheesio-tilasta tavoitellun käyttöiän kuluttua. Ainoastaan testaus paljastaa adheesio-tilan. Projektin valmistamisen jälkeen adheesio-tila tulee tarkastaa valmistajan ohjeiden mukaisesti suunnitellun käyttöiän loppuun asti. Rakenteen käytön jatkaminen odotetun käyttöiän yli on rakennuksen omistajan vastuulla. Jatkettaessa rakenteen käyttöä käyttöiän yli, on suositeltavaa jatkaa adheesio-tilan testausta määräaikaisten tarkastuksien valmistajan suositusten mukaisin väliajoin. Liimasaumojen tila voidaan tarkastaa poistamalla julkisivusta yksi lasituselementti korvaten sen uudella elementillä. Tarkastetusta elementistä voidaan tarkastaa adheesio-tila sekä liimamassan ominaisuudet sekä arvioida jäljellä oleva käyttöikä sekä seuraavan tarkastuksen ajankohta. Vaihtoehtoisesti testaus voidaan suorittaa samoissa olosuhteissa varastoiduille elementeille. Tuulettuvissa julkisivuissa liimasauman tila voidaan tarkastaa poistamalla julkisivupaneeli ja testaamalla adheesio-tila. /8, 14, 39/

Liimasauman pitkäaikaiskestävyyden kannalta on tärkeää, että käytettävät materiaalit ovat yhteensopivia ja ne on testattu valmistajan toimesta vaadittavien standardien mukaisesti. Standardien kuten ETAG 002 mukaisten nopeutettujen ikään-tymistestien avulla saadaan selville eri rasiusten vaikutus liimojen ominaisuuksiin ja materiaalien väliseen adheesioon sekä varmistetaan materiaalien keskinäinen yhteensopivuus. Valmistajan suosittelemia esikäsittelyvaiheita on noudatettava asennusvaiheessa, jotta adheesiotestin tulokset ovat hyväksyttäviä. /7, 8, 15/

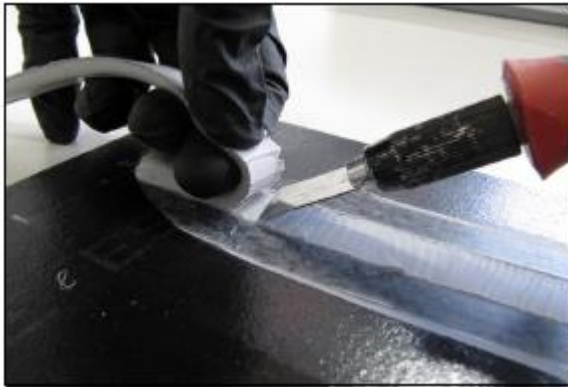
6.2 Adheesio- ja koheesiomurtuma

Adheesiolla tarkoitetaan kahden materiaalin välistä tartuntaa. Tilannetta, jossa esimerkiksi liima irtoaa riittämättömän tartunnan vuoksi julkisivumateriaalista, kutsutaan adheesiomurtumaksi. Liimaliitoksissa adheesiomurtumaa voi aiheuttaa liimattavien pintojen epäpuhtaudet, kosteus, vääränlaiset ympäristön olosuhteet liimaliitosta tehdessä, esikäsitteilyn aikaiset virheet tai niiden puuttuminen sekä materiaalien yhteensopimattomuus. Joissain tapauksissa liiman ja levyn pinnoitteen välinen tartunta on suurempi kuin pinnoitteen ja levyn välinen tartunta, jolloin pinnoitteen ja levyn välinen tartunta pettää. Riittävän adheesio- varmistamiseksi on syytä kiinnittää huomiota valmistajan tekemien adheesiotestien tuloksiin sekä huolellisiin esikäsitteilyvaiheisiin. Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty havainnollistava kuva adheesiomurtumasta. /7/



Kuva 8. Adheesiomurtuma. /8/

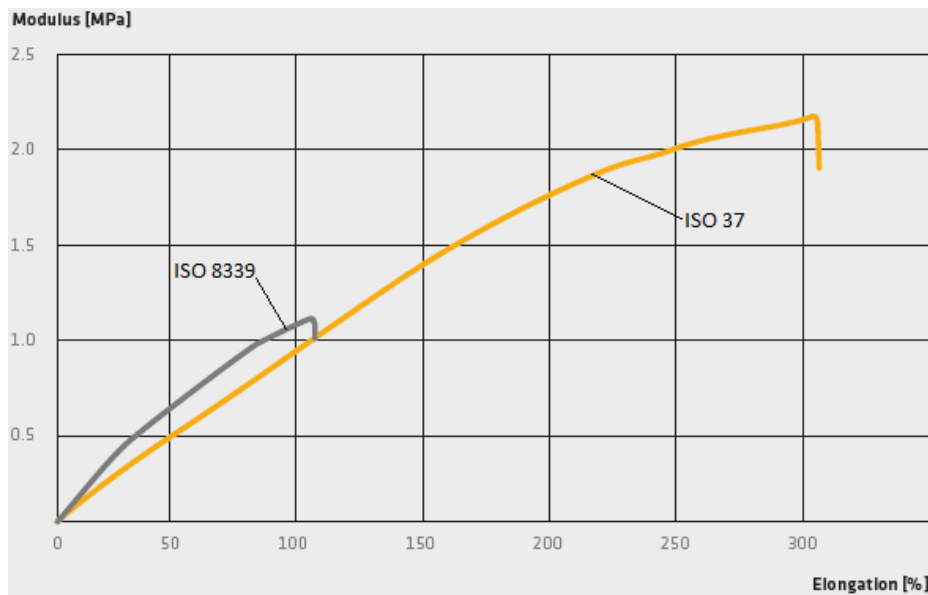
Koheesiolla tarkoitetaan liimamassan sisäistä voimaa, joka pitää liimamassan kassassa. Koheesiomurtumalla tarkoitetaan liimamassan sisäistä murtumaa, joka aiheutuu, kun liimamassaan vaikuttavat ulkoiset voimat ovat suuremmat kuin liimamassan sisäiset voimat. Koheesiomurtumaa edesauttavat esimerkiksi liimamassaan muodostuvat ilmakuplat sekä kaksikomponenttisillä liimamassoilla komponenttien väärä sekoitussuhde. Standardien mukaisissa adheesiotestauksissa esiintyvän murtumatyyppin tulee koheesiomurtumaa, jotta testattavaa rakennetta voidaan käyttää. Liimaliitoksissa adheesio- tulee siis olla suurempi kuin koheesio- . Alla olevassa kuvassa 9 on esitetty koheesiomurtuman malli. /7, 40/



Kuva 9. Koheesiomurtuma. /15/

6.3 Lämpöliikkeet ja toleranssit

Lämpötilavaihteluista aiheutuvat pituuden muutokset aiheuttavat liimasaumoille jännitystä ja siirtymiä, jotka liimamassan täytyy kestää. Elastisuutensa vuoksi silikoniliimat soveltuvat hyvin kiinnitystavaksi, sillä ne sallivat materiaalien lämpöliikkeet. Liimavalmistajan tarjoaman jännitys-venymäkäyrän avulla saadaan liimakohtaisesti selville suurin jännitys ja venymä, jonka liimamassa kestää ennen kuin se hajoaa ja voidaan valita käyttötarkoitukseen elastisten muodonmuutosten kannalta parhaiten soveltuva liimamassa. Esimerkiksi alla olevassa kuvassa 10 on esitetty Sikasil® SG-500 -silikoniliimamassan jännitys-venymäkäyrä standardien ISO 8339 ja ISO 37 mukaisilla testikappaleilla. Näistä testikappaleista ISO 8339 mukainen testikappale kuvaa paremmin liimamassan käyttäytymistä saumassa. ISO 37 mukainen testikappale antaa isompia arvoja kuin ISO 8339 mukainen ja sen antamia liimamassan mekaaniset ominaisuudet käytetään FE-mallinnuksessa. Käyrästä nähdään jännityksen ja venymän kehitys pisteeseen, jossa liimamassa muuttuu plastiseksi eli se ei enää palaudu alkuperäisen muotoonsa ja lopulta murtuu. /7/



Kuva 10. Sikasil® SG-500 jännitys-venymäkäyrä. /7/

Materiaalien lämpölaajeneminen otetaan huomioon liimasaumaa mitoittaessa. Esimerkiksi SG-lasituselementtien lasin ja runkomateriaalin lämpölaajeneminen on otettu huomioon ETAG 002 standardin laskentakaavassa liimasauman paksuutta mitoittaessa. /7, 8/ Julkisivupaneelien pituuden muutos voidaan laskea myös alla olevalla kaavalla, jossa α = materiaalin lämpölaajenemiskerroin, ΔT = lämpötilan muutos ja L_0 = paneelin alkuperäinen pituus.

$$\Delta L = \alpha * \Delta T * L_0$$

Elementtien ja paneelien väliset saumat tulee suunnitella niin, että ne sallivat julkisivun pituuden muutokset. Rakenteen jäähtyessä ja lämmitessä nämä muutokset aiheuttavat saumaussmassoille vuoroin venytystä ja puristusta, jotka saumaussmassan tulee kestää tiiveyden ja tartunnan säilyttäen. Silikonisaumaussmassojen elastisuuden vuoksi ne sallivat julkisivumateriaalin lämpöliikkeet. Saumauksen leveyden tulee olla vähintään neljä kertaa odotetut liikkeet, jotta saavutetaan 25 % liikevara. Suositeltava saumauksen leveyden ja syvyyden suhde on 2:1. Tällä saavutetaan riittävä tartunta. /7, 16/

6.4 Palokäyttäytyminen

Silikoniliimojen paloluokitus on valmistajakohtaista ja paloluokitukseen vaikuttavat luvun 5.2 mukaisten koemenetelmien laajuus sekä niistä saadut tulokset. Silikoniliimoilla on hyvä lämpötilastabiilisuus ja ne kestävät jatkuvaa altistumista +200 °C lämpötiloille sekä lyhyitä aikoja +300 °C lämpötiloille valmistajasta riippuen. Tällä lämpötilavälillä silikoniliimojen ominaisuudet eivät juurikaan muutu. Silikoniliimojen tulee kuitenkin olla täysin kovettuneita ennen korkeille lämpötiloille altistumista. Palaessaan silikoniliimat hiiltyvät tiputtamatta palavia pisaroita tai muuttumatta nestemäiseksi. Silikoniliimamassoihin voidaan lisätä palonestoaineita, mutta tällöin liimamassan muut ominaisuudet voivat kärsiä. /7, 38, 40/

Silikoniliiman altistumista palolle voidaan hidastaa suojaamalla liimasauma ulko- ja sisäpuoliselta palolta käyttämällä paloluokiteltuja saumausmassoja sekä palamattomia taustanauhoja ulko- ja sisäsaumoissa. Tällöin liimasauma ei altistu suoraan palolle. Palotilanteessa lasin tippuminen liimasauman peittäessä voidaan kuitenkin ehkäistä suunnittelemalla julkisivurakenteeseen ETAG 002 mukainen erillinen rakenne, joka estää lasin putoamisen. /40/

7 LIIMALIITOKSEN SUUNNITTELU JA MITOITUS

7.1 Suunnittelu- ja toteutusprosessi

Taulukko 4. Suunnittelu- ja toteutusprosessin vaiheet ja niiden sisältö. /7/

Suunnittelu- ja toteutusprosessin vaiheet	
Suunnitteluvaihe	Julkisivurakenteen suunnittelu ja suunnitelmien lähetys Sikalle tarkistettavaksi.
Testivaihe	Käytettävien materiaalien lähetys Sikalle testattavaksi.
Asennusvaihe	Urakoitsijan ohjeistus liiman levitykseen sekä liiman levitys.
Takuuvaihe	Sika myöntää rajoitetun takuun Sika-tuotteille kohdekohtaisesti.

Käytettäessä esimerkiksi Sika-liimoja julkisivupaneelin tai -lasin kiinnitykseen, etenee suunnittelu- ja toteutusprosessi taulukossa 4 kuvattujen vaiheiden mukaan. Suunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija suunnittelee julkisivurakenteen sekä mitoittaa liimasauman julkisivurakenteelle kohdistuvien rasiusten mukaan. Piirustukset sekä hanketiedot kuten tuulikuormat, maksimilämpötilat sekä käytettävien paneelien koot ja materiaalit lähetetään Sikalle tarkastusta varten. Sika tarkistaa saumojen detaljit sekä mitat ja arvioi käytettävät materiaalit. Tarkastusten tarkoituksena on varmistaa, että liimasauma kestää sille kohdistuvan tuulikuorman, elementin oman painon ja lämpölaajenemisen. Näiden tarkastusten ja tietojen perusteella suositellaan sopivaa liimamassaa projektille. On huomioitavaa, että Sika-liimoja saa käyttää vain, kun yritys on antanut ensin kirjallisen hyväksynnän nimenomaiselle projektille. Kun piirustukset ja suunnitelmat ovat hyväksytyt, alkaa testausvaihe. /7/

Testausvaiheessa projektissa käytettäville julkisivu- ja runkorakenteiden materiaaleille suoritetaan adheesiotesti kansallisten ja kansainvälisten ohjeiden ja standardien kuten SG-lasituksilla ETAG 002:n mukaisilla testeillä. Testien tarkoituksena on varmistaa adheesio projektissa käytettävien materiaalien välille eri rasiusolosuhteissa. Lisäksi testataan materiaalien yhteensopivuus käytettävien liima- ja saumaussmassojen kanssa. Testien pohjalta suositellaan projektikohtaisesti materi-

aaleille käytettävää puhdistusainetta sekä tarpeen vaatiessa pintojen pohjustusta. Tehdyt testit sekä suositukset esitetään yhteenvedona laboratorioraportissa. Yhtenä takuun vaatimuksista on, että kaikki käytettävät materiaalit ovat yhteensopivia ja materiaalien välille muodostuu riittävä adheesio. Testattavaksi lähetettyjen näytteiden täytyy olla samoja materiaaleja, joita rakennusprojektissa käytetään. Mikäli käytettävät materiaalit tai liima- tai saumaussmassat vaihtuvat projektin aikana, täytyy siitä ilmoittaa testaavalle taholle. /7/

Sika ohjeistaa levityksestä vastaavan urakoitsijan ennen liiman levitystä. Ohjeistuksessa urakoitsijalle opetetaan liiman levitys, liimauslaitteiston käyttö sekä työn aikana suoritettavan laadunvalvonnan vaiheet. Lisäksi neuvotaan esimerkiksi sääsaumauksen oikeaoppinen levitys työmaaolosuhteissa. Ohjeistuksen jälkeen levityksestä vastaava urakoitsija saa Sikalta koulutustodistuksen. Liima tulee levittää sekä muut käytettävät tuotteet asentaa valmistajan ohjeiden mukaan. Tarvitavat laadunvalvonnat tulee suorittaa huolellisesti prosessin aikana sekä täyttää ja dokumentoida ne asiankuuluviin lomakkeisiin. /7/

Työn toteutuksen jälkeen laadunvalvonnan dokumentit lähetetään Sikalle tutkittavaksi, jonka perusteella tuotteille myönnetään rajoitettu takuu. Takuuaika on siliikoniliimoilla 10 – 12 vuotta ja saumaussmassoilla 5 – 10 vuotta. Takuuajan pituuteen vaikuttavat esimerkiksi käytettävä tuote, kohteen toteutustapa sekä kohteen koko. Takuun saamiseksi määrättyjen vaatimusten täytyy täytyä. Lyhempiin takuuajankohdihin vaatimukset ovat pienemmät kuin pidempiin takuuajankohdihin. Liimaliitoksen adheesio tila tarkastetaan ensimmäisen kerran vuoden kuluttua projektin valmistumisesta. Tämän jälkeen seuraavat tarkastukset suoritetaan 3, 6 ja 10 vuoden kuluttua. 10 vuoden käytön jälkeen jatkotarkastuksia suoritetaan joka viides vuosi rakenteen arvioidun käyttöajan ajan. Tarkastusvälit ovat projektikohtaisia ja niiden ajankohtaan vaikuttavat projektikohtaiset vaatimukset. /7, 14, 40/



Kuva 11. Liimasauman testaus. /40/

7.2 Laskentaesimerkki

ETAG 002-ohjeessa on esitetty laskukaavat mekaanisesti tuetun ja tukemattoman SG-lasituksen liimasauman korkeuden ja paksuuden mitoitukselle sekä eristyslaselementeissä lasien välissä olevan liimamassan korkeuden mitoittamiseksi. ETAG 002 mukaista laskentaa varten tarvitaan lasituksen tyyppi ja mitat, lasituksen tyypistä riippuen lasituksen omapaino, rungon materiaali, rungon ja lasin suurimmat lämpötilat, liimasauman levityksen aikainen lämpötila, julkisivulle kohdistuva tuulikuorma sekä käytettävät liimamassat ja niiden ominaisuudet. /8/

Tässä laskentaesimerkissä mitoitetaan 3 metriä korkean ja 2 metriä leveän mekaanisesti tuetun kaksilasisen eristyslaselementin liimasauman korkeus ja paksuus sekä lasien välissä olevan liimamassan korkeus. Ulompi lasi on rakenteeltaan 4+4 mm + PVB-kalvallinen laminoitu lasi ja sisempi lasi on 6 mm paksu float-lasi. Liimamassana käytetään kaksikomponenttista Sikasil® SG-500 -liimamassaa ja lasien välissä kaksikomponenttista Sikasil® IG-25 HM Plus -liimamassaa. Mitoitus tehdään $3,0 \text{ kN/m}^2$ suuruiselle tuulikuormalle. Rungon materiaalina käytetään alumiinia. Koska kyseessä on eristyslaselementti, toteutetaan se mekaanisesti tuettuna, jolloin omapaino ei vaikuta liimasauman mittoihin.

Liimasauman korkeus lasketaan kaavalla:

$$h := \frac{a \cdot W}{2 \cdot \sigma_{des}} \quad (1)$$

jossa

h liimasauman korkeus

a lasin lyhemmän sivun mitta (2000 mm)

W tuulikuorma (3,0 kN/m²)

σ_{des} liimamassan suunnittelujännitysarvo (valmistajan antama arvo
0,14 MPa)

Näillä arvoilla saadaan yllä olevan kaavan (1) avulla liimasauman korkeudeksi:

$$h := \frac{2000\text{-mm} \cdot 3.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{2 \cdot 0.14 \cdot \text{MPa}} = 21.429\text{mm}$$

Tulos tulee pyöristää ylöspäin, jolloin liimasauman korkeudeksi saadaan:

$$h := 22\text{-mm}$$

Liimasauman paksuus lasketaan kaavalla:

$$e := \frac{G_a \cdot \Delta}{\tau_{des}} \quad (2)$$

jossa

e liimasauman paksuus

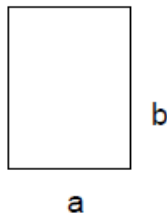
G_a liimamassan leikkausmoduuli (valmistajan antama arvo 0,50 MPa)

Δ pituuden muutos

τ_{des} liimamassan leikkausjännityksen suunnitteluarvo (valmistajan antama arvo
0,105 MPa)

Liimasauman paksuutta laskettaessa ensimmäisenä täytyy laskea lämpötilavaihte-
luista johtuva elementin pituuden muutos Δ . Pituuden muutoksen laskukaavaan
vaikuttaa elementin korkeuden ja leveyden suhde kuvan 12 esittämällä tavalla:

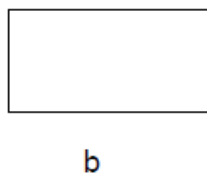
$b > a$ the pane is supported at side a



A vertical rectangle with height 'b' and width 'a'. The label 'a' is at the bottom center, and 'b' is to the right of the right side.

$$\Delta = [(T_c - T_0) \cdot \alpha_c - (T_v - T_0) \cdot \alpha_v] \cdot \sqrt{(a/2)^2 + b^2}$$

$b > a$ the pane is supported at side b



A horizontal rectangle with height 'a' and width 'b'. The label 'a' is to the left of the left side, and 'b' is at the bottom center.

$$\Delta = [(T_c - T_0) \cdot \alpha_c - (T_v - T_0) \cdot \alpha_v] \cdot \sqrt{a^2 + (b/2)^2}$$

Kuva 12. Elementin korkeuden ja leveyden suhteen vaikutus pituuden muutoksen
laskentaan. (3)

Esimerkkitapauksessa elementin korkeus on suurempi kuin leveys, jolloin pituu-
den muutos lasketaan kaavalla:

$$\Delta := \left[(T_c - T_0) \cdot \alpha_c - (T_v - T_0) \cdot \alpha_v \right] \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{2} \right)^2 + b^2} \quad (3)$$

jossa

T_c rungon maksimi lämpötila (ETAG 002 s. 91 $T_c = 55 \text{ °C}$)

T_v lasin maksimi lämpötila (ETAG 002 s. 91 $T_v = 80 \text{ °C}$)

T_0 liimamassan levityksen aikainen lämpötila (ETAG 002 s. 92 $T_0 = 20 \text{ °C}$)

α_c alumiinirungon lämpölaajenemiskerroin ($\alpha_c = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)

α_v lasin lämpölaajenemiskerroin ($\alpha_v = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)

a lasin lyhemmän sivun mitta (2000 mm)

b lasin pidemmän sivun mitta (3000 mm)

Kaavan (3) avulla saadaan pituuden muutokseksi:

$$\Delta = 0.927\text{mm}$$

Saatu pituuden muutoksen arvo syötetään arvojen G_a ja τ_{des} kanssa kaavaan (2), jolloin liimasauman paksuudeksi saadaan:

$$e := \frac{0.5 \cdot \text{MPa} \cdot 0.927 \cdot \text{mm}}{0.105 \cdot \text{MPa}} = 4.414\text{mm}$$

ETAG 002 -standardissa on määritetty liimasauman paksuudeksi vähintään 6 mm. Suositeltava liimasauman korkeuden ja paksuuden suhde h:e on 3:1, jolloin liimasauman paksuudeksi saadaan:

$$e := \frac{22 \cdot \text{mm}}{3} = 7.333 \cdot \text{mm}$$

Pyöristetäessä tulos ylöspäin, saadaan lopulliseksi liimasauman paksuudeksi:

$$e := 8 \cdot \text{mm}$$

Lasien välissä olevan liimamassan korkeus lasketaan kaavalla:

$$r := \frac{\beta \cdot a \cdot W}{2 \cdot \sigma_{des.IG}} \quad (4)$$

jossa

r liimasauman korkeus

a lasin lyhemmän sivun mitta (2000 mm)

W tuulikuorma (3,0 kN/m²)

$\sigma_{des.IG}$ liimamassan suunnittelujännitysarvo (valmistajan antama arvo
0,19 MPa)

β osuus, jonka ulompi lasi kantaa tuulikuormasta (kuva 13)

if $d_1 \leq d_2 \rightarrow \beta \simeq \frac{1}{2}$, then $\beta \equiv \frac{1}{2}$

if $d_1 > d_2 \rightarrow \beta > \frac{1}{2}$, then $\beta = 1$

Kuva 13. Osuuden β määräytyminen. /8/

Kuvassa 13 merkintä d_1 tarkoittaa ulomman lasin paksuutta ja merkintä d_2 sisemmän lasin paksuutta. /8/ Esimerkissä ulomman lasin paksuus on 8 mm ja sisemmän lasin 6 mm, jolloin $\beta = 1$. Saadut arvot syötetään kaavaan (4), jolloin lasien välissä olevan liimasauman korkeudeksi saadaan:

$$r := \frac{1 \cdot 2000 \cdot \text{mm} \cdot 3.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{2 \cdot 0.19 \cdot \text{MPa}} = 15.789 \text{mm}$$


Kun tulos pyöristetään ylöspäin, saadaan lopulliseksi liimasauman paksuudeksi:

$$r := 16 \text{mm}$$

ETAG 002 standardissa lasien välissä olevan liimasauman korkeudeksi on määritetty vähintään 6 mm. /8/ Liimasauman paksuus määräytyy lasien välisen etäisyyden mukaan.


7.3 Tuotevalmistajan laskentaesimerkki

Liimasauma voidaan myös mitoittaa liimavalmistajan omalla laskentaohjelmalla, kuten Sika Joint Calculatorilla. Sika Joint Calculatorilla voidaan mitoittaa erilaisen rakenteellisesti liimattujen tai mekaanisesti kiinnitettyjen lasituksen sekä SikaTack® Panel-järjestelmän liimasaumojen eri standardien mukaisesti. Vertailun vuoksi mitoitetaan Sika Joint Calculatorilla luvussa 7.2 mitoitettu rakenne ETAG 002-ohjeen mukaan samoilla arvoilla.

Glass type name 

Mekaanisesti tuettu

Remarks

Unfactored wind load (SLS) 

3.0 kN/m²

Kuva 14. Lasityypin nimeäminen ja tuulikuorman syöttö. /42/

Mitoituksen aluksi valitaan käytettävä standardi, syötetään lähtötiedot ja valitaan lasituksen tyyppi. Tässä tapauksessa kaksilasisen eristyslaseielementin laskenta suoritetaan ETAG 002 mukaan. Tämän jälkeen syötetään lasityypin nimi sekä käyttörajatilan mukainen tuulikuorma, joka on tässä esimerkissä $3,0 \text{ kN/m}^2$. (Kuva 14)

Glass composition [mm]

laminated | monolithic | Glass type ⓘ

A1 | A2 | B1

4.0 | 4.0 | 6.0

Thickness [mm]

Spacer [mm]

16.0

| | Dead-load support ⓘ

Glass dimensions

Width | Height

2000 | mm | 3000 | mm


+ Add dimension

Kuva 15. Lasituksen rakenteen mittojen syöttö. /42/


Tämän jälkeen ohjelmaan syötetään eristyslaseielementin mitat, lasien paksuus ja niiden välinen etäisyys sekä merkitään, tuetaanko molemmat lasit mekaanisesti vai vain toinen. Samalle tuulikuormalle voidaan mitoittaa useampia eri levyisiä ja korkuisia elementtejä. Esimerkkirakenteen mitat on syötetty ohjelmaan kuvassa 15. Lasien välilistan leveytenä käytetään 16 mm, sillä se on kaksilasisen rakenteen optimiväli.

Calculations

Calculating structural joint (SG)

Maximum glass temperature 


80.0 °C

Maximum frame temperature 

55.0 °C

Bonding temperature 

20.0 °C

Frame material 

Aluminium ▼

Other material

Choose Sika Products

Sikasil® SG-20

Sikasil® SG-500

Kuva 16. Mitoituslämpötilat, rungon materiaali ja käytettävä liimamassa. /42/

Eristyslaselementin mittojen jälkeen ohjelmaan syötetään rungon ja lasin maksimilämpötilat, liiman levityksen aikainen lämpötila, valitaan materiaali sekä käytettävä liimamassa. Maksimilämpötiloina sekä levityksen aikaisena lämpötilana käytetään ETAG 002-ohjeen mukaisia tyypillisiä lämpötiloja sekä rungon materiaalina alumiinia ja liimamassana Sikasil® SG-500 (kuva 16). Mitoitusohjelma ottaa huomioon lämpöliikkeet liimasauman korkeutta mitoittaessa. Tietojen syöttöjen jälkeen mitoitetaan lasien välisen liimasauman korkeus.

Calculations

Calculating secondary seal (IG)

Climatic effects Table Values

→ Difference altitude production vs. installation [m]

	0	50	100	150	200	300	400	500	600
20	8.8	9.4	10	10.6	11.2	12.4	13.6	14.8	16
25	10.5	11.1	11.7	12.3	12.9	14.1	15.3	16.5	17.7
30	12.2	12.8	13.4	14	14.6	15.8	17	18.2	19.4
35	13.9	14.5	15.1	15.7	16.3	17.5	18.7	19.9	21.1
40	15.6	16.2	16.8	17.4	18	19.2	20.4	21.6	22.8
45	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5
50	19	19.6	20.2	20.8	21.4	22.6	23.8	25	26.2
55	20.7	21.3	21.9	22.5	23.1	24.3	25.5	26.7	27.9
60	22.4	23	23.6	24.2	24.8	26	27.2	28.4	29.6

↓ Difference temperature cavity production vs. service [K]

Climatic load cavity A-B ⓘ

17.4 kPa

Choose Sika Products

Sikasil® SG-500

Sikasil® IG-25

Sikasil® IG-25 HM Plus

Calculations

Calculating secondary seal (IG)

Climatic effects Table Values

Maximum temperature cavity A-B ⓘ

60 °C

Bonding temperature secondary seal ⓘ

20 °C

Maximum altitude installed IGU ⓘ

150 m

Altitude of production-site IGU ⓘ

0 m

Climatic load cavity A-B ⓘ

17.4 kPa

Choose Sika Products

Sikasil® SG-500

Sikasil® IG-25

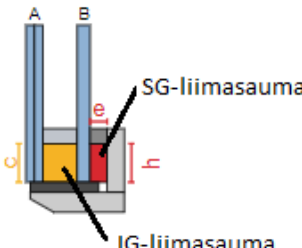
Sikasil® IG-25 HM Plus

Kuva 17. Ilmaston vaikutusten laskeminen. /42/

Koska kyseessä on eristyslaselementti, tulee myös ulompana tiivistysmassana toimivan liimamassan korkeus mitoittaa. Liimamassan korkeuden mitoitusta varten täytyy laskea ilmaston vaikutus. Vaikutuksen laskeminen voidaan tehdä taulukon avulla tai syöttämällä arvot. Taulukkolaskentaa varten tulee tietää valmistuspaikan ja asennuspaikan välinen korkeusero sekä valmistuslämpötilan ja käyttölämpötilan välinen lämpötilaero. Yllä olevassa kuvassa 17 olen laskenut ilmaston vaikutuksen arvot syöttämällä. Välitilan maksimi lämpötilana käytin +60 °C lämpötilaa, liimauslämpötilana +20 °C ja maksimi korkeutena eristyslaselementille 150 metriä. Mikäli eristyslaselementin valmistajaa ei ole tiedossa, suosittelee ohjelma käyttämään valmistuspaikan korkeutena 0 m. Käytettävä liimamassa on Sikasil® IG-25 HM Plus. Syötetyillä arvoilla saatiin ilmastolliseksi kuormaksi 17,4 kPa. Tämän jälkeen voitiin suorittaa laskenta.

Mekaanisesti tuettu

Include in report



Dimension		SG-Joint		
Width	Height	Product	h [mm]	e [mm]
2000	3000	Sikasil® SG-500	21.5	7.2

Dimension		IG-Seal	
Width	Height	Product	c [mm]
2000	3000	Sikasil® IG-25 HM Plus	16

Kuva 18. Rakenne sekä liimasaumojen mitat. /42/

Sika Joint Calculatorilla suoritetun laskennan tulokset on esitetty kuvassa 18. 2 metriä leveän ja 3 metriä korkean mekaanisesti tuetun eristyslaseielementin liimasauman korkeudeksi saatiin 21,5 mm ja paksuudeksi 7,2 mm. Lasien välisen liimasauman korkeudeksi saatiin 16 mm.

7.4 Mitoitusvertailu

Taulukko 5. Tulosten vertailu.

	h = SG-liimasauman korkeus	e = SG-liimasauman paksuus	r = IG-liimasauman korkeus
Laskentaesimerkki	21,429 mm	7,333 mm	15,789 mm
Sika Joint Calculator	21,5 mm	7,2 mm	16 mm

Laskentojen tulokset on esitetty taulukossa 5. Kuten tuloksista huomataan, ETAG 002 mukaisella käsinlaskennalla sekä Sika Joint Calculatorilla saadut tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan ja pyöristettynä ylöspäin millimetriin tarkkuuteen, saadaan molemmista mitoituksista liimasaumoille samat mitat esimerkkitalanteessa. Sika Joint Calculatoria voidaan siis pitää luotettavana laskentaohjelmana. Erona mitoituslaskuissa on, että Sika Joint Calculator ottaa huomioon ilmaston vaikutukset myös suorakaiteen muotoisissa lasituksissa, toisin kuin ETAG 002 mukaisessa

laskennassa, jossa ilmaston vaikutukset otetaan huomioon pienissä sekä muissa kuin suorakaiteen muotoisissa elementeissä /8/.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin liimauksen ja saumauksen käyttömahdollisuuksia korkeassa rakentamisessa. Lasin rakenteellinen liimaus voidaan toteuttaa kaksi- tai nelisivuisella liimauksella. Kaksisivuisessa liimauksessa kaksi vastakkaista sivua (vaaka- tai pystysivut) ovat liimattuja sekä kaksi vastakkaista sivua ovat kiinnitetty mekaanisilla kiinnikkeillä. Nelisivuisessa liimauksessa kaikki sivut ovat liimattuja. Nelisivuisen lasitusrakenteen mekaanista varmuutta palotilanteessa voidaan parantaa erillisellä rakenteella, joka varmistaa kiinnityksen. Lämmöneristyksen parantamiseksi lasien välitila voidaan täyttää kaasulla. Toimivan rakenteen kannalta on tärkeää, että sääsaumaus on toteutettu oikein. Tuulettuvissa julkisivuissa liimattavien materiaalien laaja kirjo antaa arkkitehdille runsaasti vaihtoehtoja julkisivun ulkonäköön.

Julkisivuissa tulee käyttää standardien mukaisia liima- ja saumausmassoja. Standardien mukaisilla testauksilla varmistetaan, että käytettävät liima- ja saumausmassat soveltuvat käyttökohteeseen ja ne ovat yhteensopivia muiden materiaalien kanssa. Lasien rakenteellisessa liimauksessa voidaan käyttää ainoastaan silikoniliimamassoja. Silikoniliimamassojen etuina ovat niiden elastisuus sekä hyvä kestävyys UV-säteilyä, säätä, hapettumista, kemikaaleja ja kosteutta vastaan. Palonkesto-ominaisuudet ovat silikoniliimoilla paremmat kuin esimerkiksi polyuretaanimuovipohjaisilla liimamassoilla. Tuulettuvissa julkisivuissa on palonkeston kannalta suositeltavampaa käyttää myös silikonipohjaisia liimamassoja. Lasijulkisivuissa liimasauaman altistumista palolle voidaan hidastaa käyttämällä saumoissa paloluokiteltuja saumausmassoja. Elastisuutensa vuoksi silikonipohjaiset saumaus- ja liimamassat soveltuvat hyvin julkisivukäyttöön, sillä ne sallivat tuulesta, kosteudesta ja lämpötilavaihteluista johtuvia liikkeitä aiheuttamatta pakkovoimia sekä estävät korroosion muodostumisen. Tehtaalla liimattujen elementtien asennus soveltuu hyvin korkeaan rakentamiseen. Laskentaesimerkeistä voidaan todeta, että silikoniliimamassat kestävät mekaanisesti tuettuna suuriakin tuulikuormia.

Julkisivurakenteen toimivuuden ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta täytyy kiinnittää huomiota rakenteen suunnitteluun. Julkisivurakenne tulee suunnitella siten,

että se sallii julkisivuun kohdistuvien rasituksen aiheuttamat liikkeet eikä esimerkiksi kosteus pääse vaurioittamaan rakennetta. Liimasauma tulee mitoittaa standardin mukaisella laskennalla siihen kohdistuvien kuormien mukaan. Riittävän adheesion varmistamiseksi käytettävät materiaalit tulee testata projektikohtaisesti sekä noudattaa liimavalmistajan määäämiä esikäsittelyvaiheita ja suosittalemia liimausolosuhteita sekä noudattaa suunnittelu- ja toteutusprosessin vaiheita.

Korkea rakentaminen on yleistymässä kasvavassa määrin myös Suomessa. Lasien rakenteellista liimausta on käytetty laajalti erikorkuisissa rakennuksissa ympäri maailmaa vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa ja ne ovat osoittautuneet toimivaksi julkisivuratkaisuksi. Jatkotutkimuskohteena opinnäytetyön aiheeseen liittyen voisi olla palonestoaineiden lisäämisen vaikutus silikoniliimamassan ominaisuuksiin.

LÄHTEET

- /1/ Adhesives.org. Transportation. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2018.
<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/market-overview-applications/transportation>
- /2/ Sitte, S. GPD Glass Performance Days 2017. Structural Silicone Glazing: Life Expectancy of more than 50 years? Ladattava esitelmä.
- /3/ References by application fields. Sika AG. Viitattu 3.4.2018.
https://ses.sika.com/en/solutions_products/our_projects/projects-application-fields.html
- /4/ The Skyscraper Center, Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Viitattu 3.4.2018. <http://www.skyscrapercenter.com/>
- /5/ World Weather Online. Viitattu 4.4.2018
<https://www.worldweatheronline.com/>
- /6/ Tenhunen O. 2003. Metallilasirakenteisen kaksoisjulkisivun materiaalien soveltamiskriteerit. Tekniikan lisensiaatintyö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- /7/ Sika FFI, Sealing and bonding in facades - Specification guide. Sika Services Ag.
- /8/ ETAG 002, Guideline for European technical approval for structural sealant glazing kits. 2012. European Organisation for Technical Approvals.
- /9/ General guideline, Structural Silicone Glazing with Sikasil® SG Adhesives. 1.1.2015. Sika Services Ag.
- /10/ RT 38-10941. Eristyslasit. Rakennustieto Oy.
- /11/ Hemmilä K. ja Heimonen I. 1999. Eristyslasin täytekaasun ja lasien toimivuus ja toteaminen. VTT Rakennustekniikka.
- /12/ Tuulettuvat julkisivut 2016 by64. Suomen betoniyhdistys. 2016.
- /13/ SikaTack® Panel System, Elegance in wall cladding. Sika Services Ag.
- /14/ Jaakola J. 2018. Tekninen päällikkö. Oy Sika Finland Ab. Kokous 7.3.2018.
- /15/ General guideline, SikaTack® Panel System. 23.9.2015. Sika Services Ag.
- /16/ General guidelines, Solutions for Facades. Application of Sikasil® Weather Sealants. January 2010. Sika Services Ag.
- /17/ Yhdistelmäjulkisivut. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. 1998.

- /18/ RT 39-10451. Alumiini. Rakennustieto Oy.
- /19/ RT 34-10997. Keraamiset laatat. Rakennustieto Oy.
- /20/ Steni-julkisivulevyt, verkkodokumentti. Viitattu 6.2.2018.
<http://steni.fi/tuotteet/julkisivulevyt/>
- /21/ RT 38858. Reynobond® Architecture -alumiinikomposiitti julkisivuihin ja sisustukseen - Hartman Rauta Oy. Rakennustieto Oy.
- /22/ SFS-EN 438-7. Korkeapainekoristelaminaatit (HPL). Lämpökovettuviin hartseihin perustuvat levyt (laminaatit). Osa 7: Sisä- ja ulkoseiniin ja kattoihin tarkoitettut täyslaminaatti- ja korkeapainelaminaattikomposiittipaneelit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 2013. 61 s.
- /23/ Pilkington Lasifakta 2018. Pilkingtonin verkkodokumentti. 2018. Viitattu 24.1.2018. <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/arkkitehdit-suunnittelijat/lasifakta-2018>
- /24/ RT 82-11015. Luonnonkivijulkisivut. Rakennustieto Oy.
- /25/ RT 80-11115. Täydentävät ohut- ja muotolevyrakenteet, yleisiä ohjeita. Rakennustieto Oy.
- /26/ Sipilä R. Pinnoitettujen teräsohutlevyjen käyttöikäsuunnittelu. Verkkajulkaisu. 2014. Viitattu 19.2.2018.
http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/212/a8f6206/Pinnoitettujen_terasohtulevyjen_kayttoikasuunnittelu_2014_01.pdf
- /27/ SFS-EN 1990. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2010. 185 s.
- /28/ Rakennusfysiikka 2017. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. 24.-26.10.2017. Tampere, Seminaarijulkaisu 5.
- /29/ RIL 201-1-2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
- /30/ SFS-EN 1991-1-4+AC+A1. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2011. 255 s.
- /31/ SFS-EN 15434+A1. Rakennuslasit. Rakenteellinen ja/tai ultraviolettiäilynekestävä liimausmassa liimatuissa lasirakenteissa ja/tai eristyslaselementtien ulko- ja sisäsaumoissa. Tuotestandardi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2013. 101 s.
- /32/ Suomen säädöskokoelma, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 848/2017.

/33/ SFS-EN 13501-1. Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus. Osa 1: Palokäyttötymiskokeiden tuloksiin perustuva luokitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2012. 101 s.

/34/ Suomen rakentamismääräyskokoelma E1, rakennusten paloturvallisuus. 2011

/35/ Information about DIN 4102, part 1, B2. Research Institutes of Sweden AB. Viitattu 12.3.2018.

https://www.sp.se/en/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADding/DIN4102part1/Sidor/default.aspx

/35/ SFS-EN 1279-2. Rakennuslasit. Eristyslasit. Osa 2: Pitkäaikaistestit ja vaatimukset kosteuden tunkeutumiselle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2003. 53 s.

/37/ SFS-EN 1279-3. Rakennuslasit. Eristyslasit. Osa 3: Pitkäaikaistestimenetelmä ja vaatimukset kaasunvuotonopeudelle ja kaasupitoisuudelle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2003. 28 s.

/38/ Adhesives.org. Silicone Adhesives. Verkkosivu. Viitattu 17.4.2018

[http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-\(2-c\)/silicone-adhesives](http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-(2-c)/silicone-adhesives)

/39/ Additional Technical Information. Maintenance and Inspection of Sikasil[®] SG Joints. Sika Services Ag.

/40/ Jaakola J. 2018. Tekninen päällikkö. Oy Sika Finland Ab. Kokous 16.4.2018.

/41/ Jaakola J. 2018. Sikasil SG-aineistoa. Email jaakola.jukka@fi.sika.com 17.4.2018

/42/ Sika Joint Calculator -laskentaohjelma. Sika Services Ag.

