

Elina Punkkinen

# Energiatehokkaat ja turvalliset lasirakenteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Rakennustekniikka  
Insinöörityö  
3.5.2012

## Alkusanat

Tämä insinööritö tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle. Haluan kiittää työssä mukana olleita ohjaajiani yrityksen puolesta suunnittelupäällikköä Pertti Juholaa ja teknistä johtajaa Olli Saarista sekä koulun puolesta yliopettajaa Hannu Hakkarasta.

Lisäksi haluan kiittää arkkitehti Jutta Haarti-Katajaista Arkkitehtitoimisto Helin & Co Oy:stä ja Jukka Oja-Lipastia A-Insinöörit Suunnittelu Oy:stä kommentteista esimerkki-kohteeseen liittyen.

Kiitos myös perheelleni ja ystäville, jotka ovat tukeneet minua koko opintojen ajan.

Helsinki 27.4.2012

Elina Punkkinen

|  |   |
|--|---|
| Tekijä<br>Otsikko  | Elina Punkkinen<br>Energiatehokkaat ja turvalliset lasirakenteet                                      |
| Sivumäärä<br>Aika  | 51 sivua<br>27.4.2012   |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)   |
| Koulutusohjelma  | Rakennustekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Rakennetekniikka  |
| Ohjaajat   | Tekninen johtaja Olli Saarinen<br>Suunnittelupäällikkö Pertti Juhola<br>Yliopettaja Hannu Hakkarainen |
| <p>Insinööri työ tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle. Lasin käyttö rakennusmateriaalina on yleistynyt, mikä on johtanut lasirakenteiden rakennesuunnittelun kysyntään. Insinööri työn aiheeksi valittiin energiatehokkaat ja turvalliset lasirakenteet ja se rajattiin koskemaan ensisijaisesti julkisivulaseja.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla rakennuslaseihin, niiden valmistustapoihin ja ominaisuuksiin. Tarkemmin perehdyttiin turva- ja suojalaseihin sekä eristyslaselementteihin. Lisäksi selvitettiin lasirakenteita koskevia määräyksiä ja ohjeita sekä eurooppalaisia standardeja ja koottiin niistä rakennesuunnittelun kannalta olennaisimpia kohtia. Tämän jälkeen työssä käsiteltiin lasirakenteisiin kohdistuvia kuormia ja lasirakenteiden mitoitus.</p> <p>Tärkeä näkökulma insinööri työssä oli lasirakenteiden energiatehokkuus, koska ikkunat ovat tunnetusti lämmöneristyksen kannalta rakennuksen heikoin kohta. Lasirakenteiden lämmöneristävyys on kehittynyt ja lasiteknologia on kyennyt vastaamaan hyvin kiristyviin energiamääräyksiin. Energiatehokkuuden parantaminen nykyisestä vaatii uusia keksintöjä tai lasien määrän lisäämistä. Lasirakenteiden eristävyys ja tiiveyden parantuessa tulee miettiä, miten kesäajan yllämpenemistä estetään energiatehokkaasti.</p> <p>Insinööri työn tuloksena saatiin tietoa lasirakenteista sekä niiden energiatehokkuudesta ja turvallisuudesta. Lisäksi löydettiin ratkaisuja Länsimetron Lauttasaaren aseman maanpäällisten tilojen julkisivujen lasirakenteisiin.</p> |   |
| Avainsanat   | lasirakenteet, energiatehokkuus   |

|  |  |
|--|--|
| Author<br>Title  | Elina Punkkinen<br>Energy-Efficient and Safe Glass Constructions   |
| Number of Pages<br>Date  | 51 pages<br>27 April 2012  |
| Degree   | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme   | Civil Engineering  |
| Specialisation option  | Structural Engineering   |
| Instructors  | Olli Saarinen, Technical Director<br>Pertti Juhola, Design Director<br>Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer |
| <p>This thesis was made for A-Insinöörit Suunnittelu Oy. The use of glass as a building material has increased, which has led to the demand for structural engineering of glass constructions. This thesis deals with energy-efficient and safe glass constructions and the topic of the study was outlined to consider primary class facades.</p> <p>The thesis was started by studying construction glasses, their manufacturing process and qualities of glass. More attention was given to security and safety glasses and insulated glazing. In addition, the Finnish building regulations and guidelines and European standards were clarified and the most essential information from the point of view of structural design was gathered. After that the thesis considers loads that affect glass structure and dimensioning of glass structure.</p> <p>An important point of view in the thesis was the energy-efficiency of the glass construction because it is known that windows are the weakest link in the building's heat insulation. Insulation of the glass construction has improved and the glass technology has been able to respond to the tightening demands of the energy regulations. To improve the energy-efficiency further requires new inventions or adding more glasses to the windows. When the insulation and condensation improves, one should think about how the overheating in the summer time is prevented energy-efficiently.</p> <p>As a result of the study, knowledge about glass constructions' energy-efficiency and safety was gathered. In addition, solutions were found for the glass facades of the West Metro Lauttasaari station.</p> |  |
| Keywords   | glass constructions, energy-efficiency   |

## Sisällys

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto  | 1  |
| 2     | Lasi rakennusmateriaalina                                 | 1  |
| 2.1   | Turva- ja suojalasit                                      | 3  |
| 2.2   | Eristyslasi   | 7  |
| 2.3   | Muita laseja  | 8  |
| 3     | Lasirakenteiden standardit sekä määräykset ja ohjeet      | 15 |
| 3.1   | Lämmöneristys   | 17 |
| 3.2   | Ääneneristys  | 19 |
| 3.3   | Kosteustekninen toimivuus                                 | 21 |
| 3.4   | Paloturvallisuus  | 23 |
| 4     | Lasirakenteen kestävyys                                   | 25 |
| 4.1   | Lasin lujuus  | 25 |
| 4.2   | Kuormien määrittäminen                                    | 27 |
| 4.3   | Lasirakenteen mitoitus                                    | 28 |
| 5     | Energiatehokkuus lasirakentamisessa                       | 31 |
| 5.1   | Lasirakenteen tiiveys ja sijoittaminen seinäleikkauksessa | 32 |
| 5.2   | Yllälämpenemisen estäminen                                | 34 |
| 5.3   | Energiatehokkuutta parantavia lasirakenteita              | 35 |
| 5.3.1 | Energiatehokkaat eristyslaselementit                      | 35 |
| 5.3.2 | Tyhjiöeristetty lasirakenne                               | 39 |
| 5.3.3 | Aurinkoenergiaa keräävät lasirakenteet                    | 41 |
| 6     | Esimerkkikohde  | 43 |
| 6.1   | Kohteen esittely  | 43 |
| 6.2   | Energiatehokkuus  | 46 |
| 6.3   | Turvallisuus  | 47 |
| 6.4   | Lasirakenteen mitoitus                                    | 48 |
| 7     | Yhteenveto  | 50 |

Viitteet

52

Lähteet

55

## 1 Johdanto

Insinööriyö tehdään A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle. A-Insinöörit on yksi Suomen johtavia rakennusalan asiantuntijoita. Insinööriyön aiheeksi on valittu energiatehokkaat ja turvalliset lasirakenteet.

Luonnonvalon merkitys ihmisen hyvinvoinnille on tutkitusti suuri. Lasi mahdollistaa luonnonvalon pääsyn sisätiloihin antaen samalla suojaa ulkoisia rasituksia vastaan. Lasirakenteet ovat yleistyneet tuotekehityksen ja esteettisyytensä vuoksi etenkin julkisten rakennusten ja toimistojen julkisivuissa ja kattorakenteissa. Tämä on johtanut lasirakenteiden rakennesuunnittelun kysyntään.

Insinööriyö aloitetaan tutustumalla rakennuslaseihin, niiden valmistustapoihin ja ominaisuuksiin. Tämän jälkeen selvitetään lasirakenteita koskevia määräyksiä ja ohjeita sekä eurooppalaisia standardeja ja kootaan niistä rakennesuunnittelun kannalta olennaisimpia kohtia. Tärkeitä huomioon otettavia asioita ovat mm. mekaaninen kestävyys, säänkestävyys, ääneneristys, lämmönläpäisy ja palonkesto. Lisäksi etsitään jo olemassa olevaa tutkimustietoa sekä tällä hetkellä kehitteillä olevia asioita ja perehdytään niihin.

Insinööriyön tavoitteena on saada tietoa lasirakenteista, niiden energiatehokkuudesta ja turvallisuudesta sekä lisätä osaamista lasirakenteiden suunnittelun osalta yrityksessä. Työ on rajattu koskemaan pääasiassa lasirakenteiden käyttöä julkisivuissa. Tarkoituksena on myös selvittää, miten muuttuvat energiamääräykset vaikuttavat lasirakenteisiin ja niiden tuotekehitykseen. Lisäksi tavoitteena on löytää ratkaisuja Länsimetron Lauttasaaren aseman maanpäällisten julkisten tilojen lasirakenteisiin.

## 2 Lasi rakennusmateriaalina

Läpinäkyvyys tekee lasista ainutlaatuisen verrattuna muihin materiaaleihin. Lasilla on homogeenisesti järjestäytymätön molekyylirakenne, jonka ansiosta valo läpäisee sen. Lasia voidaan käyttää monipuolisesti eri rakennusosina, esim. ikkunoissa, julkisivuissa, kaiteina, seininä, lattioina ja katemateriaalina. Lasi on ympäristöystävällinen, lähes ikuinen, mukautuva ja taloudellinen rakennusmateriaali, joka on helppo huoltaa ja voidaan kierrättää ilman merkittävää ympäristökuormitusta. [1.]

Tavallisen ikkunalasin eli niin kutsutun soda lime -silikaattilasin pääraaka-aine on kvartsihiekkä, joka on enimmäkseen piidioksidia ( $\text{SiO}_2$ ). Muita lasin valmistukseen käytettäviä pääraaka-aineita ovat sooda, joka alentaa sulatuslämpötilaa ja kalkki, joka lisää lasin kestävyyttä. Raaka-aineseokseen lisätään vielä kierrätettyä lasia uudelleen sulatettuna, koska se nopeuttaa muiden raaka-aineiden sulamista ja on myös taloudellisesti kannattavaa. Lasin värjäämiseen, kirkkauteen tai muiden ominaisuuksien muuttamiseksi voidaan käyttää useita erilaisia lisäaineita. [2, s.13-14.]

Rakennusmateriaalina käytettävä lasi on yleensä tasolasia. Tasolasi valmistetaan englantilaisen Alastair Pilkingtonin vuonna 1959 patentoidulla float-menetelmällä. Float-menetelmässä sula lasimassa johdetaan jatkuvana valuna vaakatasossa juoksevan tinnan päälle tasoittumaan, jonka jälkeen se jäähdytetään hitaasti. Hallittu jäähdyttäminen mahdollistaa lasin molekyylien järjestäytymisen koko lasinauhan alueella, jolloin lasin jännitys jakauma muodostuu mahdollisimman tasaiseksi. Jäähdytyksen jälkeen lasinauha leikataan halutun kokoisiksi levyiksi. Float-menetelmän etuja ovat mm. valmistusmäärien suuri kapasiteetti sekä lasin pinnan tasaisuus ja virheettömyys sekä laadun tasaisuus. [2, s.15.]

Rakennuslasin yleisimmät varastokoot ovat 3210 mm x 6000 mm ja 3210 mm x 5100 mm. Erikoistilauksesta saadaan muitakin mittoja, mutta toisen mitan maksimi on käytännössä 3210 mm. Nimellispaksuudet ovat 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 19 ja 25 mm. [4.]



Taulukossa 1. annettu lasin materiaaliominaisuuksia tarvitaan lasirakenteiden kimmo-teorian mukaisessa mitoituksessa [3, s.44]. Luvussa 4 tarkastellaan lähemmin lasien rikkoutumisen kannalta merkityksellistä lasin lujuutta ja lasirakenteiden mitoitusta.

Taulukko 1. Lasin materiaaliominaisuuksia lämpötilassa 18 °C [3, s.44; 4].

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Tiheys                                       | 2500 kg/m <sup>3</sup>   |
| Kimmokerroin                                 | 70 000 N/mm <sup>2</sup> |
| Liukkerroin                                  | 29 200 N/mm <sup>2</sup> |
| Poisson vakio                                | 0,2                      |
| Lämpölaajenemiskerroin                       | 9 x 10 <sup>-6</sup> 1/K |
| Kovuus                                       | n. 6 Mohr-yksikköä       |
| Emissiviteetti                               | 0,837                    |
| Lämmönjohtavuus                              | 1,0 W/mK                 |
| Lämmönläpäisykerroin                         | 5,7 W/m <sup>2</sup> K   |
| Ääneneristävyys (R <sub>w</sub> , 6 mm lasi) | 32 dB                    |

Lasin emissiviteetti kuvaa heijastuneen lämpösäteilyn (aallonpituus yli 2500 nm) määrää takaisin huonetilaan. Tavallisen lasin emissiviteetti on 0,837. Selektiivisillä pinnoit-teilla takaisin heijastuneen säteilyn määrää voidaan lisätä, jolloin lasin emissiviteetti on yleensä 0,04...0,20. [4.]

Lämpölaajenemiskerroin kuvaa materiaalin laajenemista lämpötilan kasvaessa. Läm-mönjohtavuus kuvaa, miten hyvin materiaali johtaa lämpöä.

Lämmönläpäisykerroin kertoo sisäilman ja ulkoilman lämpötilaeroista johtuvan lämpö-tehon siirtymisen lasin läpi. Lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla kuvataan raken-nusosan lämmöneristyskykyä; mitä pienempi U-arvo, sitä parempi lämmöneristävyys. [16.]

## 2.1 Turva- ja suojalasis

Turva- ja suojalaseja ovat karkaistut ja laminoidut lasit tai niiden yhdistelmät, jotka suojaavat henkilön vahingoittumista lasirikossa [3, s.163]. Turvalaseilla pyritään estä-

mään viiltovammojen syntyminen ja putoaminen lasin läpi lasiin törmätessä. Lasirikkojen aiheuttamien haavojen ja vammojen riski on suurin kulkuväylillä, joissa liikkuu paljon ihmisiä vilkkaasti. [4.]

### *Laminoitu lasi*

Kalvolaminoidussa lasissa kaksi tai useampia lasilevyjä on liitetty yhteen esim. PVB-muovikalvolla (polyvinylibuturaali). Laminoitaessa epätasaisia lasilevyjä tai käytettäessä pinnoitteita, jotka vahingoittuisivat kalvolaminoinnissa, voidaan käyttää nestelaminointia, missä laseja yhdistävänä kerroksena on akryyliepoksihartsia. [4.] Laminoinnissa voidaan yhdistellä erilaisia laseja ja laminointikalvoja ja niitä voidaan käyttää yksittäin tai eristyslasin osana [2, s.20].

Laminointi ei sinänsä lisää lasin lujuutta. Muovikerros tekee laminoidusta turvalasista sitkeän ja vaikeasti rikottavan. Kun lasia ylikuormitetaan, se murtuu tavallisen lasin tavoin, mutta lasinsirpaleet pysyvät kiinni muovikalvossa. Levy pysyy yhtenäisenä, jolloin läpätunkeutuminen estyy ja haavojen syntymisen riski minimoituu. Kaltevilla rakenteissa laminoitu sisälasi estää lasinpalojen putoamisen alas. Hyvä esimerkki laminoidusta lasista on autojen tuulilasit, jotka rikkoutuessaan pysyvät paikallaan ja läpinäkyvinä. [1.]

Laminoitu lasi suojaa tehokkaasti lasin läpäisevältä ultraviolettisäteilyltä, laminoidun lasin UV-läpäisy on enintään 2 % [1].

### *Karkaistu lasi*

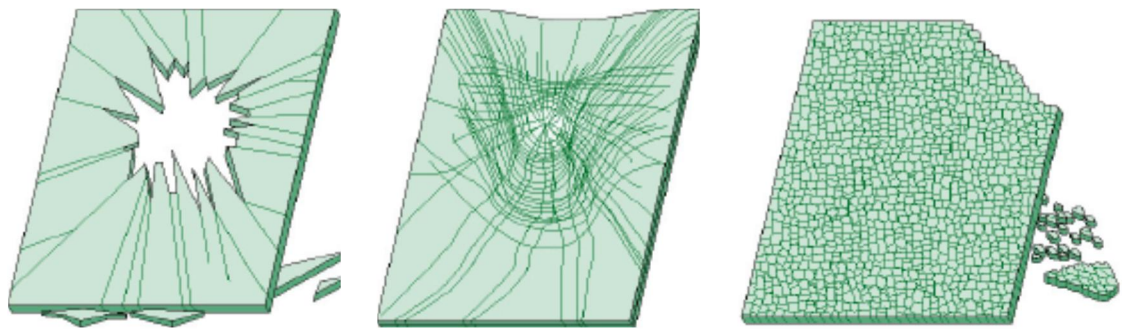
Karkaistuun lasiin on lämpökäsittelyllä saatu lasin pintaan puristusjännitys, mikä lisää lasin mekaanista lujuutta ja lämmönkestävyyttä. Karkaistua lasia käytetään rakenteissa, joissa vaaditaan erityisen hyvää iskunkestävyyttä tai taivutuslujuutta. Karkaistu lasi kestää lämpökäsittelmättömään float-lasiin verrattuna noin nelinkertaisen iskukuorman.

Karkaisu edellyttää, ettei lasissa ole voimakasta kuviointia tai herkkää pinnoitetta. Jos sellainen halutaan, pinnoitus on tehtävä karkaisun jälkeen. Lasiin tehtävät työstöt on suoritettava ennen karkaisua. Karkaisuprosessi ei muuta lasin valonläpäisyyttä, läpinäky-

vyyttä, pintakovuutta eikä naarmuuntumattomuutta. Karkaistuja lasia käytetään yksit-  
tään tai osana eristyslaselementissä.

Lämpökarkaistu lasi murenee rikkoutuessaan raemaiseksi, eikä siruihin muodostu taval-  
liselle lasille ominaista leikkaavan terävää reunaa. Karkaistu lasi voi monissa tapauksis-  
sa antaa täyden suojan lasin putoamista, painorasitusta, termisiä jännityksiä ja varo-  
matonta käsittelyä vastaan, mutta se ei ole erityisen vaikea rikkoa, jos vain tietää mitä  
tehdä.

[1.]



Tavallinen lasi

Laminoitu turvalasi

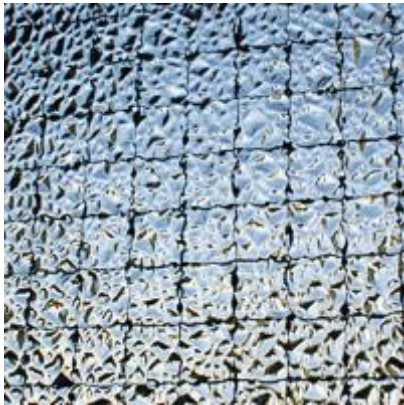
Karkaistu turvalasi

Kuva 1. Lasien rikkoutumiskuvioita [1].

Tavallisen lasilevyn paksuntaminen ei tee siitä turvalasia tai muuta sen rikkoutumista-  
paa. Turvalaseina tulisi aina käyttää, joko laminoitua tai karkaistua lasia, tai niiden yh-  
distelmiä.

### *Lankalasi*

Tietyt lankalaset on luokiteltu turvalaseiksi, koska langat pitävät lasin yhtenäisenä ja rikkoutumismekanismi vastaa laminoitua turvalasia. Lankalasisissa on lankaverkko tai yhdensuuntaiset langat, jotka painetaan tai syötetään kahden lasilevyn väliin valssamalla. Kaksi toisiinsa kiinni sulavaa lasilevyä sitovat verkon lasin sisään. Lankalasin lujuus on tavallista lasia heikempi. [4.] Lankalasisissa voi olla kuviollinen pinta, jolloin läpinäkyvyys on heikempi [3, s.160].



Kuva 2. Lankalasi [5].

### *Suojauslasi*

Suojauslasi on henkilön tai esineen suojaukseen tarkoitettu lasi. Suojauskohteita ovat ilkivalta, murransuoja, luodinsuoja ja räjähdysten suoja. Suojauslasien luokitukset perustuvat eurooppalaisiin standardeihin. Murransuojalaset luokitellaan kovan esineen pudotustestillä pudottamalla teräskuula testattavan lasin päälle ja terävän esineen iskutestillä kuormittamalla lasia testilaitteessa jäljitellen kirveen ja vasaran iskuja. Luodinsuojalaset luokitellaan ampumalla lasiin erityyppisillä aseilla. [6.]

Suojauslaseina käytetään laminoituja lasirakenteita. Pelkän karkaistun lasin käyttö suojalasinä ilkivaltaa ja murtautumista vastaan on riittämätön, koska se ei estä lasin läpi tunkeutumista. Laminoitun lasin suojauskyky perustuu lasin ja kalvon paksuuksiin ja niiden kerrosten lukumäärään. Monikerroksinen laminoitu lasi tarjoaa samanlaisen suojan kuin kahdesta lasista laminoitu, mutta viivyyttää lasin läpi tunkeutumista huomattavasti kauemmin. [1.]

## 2.2 Eristyslasi

Eristyslasi on kahdesta tai useammasta lasilevystä valmistettu elementti, jossa lasilevyjen välissä on kaasutiivis ilman ja jalokaasun täyttämä tila. Täytekaasut pienentävät lasivälän konvektion ja johtumisen kautta tapahtuvaa lämpöhäviötä. Lasilevyt on suljettu ilmatiiviisti toisiinsa lasien reunoja ympäröivien välilistakehien ja elastisten massojen avulla, jolloin elementin lämmöneristävyys paranee. [7.]

Tavalliset eristyslasit koostuvat kahdesta (2K) tai kolmesta (3K) lasista ja niiden yhdistelmästä. Kaksi- ja kolmilasisten rakenteiden U-arvot saattavat olla hyvinkin lähellä toisiaan valmistajien ilmoittamissa taulukoissa. Kuitenkin talvi-ilmastossa, pakkasen ja tuulen vaikutuksesta, 2K-elementin lämmöneristävyys heikkenee nopeasti 3K-elementin säilyttäessä paremmin lämmöneristävyys- ja tiiveysominaisuutensa. [1.]



Kuva 3. Perinteinen 2+1 eristyslasirakenne [8].

Eristyslaseissa käytetään täytekaasuna suurimolekyylisiä jalokaasuja (argon, krypton ja ksenon), koska ne johtavat ja kuljettavat lämpöä huonommin kuin ilma. Näistä argon on yleisimmin käytetty, vaikka sen lämmöneristävyys on heikompi kuin kryptonin tai ksenonin. Kryptonin ja ksenonin harvinaisuus tekee niiden käytöstä kallista, jolloin argonin käyttö on taloudellisempaa. [7.]

Lasien reunoja ympäröivässä välilistassa on reiät, joiden kautta välitilan kaasun kosteus sitoutuu kuivikeaineen huokosiin. Kuivikeaine poistaa valmistuksen yhteydessä välitilaan jääneen kosteuden sekä reunatiivistyksen läpi aikaa myöten diffusoituvaa kosteutta. Kuivikeaine on yleensä silikageeliä ja sen raekoko on noin yksi millimetri. Välilistan sijasta massapohjaisia ratkaisuja käytettäessä massa sisältää kuivikeaineen. Kuivikeaineen poisjättäminen tai väärän kuivikeaineen käyttäminen aiheuttaa ikkunan huurtumista. [7.]

Käyttämällä eri lasilaatuja elementin osina ja erilaisia kaasuja, ristikoita tai sälekaihtimia välitilassa, saadaan elementille haluttuja erikoisominaisuuksia. Eristyslasien lämmöneristävyyteen vaikuttaa lisäksi lasien ja lasivälien lukumäärä, lasien pinnoitteet, niiden lukumäärä ja sijainti, välilistojen materiaali ja niiden lämmönjohtavuus. [7.]

### 2.3 Muita laseja

#### *Auringonsuojalasi*

Auringonsuojalasin tarkoitus on vähentää liiallista auringon valoa/lämpösäteilyä sisätiloihin. Auringonsuojalaseilla pystytään estämään jopa 2/3 osaa auringon säteilyenergian läpäisystä. Kaiken säteilyenergian läpäisyn estäminen lasirakenteessa on mahdotonta, sillä näkyvän valoalueen säteily sisältää aina myös energiaa. Auringonsuojalaseja on massavärjättyjä sekä pinnoitettuja. [1.]

Massavärjätetyt lasit ovat läpivärjättyjä laseja, jotka absorboivat itseensä enemmän auringon lämpöenergiaa ja valoa kuin tavallinen kirkas lasi, samalla valon heijastus on matalampi. Kun lasi absorboi auringon lämpösäteilyä ja lämpenee, lasipinnan läheisyydessä oleva ilma alkaa liikehtiä, jäähdyttäen samalla lasipintaa. Tällöin auringon lämpösäteilystä vain osa siirtyy huonetilaan ja lämmön nousu sisätiloissa hidastuu. Massavärjättyihin lasiin on valmistuksen yhteydessä lisätty metallioksideja, joista lasi saa värin. Mitä paksumpi lasi, sitä tummempi lasin väri on. Yleisimpiä värejä ovat vihreä, harmaa, sininen ja pronssi. Sävy vaikuttaa lasin läpäisseen näkyvän valon määrään ja väriin. [1; 3, s.157.]

Pinnoitetut lasit ovat float-menetelmällä valmistettuja laseja, joissa lasin toinen pinta on pinnoitettu ohuella, matalan emissiviteetin omaavalla metalli-, nitridi- tai oksidiker-

roksella. Lasit ovat auringon lämpösäteilyä ja valoa heijastavia, mutta sisältäpäin katsottaessa lasit ovat läpäisyväriltään värineutraaleja. [1; 3, s.157.]

Auringonsuojalaseja voidaan käyttää yksinkertaisina tai eristyslasien osana. Eristyslasin osana auringonsuojalasit tulee sijoittaa uloimmaksi siten, että pinnoite on välitilaan päin. Laseja voidaan myös laminoida, karkaista, taivuttaa ja työstää kuten normaalia lasiakin. Karkaisu eliminoi myös lasin termisen rikkoutumisen riskiä, joka kasvaa lasin absorboidessa paljon aurinkoenergiaa. Auringonsuojalasia on saavana myös itsepuhdistuvana lasina. [1.]

Lasirakenteen auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo, kertoo kuinka paljon ikkuna läpäisee auringon säteilyenergiaa. Kirkas float-lasi läpäisee aurinkoenergiaa 80 - 87 % ja auringonsuojalasi noin 30 %. Muita auringonsuojaukseen vaikuttavia arvoja ovat valonläpäisy (LT), auringon suorallapäisy (ST), joka saattaa aiheuttaa liiallista pintojen ja kehon lämpenemistä sekä ultraviolettilon läpäisy (UV), joka voidaan estää laminoinnilla. [1.]

### *Hälytyslasi*

Hälytyslasissa on sähköä johtava pinnoite tai ohuita johtimia, jotka kytketään virtapiiriin. Lasin rikkoutuessa hälytys kytkeytyy päälle. Hälytyslasia käytetään murtosuojauksessa. [2, s.19.]

### *Itsepuhdistuva lasi*

Itsepuhdistuvaa lasia kutsutaan myös aktiivilasiksi. Lasin pinnassa on titaanidioksidi-pinnoite, joka kestää ikkunan käyttöiän. Luonnonvalo käynnistää lasin pinnalla prosessin, jossa orgaaninen lika, kuten siitepöly, linnun jätökset tai lehdet hajoavat. Vesisäteilällä lasin pintaan muodostuu tasainen kalvo, joka huuhtoo hajotetun lian pois. Sateen jälkeen ikkuna kuivuu ilman valumajälkiä. Puhdistuakseen lasi ei tarvitse suoraa auringonvaloa. [1.]

Itsepuhdistuva lasi soveltuu käytettäväksi lähes kaikissa ulkokohteissa: ikkunoissa, julkisivuissa ja lasikatoissa. Itsepuhdistuva lasi toimii parhaiten, kun sadevesi pääsee luonnollisesti lasin pinnalle. Matalat, katoksien ja räystäiden alla olevat lasipinnat tai

kuivan kauden aikana lasin voi pestä suihkuttamalla siihen vettä. Lasia suositellaan erityisen hankalasti lähestyttäviin lasituksiin, kuten kattoikkunoihin. Itsepuhdistuva lasi ei sovi sisäkäyttöön. [1.]



Kuva 4. Hilton Hotel Helsinki-Vantaa Airport, Pilkington Activ™ Blue.

Kuvassa 4 on Helsinki-Vantaan lentokentällä sijaitseva Hilton-hotelli, jonka julkisivulaseissa on käytetty Pilkingtonin Activ™ Blue itsepuhdistuvaa lasia. Kohteen arkkitehtisuunnittelusta vastasi KVA-Arkkitehdit Oy ja rakennesuunnittelijana toimi A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Hotelli avattiin 13.8.2007. [9.]

Itsepuhdistuva lasi on hieman tavallista lasia heijastavampaa ja sävyltään lievästi sinertävä, se vähentää ultraviolettisäteilyn läpäisyä sekä ulkopuolisen kondenssin haittoja. Pinnoite vahingoittuu käytettäessä esimerkiksi teräsvillaa tai hiovia puhdistusaineita. Itsepuhdistuvaa lasia voidaan käyttää muiden lasien kanssa eristyslaseissa ja sitä voidaan leikata, karkaista ja laminoida. Saatavana on myös itsepuhdistuva energiansäästölasia. [1.]



### *Kirkastettu lasi*

Kirkastettu lasi valmistetaan poistamalla lasimassasta väriä aiheuttavia ainesosasia (rauta- ja kromioksidit), jolloin lasista tulee normaalia kirkkaampi ja täysin väritön. Kirkastettu lasi läpäisee valon ja auringon lämpösäteilyn erittäin hyvin. [2, s.20.]

### *Lasitiili*

Lasitiilet tehdään sulattamalla kaksi valamalla valmistettua lasia yhteen siten, että niiden väliin jää ilmatila. Lasitiiltä voidaan käyttää läpikuultavissa rakenteissa tiilien tavoin, siitä voidaan rakentaa sekä pysty- että vaakarakenteita. Lasitiilet voidaan kiinnittää muuraamalla tai silikonilla toisiinsa. Muuraamalla kiinnitetyt lasitiilet tulee asentaa siten, ettei niihin kohdistu muita pystykuormia kuin lasitiilien oma paino. Riittävästä liikuntasauomoista ja laajennusvaroista on myös huolehdittava. Silikonikiinnityksellä saumoista saadaan tiiviit ja saumojen elastisuudesta johtuen lasitiilien rikkoutumiset ovat erittäin harvinaisia. [2, s.123-124.]

### *Lämpölujitettu lasi*

Lämpölujitettu lasi valmistetaan lämpökarkaistun lasin tapaan. Lasi lujittuu mekaanisesti, mutta vähemmän kuin karkaistussa lasissa. Rikkoutuvan lämpölujitetun lasin sirpaleet ovat pyöreämpiä ja varattomampia kuin tavallisen, lujittamattoman lasin rikkoutumisessa syntyvät teräväsärmäiset palaset, mutta kuitenkin suurempia kuin karkaistun lasin. Tämän ominaisuuden ansiosta lämpölujitettu taivutettu lasi pysyy rikkouduttuaan karkaistua taivutettua lasia paremmin raameissaan. Lasin työstöt on tehtävä ennen lämpölujittamista. [2, s.88; 3, s.161.]

### *Palonsuojalasit*

Palonsuojalasit voidaan jaotella niiden suojaa antavien ominaisuuksien mukaan paloa kestäviin, lämpösäteilyä rajoittaviin ja paloa osastoiviin laseihin. Palonsuojalaseja voidaan käyttää yksittäin tai eristyslasin osana, jolloin palonsuojalasi on normaalisti aina sisimpänä lasina.

Paloa kestävät lasit kestävätkin suhteellisen korkeita lämpötiloja ja estävät siten liekkien ja savun etenemisen. Paloa kestävät lasit päästävät yleensä lämpösäteilyn lävitseen, joten

suojaetäisyysvaateet on huomioitava. Paloa kestäviä lasia voidaan käyttää E-luokan rakenteissa.

Lämpösäteilyä rajoittavat lasit kestävät suhteellisen korkeita lämpötiloja ja estävät siten liekkien ja savun etenemisen. Käytettäessä lämpösäteilyä rajoittavia lasia suojaetäisyysvaateet on huomioitava. Lämpösäteilyä rajoittavia lasia voidaan käyttää EW-luokan rakenteissa.

Paloa osastoivat lasit ovat yleensä eristyslasin tai laminoitun lasin tyyppisiä, joissa lasien välissä oleva kidevesi sitoo höyrystyessään palon aiheuttamaa lämpöä. Tästä johtuen lasirakenteen palolta vastakkainen pinta lämpenee hitaasti. Paloa osastoivia lasia voidaan käyttää EI-luokan rakenteissa.

[3, s.161.]

Lasirakenteiden paloturvallisuudesta ja luokista on kerrottu enemmän luvussa 3.4 Paloturvallisuus.

#### *Profiililasi*

Profiililasi on valmistusvaiheessa vedetty poikkileikkaukseltaan U-profiilin muotoon. Profiililasia on saatavana eri väreissä ja erilaisin pinnoittein. Profiililaseja käytetään seinärakenteissa yksin- ja kaksinkertaisena ja siitä käytetään myös nimitystä lasilankku. [2, s.123.]

#### *Selektiivilasit*

Selektiivilasi on energiansäästölasia, joka päästää ulkoa tulevan auringonpaisteen sisään, mutta estää samalla lämmön karkaamisen sisältä ulospäin. Lasi on pinnoitettu matalaemissiviteettisellä metallioksidikerroksella, joiden ansiosta pitkäaaltoinen lämpösäteily heijastuu pois, mutta lyhytaaltoinen pääsee selektiivilasin läpi. Herkkä pinnoite sijoitetaan eristyslasielementissä aina välitilaan päin, jossa se ei likaannu tai vaurioidu. Pinnoite ei näy, eikä muuta lasin väriä. Selektiivilasi on 2K-elementissä tavallisesti sisälasi ja 3K-elementissä sisä- ja ulkolasina. [2, s.22; 10.]

Selektiivilasilla varustetun ikkunan lämmöneristyskyky nousee ja lasien sisäpintojen huurtuminen vähenee kylminä aikoina. Samoin ikkunan lähellä usein tuntuva vedon tunne vähenee, koska ikkunan pintalämpötila on korkeampi kuin tavallisella lasilla. [10.]

### *Structural Glazing*

Structural Glazing on lasirakennejärjestelmä, jossa lasit tai lasielementit on kiinnitetty runkorakenteisiin liimaamalla, käyttäen tätä tarkoitusta varten kehitettyjä liimaus- ja saumaussmassoja. Kuormat siirtyvät massojen välityksellä runkorakenteeseen. Usein käytetään myös mekaanista kiinnityksen varmistamista. Peitelistoja ei käytetä, vaan lasielementtien välit saumataan erikoismassalla. SG-julkisivun on todettu olevan kosteusteknisesti tiivis ja pitkäkestoinen rakenne.



Kuva 5. SG-lasirakenne, Sanomatalo, Helsinki, Arkkitehtitoimisto SARC Oy [29].

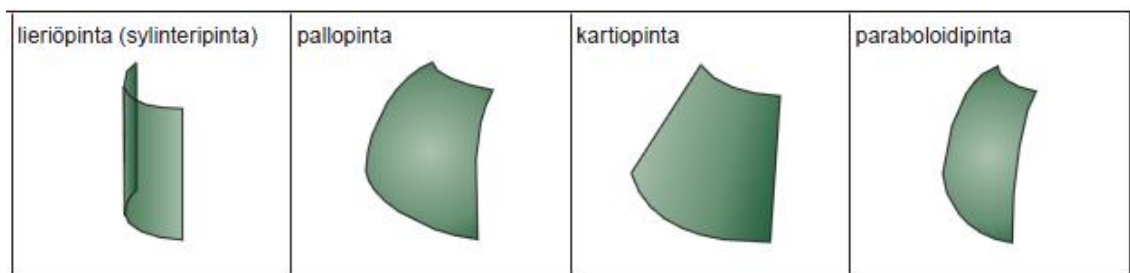
SG-rakenteessa voidaan käyttää eri lasivaihtoehtoja yksinkertaisena lasituksena ja 2K- tai 3K-eristyslaselementtejä. Uloimpana lasina käytetään joko karkaistua tai laminoitua lasia ja sen minimipaksuus on 6 mm.

SG-lasituksen runkomateriaaliksi sopii anodisoitu alumiini, pinnoitettu alumiini ja ruostumaton teräs. Käsittelemätöntä alumiinia, ruostuvaa terästä, muovia ja puuta ei voi käyttää. Puurakenteisiin SG-lasitus voidaan kuitenkin toteuttaa ankkuroimalla puuhun teräslevy, johon lasit liimataan normaalisti.

[11.]

### *Taivutettu lasi*

Lasilevy lämmitetään ja taivutetaan lämmitysuunissa taivutusmuotin tai keraamisten telojen päällä ja siten lasin pinta saadaan kaarevaksi. Kuvassa 6 on esitetty lasin eri taivutusmuotoja. Lasin taivutusmuoto voi olla lieriö-, kartio-, pallo- tai paraboloidipinta.



Kuva 6. Lasin taivutusmuotoja [4].

Lasin kaarevuussäteet ja lasikoko riippuvat käytetystä lasipaksuudesta. Float-lasia, laminoitua ja karkaistua lasia voidaan taivuttaa, myös eristyslaseja voidaan tehdä taivutettuina. Lasin yhdistetty taivutus ja karkaisu on mahdollista erityisesti tähän tarkoitukseen kehitetyillä koneilla.

[4.]

### 3 Lasirakenteiden standardit sekä määräykset ja ohjeet

Lasirakenteiden ominaisuuksille asetetaan rakenteen tehtävään ja käyttöolosuhteisiin perustuvia, ulkonäköön ja tekniseen toimintaan liittyviä vaatimuksia. Rakennesuunnittelussa ja -toteutuksessa on aina tapauskohtaisesti huomioitava rakenteisiin kohdistuvat riskitekijät, ja rakenteiden on aina kaikilta osin täytettävä voimassa olevat viranomaismääräykset. Lasin käyttöön liittyviä standardeja sekä määräyksiä ja ohjeita löytyy seuraavista julkaisuista: SFS-standardit, Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK), RT-kortisto, Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2010 (RYL) sekä RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet.

Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää ympäristöministeriön asettamia rakentamisessa sovellettavia määräyksiä ja ohjeita, jotka on annettu maankäyttö- ja rakennuslain nojalla. Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia. Ohjeet sen sijaan eivät ole velvoittavia, vaan muitakin kuin niissä esitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää, jos ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista ja korjaus- ja muutostyössä määräyksiä sovelletaan. [12.]

Taulukko 2. Suomen rakentamismääräyskokoelman pääosat [12].

|                                   |
|-----------------------------------|
| A Yleinen osa                     |
| B Rakenteiden lujuus              |
| C Eristykset                      |
| D LVI ja energiatalous            |
| E Rakenteellinen paloturvallisuus |
| F Yleinen rakennussuunnittelu     |
| G Asuntorakentaminen              |

Lasirakenteiden suunnitteluun liittyviä olennaisia asioita on esitetty osassa C Eristykset; äänen-, kosteuden- ja lämmöneristys, D LVI ja energiatalous; rakennuksen energiatehokkuus, E Rakenteellinen paloturvallisuus ja F Yleinen rakennussuunnittelu; käyttö- ja henkilöturvallisuus. Lisäksi osassa G Asuntorakentaminen on annettu säännökset asuinhuoneen luonnonvalon saannista sekä ikkunan valoaukon vähimmäiskoosta. [12.]

Suomen tasolasiyhdistys ry on selvittänyt turva- ja suojalaseja koskevia määräyksiä ja ohjeita sekä eurooppalaisia standardeja ja koonnut niistä yhteenvedon *Turva- ja suojalaseista 2003*. Ohje perustuu muun muassa Suomen rakentamismääräys-kokoelman osaan F2, Rakennuksen käyttöturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2001. [6.]

Rakennustieto-yhteisön muodostavat Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy. Rakennustiedon tunnetuin tuote on RT-kortisto, joka on jo yli 60 vuoden ajan toiminut hyvän suunnittelun johtavana tietojärjestelmänä. Kortistoa päivitetään vastaamaan uusiutuneita määräyksiä ja käyttäjien toiveita. Rakennustiedon tuotteisiin kuuluu myös RYL-kirjat, jotka kuvaavat alan yhdessä sopimia hyviä rakennus- ja kiinteistönpitotapoja. *RunkoRYL 2010* määrittää muun muassa julkisivulasitukseen liittyviä teknisiä vaatimuksia, joita käytetään rakennusosien ja työvaiheiden laatua määritettäessä ja todettaessa. [8.]

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL on rakennus- ja kiinteistöalan diplomi-insinöörien ja teekkareiden vuonna 1934 perustama valtakunnallinen järjestö, joka julkaisee alan ohjeita ja käsikirjoja. *RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet* -ohjeen tavoitteena on ollut tuottaa ajan tasalla olevat teknis-taloudellisesti tasapainoiset ohjeet valokatteisten tilojen suunnittelua, mitoitusta, rakentamista ja huoltotyötä varten sekä rakentamisen ja käytönaikaisen valvontamenettelyn ohjaamiseksi. [13.]

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on vuonna 1924 perustettu standardisoinnin keskusjärjestö. Jäsenenä liitossa on elinkeinoelämän järjestöjä ja Suomen valtio. Standardisoimisliitto on jäsenenä kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä ISOssa (*International Organization for Standardization*) ja eurooppalaisessa standardisoimis-järjestössä CENissä (*European Committee for Standardization*). SFS vahvistaa, julkaisee ja koordinoi suomalaisten SFS:n toimialayhteisöjen laatimia standardeja. Rakennuslaseja koskevia SFS-standardeja on kymmeniä. [14.]

Suomen rakentamismääräyskokoelma tullaan korvaamaan uudella suunnittelunormilla, eurokoodilla. Suomessa eurokoodit julkaisee Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Siirtyminen eurokoodeihin alkoi 1. marraskuuta 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma ja eurokoodit ovat näillä näkymin rinnakkaiskäytössä 1.7.2013 asti, jolloin siirrytään käyttämään vain eurokoodia. Eurokoodit ovat eurooppalaisia kantavi-

en rakenteiden suunnittelustandardeja. Ne koostuvat kymmenestä standardista ja niiden kansallisista liitteistä. [15.]

Taulukko 3. Eurokoodien pääosat [15].

|                      |   |
|----------------------|---|
| EN 1990 Eurokoodi 0: | Suunnittelun perusteet  |
| EN 1991 Eurokoodi 1: | Rakenteiden kuormitukset  |
| EN 1992 Eurokoodi 2: | Betonirakenteiden suunnittelu                                   |
| EN 1993 Eurokoodi 3: | Teräsrakenteiden suunnittelu                                    |
| EN 1994 Eurokoodi 4: | Teräs-betoniliittorakenteiden suunnittelu                       |
| EN 1995 Eurokoodi 5: | Puurakenteiden suunnittelu                                      |
| EN 1996 Eurokoodi 6: | Muurattujen rakenteiden suunnittelu                             |
| EN 1997 Eurokoodi 7: | Geotekninen suunnittelu   |
| EN 1998 Eurokoodi 8: | Rakenteiden suunnittelu kestävyys-<br>suhteen maanjäristyksessä |
| EN 1999 Eurokoodi 9: | Alumiinirakenteiden suunnittelu                                 |

Lasirakenteiden suunnittelulle ei vielä tällä hetkellä ole eurokoodiosaa, mutta on suunnitteilla, että se tulisi olemaan Eurokoodi 10. Tälle olisi varmasti perusteita ja se selkeyttäisi suunnittelunormeja lasirakenteiden osalta. Marraskuussa 2000 on julkaistu lasirakenteiden mitoitusta varten valmisteilla oleva EN-standardiluonnos, prEN 13474, johon on viitattu *RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet* -ohjeessa. Standardiluonnos prEN 13474 on sittemmin hylätty eli standardien laadinnassa ei ole päästy yhteisymmärrykseen, eikä standardisarja valmistunut. Siitä huolimatta *RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet* -julkaisu on voimassa ja sen ohjeita saa käyttää suunnittelussa.

### 3.1 Lämmöneristys

Lämmön siirtyminen rakenteessa voi tapahtua säteilemällä, johtumalla ja konvektion avulla. Lasirakenteessa osa lämpösäteilyä läpäisee lasin, osa heijastuu takaisin ja osa absorboituu lasiin. Lasiin absorboitunut lämpö siirtyy johtumalla ja konvektion avulla sisä- ja ulkopuolelle. [2, s.26-25.]

Lasirakenteen lämmöneristävyydellä on merkittävä vaikutus oleskeluviihtyvyyteen varsinkin asunnoissa ja toimistoissa, joissa työskennellään ja vietetään paljon aikaa ikkunoiden läheisyydessä. Viihtyvyyteen vaikuttaa koko lasirakenteen lämmön-eristävyys, tiiveys ja lasin pintalämpötila. Ikkunoiden koolla ja korkeudella on myös merkitystä, mitä korkeampi ikkuna on, sitä vapaammin ilma pääsee liikkumaan lasin sisäpinnalla, aiheuttaen niin sanotun vedon tunteen. [2, s.32-34.]

Lämmöneristävyyttä kuvataan käänteisesti lämmönläpäisykerroin, U-arvolla. Lasiosan tai koko ikkunarakenteen lämmönläpäisykerroin ilmoitetaan yleisesti standardeissa määrätyn mukaisissa olosuhteissa laskettuna tai mitattuna arvona, jota voidaan käyttää eri rakenteiden vertailemiseen. Vuonna 2010 voimaan tulleiden Suomen rakentamismääräyskokoelman osien C3, D2 ja D3 määräysten muutokset kohdistettiin rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen vähentämiseen. Rakennusten vaipan U-arvoja ja tiiveysvaatimuksia tiukennettiin. Määräysten mukaan lämpimän tilan ikkunan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja puolilämpimän enintään  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [16.] Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on vaatimukset rakennuksen energiatehokkuudesta. Rakentamismääräyskokoelman osa D3 uudistuu heinäkuussa 2012, mutta vuonna 2010 voimaan tulleet U-arvot säilyvät. [18.]

Laskettaessa lasirakenteen lämmönläpäisykerroin rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaan käytetään lämmöneristeiden lähtötietoina normaalian lämmönjohtavuuden arvoja ( $\lambda_n$ ). Laskettaessa soveltuvan SFS-EN-standardin mukaan käytetään lähtötietoina lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja ( $\lambda_{\text{design}}$ ). Ikkunarakenteen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää, kun rakentamismääräyskokoelman osassa C3 esitetyn vaatimuksen on osoitettu täyttyvän kehän ulkomittojen mukaan laskettuna vähintään  $1,4 \text{ m}^2$  kokoisella ikkunarakenteella. [17.]

Lasi on sinänsä huono lämmönerieriste, mutta lasirakenteen lämmöneristävyyteen voidaan vaikuttaa monilla tavoin, esimerkiksi lasiväljen lukumäärällä ja pinnoitteilla sekä hyödyntämällä ilmaa raskaampia kaasuja välitiloissa [2, s.26]. Ikkunoiden ja lasirakenteiden lämmöneristävyyttä voidaan parantaa käyttämällä selektiivilasia, jolle on tunnusomaista matala emissiviteetti. Sen lisäksi lasirakenteiden lämmöneristävyyttä voidaan parantaa eristyslaseilla, vähemmän lämpöä johtavilla välilistoilla ja ikkunarakenteen ominaisuuksilla. [4.]



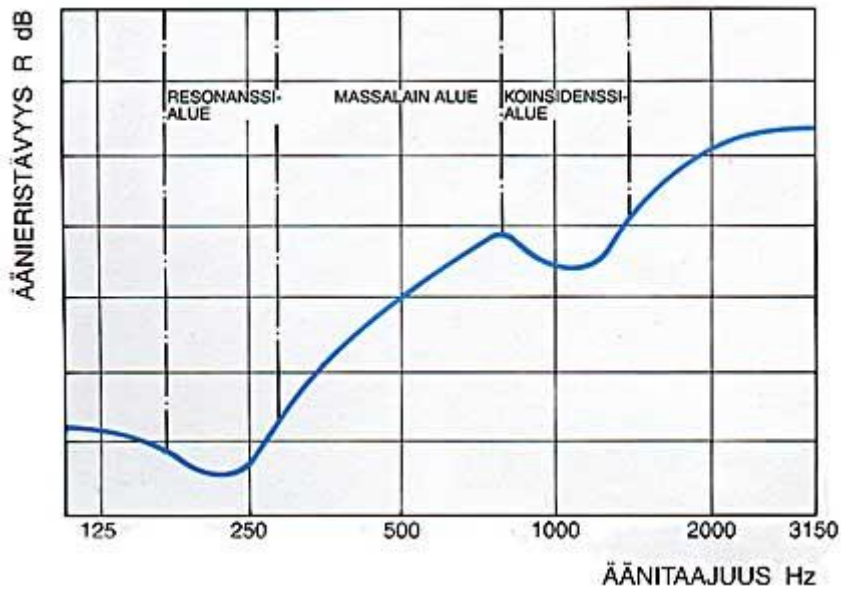
Viime aikoina lasirakenteiden ja ikkunoiden lämmöneristävyysominaisuudet ovat kehittyneet huomattavasti ja markkinoilta löytyy energiansäästölaseja, jotka parantavat sisäilmastoa vähentämällä kylmien lasipintojen aiheuttamaa vedontunnetta ja säteilyhaittoja. Sen lisäksi ne vähentävät lämmitysenergian tarvetta ja alentavat energiakuluja. Käytettäessä hyvin lämmöneristäviä energiansäästölaseja, tulee suunnittelussa ottaa huomioon ikkunoiden vaikutukset tilojen liialliseen lämpenemiseen etenkin kesäaikana.

### 3.2 Ääneneristys

Lasilla on hyvät ääneneristävyysominaisuudet, koska se on raskas ja kova materiaali. Lasin ääneneristävyys on verrannollinen lasin paksuuteen; massan kaksinkertaistuessa lasin ääneneristysluku kasvaa noin 6 dB. [4.] Usein lasin massasta saatu hyöty kuitenkin menetetään, koska sitä käytetään varsin ohuina ja useampikertaisina kerroksina lämmöneristysyistä.

Julkisivujen lasirakenteet tulee suunnitella niin, että ne eristävät riittävästi liikennemelua ja muuta ulkopuolelta tulevaa melua. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyttä koskevat vaatimukset esitetään yleis- ja asemakaavoissa. Melua mitataan äänenpaineena, joka ilmaistaan desibeleissä (dB). Kaupunkiympäristössä liikenteestä aiheutuva melutaso on välillä 55-90 dB. [3, s.98-101.] Valtioneuvoksen päätöksen (993/1992) mukaan asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa melutaso sisällä tulisi päiväsaikaan olla enintään 35 dB ja yöaikaan 30 dB. Opetus- ja kokoontumistiloissa sovelletaan ainoastaan melutason päiväohjearvoa 35 dB sekä liike- ja toimistohuoneistoissa päiväohjearvoa 45 dB. [12.]

Ääneneristysarvot ovat riippuvia äänen korkeudesta eli taajuudesta. Ihminen kuulee äänet, joiden taajuudet ovat välillä 20 Hz - 20 kHz [3, s.98-99.]. Lasirakenteeseen vaikuttavat äänitaajuusalueet voidaan jakaa kolmeen luokkaan: resonanssialue 100...250 Hz, jolloin melun lähde on tieliikenne; massalainalue 250...1000 Hz on niin sanottua yleismelua ja korkeilla taajuuksilla 1000...3150 Hz on koincidenssialue, jolloin melun aiheuttaja voi olla esimerkiksi lentoliikenne. [5.]



Kuva 7. Lasirakenteen äänitaajuusalueet [5].

Ääneneristävyyden kannalta merkityksellisimpiä ovat pienet alle 200 Hz:n taajuudet, joilla esiintyy resonanssia [3, s.99]. Resonanssi on tilanne, jossa rakenteen kohtaavan ilmaäänien taajuus on sama kuin rakenteen ominaistaajuus. Tällöin rakenteen värähtely voimistuu. [4.] Lasille ominaiseen värähtelyn taajuuteen vaikuttaa etenkin lasien paksuus. Jos lasilevyt ovat yhtä paksuja, ne värähtelevät samalla taajuudella, mikä heikentää ääneneristävyyttä. Sen vuoksi sisä- ja ulkolaseina voidaan käyttää eripaksuisia lasia ja useampilasisissa ikkunoissa yleensä ainakin yksi lasi on eripaksuinen kuin muut. [5.]

Resonanssialueen jälkeen lasilevyn ääneneristävyys paranee koinsidenssitaajuusalueelle asti, jolla lasissa etenevän taivutusaallon nopeus on sama kuin äänen nopeus ilmassa. Lasipaksuuden kasvaessa koinsidenssi siirtyy taajuudessa alaspäin. Koinssidenssitaajuutta saadaan ylemmäksi pois ääneneristykseen kannalta merkitykselliseltä taajuusalueelta ohuemmillä ja laminoiduilla lasilla. [4.]

Lasirakenteen ääneneristysluku voidaan yleensä lukea lasivalmistajan toimittamasta taulukosta. Ääneneristävyys mitataan 16 taajuuskaistalla standardien mukaisesti ja näistä piirretään kuvaaja, josta arvot luetaan. Lasirakennetta valittaessa tulisi ottaa huomioon vähintään 3 dB varmuusmarginaali, koska mittaukset suoritetaan laboratorio-oloissa, eivätkä näin vastaa aivan todellisen rakenteen olosuhteita. [1.]

Lasirakenteiden ääneneristävyyteen voidaan vaikuttaa käyttämällä eripaksuisia laseja ja suurentamalla lasien välisiä etäisyyksiä sekä käyttämällä paksumpia laseja ja/tai laminoituja laseja. Lasien paksuuksia valittaessa ääneneristävyyden kannalta yleensä paksut lasit eristävät paremmin matalia taajuuksia ja ohuet lasit paremmin korkeita taajuuksia. Myös rakenteen ilmatiiveydellä on suuri merkitys ääneneristävyyteen. [4.]

### 3.3 Kosteustekninen toimivuus

Rakennuksen ulkovaipan lasirakenteet ovat alttiita vesi- ja lumisateelle, niiden sulamis- ja jäätymisilmiöille sekä tuulelle. Lisäksi viistosade, kosteuden kapillaarinen kulkeutuminen ja paine-eroista johtuva kosteuden tunkeutuminen aiheuttavat riskejä lasirakenteen kosteustekniselle toiminnalle. Jotta rakenne antaisi riittävän suojan sääilmiöitä vastaan, tulee sen olla riittävän vesi-, höyry- ja ilmatiivis ja veden poistuminen rakenteesta tulee olla hallittu. Ilmatiiveyttä tarkasteltaessa oleellista on riittävä tiiveys silloin kun rakenteen ulkopuolinen paine on sisäpuolista korkeampi. [3, s. 79-80.]

Lasirakenteet ovat usein koottu eri komponenteista, jotka sisältävät pinta-alaansa nähden paljon liitoksia, saumoja, tiivisteitä ja listoja. Profiileihin sisäänrakennetut kanavat varmistavat veden poiston ja lasitilan tuuletuksen. Veden on päädyttävä hallitusti joko rakennuksen ulkopuolelle tai rakennuksen vedenpoistojärjestelmään. [3, s. 79-80.] Ulkopuolen ikkunanpellin tulee liittyä rakenteeseen vesitiiviisti. Pellin kallistuksen tulee olla 30-45°, jotta siihen osuva sadevesi ei roisku ikkunaan ja ikkunapieliin päin, vaan pois päin rakennuksesta. Riittävä tippanokka estää valuvan veden tippumisen seinäpintaan. [19, s.52-53.]

Lasirakenteen tulee säilyttää tiiveytensä ja veden poistumisteiden toimivuutensa myös lämpöliikkeistä ja sallituista painumista huolimatta. Liittymät muihin rakenteisiin on myös huomioitava ja koko rakennekokonaisuuden toimivuus. [3, s.80.]

Käytettäessä SG-lasitusjärjestelmiä lasien kiinnitys perustuu joko kynsikiinnikkein varmistettuun liimaukseen tai erilaisiin pistekiinnitysratkaisuihin, jolloin pintalistoja ei käytetä. Lasiruutujen väliset saumat täytetään saumaussmassoilla, jolloin veden valumista patoavaa uloketta ei esiinny. [3, s.81-82.]

### *Kondensoituminen*

Lasin pintaan tiivistyy kosteutta, kun lasin pintalämpötila on alhaisempi kuin ympäröivän ilman kastepiste. Kastepiste on lämpötila, jossa vesihöyryä sisältävän ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Ilman vesihöyrypitoisuuteen vaikuttaa ilmanvaihto, ilmanpaine ja kosteuslähteet. Kondenssiriski kasvaa kun ilman kosteus on korkea ja lasipinnat kylmiä. Kondenssia voi syntyä sekä lasin sisä- että ulkopuolella ja myös lasien välissä. [3, s.85.]

Sisäpuolinen kondenssi on merkki lasirakenteen huonosta eristävydestä suhteessa sisäilman kosteuteen ja alhaiseen ulkolämpötilaan. Ilmiö on tuttu etenkin vanhoissa asuinrakennuksissa, joissa ikkunat ovat syvennyksessä, lähellä seinän ulkopintaa. Asuntojen ilmanvaihto on myös usein riittämätön, koska kosteutta huoneilmaan vapauttavat toiminnot ovat lisääntyneet (peseytyminen, pyykinkuivatus, keittäminen). Kondenssia syntyy useimmiten ikkunan alareunaan, jossa ilman liikkuvuus on vähäistä. [1; 2, s.36.] Lasirakenteen sisäpuolinen kondenssi voi nykypäivänä tulla esille matala-energiarakentamisessa paksujen seinärakenteiden myötä. Ikkunan sisin lasipinta tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle sisäseinän pinnan tasoa, jolloin ilmankierto on vapaampaa. [19, s.53.]

Lasien välinen kondenssi johtuu yleensä sisäpuutteen ja karmin välisestä riittämättömästä tiiveydestä, jolloin lämmintä ja kosteaa sisäilmaa pääsee vuotamaan lasien väliin tilaan. Tällöin kosteus kondensoituu ulkolasin sisäpintaan. Jos ulkopuitteen ja karmin välinen tiivistys on liian tiivis, välitilaan joutunut kosteus ei pääse tuulettumaan ulospäin. Kondenssi eristyslasin välitilassa on merkki viallisesta tai riittämättömän kastepisteen omaavasta elementistä. [2, s.36.]

Ulkopuolinen kondenssi kertoo lasirakenteen hyvästä lämmöneristyksestä ja pienestä energiahukasta. Nykyiset lasirakenteet ovat tyypillisesti niin energiatehokkaita, alhaisen U-arvon omaavia, että lämpövuoto ei riitä pitämään ulkopintaa kastepisteen yläpuolella. Ilmiö esiintyy tietyissä olosuhteissa keväällä ja syksyllä ilman kosteuspitoisuuden ollessa korkea. Tyynellä, viileällä ja kirkkaalla säällä ulkolasi voi menettää niin paljon lämpöä avaruuteen suuntautuvan säteilyn vuoksi, että lasipinnan lämpötila jopa alittaa ulkolämpötilan. Ulkopuolinen kondenssi ei vaikuta ikkunan kestävyysasteeseen, sen ainoa todellinen haitta on, että se estää lasin läpinäkyvyyden. Koska ilmiö ajoittuu pääosin

yöaikaan ja kosteus haihtuu pois aamuntunteina, haitta on pieni. [2, s.34-35.] Käytet-  
täessä itsepuhdistuvaa lasia ulkopuolista kondenssia ei esiinny, koska lasin pinta on  
hydrofiilinen, eli siihen ei muodostu läpinäkemistä haittaavaa pisarointia. Lisäksi vesi  
kuivuu lasin pinnalta nopeammin [1].

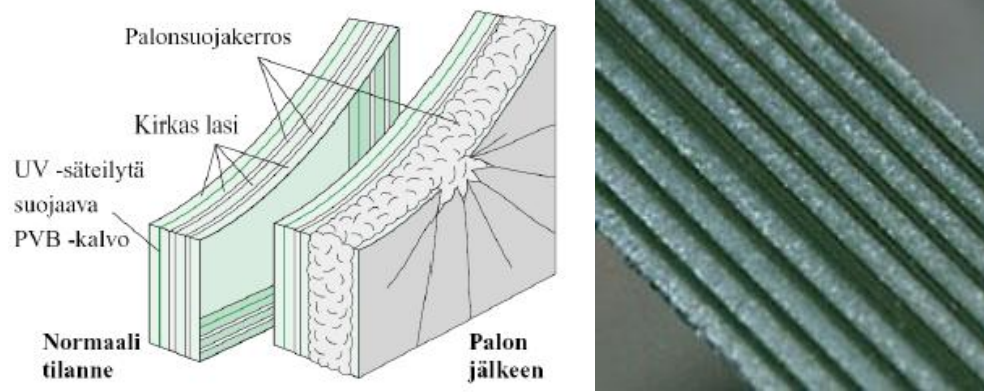
### 3.4 Paloturvallisuus

Paloturvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet on annettu Suomen rakentamismää-  
räyskokoelman osassa E1. Määräysten olennaisina vaatimuksina palon sattuessa on  
mahdollisuus poistua turvallisesti rakennuksesta, palon kehittymisen ja leviämisen ra-  
joittaminen rakennuksen sisällä ja ympäröiviin rakennuksiin sekä pelastushenkilöstön  
työskentelyn turvaaminen. [20.]

Lasituotteita on mahdollista käyttää osastoivina rakenteina. Paloa osastoivan lasiraken-  
teen tulee kestää palon aiheuttamaa lämpörasitusta ja estää liekkien sekä palokaasujen  
läpäisemästä rakennetta. Rakennusosiin kohdistuvia vaatimuksia kuvataan kantavuu-  
della R, tiiveydellä E ja eristävyydellä I. Näiden lisäksi merkintää voidaan täydentää  
tunnuksilla M iskunkestävyys palotilanteessa ja W rajoitettu lämpösäteilyn läpäisevyys.  
Palonkestävyyttä edellytetään koko lasirakenteelta karmeineen. [2, s.49-50.]

Palonsuojalasit jaetaan kolmeen eri luokkaan; E-, EW- ja EI-luokka. Luokan jälkeinen  
numerosarja ilmoittaa palonsuoja-ajan E30, EI60 ja niin edespäin [1]. Palonkestävien  
rakenteiden kantavuusvaatimukset eivät ole merkittäviä lasirakenteiden kannalta, kos-  
ka lasirakenne ei yleensä voi toimia kantavana rakenneosana. [2, s.50.]

Tunnus W esiintyy etenkin laminoitujen lasien ja eristyslaselementtien paloluokissa,  
tällöin lasielementin edestä mitattu lämpösäteily ei saa olla yli  $15 \text{ kW/m}^2$ . Monikerros-  
laminoitu lasi estää tulipalon kuumuuden synnyttämän lämpösäteilyn läpäisyn. Paloti-  
lanteessa lasien välinen kidevettä sisältävä silikaattikerros vaahtoutuu veden haihtues-  
sa läpinäkymättömäksi ja eristäväksi. Haihtuminen sitoo energiaa ja vastakkaisen pin-  
nan lämpötila ei ylitä  $100 \text{ °C}$  niin kauan kuin kidevettä on jäljellä. [1.]



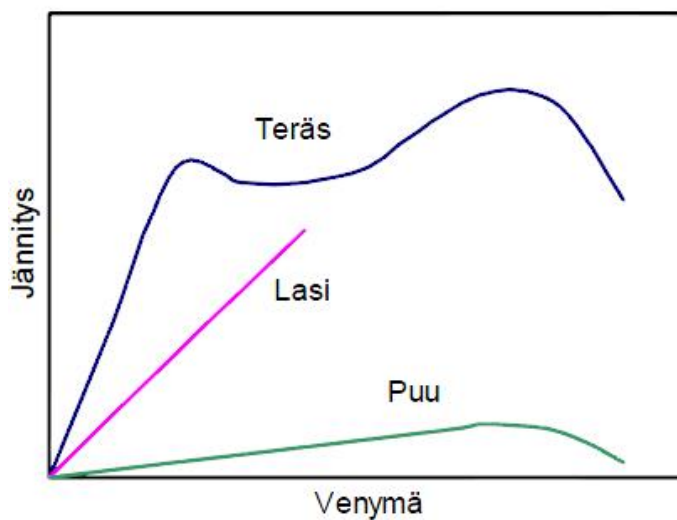
Kuva 8. Pilkington Pyrostop® palonsuojalasi [21].

Laminoitu lasi säilyttää rikkoutumisominaisuutensa myös palotilanteessa eikä romahda, mikä mahdollistaa henkilöiden turvallisen poistumisen [1].

## 4 Lasirakenteen kestävyys

### 4.1 Lasin lujuus

Lasille on ominaista sen rakenteen murtuminen ilman, että sillä olisi esimerkiksi teräkselle ominaista myötörajaa. Tämän vuoksi lasi kestää paremmin tasaista kuin piste-kuormaa ja huomattavasti paremmin lyhytaikaista, kuten tuulenpuuskaa, kuin pitkäaikaista kuormitusta, esimerkiksi lumikuormaa. Lasi rikkoutuu ilman plastista venymää, kun vetojännitys ylittää lasin lujuuden. [22, s.11.]



Kuva 9. Lasin, puun ja teräksen jännitys-venymäkäyrä [22, s.12].

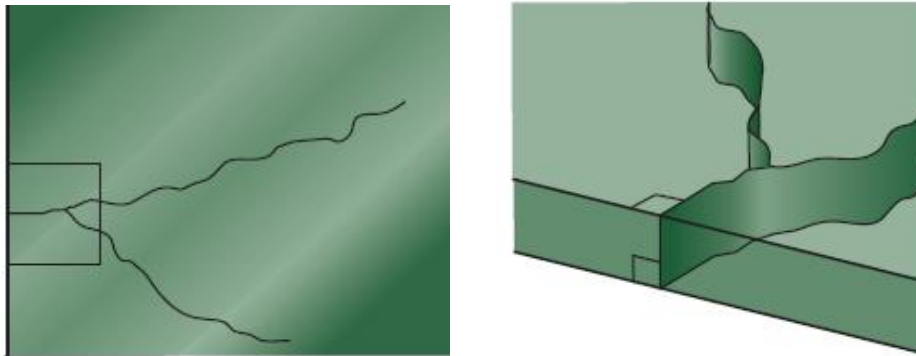
Lasin kestävyys määritellään kokemusperäisesti ja tilastollisten analyysien avulla, jokaiselle lasityypille ja kuormitustavalle erikseen. Lasin kestävyteen vaikuttavat myös lasin koostumus, kuormitusaika, lasilevyn koko, lämpötila sekä lasin pinnalla ja reunoilla olevat säröt. [22, s.12.]

Lasin puristuslujuus on niin suuri vetolujuuteen verrattuna, että rikkoutumisen kannalta vain vetolujuudella on merkitystä. Tavallisen float-lasin puristuslujuus on noin 900... 1000 N/mm<sup>2</sup> ja taivutusvetolujuus vaihtelee kuormitustavasta riippuen välillä 40... 120 N/mm<sup>2</sup>. [3, s.44.] Taivutusvetolujuus pienenee lasin pinta-alan kasvaessa, koska lasin pinnassa olevia naarmuja ja reunoihin käsittelyssä syntyneitä vaurioita ja lasimateriaalissa luontaisesti olevia Griffitin säröjä on enemmän. Lasi rikkoutuu pinnassa tai reu-

nassa olevan mikrohalkeaman kohdalta. Lämpölujitettu ja lämpökarkaistu lasi kestää 2-3-kertaisesti sen, minkä tavallinen float-lasi. [22, s.12.]

### *Lämpöjännitykset*

Lasit ovat alttiita lämpöjännityksille auringon lämmittäessä niitä. Kun lasin keskialueen ja reuna-alueiden lämpötilaero on suuri, saattaa keskialueen lämpölaajeneminen aiheuttaa reuna-alueille lasin rikkoutumiseen johtavan vetojännitysriskin. Osittainen varjostus, esimerkiksi syvän karmirakenteen tai sälekaihtimien aiheuttamana, pahentaa tilannetta. Varsinkin alareunan varjostus on huomattavasti huonompi tilanne kuin yläreunan varjostus, sillä lämmin ilma ylös noustessaan lämmittää varjossa olevaa ikkunan yläosaa, mutta varjossa olevaa alaosaa ei lämmitä muu kuin johtuminen lasissa ja karmissa. Tällainen tilanne voi syntyä, jos viereinen talo tai lähellä olevien puiden latvat varjostavat ikkunoiden alareunaa. [22, s.15-19.]



Kuva 10. Lämpöjännityksen aiheuttama halkeama on suorassa kulmassa reunan sekä lasin tason pintaan nähden [4].

Lämpöjännityksen aiheuttama lasin rikkoutumien on helppo tunnistaa sen halkeaman muodosta. Rikkoutumisen riskiä voidaan alentaa käyttämällä karkaistua lasia, huomioiden julkisivuun tulevat varjostukset ja valitsemalla sälekaihtimet, jotka absorboivat ja heijastavat mahdollisimman paljon auringonsäteilyä. Suositeltavia kaihdinmateriaaleja ovat alumiiniset valkoiseksi maalatut ja kirkkaat metallipintaiset kaihtimet. [22.]

Lasien rikkoutumien lämpöjännityksien aiheuttamana on suhteellisen harvinaista ja sitä esiintyy lähinnä lämmöneristävyydeltään aikaisempia paremmissa eristyslaselementeissä.



sä. Tiedostamalla lämpöjännitysrikkojen aiheuttamat tekijät voidaan lasiosan rasituksia pienentää. [22.]

#### 4.2 Kuormien määrittäminen

Rakenteiden suunnittelussa tarvittavia kuormitustietoja on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa B1 sekä Eurokoodin osassa 1 Rakenteiden kuormat ja sen kansallisessa liitteessä. Lisäksi suunnittelussa voidaan käyttää RIL julkaisemia ohjeita RIL 144-2002 Rakenteiden kuormitusohjeet, joka sisältää 1.3.1998 voimaan tulleet RakMk B1 -ohjeet ja RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, joka on rakenteiden kuormituksia käsittelevä suunnittelu- ja soveltamisohje eurokoodeista.

Lasirakenteisiin kohdistuvat kuormat voidaan jakaa pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Pysyvää kuormaa on muun muassa rakenteen omapaino, joka voidaan laskea nimellismittojen ja keskimääräisen tiheyden mukaan. Muuttuvat kuormat jaetaan edelleen vaikutusaikansa perusteella lyhytaikaisiin ja pitkäaikaisiin. Lyhytaikaisesti lasihin kohdistuvina kuormina laskentamenetelmissä otetaan huomioon tuulikuormat ja pitkäaikaisesti vaikuttavina lumikuorma. [2, s.56.]

Julkisivulasi mitoitetaan normaalisti ainoastaan tuulikuormalle. Ilmastointi voi aiheuttaa rakennuksen sisälle lasirakennetta kuormittavan alipaineen. Ilmastoinnin aiheuttama painekuorma on otettava huomioon lasirakenteen mitoituksessa samanaikaisesti tuulen aiheuttaman paine- ja imukuorman kanssa. [3, s.31-32.]

Lumikuorma tulee huomioida pääasiassa katto- ja katosrakenteissa. Lasisten seinärakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon seinää vasten mahdollisesti kinostuvan lumen aiheuttama vaakasuuntainen lumikuorma. Toisaalta tällaista kuormitustilannetta pitää välttää vesivuotoriskien vuoksi. [3, s.33-34.]

Henkilöiden liikkumisesta ja törmäämisestä aiheutuu pysty- ja vaakakuormia katto-, seinä- ja lattiarakenteisiin. Lasirakenteen mitoituksessa on erityisesti huomioitava vaakasuuntaiset piste- ja viivakuormat, jos lasirakenne muodostaa esteen korkeudeltaan eri tasoilla olevien kävelytasojen välillä ja rakenteen rikkoutumisesta aiheutuu putoamisvaara. Putoamisvaaran katsotaan syntyvän silloin, kun kahden kävelytason väli-

nen korkeusero on 500 mm tai enemmän. Vaakasuuntaiset kuormat otetaan mitoituksessa huomioon myös silloin, kun vaurioituva lasirakenne kokonaisuudessaan tai rakenteen osat voivat pudotessaan aiheuttaa vahinkoa, vaikka tasoerosta johtuvaa puutoamisvaaraa ei olisikaan. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi kadun vieressä olevat, ulospäin kaltevaan asentoon asennetut seinät. [3, s.34-36.]

Vaakasuuntaisia kuormia käytetään lisäksi lasirakenteen runkorakenteiden ja kiinnikkeiden mitoituksessa. RakMk B1 mukaan piste- ja viivakuorman oletetaan vaikuttavan kaiteen yläreunan korkeudella, ikkunan alareunan korkeudella tai yhden metrin korkeudella kävelytason pinnasta. Pistekuorman vaikutusalaksi voidaan olettaa  $25 \times 25 \text{ mm}^2$ , kun pistekuorman ominaisarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 2 kN. Pistekuorman ollessa suurempi kuin 2 kN, vaikutusalana käytetään  $100 \times 100 \text{ mm}^2$ . [3, s.37.] Eurokoodin mukaisessa mitoituksessa vaakasuuntaisen viivakuorman vaikutuskorkeutena käytetään väliseinän tai kaiteen korkeutta, mutta enintään 1,20 m. Pistekuorman kuormitusalueena käytetään  $50 \times 50 \text{ mm}^2$ , kun pistekuorman ominaisarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 2 kN ja muuten  $100 \times 100 \text{ mm}^2$ . [28, s.67-69, 73.]

#### 4.3 Lasirakenteen mitoitus

RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet -julkaisussa esitellään marraskuussa 2000 julkaistu EN-standardiluonnoksen prEN 13474 mukainen lasirakenteiden mitoitusmenetelmä sekä aikaisemmin Suomessa käytetty, lineaariseen laattateoriaan ja lujuuksien ominaisarvoihin perustuva mitoitusmenettely. [3, s.43.]

EN-standardiluonnoksen mukainen mitoitus perustuu rajatilamenetelmään. Laskennassa käytetään kokeellisesti arvioitua lasin lujuuden jakauman perusteella määritettyä vaurioitumistodennäköisyyttä vastaavaa jännitysarvoa. Lasin paksuus määritetään jännitysarvolle murtorajatilassa ja taipumalle käyttörajatilassa asetetuista ehdoista. Lasin materiaaliominaisuuksiin vaikuttavat tekijät otetaan huomioon mitoitusyhtälöissä käytettävillä kertoimilla ja osavarmuusluvuilla. [3, s. 43.]

Lineaarisen laattateorian ja lujuuksien ominaisarvoihin mukaisessa mitoituksessa yhtälöt suurimmalle vetojännitykselle ja taipumalle on johdettu Navierin ratkaisun avulla kaksoissarjakehitelmään perustuen. Laatan keskipisteen suurin vetojännitys lasketaan murtorajatilakuormien ja varmuuskertoimien mukaan ja sitä verrataan vetolujuuden

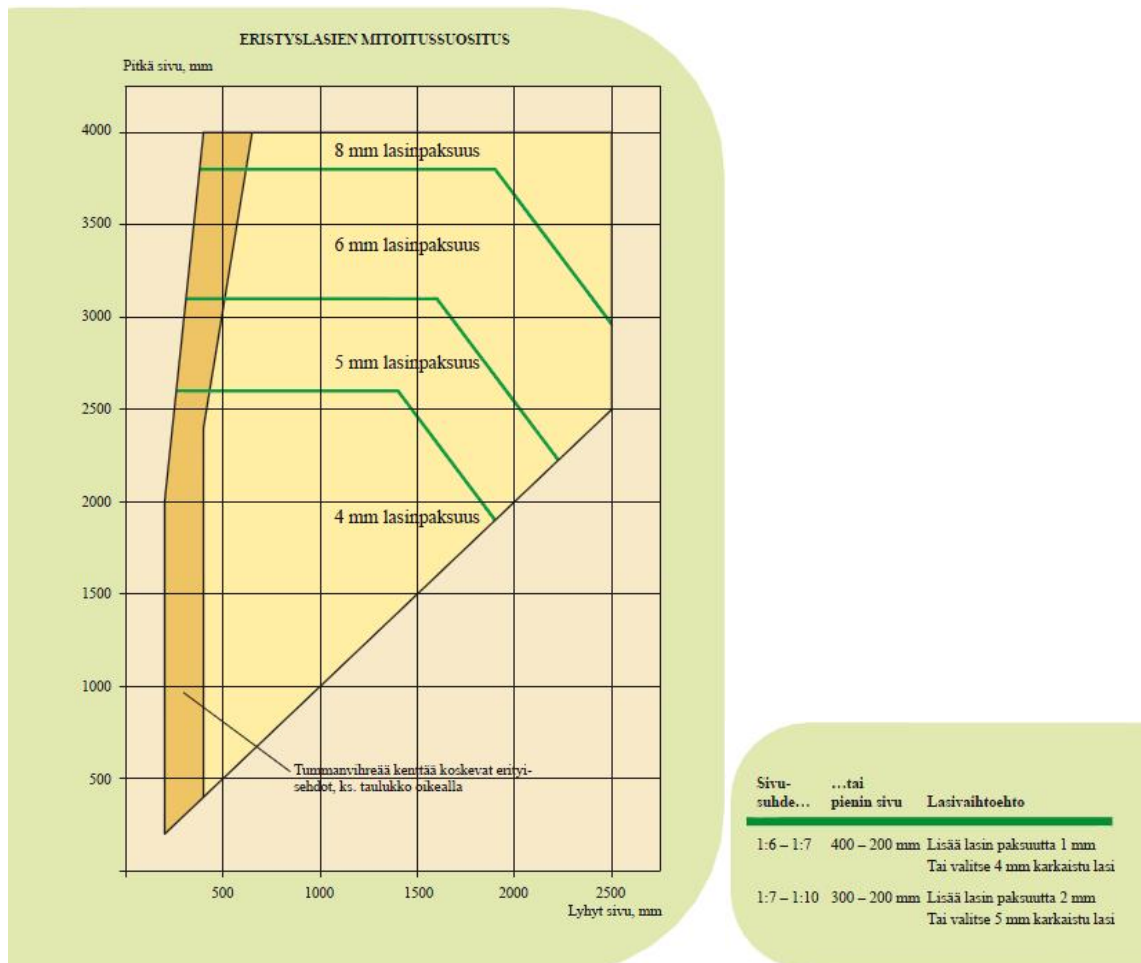
ominaisarvoon. Käyttörajalakuormien ja varmuuskertoimien mukaan laskettua suurinta taipuma-arvoa verrataan sallittuun taipumaan. Kuormat ja varmuuskertoimet lasketaan EN- standardien mukaan. [3, s.45.]

Lineaarisen teorian mukaan laskettuna lasilaatan taipumat ja jännitykset tulevat yliarvioituiksi laatan keskipinnan venymisen vuoksi. Todellisuutta vastaavaan ja taloudelliseen mitoitusohjeeseen pyrittäessä pitää ottaa huomioon suurista taipumista aiheutuva laatan geometrinen epälineaarisuus. Pienillä kuorman arvoilla laatan taipumat ovat pieniä ja jännitykset ovat taiputusjännityksiä. Taipumien kasvaessa kuorman lisääntymisen myötä, laattaan syntyy kalvojännityksiä eli laatan pinnan suuntaisia vetovoimia. Lasilaatassa samanaikaisesti vaikuttavien taiputus- ja vetojännitysten suuruuden arvioimien käsilaskentamenetelmin on työlästä. Suurin taiputus- ja vetojännityksen aiheuttama päävetojännitys ei välttämättä enää sijaitse laatan keskellä vaan laatan reuna-alueella. Laskenta tehdäänkin yleensä tietokoneohjelmilla, jotka perustuvat differenssi- tai elementtimenetelmään. Kalvojännityksiä syntyy vain sellaisiin lasilaattoihin, joiden tuenta sallii jännitysten jakautumisen uudelleen. Esimerkiksi kahdelta vastakkaiselta sivultaan tuettuun laattaan ei synny kalvovoimia, vaan laatta toimii palkkirakenteen tavoin ja murtuu alapinnasta, jännemitan puolivälissä, suurimman vetojännityksen ylittäessä lasin vetolujuuden. [3, s.45-46.]

RT-ohjekortissa 38-10316 on esitetty sekä yksinkertaisen lasilevyn että kaksinkertaisen ja kolminkertaisen umpiolasin lasilevyjen mitoitusohjeet. Ohje soveltuu pystysuoraan asentoon asennettaville ikkunoille ja ikkunaoville sekä sellaisille kaltevaan asentoon asennettaville ikkunoille, joiden kaltevuus pystysuorasta tasosta mitattuna on enintään 10° ja yläreunan poikkeama alareunan kautta kulkevasta pystysuorasta tasosta enintään 300 mm. RT-kortin mitoitusohje koskee vain Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B1 mukaan laskettua tuulikuorman alaisen lasilevyn mitoitusta. Yksinkertaisen lasin paksuus määritellään Marcuksen kaavan mukaan. Lisäksi ohjekortissa on laskettu valmiita arvoja ja kuvaajia yksinkertaisilla laseilla lasitettujen ja useampilasisten ikkunarakenteiden laseille ikkunoiden koon ja korkeusaseman muuttuessa. [23.]

Kuvassa 11 on Pilkingtonin Lahden lasitehtaan esimerkkikaavio, josta voidaan lukea symmetrisen eristyslaselementin yksittäisen lasilevyn paksuus eristyslasin leveyden ja korkeuden leikkauksesta. Kaaviota voidaan käyttää, kun rakennus sijaitsee taajama-alueella, enintään kahdeksan metriä maanpinnan yläpuolella ja tuulikuorman ollessa

enintään  $0,6 \text{ kN/m}^2$ . Tuulikuorma on laskettu Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaan. [1.]



Kuva 11. Lasin paksuuden valinta valmiista kaaviosta, Pilkington [1].

Mikäli kaaviosta luettu arvo on kahden lasinpaksuuden rajalinjassa, valitaan paksumpi lasi. Pitkänomaisen taipuisan lasin päihin syntyy murtotilassa jännitystila, jota lineaarinen laattateoria kuvaa huonosti. Kaavion tummennetulla alueella, laatan leveyden ollessa 200... 600 mm, on paksuutta tästä syystä kasvatettava. [1.]

Tällä hetkellä lasirakenteiden mitoituksessa voidaan käyttää useita eri laskentamenetelmiä. Eri lähteissä on lasille annettu paljonkin toisistaan poikkeavia, esimerkiksi sallitun maksimi vetojännityksen, arvoja. Näitä voidaan varsin turvallisesti käyttää, kunhan niitä käytetään saman lähteen laskentamenetelmien yhteydessä. Eri laskentamenetelmiä ei saa sekoittaa toisiinsa ja on tärkeää muistaa, että kuormat ja varmuuskertoimet määritetään kyseisen mitoitusmenetelmän vaatimalla tavalla.

## 5 Energiätehokkuus lasirakentamisessa

Lasirakenteilla on merkittävä osuus rakennuksen vaipan kokonaisenergiankulutuksessa. Energian tarvetta lisää kylmällä ilmalla ikkunoista johtuva lämpöhävikki sekä kesäkuumalla sisätiloja lämmittävä auringonpaahde. Molempien torjumiseen tarvitaan energiaa, joka kylmällä ilmalla on lämmitykseen käytettävää energiaa ja kuumalla huoneiston jäähtymiseen käytettävää energiaa. Toisaalta lasirakenteiden kautta saadaan rakennukseen auringon säteilyä, joka pienentää valaistukseen ja lämmitykseen käytettyä energiankulutusta. [24.]

Lasirakenteen energiätehokkuuteen vaikuttavat lämmöneristyskyky, ilmatiiveys, kokonaispinta-ala ja lasirakenteen kyky hyödyntää auringon valoa ja lämpöä. Ikkunoiden lämmöneristyskykyä on yleensä kuvattu muiden rakenneosien tapaan lämmönläpäisykerroimella eli U-arvolla. Vuoden 2010 energiamääräykset edellyttävät uusien rakennusten ikkunoilta U-arvoa  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , joka saavutetaan kolmilasisella eristyslasiikkunalla. Lähes kaikilla ikkunavalmistajilla on tarjota vaatimusta parempia vaihtoehtoja ja 2+2 eristyslasi-elementillä saavutetaan jo eristystaso  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [25, s.197.]

Pelkkä U-arvo ei kuitenkaan kerro kaikkea ikkunan energiätehokkuudesta. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo, kertoo kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon säteilyenergiaa. Mitä pienempi g-arvo on, sitä vähemmän ikkuna aiheuttaa viilennystarvetta. Ilmanvuotoluku L kuvaa ikkunan ilmatiiveyttä. Mitä pienempi L-arvo on, sitä vähemmän ikkunan kautta vuotaa ilmaa. Kaikkia kolmea suuretta (U, g ja L) tarvitaan, kun laskettaessa ikkunan energialuokituksen perusteena olevaa vuotuista energiankulutusta. [26.]

Suomessa on käytössä vapaaehtoinen ikkunoiden energialuokitus. Ikkunoille annetaan energiamerkki, jossa energiätehokkuus ilmaistaan kodinkoneistakin tutulla asteikolla A++:sta G:hen. Ikkunoiden energialuokat on esitetty taulukossa 4. [26.]

Taulukko 4. Ikkunoiden energialuokat [26].

| Energialuokka                            | A++ | A+  | A   | B    | C    | D    | E    | F    | G          |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------------|
| E-arvo<br>( $\text{kWh/m}^2, \text{a}$ ) | <45 | <65 | <85 | <105 | <125 | <145 | <165 | <185 | $\geq 185$ |

Energialuokitus ottaa huomioon lämmöneristävyyden lisäksi ilmatiiveyden sekä sen, kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon valoa ja lämpöä. Energialuokka määräytyy E-arvon perusteella, joka kertoo, kuinka paljon yksi ikkunaneliö aiheuttaa energiankulutusta vuodessa. Ikkunoiden energialuokitus on kehitetty, jotta kuluttajat voisivat mahdollisimman helposti vertailla eri ikkunamallien energiatehokkuutta. [26.]

Ympäristöministeriön uudet energiamääräykset astuvat voimaan vuoden 2012 heinäkuussa, jolloin siirrytään kokonaisenergiatarkasteluun. Kokonaisenergiankulutus esitetään E-luvulla, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energioiden ja energiamuotojen kertoimien tulona ja ilmaistaan kWh/m<sup>2</sup> vuodessa yksiköllä. Keinot energiatehokkuuden saavuttamiseksi ovat suhteellisen vapaat ja kompensatio-mahdollisuudet kasvavat. Vuoden 2010 mukaiset rakenteiden U-arvovaatimukset säilyvät ja kokonaisenergiatarkastelun myötä painopiste siirtyy eristeistä talotekniikkaan ja lämmitysmuotoihin. [12, 18.] Ikkunoiden vertailussa käytettävää E-arvoa ei pidä sekoittaa rakennuksen kokonaisenergiatarkastelussa käytettävään E-lukuun.

Lasirakenteiden energiatehokkuuteen vaikuttavia vaatimuksia ovat kesäajan huonelämpötilan hallinta ja rakennusvaipan ilmanpitävyys. Ikkunat tulee suunnata ja niiden koko ja rakenne valita siten, että auringon säteilylämpöä ja luonnonvaloa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon ikkunoiden vaikutukset tilojen liialliseen lämpenemiseen ja vetohaittoihin. [18.]

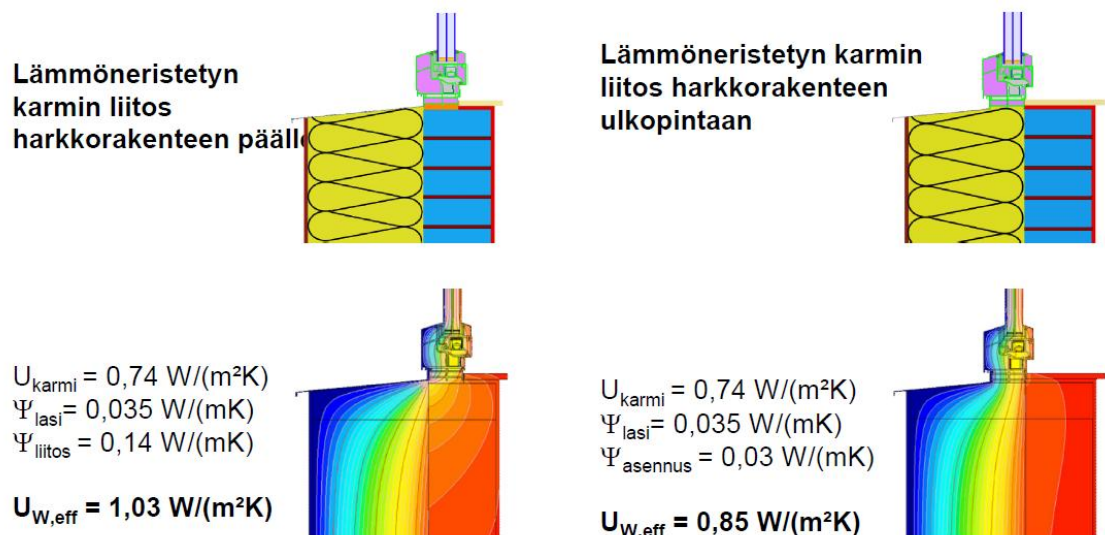
### 5.1 Lasirakenteen tiiveys ja sijoittaminen seinäleikkauksessa

Vanhojen ikkunoiden lämpöhäviö on noin 20 % rakennuksen lämmitysenergian kulu-  
tuksesta. Korjausrakentamisessa energiatehokkuuden parantaminen kannattaa aloittaa ikkunoiden tiivistämisellä tai vaihtamalla huonokuntoiset ikkunat kokonaan uusiin. Ikkunoiden tiivistämisessä sisäpuite tiivistetään mahdollisimman tiiviiksi ja uloimpaan ikkunapuitteeseen jätetään muutaman tuuletusrako tai käytetään ilmaa läpäisevää tiivistenauhaa, jotta kosteus ei pääse tiivistymään uloimman ikkunan sisäpintaan. [25, s.134-135.]

Vaihtamalla ikkunat uusiin rakennuksen vaipan tiiveys lisääntyy selvästi, jolloin ilmanvaihto on säädettävä uudelleen. Monissa vanhoissa taloissa korvausilmareittejä ei ole erikseen suunniteltu ja korvausilman on ajateltu tulevan ikkunoiden tiivisteiden vuoto-

jen kautta. Taloissa, joissa ilmavaihto perustuu pelkkään poistoilmapuhallukseen, lisäty ilmanvaihto saattaa aiheuttaa pienissä huoneistoissa kylmänä kautena veto-ongelmia. Lisääntyneen poistoilman mukana energiaa menee niin paljon hukkaan, että ikkunoiden vaihdossa saatu hyöty pienenee tai häviää kokonaan. [25, s.134-135, 137.]

Ilmatiiveyden kannalta suuremmat ikkunakoot ovat parempia kuin useat pienemmät ikkunat, näin mahdollisia ilmanvuotokohtia tulee vähemmän. Koska karmin U-arvo on huomattavasti huonompi kuin lasiosan, koko ikkunan lämmönläpäisykerroin on sitä parempi, mitä suurempi ikkunan pinta-ala. Erityistä huolellisuutta vaaditaan asennusvaiheessa liitosten tiivistämisessä ja sisäpuolen ilma- ja höyrynsulun liittämässä karmirakenteisiin. [27, s.63.]



Kuva 12. Ikkunoiden sijoituksen vaikutus U-arvoon [28].

Ikkuna tulisi sijoittaa seinäleikkauksessa aina lämmöneristeen kohdalle. Näin ehkäistään karmin ja kantavan rakenteen muodostavan kylmäsillan vaikutus. Kuvassa 12 on esimerkki ikkunan sijoituksen vaikutuksesta U-arvoon. U-arvo heikkenee arvosta 0,85 W/m<sup>2</sup>K arvoon 1,03 W/m<sup>2</sup>K, kun ikkuna siirretään lämmöneristykseen kohdalta kantavan sisäkuoren päälle. [27, s.63.]

Arkkitehtuurin näkökulmasta on usein toivottavaa, että ikkuna sijaitsee mahdollisimman lähellä ulkopintaa, samassa linjassa muun seinärakenteen kanssa. Paksujen seinärakenteiden kohdalla ikkunan sijoittaminen seinän ulkoreunaan voi aiheuttaa kondens-

siriskin ikkunan sisäpintaan, koska sisäilman kierrättäminen ikkunan pintaa pitkin estyy. Sisään vedetyn ikkunan kohdalla ei normaalisti ole sisäpuolista kondenssiriskiä ja ulkovaipan läpi päässeen veden poisohjaaminen on helpompaa, mutta ulkoilman ja tuulen jäähdyttävä vaikutus on vähäisempää. Optimaalinen kohta ikkunarakenteelle on lämmöneristeen kohdalla, niin että ikkuna ei sijaitse aivan seinärakenteen ulkoreunassa, eikä sisäreunassa. [19, s.53.]

Uudisrakentamisessa tai vaihdettaessa vanhat ikkunat uusiin lasirakenteen tiiveys ja lämmöneristävyys kannattaa tarkistaa esimerkiksi lämpökamerakuvauksen avulla. Lämpökuvauksella saadaan selville tutkittavan rakenteen pintalämpötiloja ja poikkeavan lämpötilan aiheuttajia, joita voivat olla esimerkiksi ilmanvuotokohdat, puutteelliset liitokset sekä kastuneet tai riittämättömät lämmöneristeet.

## 5.2 Ylilämpenemisen estäminen

Energiatehokkaan rakentamistyylin seurauksena ongelma ei enää ole lämmön pitäminen rakennuksen sisällä, vaan rakennuksen ylikuumentuminen. Suuret, koko seinän korkuiset lasipinnat voivat kesäaikana aiheuttaa tilojen ylilämpenemistä. Varsinkin rakennuksen eteläsivun lasirakenteissa kannattaa huomioida niiden kautta kesäaikaan sisälle kulkeutuva lämpökuorma, joka saattaa aiheuttaa ylimääräistä jäähdytysenergian tarvetta. [25, s.117; 27, s.57.]

Tilojen ylilämpenemisen estämiseksi tulee ensisijaisesti käyttää rakenteellisia ja passiivisia keinoja sekä tehostettua ilmanvaihtoa yöaikaan [18]. Auringon lämmönläpäisyä pystytään estämään tehokkaimmin käyttämällä auringonsuojalaseja, jotka heijastavat ja absorboivat auringon säteilyä ja ulkopuolisia auringonsuojia, kuten säleikköjä, lippoja ja markiiseja. Myös reilun kokoisilla räystäsrakenteilla sekä rakennuksen suuntauksella ja massoitteilla voidaan estää tilojen ylilämpenemistä kesällä. Lasirakenteen sisäpuolella olevat sälekaihtimet ja verhot eivät juuri estä auringonläpäisyä. [27, s.82.]



### 5.3 Energiatehokkuutta parantavia lasirakenteita

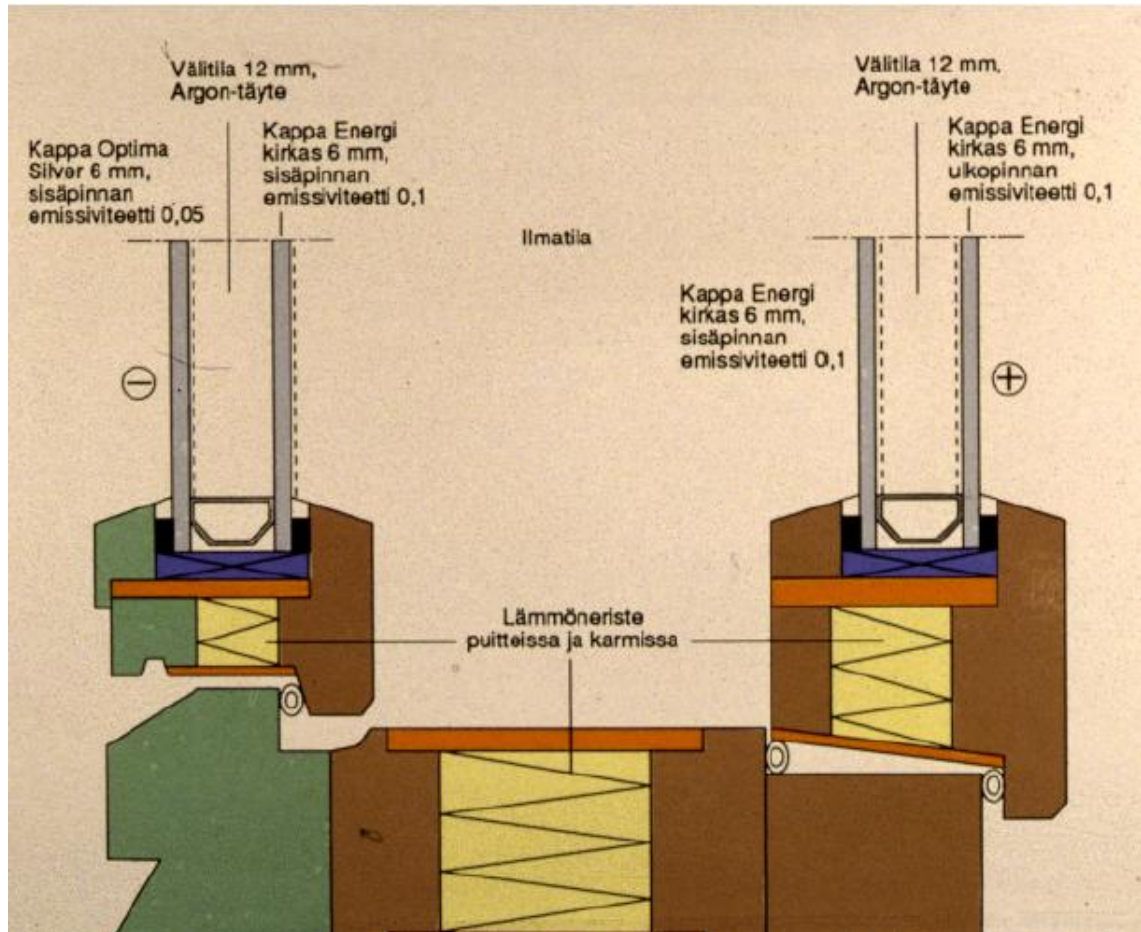
#### 5.3.1 Energiatehokkaat eristyslaselementit

Selektiivilasit ja jalokaasujen käyttö eristyslaselementin välitilassa paransivat eristyslasiensien U-arvoja oleellisesti. Eristyslaselementtien energiatehokkuuden parantaminen nykyisestä vaatii uusia keksintöjä tai lasien määrän lisäämistä nykyisestä neljästä vielä useampiin. Uusia parannuksia ja keksintöjä on syntynyt, etenkin Keski-Euroopassa, jossa passiivi- ja matalaenergiarakentaminen on yleisempää ja energiatehokkaiden ratkaisuiden kysyntä on kasvussa. Soveltuvuus pohjoismaihin ja erilaisiin ilmastolosuhteisiin on kuitenkin huomioitava. Seuraavassa on esitelty joitakin Suomessa käytettyjä energiatehokkaita eristyslaselementtejä ja niiden energiatehokkuutta parantavia ominaisuuksia.

#### *METOP-matalaenergiatoimistotalon ikkuna*

METOP-matalaenergiatoimistotalo rakennettiin VTT:n koetaloalueelle Espoon Otaniemeen vuonna 1991. Rakennuksessa tehdyn seurantatutkimuksen mukaan METOP-toimistotalon lämmitysenergiankulutus oli noin 60 prosenttia pienempi kuin toimistotalojen keskimäärin. METOP-taloa varten kehitetty erikoisikkuna pienensi merkittävästi rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarvetta. [29.]

Ikkunan rakenne on esitetty kuvassa 13. Ikkuna on 2+2 eristyslaselementti, lasien välissä on argon-täyte ja lasit on pinnoitettu matalan emissiviteetin omaavalla auringonsuojapinnoitteella. Pinnoitteiden ansiosta auringon suoran lämpösäteilyn läpäisy ikkunan läpi on vain 12 prosenttia. Kesäaikana tehokas auringonsuojaikkuna estää sisätiloja lämpenemästä haitallisesti ja talvella, kun matalaenergiatalossa on lämmitystarvetta, auringonsäteilyä ei ole juurikaan saatavissa. [30.]



Kuva 13. METOP-matalaenergiatoimistotalon ikkuna [30].

Ikkunan lämmönläpäisy on vain noin neljäsosa tavanomaiseen kolmilasiseen verrattuna ja sen U-arvo on  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sisäilmasto ja oleskeluviihtyvyytys parantuvat, koska ikkunan sisäpinta on lämmin kovillakin pakkasilla, eikä vedon tunnetta esiinny. Tehokkaiden lasiratkaisujen lisäksi puitteissa ja karmissa on lämmöneriste, joka estää lämmönjohtumista kehäosien läpi sekä parantaa ikkunan ääneneristävyyttä. [30.]

### *Skaala-energiaikkunat*

Skaala Oy on vuonna 1956 perustettu ikkunoiden ja ovien valmistukseen ja markkinointiin keskittynyt yritys sekä yksi alan suurimmista valmistajista Pohjoismaissa. Skaala Alfa FrostFree -ikkunalla päästään matalaan energiankulutukseen ja patentoidulla FrostFree ominaisuudella estetään energiatehokkaille ikkunoille ominainen ulkopintojen huurtuminen. Skaala Alfa kuuluu A-energialuokkaan ja sen U-arvo on 0,76 -0,79 W/m<sup>2</sup>K. Ikkunan energiatehokkuus perustuu 2+2 -lasitukseen, tehokkaaseen auringsuojajaan ja Thermopuitteeseen.



Kuva 14. Skaala Alfa avattava puualumiini-ikkuna.

[24.]

### *Tuloilmaikkunan lämmöntalteenotto*

Dir-Air Oy:n kehittämä Air-In® Kameleontti -tuloilmaventtiili on suomalainen raitisilma-venttiili ja lämmöntalteenottolaite. Venttiili parantaa huoneilman laatua tehokkaan suodatuksen ja esilämmityksen ansiosta, samalla vedontunne vähenee ilman lämmitessä ikkunan välitilassa. Talviaikana, jolloin ulko- ja sisälämpötilojen erotus on suurin, ilma lämpenee hukkalämmön takaisinotolla jopa 20 °C. Venttiili soveltuu käytettäväksi sekä uusissa, että vanhoissa ikkunoissa.

Talviasento



Kesäasento



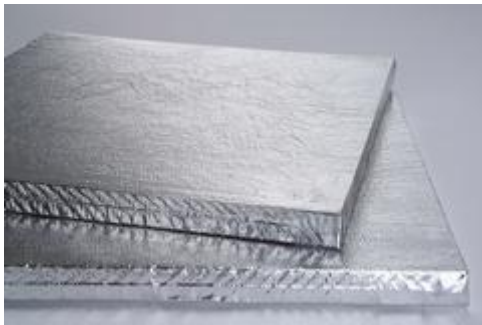
Kuva 15. Air-In® Kameleontti venttiilin talvi- ja kesäasento.

Kuvassa 15 on esitetty Air-In® Kameleontti venttiilin talvi- ja kesäasento. Asento voidaan muuttaa säätövivusta. Talviasennossa ilma kulkee termisessä kierrossa ikkunalasien välisessä tilassa ylös venttiiliin lämmittäen samalla tuloilman ja kesäasennossa ilma kulkee ohituskanavan kautta suoraan ulkoa sisälle.

[31.]

### 5.3.2 Tyhjiöeristetty lasirakenne

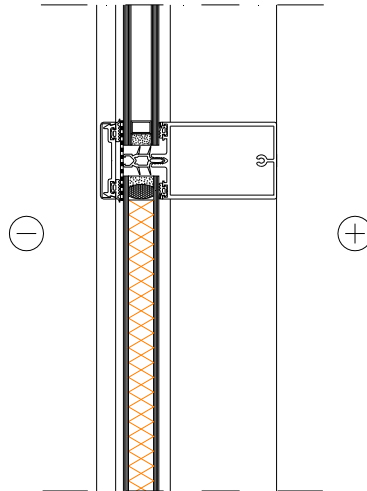
Tyhjiöeristeitä on käytetty teollisuus- ja laitesovelluksissa jo vuosia. Muun muassa putkien eristämässä ja AA+ -luokan kylmälaitteissa käytetään tyhjiöeristeitä. Tyhjiöeristeiden eristyskyky perustuu tyhjiöön ja nanokokoiseen piidioksidiin. Tyhjiöeriste on pyrolysoitua piidioksidia, joka on päällystetty kaasujen ja vesihöyryn läpäisyn estävällä monikerroskalvolla. Tyhjiössä lämmönsiirtyminen johtamalla tai kuljettamalla ei ole mahdollista, sillä välittävää ainetta ei ole. Höyrytiivin kuoren ansiosta tyhjiöeristeissä ei ole kosteutta tai vettä, eivätkä ne homehdu, kutistu tai lahoa. [32.]



Kuva 16. Vacupor-tyhjiöeristemoduli [32].

Käyttöön soveltuva tyhjiöeristemoduli tuntuu jäykältä, kuori on tiukasti eristeen ympärillä ja kuori on alipaineen vaikutuksesta rypistynyt. Vaurioitunut eli inflatoitunut levy tuntuu pehmeältä ja antaa taivutettaessa selkeästi periksi, tällöin modulin kuori on siileä ja lähes rypytön. Hyvä esimerkki valmistusprosessista ja kuorimateriaalista on kahvipaketti, joka saa jäykän muotonsa tyhjiön ansiosta. [32.]

Tyhjiöeriste sopii paikkoihin, joissa arkkitehtonisista syistä halutaan ohut ja siro rakenne. Tästä on esimerkki kuvassa 17, jossa on esitetty lasi- /metallirunkorakenteisen ulkoseinän, jossa tyhjiöeriste on sijoitettu lasipintojen väliin.



≥ 23 mm Alumiini- tai teräsrunkoinen julkisivujärjestelmä arkkitehti- ja rakennesuunnitelmien mukaan. Umpiosien lasitus 3...4 mm paksuilla taustaltaan maalatuilla tai massavärjätyillä lasilevyillä, joiden välissä alumiinilaminaattipintainen Vacupor NT-B2 tyhjiöeristepaneeli. Eristepaneelin reunoilla butyyli-pohjainen lämpömassalista ja eristyslaselementtien reunojen saumaamiseen soveltuva polysulfidimassa.

Lämmönläpäisykerroin\* (U-arvo, W/m<sup>2</sup>K) riippuen tyhjiöeristeen paksuudesta:

| 10 mm | 15 mm | 20 mm | 25 mm | 30 mm |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,70  | 0,49  | 0,37  | 0,30  | 0,26  |

U-arvot on laskettu käyttäen tyhjiöeristepaneelin lämmönjohtavuutena ( $\lambda_{\text{design}}$ ) arvoa 0,008 W/mK.

\*) U-arvon laskennassa ei ole huomioitu runkorakennetta

Kuva 17. Lasi-/metallirunkorakenteinen ulkoseinä [32].

Rakenteen U-arvo riippuu käytettävän tyhjiöeristeen paksuudesta, käytettäessä 25 mm paksua tyhjiöeristettä saavutetaan U-arvo 0,30 W/m<sup>2</sup>K. Runkona käytetään alumiini- tai teräsrunkoista julkisivujärjestelmää. Eristepaneelin reunoilla käytetään butyyli-pohjaista lämpömassalista ja eristyslaselementtien reunojen saumaamiseen käytetään siihen soveltuvaa polysulfidimassaa. Näin listoista ja saumoista saadaan mahdollisimman tiiviit ja lämpöeristävät. [32.]

Kuvan 17 mukaisessa lasirakenteessa on merkittävä kylmäsilan riski karmirakenteen kohdalla. Lämmöneristävyyttä parannettaessa kylmäsilan suhteellinen vaikutus rakenteen lämpöhäviöön kasvaa ja kylmäsilasta aiheutuva alempi pintalämpötila tuntuu herkemmin. Alentuneet pintalämpötilat voivat aiheuttaa ääritapauksissa kosteuden tiivis-

tymistä. Suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota karmirakenteiden detaljisuunnitteluun ja kylmäsiltojen minimoimiseen. [27, s.68.]

Tyhjiöeristeiden käyttöä tavanomaisessa rakenteessa hankaloittaa se, että niiden toimivuuden edellytys on kaasutiiviin kuoren pysyminen ehjänä. Levyjä ei voi taivuttaa, sahata, leikata, naulata tai siihen ei voi tehdä muita lävistyksiä. Lasirakenteessa tämä ei kuitenkaan olisi ongelma. Tyhjiöeristettä käytettäessä lasirakenne menettää läpinäkyvyytensä. Rakenne soveltuu käytettäväksi välipohjien ja sellaisten seinärakenteiden kohdalla, joilta ei vaadita läpinäkyvyyttä, kun halutaan kokonaan lasinen julkisivu. [32.]

Tyhjiöeristeet ovat huomattavasti kalliimpia kuin perinteiset eristeet. Eristeen kallis hinta johtuu vaikeasta valmistustavasta, joka kuluttaa paljon energiaa. Lisäksi materiaalina käytetty pii on kallista. Tyhjiöeristeen käyttö voi kuitenkin maksaa itsensä takaisin, sillä käytettynä ahtaissa paikoissa ja ohuilla rakenteilla tyhjiöeristeellä voidaan säästää enemmän lattiapinta-alaa ja myytäviä neliöitä. [32.]

### 5.3.3 Aurinkoenergiaa keräävät lasirakenteet

Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, jota kerätään auringonsäteilystä. Säteily muutetaan energiaksi aurinkokennoilla, jotka voidaan liittää sähköverkkoon tai käyttää verkosta erillään. Sähkön tuottaminen suoraan auringosta on nykytekniikalla vielä suhteellisen kallista. [33.] Suomen sääoloissa auringonsäteily on kausiluontoista, kesäaikaan auringonsäteilyä on runsaasti ja talviaikaan ei juuri ollenkaan. Aurinkoenergian käyttökelpoisuus riippuu ratkaisevasti sen varastointi-mahdollisuuksista. Aurinkoenergia soveltuu hyvin kesäajan jäähtymykseen, kesämökeille ja veneisiin, jolloin auringonenergian tuotanto ajoittuu käyttöajankohtaan. [25, s.88.]

Aurinkoenergia on nopeasti kehittyvä teknologian ala ja sen markkinat ovat nopeassa kasvussa. Esimerkiksi Saksassa, jossa sähköyhtiöt ovat velvoitettuja ostamaan yksityisten aurinko- ja tuulivoimaloiden tuottamaa sähköä, on kehitetty ikkunalasien paikalle sopivia läpikuultavia aurinkopaneeleja. Fraunhofer Institutissa Saksassa kehitetään kennojen raaka-aineita, joista tehdyt aurinkopaneelit ovat täysin läpinäkyviä. Lisäksi on olemassa taipuisia ohutkalvo-aurinkopaneeleita, joita voidaan käyttää joustavasti ra-

kennusten erimuotoisten parvekkeiden, porraskäytävien tai katosten pinoilla. Ohutkalvopaneeleita hyödynnetään nykyään myös esimerkiksi laukuissa ja vaatteissa. [33.]

Tekesin FinNano-ohjelman Orgaaninen valokenno -hankkeessa tutkitaan ja kehitetään koteloimattomia orgaanisesta aineesta koostuvia aurinkokennoja. Nämä täysin kiinteästä aineesta koostuvat aurinkopaneelit ovat hinnaltaan edullisia ja käyttömahdollisuuksiltaan monipuolisia. [33.]

*Viikin Ympäristötalon aurinkopaneeleista koostuva kaksoisjulkisivu*

Viikin Ympäristötalo on Suomen energiatehokkain toimistorakennus. Ympäristötalon rakennustyöt aloitettiin huhtikuussa 2010 ja ne valmistuivat elokuussa 2011. Suunnitelua ohjasivat Helsingin kaupungin energialinjaukset ja niihin liittyvät normaalia vaativammat matalaenergiatavoitteet. Ympäristötalossa onnistuttiin reilusti puolittamaan energiankulutus normaaliin toimistorakennukseen verrattuna. [34.]



Kuva 18. Viikin Ympäristötalon aurinkopaneeleista koostuva kaksoisjulkisivu [35].



Yksi suurimmista ostoenergiansäästäjistä Ympäristötalossa on saatu aikaiseksi kaksoisjulkisivulla, jonka ulompi pinta muodostuu aurinkopaneeleista ja lasista. Myös rakennuksen katolla on aurinkopaneeleita. Julkisivun välitila tuuletetaan kesällä painovoimaisesti, kun taas talvella se kerää auringon lämpöä. Suunnittelussa stimuloitiin julkisivun aurinkoisuus sekä varjot, jolloin pystyttiin maksimoimaan aurinkoenergian kerääminen ja hyödyntämään luonnonvalo sisätiloissa. [34.]

Toteutuksen taustalla on tarve edistää energiatehokkaita käytäntöjä rakennusalalla sekä kerätä kokemuksia aurinkopaneelien käytöstä. Ympäristötalon aurinkosähkövoimalan teho on 60 kW ja sillä tuotetaan noin 20 % rakennuksen tarvittavasta sähköenergiasta. [34.]

## 6 Esimerkkikohde

### 6.1 Kohteen esittely

Työn esimerkkikohteena ovat Länsimetro projektin Lauttasaaren aseman maanpäälliset asemarakennukset. Länsimetro on jatkoa pääkaupunkiseudun metrolleikenteelle. Hankkeen rakennustyöt aloitettiin marraskuussa 2009 ja tavoitteena on, että Länsimetro avataan liikenteelle loppuvuodesta 2015. Uusia asemia tulee yhteensä kahdeksan, joista Lauttasaari rakennetaan ensimmäisenä. [36.] Asemarakennukset ovat julkisia tiloja, joiden kautta kuljetaan maan alla sijaitsevalle metrolaiturille. Tilat ovat puolilämpimiä tiloja, joiden sisäpuolinen suunniteltu lämpötila on 15 °C. Lauttasaaren asemarakennusten maanpäälliset osat ovat yksi-kerroksisia ja niiden julkisivuissa on käytetty paljon lasia. Lasipinnat ovat usein koko seinän korkuisia ja ne lähtevät teräsbetonisen sokkelin päältä.

Asema sijoittuu keskelle Lauttasaarta, Lauttasaarentien ostoskeskuksen tuntumaan niin, että itäinen sisäänkäynti on ostoskeskuksen tontilla Otavantien ja Kauppaneuvoksentien kulmassa ja läntinen sisäänkäynti Gyldenintiellä Lahnalahdenpuiston itäpuolella. Kuvassa 19 on ilmakuva Lauttasaaren aseman sijainnista. [36.]



Kuva 19. Lauttasaaren aseman sijainti [36].

Kuva on otettu itään päin eli Lahnalahden puisto näkyy kuvan alareunassa ja yläreunassa Lauttasaaren silta, Salmisaari ja Ruoholahti. Metrolinja on piirretty kuvaan oranssilla ja aseman sisäänkäynnit on merkitty magentan värisillä ympyröillä. Lauttasaaren asemalaituri on kuvassa keltaisella ja se sijaitsee noin 30 metriä maanpinnan alapuolella. [36.]

Insinööriyötä kirjoitettaessa Lauttasaaren aseman suunnittelu on edennyt kyselyaineistojen suunnitteluvaiheeseen. Aseman arkkitehtisuunnittelijana on Arkkitehtitoimisto Helin & Co Oy ja rakennesuunnittelijana A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

### *Lauttasaaren aseman itäpään sisäänkäynti*

Itäpään sisäänkäynti sijoittuu Lauttasaaren ostoskeskuksen yhteyteen, vanhan kylmän bensa-aseman paikalle. Sisääntulohallin yhteyteen tulee ympyrän kaaren muotoinen lasirakenteinen osa, jonka sisältä kuljetaan laiturialueelle liukuportailta ja vinohissillä.



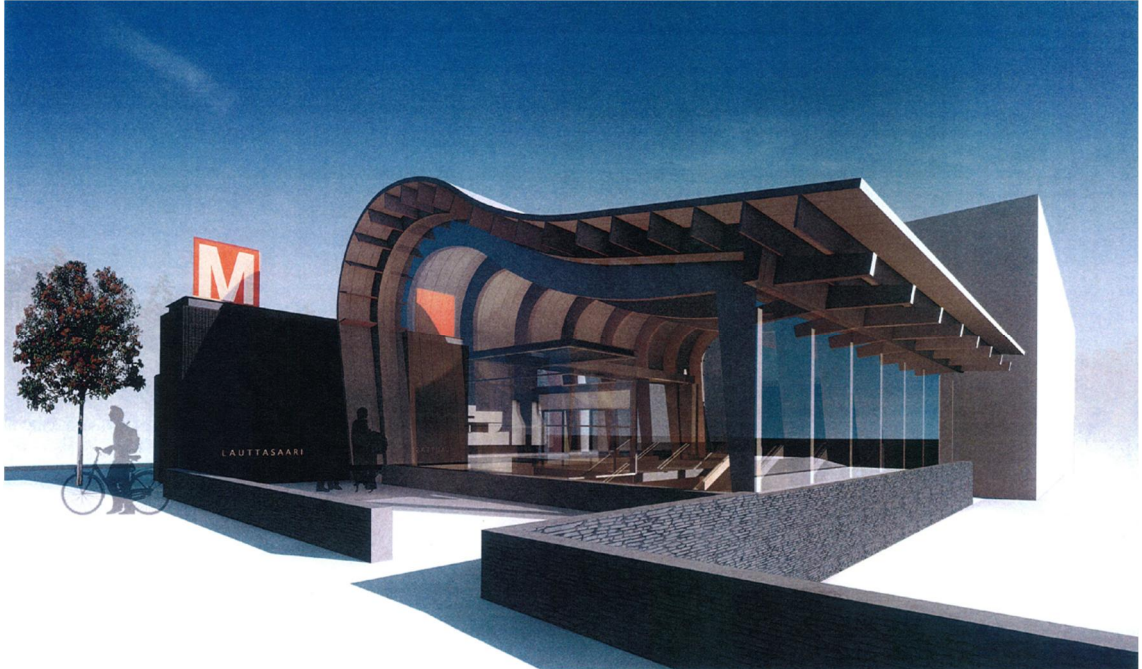
Kuva 20. Visualikuva Lauttasaaren metroaseman itäpäästä. Arkkitehtitoimisto Helin & Co Oy.

Kaarevaan osaan tulee taivutettua lasia, jotka on jaettu pystyprofiileilla noin 2310 mm mittaisiin osiin ja vaakaprofiililla kahteen osaan. Myös kattorakenne on osittain lasia. Mahdollinen liikenneajoneuvojen törmäys lasirakenteeseen estetään rakennuksen ulkopuolelle sijoitettavilla pollareilla. Ihmisten kulku vinohissin taakse, kaarevan lasirakenteen sisäpuolelle, on estetty kaitein, jolloin sisäpuolista kaidekuormaa ei tarvitse huomioida. Suorille lasipinnoille ja oville kaidekuorma sekä sisäpuolelta että ulkopuolelta pitää kuitenkin huomioida.

### *Lauttasaaren aseman länsipään sisäänkäynti*

Länsipään asemarakennuksen runko muodostuu osittain kaarevasta liimapuurakenteisesta kehästä, jonka päälle asennetaan kertopuuelementit. Itäjulkisivu on puurakentei-

nen, lukuun ottamatta lasiovia ja niiden yhteydessä olevia lasiseiniä. Länsijulkisivulla on liimapuupilareita, joiden edessä on kokonaan lasinen julkisivu. Myös päätyjulkisivu pohjoiseen on kokonaan lasia ja etelään päin oleva julkisivu on osittain lasia ja osittain lämmöneristettyä säleikköjulkisivua.



Kuva 21. Visualikuva Lauttasaaren metroaseman länsipäästä. Arkkitehtitoimisto Helin & Co Oy.

Visualikuvassa näkyvät päädyn lasijulkisivu pohjoiseen ja kokonaan lasia oleva julkisivu länteen. Visualikuvasta puuttuvat lasirakenteiden rungot eli todellisuudessa lasipinnat eivät ole aivan niin suuria kuin kuva antaa ymmärtää. Lännen puoleiset lasit on jaettu pystyprofiileilla aina liimapuupilarin kohdalta. Pohjoiseen oleva päätyjulkisivu on jaettu neljällä pystyprofiililla ja vaakaprofiililla pilarin ja kattopalkin liitoksen kohdalta.

## 6.2 Energiatehokkuus

Rakennuslupaa aseman maanpäällisille osille haetaan kesällä 2012, mahdollisesti heinäkuun jälkeen, jolloin uudistuneet määräykset rakennusten energiatehokkuudesta ovat tulleet voimaan. Asemarakennukset kuuluvat käyttötarkoitukseluokkaan 9 muut rakennukset, liikenteen rakennukset, jolloin rakennuksen kokonaisenergiankulutus (E-luku) on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta. Myöskään kesäajan huone-

lämpötilan laskentaa ei tarvitse suorittaa. Julkisivujen lasirakenteiden tulee täyttää puolilämpimän tilan ikkunan U-arvovaatimus  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [18.]

Arkkitehtonisista syistä lasirakenne halutaan sijoittaa ulkopinnasta samalle kohdalle kuin sokkelin ulkopinta, jolloin on mahdollista, että karmin ja kantavanrakenteen välille muodostuu kylmäsilta. Tilan käyttötarkoituksesta ja suunnitellusta sisälämpötilasta johtuen tällä ei koeta olevan merkitystä oleskeluviihtyvyyteen, vaikka ei se kovin energia- tehokas ratkaisu olekaan.

Sisäpuolisen kondenssiriskiä ei pitäisi syntyä, koska sekä lasi- että sokkelirakenne ovat suhteellisen ohuita rakenteita ja ilma pääsee kulkemaan vapaasti suurien lasipintojen edessä. Lisäksi asemarakennuksien ilmanvaihtuvuus on suuri niiden käyttötarkoitukselta johtuen.

Koska asemarakennukset sisältävät paljon läpinäkyviä lasipintoja, rakennuksien sisätilojen kesäajan yllämpenemiseen ja viilennyksen toteuttamiseen mahdollisimman energiatehokkaasti on syytä kiinnittää huomiota. Kesäajan viilennystarvetta voidaan vähentää käyttämällä auringonsuojalaseja. Länsipäässä myös räystäsrakenteet varjostavat ja suojaavat auringolta. Jotta lasipinnoista saadaan yhdennäköiset, on todennäköistä, että auringonsuojapinnoite toteutetaan kaikkiin lasihin samalla tavalla. Arkkitehtonisesti on toivottavaa, että auringonsuojaus ei vaikuta lasin läpinäkyvyyteen tai väriin. Myös lasin heijastavuus eli peilaavuus tulisi olla mahdollisimman vähäistä.

### 6.3 Turvallisuus

Suomen rakennusmääräyskokoelman osan F2 vaatimusten mukaan yleisön käyttöön tarkoitettujen tilojen kulkuväylien ovissa ja 300 mm ovien vieressä käytetään turvalasia, kun lasipinnan korkeus lattiasta on vähemmän kuin 1500 mm. Lasiseinissä on käytettävä turvalasia, kun lasipinnan korkeus lattiasta on vähemmän kuin 700 mm. Jos törmäys lasiin estetään kaiteella, turvalasi ei ole välttämätön. Määräys koskee rakenteen sitä puolta, johon voidaan törmätä ja sellaiset lasipinnat tulee merkitä siten, että ne helposti havaitaan. [37.]

Sekä aseman länsi- ja itäpäässä on lattian tasosta alkavia lasiseiniä, joihin on määräysten mukaan käytettävä turvalasia. Kun julkisivun lasipinta on jaettu vaakaprofiililla kah-

teen osaan, ainakin alemman lasin on oltava turvalasia. Julkisivuihin on suunnitteilla 2K-lasirakenne, jolloin molempien lasien on oltava turvalasia. Ylemmät, lähellä katon rajapintaa olevat lasit voidaan toteuttaa tavallisella float-lasilla.

Asemarakennuksen ulkopuolelta on vaarana pudota lasiseinän rikkoutuessa liukuporaskuiluun, tällöin törmäys lasiseinään on estettävä ulkoapäin. Länsipuolen asemarakennukseen sisäpuolelta törmäys on estettävä kohdissa, joissa katurakenne on huomattavasti lattian tasoa matalammalla. Kulkuväylillä, lattiatason ja katutason ollessa samalla korkeudella, törmäysriski koskee lasirakenteen kumpaakin puolta. Törmäykset voidaan estää käyttämällä kaiteita ja merkitsemällä lasipinnat helposti havaittavilla merkinnöillä. Alemmat törmäyksille alttiit lasiseinät voidaan myös mitoittaa henkilökuormille kaidelasien tapaan. Koska mahdollinen putoamiskorkeus on yli puoli metriä, lasin täytyy olla laminoitua lasia tai laminoitua karkaistua lasia.

#### 6.4 Lasirakenteen mitoitus

Esimerkkinä esitetään länsipään asemarakennuksen päätyseinän ylemmän lasin mitoitus tuulikuormalle. Valitun lasilevyn mitat ovat 2650 mm x 3410 mm. Mitoitus tehdään RT 38-10316 -ohjetiedoston mukaan, Marcuksen kaavalla. Tuulikuorma lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B1 mukaan. Tuulikuormaa laskettaessa on huomioitava, että rakennus sijaitsee meren läheisyydessä, rannikkoalueella.

Lasilevyn laskennallinen paksuus saadaan kaavasta

$$t = 10^3 \times \sqrt{\frac{3}{4} \times \frac{p}{\sigma} \times \left(1 - \frac{5}{6} \times \frac{r^2}{1+r^2}\right) \times \frac{r(1-\nu \cdot r^2)}{1+r^4}}$$

Kaavassa

t= lasilevyn laskennallinen paksuus (mm)

p= lasilevyn kokonaistuulikuorma (kN)

$$p = q \times a \times b$$



$q$  = tuulenpaine ( $\text{kN/m}^2$ )

$$q = 0,6 \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0,26} \quad \text{kN/m}^2 \text{ manneralueella}$$

$$q = 0,76 \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0,24} \quad \text{kN/m}^2 \text{ meren rannikkoalueilla}$$

$h$  = ikkunan keskipisteen korkeus maanpinnasta (m)

$r$  = sivusuhte

$$r = \frac{b}{a}$$

$a$  = lasilevyn pitempi sivu (m)

$b$  = lasilevyn lyhyempi sivu (m)

$\nu$  = Poissonin luku 0,25

$\sigma$  = float-lasin laskennallinen taivutusjännitys  $3 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$

Kun laskennassa käytetään esimerkkitapahtuman arvoja:

$a = 3,41 \text{ m}$

$b = 2,65 \text{ m}$

$r = 0,78$

$h = 5,8 \text{ m}$

tuulenpaine lasketaan meren rannikkoalueen kaavalla

$q = 0,67 \text{ kN/m}^2$

$p = 6,03 \text{ kN}$

saadaan lasilevyn laskennalliseksi paksuudeksi  $t = 6,78 \text{ mm}$ .

2K-lasirakenteessa kuorman jakautuminen eri lasille voidaan ottaa huomioon kertomalla kaavasta saatu lasin paksuus kertoimella  $c$ , jonka arvo riippuu lasilevyjen lukumäärästä ja sijainnista. Kertoimen  $c$  arvot on annettu RT-kortin 38-10316 kuvassa 2. 2K-lasirakenteessa  $c = 0,9$  eli yhden lasin paksuudeksi saadaan  $6,10 \text{ mm}$ . Lasin nimellispaksuudeksi valitaan voidaan valita  $6 \text{ mm}$ , koska lasin koko on valittu yläkanttiin ja kaikki muut lasiruudut ovat sitä pienempiä.

## 7 Yhteenveto

Lasi on lähes ainoa valoa läpäisevä ja läpinäkyvä rakennusmateriaali. Lasirakenteiden yleistyminen, rakennuslasituotteiden kirjon laajeneminen ja ominaisuuksien kehittyminen on johtanut osaavaan lasirakenteiden suunnittelun kysyntään.

Lasia voidaan käyttää monipuolisesti rakentamisessa. Lasirakenteella on suuri merkitys rakennuksen lämmön- ja ääneneristykseen ja niihin voidaan vaikuttaa muuttamalla lasirakenteen ominaisuuksia. Jotta lasirakenne toimii kosteusteknisesti oikein, sen tulee olla riittävän tiivis ja veden poisjohtaminen tulee olla hallittu. Lasirakenteelle tyypillistä kondensoitumisen riskiä pystytään estämään tiedostamalla tilanteet, jolloin kondensoitumista esiintyy ja huomioimalla ne suunnittelu vaiheessa.

Lasirakenteet on kokemusperäisesti osattu mitoittaa luotettavasti vastaamaan käytännön vaatimuksia käyttäen useita erilaisia menetelmiä. Eri laskentamenetelmiä ei saa sekoittaa toisiinsa ja on tärkeää muistaa, että kuormat ja varmuuskertoimet määritetään kyseisen mitoitusmenetelmän vaatimalla tavalla. Suunnitteilla oleva lasirakenteiden eurokoodiosa selkeyttäisi ja yhdenmukaistaisi suunnittelunormeja lasirakenteiden osalta.

Energiatehokkuuden osalta lasiteknologia on kyennyt vastaamaan hyvin kiristyviin energiamääräyksiin. Vuoden 2010 energiamääräysten edellyttämä uusien rakennusten ikkunoiden U-arvo  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  saavutetaan kolmilasisella eristyslasi-ikkunalla, mutta lähes kaikilla ikkunavalmistajilla on jo tarjota vaatimusta parempia vaihtoehtoja. Tänä päivänä eristyslasi-elementillä voidaan saavuttaa jopa eristystaso  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Lasirakenteiden eristävyys ja tiiveyden parantuessa tulee miettiä, miten kesäajan yllilämpenemistä estetään energiatehokkaasti. Jäähdytyksen tarvetta voidaan vähentää käyttämällä auringonsuojalaseja, ulkopuolisia auringonsuojia ja reilunkokoisia räystäitä, myös ikkunoiden koolla ja suuntauksella on merkittävä vaikutus.

Energiatehokkuuden parantaminen nykyisestä vaatii uusia keksintöjä tai lasien määrän lisäämistä. Uusia innovaatioita on kehitteillä esimerkiksi lasirakenteiden karmien ja puitteiden materiaaleissa ja uusiutuvan energian yhdistämisessä lasirakenteisiin, ikkuna-



lasien paikalle sopivilla läpikuultavilla aurinkopaneeleilla. Uusien keksintöjen haasteena on tehdä niistä taloudellisesti kannattavia, helppohoitoisia ja pitkäikäisiä.

Lasirakenteiden suunnittelussa tulisi aina huomioida rakennuksen käyttötarkoitus, rakennuspaikan olosuhteet ja lasirakenteen suuntaus ja sijoitus, jotta kokonaisuudesta tulisi toimiva. Teknisten ratkaisujen ja materiaalien kehitys mahdollistaa kestävien, turvallisten ja energiatehokkaiden lasirakenteiden toteutuksen.

## Viitteet

- [1] Pilkington Lasifakta 2009. [verkkodokumentti]  
<<http://www.pilkington.com/europe/finland/finnish/building+products/lasifakta.htm>>  
luettu 26.1.2012
- [2] Lasirakentajan käsikirja. Rainamo Matti, Riikonen Mauri. Enterpress Oy. Tampere 1999.
- [3] RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki 2001.
- [4] RT-kortti 38-10901 Rakennuslasit, tasolasit. Rakennustietosäätiö. 2007.
- [5] Seloy Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.seloy.fi](http://www.seloy.fi)> luettu 9.2.2012
- [6] Turva- ja suojalaseista. Suomen Tasolasiyhdistys ry. Parola 2003. [verkkodokumentti] <[www.tasolasiyhdistys.fi](http://www.tasolasiyhdistys.fi)> luettu 9.2.2012
- [7] RT-kortti 38-10941 Eristyslasit. Rakennustietosäätiö. 2008.
- [8] Skaala Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti]  
<<http://www.skaala.com/ikkunat.html>> luettu 9.2.2012
- [9] Pilkington Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti]  
<[www.pilkington.com/projectreferences](http://www.pilkington.com/projectreferences)> luettu 9.3.2012
- [10] Fenestra Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.fenestra.fi](http://www.fenestra.fi)> luettu 9.3.2012
- [11] RT-kortti Y-36946 Structural Glazing, Oy Tremco Ltd Finland. Rakennustietosäätiö. 2005.
- [12] Ympäristöministeriön verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)> luettu 20.2.2012
- [13] Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n verkkosivut [verkkodokumentti]  
<[www.ril.fi](http://www.ril.fi)> luettu 20.2.2012
- [14] Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n verkkosivut [verkkodokumentti]  
<[www.sfs.fi](http://www.sfs.fi)> luettu 20.2.2012
- [15] Eurokoodi help desk verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.eurocodes.fi](http://www.eurocodes.fi)> luettu 20.2.2012

- [16] C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten lämmöneristys, määräykset 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [17] C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lämmöneristys, ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
- [18] D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [19] RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. 2011.
- [20] E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2011. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [21] Rakla Finland Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.rakla.fi](http://www.rakla.fi)> luettu 24.2.2012
- [22] Suomalaisten ikkunoiden kestävyys. Hemmilä Kari, Heimonen Ismo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Otamendia Oy. Espoo 2005.
- [23] RT-ohjetiedosto 38-10316 Lasilevyt, paksuuden mitoitus. Rakennustietosäätiö. 1986.
- [24] Skaala ikkunakirja. [verkkodokumentti] <[http://www.skaala.com/esitteet\\_ja\\_ohjeet.html](http://www.skaala.com/esitteet_ja_ohjeet.html)> luettu 21.3.2012
- [25] Energia- ja ekologiakäsikirja, Suunnittelu ja rakentaminen. Lappalainen Markku. Rakennustieto Oy. Helsinki 2010.
- [26] Ikkunoiden energialuokituksen säännöt [verkkodokumentti] <[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/vaikuta\\_hankinnoilla/ikkunoiden\\_energialuokitus/ikkunoiden\\_valmistajille\\_ja\\_maahantuojille/luokitussaannot](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_valmistajille_ja_maahantuojille/luokitussaannot)> luettu 21.3.2012
- [27] RIL 259-2012 Matalaenergiarakentaminen, Toimitilat. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. 2012.
- [28] Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Passiivitalo verkkosivut [verkkodokumentti] <<http://passivehouse.vtt.fi/>> luettu 20.3.2012
- [29] METOP, CFC-aineeton matalaenergiatoimistotalo. Laine Juhani, Saari Mikko. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT rakennustekniikka, sisäilmasto- ja laitetekniikka. Espoo 1994.

[30] Uudisrakennusten energiatehokkuus, mihin energia kuluu ja mitä ovat teknistaloudelliset säästöpotentiaalit. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Miimu Airaksinen. [verkkodokumentti]

<<http://www.turku.fi/Public/download.aspx?ID=63202&GUID=%7BC391C8C1-C8DD-42B4-A3AD-B696B5957745%7D>> luettu 26.3.2012

[31] RT-kortti 38043 Air-In® Kameleontti venttiilit, Dir-Air Oy. Rakennustietosäätiö. 2011.

[32] Vicoverin verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.vicover.fi](http://www.vicover.fi)> luettu 27.1.2012

[33] Aurinkoenergia verkkosivut [verkkodokumentti] <[www.aurinkoenergiaa.fi](http://www.aurinkoenergiaa.fi)> luettu 22.3.2012

[34] Helsingin kaupungin Rakennusviraston verkkosivut, Ympäristötalon esite [verkkodokumentti] <[http://www.hel.fi/hki/HKR/fi/hkr-rakennuttaja/ajankohtaista/viikin\\_ymparistotalo](http://www.hel.fi/hki/HKR/fi/hkr-rakennuttaja/ajankohtaista/viikin_ymparistotalo)> luettu 26.1.2012

[35] Suomen Kuvalehti verkkosivut [verkkodokumentti] <<http://suomenkuvalehti.fi/kuvat/2011/10/25/uomen-energiatehokkain-toimitalo-vuorattiin-aurinkopaneeleilla>> luettu 22.3.2012

[36] Länsimetro Oy:n verkkosivut [verkkodokumentti] <<http://www.lansimetro.fi/fi/asetat/lauttasaari>> luettu 26.3.2012

[37] F2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen käyttöturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2001. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

[28] RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteen ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011.

[29] Wikipedia [verkkodokumentti] <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Sanomatalo\\_Helsinki.jpg](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Sanomatalo_Helsinki.jpg)> luettu 4.4.2012

## Lähteet

Haarti-Katajainen Jutta, Hälikkä Aaro, Koski Harri, Montin Olavi, tapaaminen, Arkkitehtitoimisto Helin & Co Oy, Urho Kekkosen katu 3 B, Helsinki, 17.2.2012

Haarti-Katajainen Jutta, Hälikkä Aaro, Montin Olavi, tapaaminen, A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Bertel Jungin aukio 9, Espoo, 22.3.2012