

Opinnäytetyö (YAMK)

Tekniikka

2020

Jenni Heikkilä

# RAKENNUSLASIN MÄÄRÄYKSET, OHJEET JA MITOITUS

OPINNÄYTETYÖ (YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan YAMK

Kesäkuu 2020 | 124 sivua, 7 liitesivua

Jenni Heikkilä

# RAKENNUSLASIN MÄÄRÄYKSET, OHJEET JA MITOITUS

Opinnäytetyö tehtiin Suomen Tasolasiyhdistys ry:lle ja sen tarkoitus on toimia tausta-aineistona rakennuslasin suunnittelussa. Opinnäytetyön painopiste asetettiin uusiin määräyksiin ja ohjeisiin, oikean lasin valintaan olosuhteet huomioiden sekä lasin mitoittamiseen LasiMitta-ohjelmalla. Työ rajattiin koskemaan yleisimpiä rakennuslaseja ja nykyaikaisia suunnitteluohjelmia. Tarve nykyaikaiselle rakennuslasin suunnitteluoppaalle on ilmeinen, sillä aiheesta löytyy vain vähän suomalaista kirjallisuutta ja tieto on varsin hajallaan.

Kirjoitustyö aloitettiin syventymällä luonnonvaloon ja sen merkitykseen. Samaan aikaan julkaistiin uusi päivänvaloa koskeva standardi SFS-EN 17037:2018 Daylight in buildings. Kirjoitustyön aikana astui voimaan myös päivitetty asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (2017/1007) ja sille kirjoitettiin uusi ohjeistus kumotun RakMk F2 -ohjeen tilalle yhteistyössä lasitoimialan, rakennusvalvontojen ja muiden rakennusalan yhdistysten kesken. Lisäksi loppuvuodesta 2019 julkaistiin kauan valmisteilla ollut lasin mitoituksen standardi SFS-EN 16612, johon perustuu LasiMitta-ohjelma. Nämä ja muut viimeaikaiset muutokset on koottu tähän opinnäytetyöhön. Tietoa on koottu standardien ja lainsäädännön lisäksi alan kansainvälisestä kirjallisuudesta.

Määräysten ja ohjeiden lisäksi työssä käydään läpi oikean lasivalinnan suorittamiseksi erilaisia lasityyppejä, niiden ominaisuuksia ja yleisimpiä ongelmatilanteita, unohtamatta rakennuslasin energiansäästöpotentiaalia ja ympäristönäkökohtia. Työn viimeisessä osuudessa kerrotaan lasilevyn mitoittamisesta ja nykyaikaisista suunnitteluohjelmista. Näiden ohjeiden mukaisesti työn lopussa on suunnitteluesimerkki, jossa käytetään lasirakenteiden mitoittamisen apuna LasiMitta-ohjelmaa.

Teoreettisen osuuden lisäksi työssä selvitettiin LasiMitta-ohjelman käyttökokemuksia ja kehitystarpeita haastattelemalla. Haastateltavina henkilöinä olivat ohjelman silloiset käyttäjät ja haastattelutekniikkana puhelin- ja sähköpostihaastattelut.

## ASIASANAT:

Rakennuslasi, tasolasi, float-lasi, lasiteollisuus, rakentaminen, lasirakenteet, lasituotteet.

MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Master's Degree Programme in Technology

June 2020 | 124 pages, 7 pages of appendices

Jenni Heikkilä

## GLASS IN BUILDING – REGULATIONS, INSTRUCTIONS AND DESIGN

The present Master's thesis was commissioned by the Finnish Flat Glass Association. The aim of the study is to serve as a good practice guide in the design of glass in buildings, focusing mainly on the new regulations and instructions, but also discussing how to choose the right glass in the right place considering the conditions and dimensioning. The glass dimensioning is made with new software called LasiMitta. The scope of the thesis is limited to the most common glass types and to the modern design software programs. The need for this kind of guidebook is obvious as there is hardly any literature in Finnish about the subject and information is quite scattered.

The writing work began by delving into daylight and its significance. At the same time, a new daylight standard SFS-EN 17037:2018 Daylight in buildings was published. During the writing phase, an updated regulation on the operational safety of the building (2017/1007) also entered into force and new guidelines were written for it to replace the repealed RakMk F2 guideline in cooperation between the glass industry, building inspection and other construction associations. In addition, at the end of 2019, the long-prepared glass design standard SFS-EN 16612 was published. The software LasiMitta is based on this standard. These and other recent changes are summarized in this thesis. In addition to standards and legislation, information has been gathered up from the international literature in the glass field.

In order to be able to make the right choice of flat glass the study discusses different glass types, their properties and the most common problem situations, without forgetting the energy saving potential and environmental aspects. The last part of the study focuses on the dimensioning of glass sheets and modern design software programs. According to these instructions, at the end of the thesis there is a design example which is done with the help of LasiMitta.

In addition to the theoretical part, the user experiences and development needs of the LasiMitta software were investigated by conducting interviews. The interviewees were the users of the program at the time and the interviews were carried out as telephone and e-mail interviews.

### KEYWORDS:

Glass in building, flat glass, float glass, glass structures, glass products, glazing.

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>10</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>11</b>
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoitteet	12
1.3 Menetelmät	13
1.4 Työn toteutus ja rajaukset	13
<b>2 LASIRAKENTEIDEN KÄYTTÖTURVALLISUUS</b>	<b>15</b>
2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki	15
2.2 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta	16
2.2.1 § 6 Tasanne	16
2.2.2 § 7 Kaide	17
2.2.3 § 8 Kaiteen ja portaan rakenne	17
2.2.4 § 11 Lasirakenteet	18
2.3 Käyttöturvallisuusohje	18
2.3.1 Vammojen riskinarviointi	19
2.3.2 Riskivyöhykkeet	20
<b>3 MUUT LASIRAKENTEITA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET</b>	<b>29</b>
3.1 Valoisuus	29
3.1.1 Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista	29
3.1.2 Asuin- ja työtilojen ikkunapinta-ala	30
3.1.3 Päivänvalostandardi	30
3.2 Ääneneristys ja meluntorjunta	32
3.3 Energiatehokkuus	33
3.4 Rakennuksen sisäilmasto	34
3.5 Lujuustekninen mitoitus	35
3.5.1 Eurokoodit 1990 ja 1991	36
3.5.2 Mitoitusstandardit	37
3.6 Tuotemäärittelyohje	37
<b>4 LASIN OMINAISUUDET JA VALINTA</b>	<b>39</b>
4.1 Lasi materiaalina	39

4.2 Lasin valmistus	40
4.3 Ominaisuudet	41
4.3.1 Optiset ominaisuudet	43
4.3.2 Kemialliset ominaisuudet	44
4.3.3 Lasin koko	44
4.3.4 Suorituskykykoodi	44
4.3.5 Ääneneristys	46
4.4 Kestävyys	47
4.5 Lasityypit	48
4.5.1 Float-lasi	48
4.5.2 Laminoitu turvalasi	49
4.5.3 Pinnoitetut lasit	50
4.5.4 Heijastamaton lasi	51
4.5.5 Puhdistusta helpottavat pinnoitteet	52
4.5.6 Lämpökarkaistu turvalasi	54
4.5.7 Lämpölujitettu lasi	55
4.5.8 Kemiallisesti lujitettu lasi	56
4.5.9 Eristyslasit	57
4.5.10 Sähkölämmitteiset eristyslasit	58
4.5.11 Auringonsuojalasit	61
4.5.12 Sähkökromaattiset lasit	61
4.6 Ongelmat ja virheet	63
4.6.1 Suuri lasipinta-ala ja veto-ongelma	63
4.6.2 Huurtuminen	65
4.6.3 Haze	67
4.6.4 Delaminoituminen	67
4.6.5 Anisotropia	68
4.6.6 Lämpörikkoutuminen	70
4.6.7 Lintuturvallisuus	73
4.7 Kiinnitysmenetelmät	75
4.8 Lasin merkinnät	75
<b>5 TERVEYS, ENERGIA JA YMPÄRISTÖ</b>	<b>80</b>
5.1 Luonnonvalo	80
5.1.1 Valoisuus rakennuksissa	80
5.1.2 Luonnonvalon merkitys ihmiselle	81

5.1.3 Päivänvalo-olosuhteet	82
5.2 Energiansäästöpotentiaali	84
5.3 Ympäristö	87
5.3.1 Kierrätys	87
5.3.2 Lähellä tuotettu	88
<b>6 LASILEVYN MITOITUS</b>	<b>91</b>
6.1 Mitoituksen lähtökohdat	91
6.2 Taipuma	92
6.3 Vaakakuorma (viivakuorma)	93
<b>7 MITOITUSOHJELMA LASIMITTA 1.1</b>	<b>94</b>
7.1 Ohjelman taustaa	94
7.2 Ohjelman kuvaus	94
7.3 Käyttöohjeet	95
7.4 Mitoitustaulukko	96
7.5 Haastattelujen tulokset	97
7.6 Kehittämistarpeet	98
<b>8 MUUT RAKENNUSLASIN SUUNNITTELUOHJELMAT</b>	<b>99</b>
8.1 Eristyslasin ominaisuudet	99
8.2 Rakennuksen ilmeen visualisointi	99
8.3 Luonnonvalon simulointi	100
8.4 Laminoituneen lasin lujuus	101
8.5 Lämpörikkoriski	102
<b>9 SUUNNITTELUESIMERKKI</b>	<b>103</b>
9.1 Kohteen tiedot	103
9.2 Lasin valinta	104
9.3 Tuulikuorma	106
9.4 Lasien mitoitus	108
<b>10 TULOKSET</b>	<b>113</b>
10.1 Vastaukset tutkimuskysymykseen	113
10.2 Jatkoimenpiteet	115
10.3 Loppusanat	115
<b>LÄHTEET</b>	<b>117</b>

## LIITTEET

Liite 1. Tuotemäärittelyohjeet.

Liite 2. Mitoitustaulukko 3K lasille, kun puuskanopeuspaine on 0,45 kN/m<sup>2</sup>.

Liite 3. Mitoitustaulukko 3K lasille, kun puuskanopeuspaine on 0,50 kN/m<sup>2</sup>.

Liite 4. Haastattelulomake.

Liite 5. Muistilista rakennuslasien suunnittelusta.

## KUVAT

Kuva 1. Lasirakenteen monet tehtävät.	11
Kuva 2. Lasin tyypilliset rikkoutumiskuviot: float-lasi, karkaistu ja laminoitu turvalasi (Glazcon 2018).	19
Kuva 3. Riskivyohykkeet julkisissa tiloissa. Yhteisissä ohjeissa on lievennyksiä asunnoille oviaukkojen kohdalla.	21
Kuva 4. Törmäykselle riskilliset lasipinnat julkisissa rakennuksissa.	21
Kuva 5. Ikkunoissa ja lasiseinissä käytetään turvalasia, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm (Glascentrum 2016).	22
Kuva 6. Kulkuväyliä ovissa käytetään turvalasia ja ne merkitään (mukaillen Glascentrum 2016).	22
Kuva 7. Porrassyöksyssä on käytettävä turvalasia, kun lasituksen korkeus tasosta on vähemmän kuin 1500 mm. Asuntojen kohdalla ei ole lievennystä.	24
Kuva 8. Turvalasivaatimukset asunnossa.	25
Kuva 9. Asunnon ovissa käytetään usein pieniä lasituksia (alle 250 mm), joiden ei tarvitse olla turvalasia.	26
Kuva 10. Kaide on oltava, kun putoamiskorkeus ylittää 0,5 m ja putoamisen tai harhaan astumisen vaara on olemassa (Glascentrum 2016).	27
Kuva 11. Lasikatteissa käytetään turvalasia (mukaillen Glascentrum 2016).	28
Kuva 12. Lasien merkintä (mukaillen Glascentrum 2016).	28
Kuva 13. All glass corner – kokolasinurkka on viimeisimpiä lasisia uutuuksia maailmalla (Vitkala 2019.)	39
Kuva 14. Lasieviä käytetään tukevana osana rakenteellisissa lasijulkisivuissa. Meripaviljonki, Helsinki.	40
Kuva 15. Float-lasiprosessi (Pilkington 2020a). Tavallista tasolasia kutsutaan englanniksi usein float glass tai annealed glass.	41
Kuva 16. Kun auringon säteilyenergia osuu lasiin, osa siitä heijastuu, osa absorboituu ja osa läpäisee lasin. (Vitro Architectural Glass 2020a.)	42
Kuva 17. Puhdistustarvetta vähentävä pinnoite toimii auringon UV-säteilyn ja veden yhteisvaikutuksesta. Se myös ylläpitää näkyvyyttä ulos sateen aikana eikä huuru niin helpolla kuin pinnoittamaton lasi. Kuvassa vasemmalla pinnoittamaton lasi ja oikealla pinnoitettu. (Saint-Gobain.)	51
Kuva 18. Vertailuanalyysi, jossa vanhemmistestien korkeissa lämpötiloissa ja kosteudessa osoitetaan, että pinnoitteella voidaan rajoittaa korroosioprosessia ja kalkkisaostumia verrattuna käsittelemättömään lasiin (Pilkington 2020d).	53
Kuva 19. Kuvan kaikki seinät ovat korroosion kestävästä suihkulasi (Rakla 2020, kuvaaja Antti Kulmanen).	53
Kuva 20. Spandrel-lasi (CMSWillowbrook, Inc 2019).	56

Kuva 21. Eristyslasin rakennemalleja. TPS-lyhenne tulee sanoista thermoplastic spacer. (Seloy Oy 2020b.)	57
Kuva 22. Kuvan tuote-esimerkissä on kaksi karkaistua lasia, joista toisessa on sähkölämmitteinen pinnoite. Low-e pinnoite pitää lämmön sisätiloissa ja sähköä johtava pinnoite lämmittää sisälasin tasaisesti (Finnglass 2020b).	59
Kuva 23. Sähkökromaattinen lasi voidaan tummentaa esimerkiksi vain yläosastaan (Sageglass).	62
Kuva 24. Konvektion aiheuttaa vedon tunteen (Saukko 2020b).	64
Kuva 25. Kuvassa huurtunut ikkuna Skaalan ikkunatehtaalla 25.11.2013 klo 11:45. Vasemmanpuoleinen energiatehokas eristyslaselementti on jäässä, kun oikeanpuoleinen vastaava elementti, mutta FrostFree-ominaisuudella, on pysynyt täysin kirkkaana. (Puuinfo 2013.)	66
Kuva 26. Delaminoitunut lasi.	68
Kuva 27. Anisotropia julkisivun lasituksessa (Decourcelle ym. 2017).	70
Kuva 28. Eristyslasin lämpörikko (Saukko 2020d).	71
Kuva 29. Lämpörikkoon vaikuttavia tekijöitä.	72
Kuva 30. Linnun törmäyksestä jäänyt jälki lasissa. (Huston 2012).	73
Kuva 31. Lintu näkee raidat, ihminen ei (Guardian Glass 2020c).	74
Kuva 32. Esimerkki karkaistun turvalasin merkinnästä.	76
Kuva 33. Eristyslaselementin välilistan merkintä.	76
Kuva 34. Esimerkki lasin merkintäleimasta.	78
Kuva 35. Lasin reunahionnat (Riikonen 2014).	79
Kuva 36. Luonnonvaloa ei pystytä täysin korvaamaan keinovaloilla, sillä ne tuottavat erilaista valoa. (Peda.net.)	81
Kuva 37. Korkealla sijaitsevat lasiaukot päästävät eniten luonnonvaloa huoneeseen (Vikberg 2014).	83
Kuva 38. AGC:n visualisointi työkalu Architectural Glass Visualiser.	100
Kuva 39. Luonnonvalon simulointityökalu Daylight Visualizer (Velux 2016).	101
Kuva 40. Esimerkki lämpörikkoriskin laskurista (Sommer Informatik GmbH 2020).	102
Kuva 41. Esimerkkirakennus.	103
Kuva 42. Turvalasivaatimukset merkitty väreittäin esimerkkikohteen taloon. Punainen väri tarkoittaa, että on oltava turvalasia (karkaistu tai laminoitu), keltainen laminoitua turvalasia ja vihreä ei turvalasivaatimusta.	104
Kuva 43. Eristyslasin ominaisuuksien tarkastelu Pilkington Spectrum -ohjelmalla.	106
Kuva 44. SKOL ry:n M10 Tuulikuorma -laskurin lähtötiedot-sivu esimerkkikohteen tiedoilla täytettynä.	107
Kuva 45. Tulokset vyöhykkeittäin.	107
Kuva 46. Esimerkkilaskelma 3K eristyslaselementistä.	108
Kuva 47. Uloin lasiruutu muutettu 12,8 rakenteeksi ja sisin 6 mm lasiksi.	109
Kuva 48. Jyrkänteen lasirakenteen mitoituslaskelman tulos.	110
Kuva 49. Seinän E lasirakenteen (1900 x 2290 mm) mitoitustarkastelu suoritettuna Lasimitta-ohjelmalla.	110

## KUVIOT

Kuvio 1. $\Delta T$ (DT) on lämpötilaero lasipinnan ja huoneen lämpötilan välillä (Saukko 2020b.)	65
Kuvio 2. Kuviossa on verrattu sähköntuotannon päästöjä eri energiamuotoja käytettäessä (Luukko 2019).	89



## TAULUKOT

Taulukko 1. Kaidekorkeudet.	17
Taulukko 2. Esimerkki lasirakenteesta (Lasifakta 2018 2017).	45
Taulukko 3. Lasityypit jaoteltuina raakalaseihin ja prosessoituihin laseihin (mukaillen AGC 2014-2015).	48
Taulukko 4. Lasin merkintöjä.	77
Taulukko 5. Kahden skenaarion mukainen energiansäästöpotentiaali (mukaillen Glass for Europe 2019).	85
Taulukko 8. Esimerkkirakennuksen lasikoot.	103
Taulukko 9. Esimerkkirakennuksen lasivalinnat.	111

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

1K	Yksilasinen lasirakenne
2K	Kaksilasinen eristyslaseielementti
3K	Kolmilasinen eristyslaseielementti
Annealed glass	Tavallinen tasolasi eli float-lasi (Guardian Glass 2020a)
CEN	Comité Européen de Normalisation
DGP	Daylight Glare Probablity (Vikberg ym. 2019)
E-luku	Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku kWhE/(m <sup>2</sup> a) (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017)
Emissiviteetti	Kertoo kuinka suuri osa pintalämmöstä säteilee lasipinnasta (Lasifakta 2018 2017, 17)
Float-lasi	Tavallinen tasolasi
HST	Heat Soak Test. Karkaistun lasin jälkikäsitteilytesti, jolla pyritään vähentämään spontaanin rikkoutumisen riskiä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b)
Low-e	Low-emissivity glass eli matalemissiivinen lasi. Tehdään pinnoittamalla. (Stanek Windows 2017.)
MRL	Maankäyttö- ja rakennuslaki
Off-line	Off-line pinnoitetut lasit on pinnoitettu tyhjiöpinnoitusmenetelmällä ohuella metallikerroksella valmistuksen ja leikkauksen jälkeen. Pinnoite on perinteisesti ollut herkkä, jolloin se sijoitetaan usein eristyslaseielementin välitilan puolelle. (Seloy Oy 2020a)
On-line	On-line pinnoitetut lasit ovat kovapintaisia ja ne on pinnoitettu valmistuksen yhteydessä metallikerroksella. (Seloy Oy 2020a)
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma
U/LT/g	Suorituskykykoodi, jossa U on laskennallinen lasin keskiosan Ug-arvo eli lämmönläpäisykerroin, LT on näkyvän valon läpäisy ja aurinkotekijä g on rakenteen kokonaan läpäissyt auringon kokonaisenergia. (Lasifakta 2018 2017)
YM	Ympäristöministeriö

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Rakennuksiin käytettävä tasolasi valitaan ja mitoitetaan rakennuksen ja sen ympäristön olosuhteiden mukaan. Oikeanlainen lasitus lisää turvallisuutta, viihtyisyyttä ja vähentää rakennuksen käyttökustannuksia. Lasin suunnittelussa on huomioitava voimassa olevat rakennusmääräykset, asiakastoiveet ja lasirakenteeseen kohdistuvat fyysiset ilmiöt, joita vastaan tai varten lasi mitoitetaan. Lisäksi on ymmärrettävä lasivalinnan merkitys sisäolosuhteisiin ja tarvittaviin LVI-laitteisiin.



Kuva 1. Lasirakenteen monet tehtävät.

Kuvassa 1 on havainnollistettu lasirakenteen lukuisia tehtäviä. Lasirakenteen tulee olla kestävä, vesitiivis ja huollettavissa. Sen tulee suojata sääilmiöiltä ja melulta sekä olla turvallinen. Lisäksi sisätilojen tulee olla toimivat ja valoisa. Ennen kaikkea lasin tulee tarjota näkymä ympäristöön, taivasnäkö mukaan lukien. Siten lasin tärkein ominaisuus on luonnonvalon läpäisy.

Vuosien saatossa kehitetyt erilaiset lasityypit pienentävät rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarvetta, vähentävät energiankulutusta ja niihin liittyviä CO<sub>2</sub>-päästöjä. Energia- tehokas monitoimilasi saattaa kuitenkin huurtua tietyillä sääilmiöillä, aiheuttaa tilan

ylikuumenemista tai rikkoutua ilman ulkopuolista syytä, jos näihin asioihin ei osata kiinnittää huomiota. Lisäksi lasille on uusia mitoitusohjstandardeja ja lainsäädännöllisiä vaatimuksia muun muassa käyttöturvallisuuteen liittyen.

Rakentamista koskevat asetukset uudistettiin vuoden 2017 loppuun mennessä maankäyttö- ja rakennuslain muutosten (2012/958) mukaisesti. Uusilla asetuksilla korvataan vanhoja Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) osia. Samalla muutettiin rakennuslaseja koskeva asetukset rakennuksen käyttöturvallisuudesta ja kumottiin RakMk osa F2. Ympäristöministeriön ehdotuksesta rakennusala kirjoitti yhteistyössä uuden lasirakenteita koskevan käyttöturvallisuusohjeen.

Tasolasin mitoitusstandardi SFS-EN 16612 *Rakennuslasit. Kuormankestävyysmäärittelyssä käytettävät laskelmat* julkaistiin 25.10.2019. Suomen Tasolasiyhdistys ry:n alainen työryhmä kehitti vuosia valmisteilla olleen esistandardin pohjalta LasiMitta-nimisen mitoitusohjelman. Lisäksi valmisteilla on toinen lasin mitoitukseen liittyvä eurokoodistandardi, joka valmistunee vuoteen 2025 mennessä. Kesällä 2020 valmistuu suunnittelun tuotemäärittelyhankkeen kolmas vaihe, jolloin julkaistaan rakennuslasien tuotestandardeihin liittyvät tuotemäärittelyohjeet, jotka toimivat suunnittelijoiden ja lasin jatkajalostajien apuna.

Viimeaikaisten lukuisten muutosten, vanhojen vaihtelevien käytäntöjen ja hajallaan olevan tiedon takia lasialalla on selkeä tarve suunnittelijan oppaalle, joka sisältää rakennuslaseja koskevat määräykset, ohjeet ja toimivat käytännöt. Tässä opinnäytetyössä on koottuna suunnittelutyöhön tarvittava tausta-aineisto.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota yhteen rakennuslasin suunnittelun perustieto sisältäen ajantasaiset määräykset, ohjeet ja standardit. Työssä on haluttu korostaa vuoden 2018 alussa voimaan astuneen käyttöturvallisuusasetuksen soveltamisohjeita ja uuteen standardiin perustuvaa mitoitusväkalua LasiMitta-ohjelmaa. Tavoitteena on ennen kaikkea lisätä rakennusten käyttäjien hyvinvointia ja viihtyvyyttä, missä lasirakenteen turvallisuus, toimivuus ja luonnonvalon määrä ovat avainasemassa.

Suomessa on saatavilla vain muutamia lasirakenteita koskevia ohjeita ja oppaita, mutta osalta puuttuu puolueettomuusasema, sillä ne ovat yritysten omiin tuotteisiin liittyviä. Lisäksi tieto on hajallaan ja suuri osa tiedosta on vanhentunutta.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Suomen Tasolasiyhdistys ry, joka on tasolasialan toimialajärjestö. Yhdistyksen yksi päätavoitteista on parantaa lasirakenteiden turvallisuutta ohjeistuksen ja tiedottamisen avulla sekä vaikuttamalla lainsäädäntöön.

### 1.3 Menetelmät

Opinnäytetyö perustuu pääosin kirjallisuusselvityksiin ja haastatteluihin. Työssä perehdytään vaatimusten, ohjeiden ja standardien sisältöön. Lisäksi paneudutaan fysikaalisiin ilmiöihin ja syy-seuraussuhteisiin lähinnä kansainvälisen kirjallisuuden avulla. Työn lopussa tarkastellaan LasiMitta-mitoitusohjelman lisäksi muita rakennuslasin suunnittelu- ja mallintamishjelmia.

Opinnäytetyö on myös kvalitatiivinen tutkimus eli toimintatutkimus, jossa etsitään ratkaisuja. Ratkaisuja, joilla ohjataan suunnittelua ja toteutusta kohti parempia käytäntöjä. Pyrkimyksenä on siis muuttaa olemassa olevia käytäntöjä. LasiMitta-ohjelman käyttäjiä haastateltiin opinnäytetyön alkuvaiheessa, jolloin mitoitusohjelma oli vielä käyttäjille uusi. Haastattelun tarkoituksena oli kerätä palautetta ohjelman käytettävyydestä ja esittää kehitysideoita palautteen perusteella. Haastattelun jälkeen ohjelmasta julkaistiin uusi versio.

Opinnäytetyön tulokseksi muodostui laaja-alainen suunnittelijan työtä tukeva opas, joka sisältää tietoa vaatimuksista, ohjeista, hyvistä käytännöistä sekä mitoitus- ja suunnittelutyökaluista.

### 1.4 Työn toteutus ja rajaukset

Tavoitteiden toteutumiseksi on tarkasteltava lainsäädännön lisäksi ohjeistusta, suunniteltava yhdessä alan asiantuntijoiden kanssa parempia ja turvallisempia toimintatapoja. Toimintatapojen kehittäminen toteutetaan lähinnä sähköpostitse pyytämällä kommentteja ohjeisiin ja yhdistykselle tulleisiin reklamaatioihin. Tässä yhdistyksen hallituksen jäsenet ovat merkittävässä roolissa, sillä kirjoitettua tietoa ei ole valmiina. Lisäksi tässä opinnäytetyössä tutkitaan ulkomaisia ohjeita ja kirjallisuutta.

Työn luetettavuus perustuu pitkälti lähteiden edustavuuteen, alan ammattilaisten kommentteihin ja kokemukseen sekä yleisesti hyväksi koettuihin käytäntöihin.

Tässä työssä ei käsitellä ikkunarakenteita, tukirakenteita ja palonsuojausta.

Pääkysymyksenä on:

miten rakennuslasit tulisi suunnitella Suomen olosuhteissa huomioiden lasien kestävyys, sisätilojen viihtyisyys ja toimivuus uusien vaatimusten sekä standardien perusteella?

## 2 LASIRAKENTEIDEN KÄYTTÖTURVALLISUUS

### 2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Lasirakenteiden suunnittelua ohjaa Maankäyttö- ja rakennuslaki (1999/132). Erityisesti §:ssä 117 määritellään rakentamiselle yleisiä vaatimuksia, jotka koskevat siten myös lasirakenteita. Lisäksi rakenteiden suunnittelua ohjaavat ympäristöministeriön asetukset ja ohjeet, rakennusvalvonnan ohjeistus sekä alan standardit ja muut ohjeet.

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) mukaan lasirakenteen tulee vastata tarkoitustaan, olla korjattavissa, huollettavissa ja muunneltavissa rakennuksen käytön mukaan.

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) määräykset koskevat niin uudisrakennuksia kuin muutos- ja korjauskohteitakin, mutta korjaus- ja muutostöissä tulee huomioida rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä soveltuvuus aiottuun käyttöön. Rakennuksen on täytettävä siihen yleisesti ennakoitavissa oleva kuormitus ja rakennuksen käyttötarkoitus huomioon ottaen tekniset vaatimukset. Näitä teknisiä vaatimuksia ovat rakenteiden lujuus ja vakaus, paloturvallisuus, terveellisyys ja käyttöturvallisuus.

Muutokset eivät saa vaarantaa rakennuksen käyttäjien turvallisuutta eikä heikentää heidän terveydellistä oloansa. Kuten muussakin rakentamisessa, myös lasirakentamisessa tulee noudattaa hyvää rakennustapaa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 117.)

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että lasirakenne suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen rakenteet ovat lujia ja vakaita, soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin ja kestävät rakennuksen suunnitellun käyttöiän (Maankäyttö- ja rakennuslaki § 117 a). Samoin on huolehdittava käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvallisuudesta.

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) §:ssä 117 d *käyttöturvallisuus* sanotaan, että rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on huolehtia rakennuksen käytön ja huollon turvallisuudesta. Rakennuksesta, sen ulkotiloista ja kulkuväylistä ei saa aiheutua sellaista tapaturman, onnettomuuden tai vahingon uhkaa, jota ei voida pitää hyväksyttävänä. Tähän pykälään 117 d perustuu asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta.

Pykälässä 117 j *asuin-, majoitus- ja työtilat* on mainittu, että nämä tilat on suunniteltava ja rakennettava turvallisiksi, toimiviksi, viihtyisiksi ja käyttötarkoitukseensa soveltuviksi. Tärkeä huomio on kohdassa, jossa sanotaan, että jokaisessa näistä tiloista on oltava

ikkuna luonnonvalon saamiseksi, mutta seuraavassa lauseessa osa siitä kumotaan toteamalla, että työtilan tai yhden asuinhuoneistossa olevan asuinhuoneen valaistus saadaan järjestää myös toisen tilan kautta tulevalla välillisellä luonnonvalolla. (Maankäyttö- ja rakennuslaki § 117 j.) Vastaava ikkunaton rakentaminen ei ole mahdollista esimerkiksi Ruotsissa.

## 2.2 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (2017/1007) on annettu maankäyttö- ja rakennuslain §:n 117 ja 117 d nojalla 20.12.2017. Asetus astui voimaan 1.1.2018. Tämä asetus määrittelee tärkeimmät rakennuslaskia koskevat turvallisuusmääräykset. Asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta kumosi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan F2 vuodelta 2001. Asetuksen perustelumuihistiosta (20.12.2017) käy ilmi, että asetus perustuu pitkälti F2-määräyksiin ja ohjeisiin. Lisäksi muistiossa todetaan, että ehdotettu uusi asetus sisältää muutoksia liittyen portaisiin, kaiteisiin ja käsijohteisiin sekä törmäämiselle alttiiden lasirakenteiden vaatimuksiin (Lukkarinen 2017a, 1).

Asetus koskee uutta rakennusta, rakennuksen laajennusta ja rakennuksen kerrosalaa lisäävää tilaa sekä rakennuspaikan välitöntä ympäristöä. Korjaus- ja muutostyössä asetusta sovelletaan, jos alkuperäinen ratkaisu on turvallisuuden tai terveydellisyyden kannalta ilmeisen haitallinen. Muutoin korjaustyöt voidaan tehdä alkuperäisen ratkaisun mukaisesti huomioiden kuitenkin, että muutokset eivät saa heikentää käyttöturvallisuutta. (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 2017/1007 § 1).

### 2.2.1 § 6 Tasanne

Ikkunoiden, luukkujen ja muiden vastaavien aukkoja peittävien rakenteiden, jotka sijaitsevat oleskeluun ja kulkuun tarkoitetuilla rakennuksen tasanteilla, on kestettävä henkilökuorma, jos putoamisvaara on olemassa (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 6).

Tähän pykälään perustuu mitoitustekninen viivakuormatarkastelu, joka suoritetaan lasirakenteelle, myös eristyslaselementille, silloin kun lasi toimii kaiteena eli tilanteessa, jossa putoamisvaara on olemassa.



### 2.2.2 § 7 Kaide

Rakennuksessa on oltava kaide, kun putoamiskorkeus ylittää 0,5 metrin ja putoamisen tai harhaan astumisen vaara on olemassa, eikä toiminnan luonne edellytä kaiteettomuutta. Kaide voi olla avokaide tai suojakaide. Suojakaidetta on käytettävä yli 0,7 metrin tasoeroissa kohteissa, joihin lapsilla on pääsy. (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 7).

Kaiteen suojaavan osan on ulotuttava vähintään 0,7 metrin korkeudelle tasanteen tai askelman pinnasta eikä siinä saa olla vaakasuoria rakenteita, jotka tekevät kiipeilyn mahdolliseksi. Lisäksi kaiteen on oltava turvallinen ja kestävä siihen kohdistuvat kuormat. (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 7).

Kaiteen voi korvata muulla järjestelyllä, jolla putoaminen voidaan estää tai saavuttaa muuten vaadittava turvallisuustaso, kun korkeusero on enintään 1,0 metriä (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 7).

Kaiteen korkeus määräytyy putoamiskorkeuden ja tilan käyttötarkoituksen mukaan. Taulukossa 1 on lueteltuna asetuksen mukaiset kaidekorkeudet putoamiskorkeuden perusteella.

Taulukko 1. Kaidekorkeudet.

<b>Kaidekorkeudet: jos putoamiskorkeus on</b>	<b>niin kaidekorkeus on</b>
0,5 -0,7 m	> 0,7 m
yli 0,7 - 3 m	> 0,9 m (asuntojen sisätilat)
yli 3 – 6 m	> 1,0 m
yli 6 m	> 1,2 m
mikä tahansa	1,0 m (asunnon parveke)

Edellä esitetyn mukaisesti asetuksessa on asuinnoille muutama lievennys. Asunnon sisätiloissa kaiteen korkeus voi olla vähintään 0,9 metriä, kun putoamiskorkeus on alle 3,0 metriä ja yhtä asuntoa palvelevalla parvekkeella riittää 1,0 metrin korkuinen kaide putoamiskorkeudesta riippumatta (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 7).

### 2.2.3 § 8 Kaiteen ja portaan rakenne

Kaiteen ja portaan rakenteesta määrätään lasin mitoitukseen liittyen, että rakenteen on kestävä tilan käyttötarkoituksen mukaiset kuormat koko rakenteen käyttöiän ajan.

Lisäksi §:ssä 8 kerrotaan kaiteen sallituista aukotuksista tarkemmin. (YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 8.)

#### 2.2.4 § 11 Lasirakenteet

Verrattaessa aiempaan määräykseen (RakMk F2), muutoksena §:ssä 11 *lasirakenteet* on viimeinen uusi lause:

*Rakennuksen lasirakenteen ja muun valoa läpäisevän rakenteen rikkoutuminen ei saa aiheuttaa putoamisvaaraa eikä sirpaleiden putoaminen alle jäävän haavoittumisvaaraa.*

*Lasirakenteen ja muun valoa läpäisevän rakenteen on kiinnikkeineen kestettävä siihen tavanomaisesti kohdistuva kuormitus, jollei rakennetta ole suojattu kiinteällä törmäysteellä.*

*Ikkunat, lasiseinät ja lasiovet, joihin on vaara törmätä, on merkittävä siten, että ne havaitaan helposti. Niiden lasitukset on tehtävä turvalasista.*

Toisin sanoen lasitukset, joihin on vaara törmätä, on tehtävä turvalasista. Uusi teksti koskee nyt myös asuinrakennuksia. Muutosta on perusteltu muun muassa Suomen Tasolasiyhdistyksen toimesta sillä, että lasirakentaminen on muuttunut vuoden 2001 asetuksen jälkeen huomattavasti; lasirakenteet ovat entistä suurempia ja ulottuvat usein lattiatasosta katon rajaan, mikä vaikuttaa oleellisesti törmäysvaaraan. Ympäristöministeriö puolestaan on perustellut muutosta muistiossaan Suomen korkeilla tapaturmatilastoilla (Lukkarinen 2017a, 2).

### 2.3 Käyttöturvallisuusohje

Luvussa 2.2 esitetyt uudistetun asetuksen määräykset ovat suuntaa antavia. Niiden tueksi Suomen Tasolasiyhdistys ry on kirjoittanut yhteistyössä rakennusvalvontojen ja muiden rakennusalan yhdistysten kanssa yhteisen lasirakenteita käsittelevän ohjeen. Ohje löytyy rakennusvalvontojen kotisivulta osoitteesta <https://www.pksrava.fi> tai Suomen Tasolasiyhdistyksen kotisivuilta osoitteesta [www.tasolasiyhdistys.fi](http://www.tasolasiyhdistys.fi). Tässä opinnäytetyössä käytetään lähteenä Suomen Tasolasiyhdistyksen laajempaa ohjetta.

1.1.2018 voimaan tullut ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (2017/1007) ja yhteiset käyttöturvallisuusohjeet koskevat uudisrakennusta, rakennuksen laajennusta ja rakennuksen kerrosalaa lisäävää tilaa. Ne koskevat myös korjausrakentamista, kun rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu riskillisemmäksi tai alkuperäinen

ratkaisu on ilmeisen haitallinen. Tasolasiyhdistys ohjeistaa, että ilmeisen haitalliseksi ratkaisuksi katsotaan lasitukset, joissa on putoamisvaara tai kun lasitus lähtee lattiatasosta. Hyvänä nyrkkisääntönä on, että jos muutostyö vaatii viranomaispäätöksen, on noudatettava uusia määräyksiä. Suojelukohteet ovat kuitenkin tapauskohtaisia. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Rakennuksen pääsuunnittelijan on hyvä huomioida, että asetus ei erottele julkisia tiloja ja asuntoja kuin kaiteiden kohdalla. Yleisessä ohjeessa on kuitenkin lievennyksiä asuntojen kohdalla.

Toinen huomio koskee asuinkerrostalojen porrashuoneita ja tuulikaappeja. Ne ovat julkisia tiloja, jolloin käyttöturvallisuusohjeen sisältämiä asuinrakentamisen lievennyksiä ei voi käyttää. Ohjeistus koskee myös korjausrakentamista vuodesta 2001 lähtien, sillä kerrostalojen porrashuoneissa olisi pitänyt käyttää turvalasia jo RakMk F2:2001 aikaan. Tämä tarkennus yhtenäistää menettelykäytäntöjä, joissa on ollut kuntakohtaisia tulkintoja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a.)

### 2.3.1 Vammojen riskinarviointi

Lasi kestää paljon, mutta ei mitä tahansa. Rikkoutuessaan tavallinen tasolasi voi aiheuttaa viiltohaavoja, naarmuja tai tunkeutua syvälle ihoon. Turvalasi rikkoutuu nimensä mukaisesti turvallisesti minimoiden henkilövahingot verrattuna tavalliseen tasolasiin (kuva 2).



Kuva 2. Lasin tyypilliset rikkoutumiskuviot: float-lasi, karkaistu ja laminoitu turvalasi (Glazcon 2018).

Turvalasit testataan ja luokitellaan standardin SFS-EN 12600:en *Glass in Building. Pendulum test. Impact test method and classification for flat glass* mukaan. Turvalaseja käytetään, kun lasiin on vaara törmätä tai estetään putoaminen. Nykyisin käytettäviä turvalaseja ovat lämpökarkaistu ja laminoitu turvalasi sekä näiden yhdistelmät.

Käyttöturvallisuusasetuksen mukaan rakennuksen lasirakenteet kuten lasiseinät ja – ovet, ikkunat, lasikatteet tai lasikaiteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että materiaalin ominaisuuksista johtuvat riskit on otettu huomioon. Lasirakenne mitoitetaan ja lasityyppi valitaan siten, ettei rikkoutuminen aiheuta henkilön putoamisvaaraa eikä sirpaleiden putoaminen alle jäävän haavoittumisvaaraa. Lasirakenne on arvioitava sen mukaan, onko siihen vaara törmätä, aiheuttaako rikkoutuminen putoamisvaaran tai alle jäävälle henkilövahinkoja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Riskialttiimpia kohteita ovat lasiovet, lasiseinät, suuret ja alhaalla sijaitsevat lasipinnat sekä kulkuväylien ja niiden välittömässä läheisyydessä olevat lasitukset. Myös oleskelutilojen ja leikkitilojen lattiatasosta lähtevät lasitukset ovat törmäysvyöhykettä, kuten myös kaiteet. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

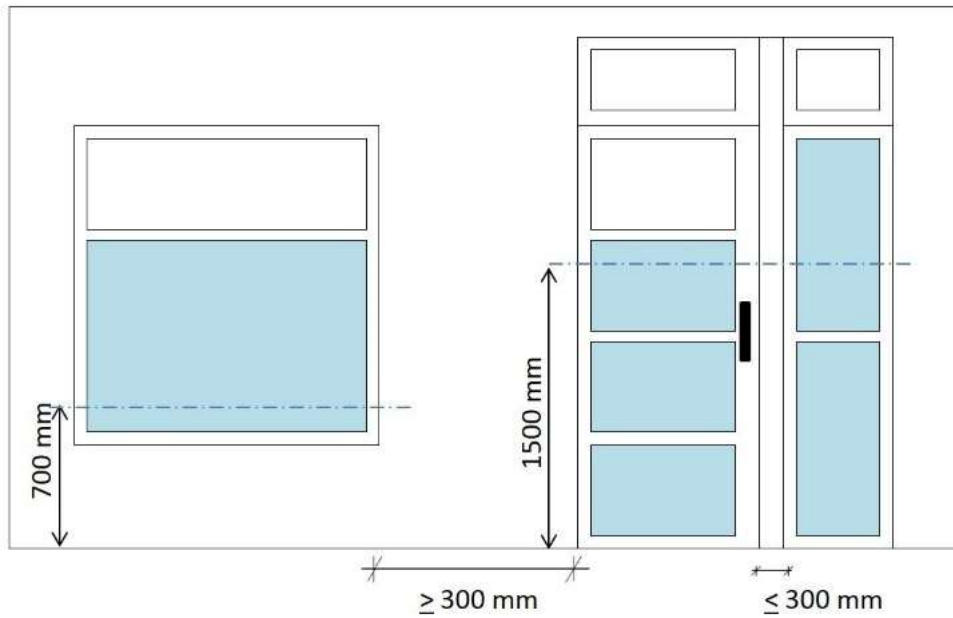
Säännösten katsotaan täyttyvän, kun lasitus, johon on vaara törmätä, on tehty oikein mitoitettuna turvalasista ja se on merkitty näkyvästi törmäyksen välttämiseksi. Kohteessa, jossa on vaara pudota, on käytettävä laminoitua turvalasia. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Turvalasivaatimusta ei kuitenkaan ole, jos lasitus suojataan törmäyksen estävällä käyttöturvallisuusasetuksen 7 §:n vaatimukset täyttävällä suojakaiderakenteella. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.) Käsihohde ei täytä kaidemääräyksiä, eikä se poista turvalasin käyttövelvoitetta (Turva- ja suojalasi 2015).

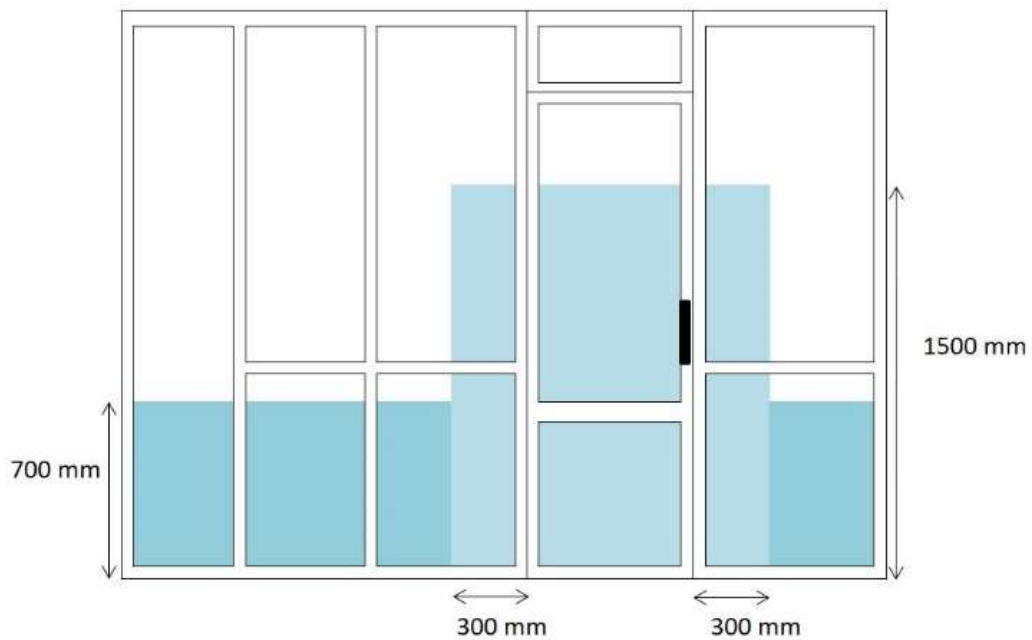
### 2.3.2 Riskivyöhykkeet

Riskivyöhykkeillä (kuvat 3 ja 4) on käytettävä standardin SFS-EN 12600 mukaan luokiteltua turvalasia. Standardissa määritellään, miten lasit testataan heiluritestillä ja luokitellaan rikkoutumistavan ja heilurin pudotuskorkeuden perusteella kolmeen turvallisuusluokkaan. A kuten tavallinen lasi, B kuten laminoitu lasi ja C kuten karkaistu lasi. Luokan A lasi ei siis ole turvalasia. Lisäksi testissä on kolme pudotuskorkeutta: luokka 3: 190 mm, luokka 2: 450 mm ja luokka 1: 1200 mm. (SFS-EN 12600:en). Esimerkiksi laminoitu turvalasi, joka rikkoutuu turvallisesti pudotuskorkeudesta 450 mm luokitellaan 2(B)2, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa pudotuskorkeutta, jonka lasi kestää rikkoutumatta

tai rikkoutuu turvallisesti. Viimeinen numero kertoo korkeimman tason, jolta lasi ei rikkoutu tai rikkoutuu kuin laminoitu turvalasi. (Lasifakta 2018 2017, 45.)



Kuva 3. Riskivyöhykkeet julkisissa tiloissa. Yhteisissä ohjeissa on lievennyksiä asunnoille oviaukkojen kohdalla.

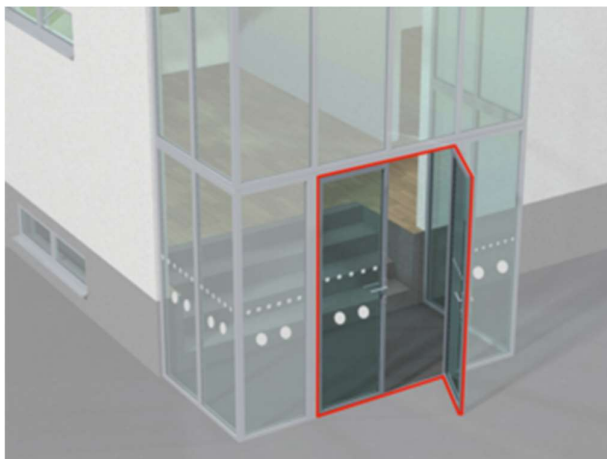


Kuva 4. Törmäykselle riskilliset lasipinnat julkisissa rakennuksissa.

Karkaistua turvalasia tai laminoitua turvalasia käytetään törmäysriskillisissä kohteissa ja laminoitua turvalasia, kun on putoamisvaara. Laminoitu turvalasi voi olla tehty karkaistusta turvalasista, jolloin puhutaan karkaistu-laminoidusta turvalasista. Kuvissa 5 ja 6 lasit, joihin kohdistuu turvalasivaatimus, on merkitty punaisella. Lasi voi olla karkaistua tai laminoitua turvalasia. Kuvan 7 turvalasin on oltava laminoitua ja se on merkitty kuvaan keltaisella. Ikkunoissa ja lasiseinissä, jotka eivät ole kulkuväylien läheisyydessä kuten kuvassa 5, käytetään turvalasia, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm.



Kuva 5. Ikkunoissa ja lasiseinissä käytetään turvalasia, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm (Glascentrum 2016).



Kuva 6. Kulkuväylien ovissa käytetään turvalasia ja ne merkitään (mukaiillen Glascentrum 2016).

Rakennusten kulkuväylien ovissa katsotaan olevan törmäysvaara, kun lasipinnan korkeus lattiasta on alle 1500 mm. Turvalasia käytetään myös näiden ovien viereisissä

ikkunoissa ja lasiseinissä silloin, kun umpinainen karmi-, puite- tai seinärakenne ovialueen ympärillä on pienempi kuin 300 mm. Yhteisen ohjeen mukaisesti asuntojen kohdalla on lievennys; asunnon ovissa ja ovien viereisissä ikkunoissa katsotaan olevan törmäysvaara vasta, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm huomioiden, että lasi ei saa olla alle 6 mm paksuista tasolasia välillä 700-1500 mm. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Tasolasiyhdistys kuitenkin suosittelee, että turvalasia käytetään kaikkien rakennusten kulkuväylillä, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 1500 mm turvallisuuden edistämiseksi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Lasitukseen on vaara törmätä porrassyöksyssä (kuva 7), kun portaan laskeutumissuuntaan vastaan olevan ikkunalasituksen korkeus porrasaskelmasta tai lepotasosta on vähemmän kuin 1500 mm. Tasolasiyhdistys on määritellyt, että porrasalueen voidaan katsoa loppuneen, kun etäisyys alimmasta portaasta lasitukseen on yli 2000 mm. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

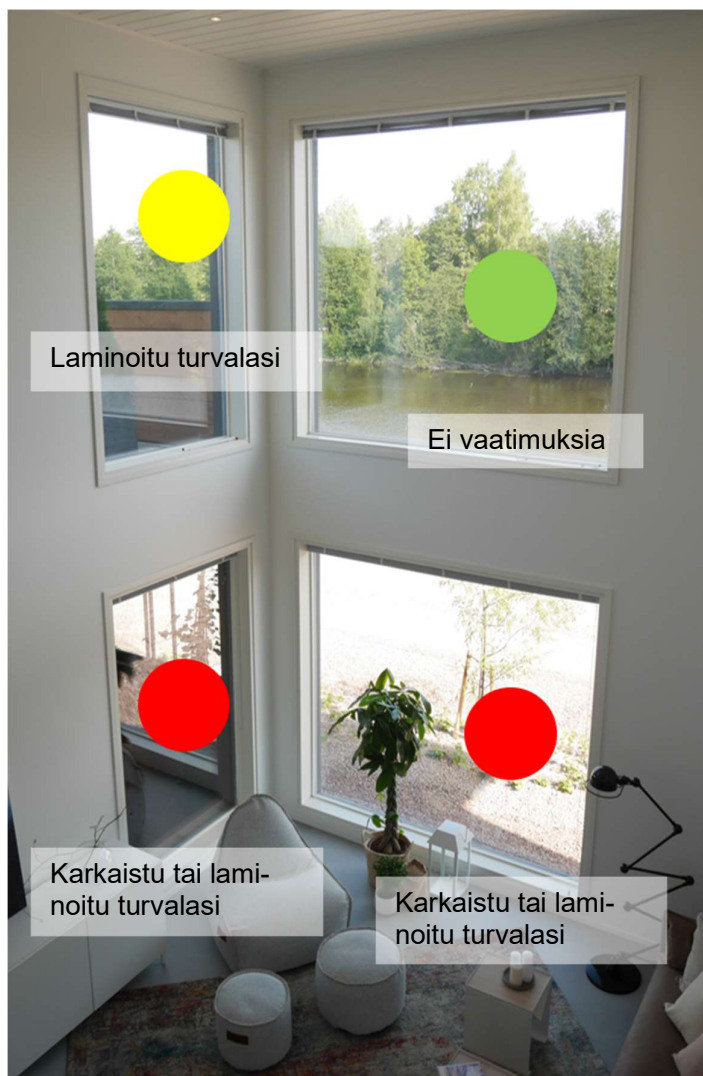


Kuva 7. Porrassyöksyssä on käytettävä turvalasia, kun lasituksen korkeus tasosta on vähemmän kuin 1500 mm. Asuntojen kohdalla ei ole lievennystä.

Lasirakenteen rikkoutuminen aiheuttaa putoamisvaaran, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm ja samalla tasojen välinen korkeusero on yli 1000 mm. Tällöin on käytettävä laminoitua turvalasia. Asunnoissa on lievennys tässäkin kohtaa: asunnoissa katsotaan olevan putoamisvaara monilasisen (vähintään 3 lasikerrosta) ulkoikkunan kohdalla vasta, kun korkeusero on yli 2200 mm ja samalla lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 700 mm. Käytännössä tämä tarkoittaa asunnon toista kerrosta. Tilanteessa, jossa lasituksen takana on jokin vaarallinen tekijä, kuten kallionkieleke, suunnittelijan on rakennushankkeeseen ryhtyvän kanssa harkittava putoamisriski myös matalammassa korkeuserossa. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Putoamisvaara on myös kuvan 8 tapauksessa, kun toisen kerroksen terassilta on pudotus rakennuksen sisälle: lasituksen korkeus lattiasta on alle 0,7 m ja korkeuseroa alakerrosta on yli 2,2 m.





Kuva 8. Turvalasivaatimukset asunnossa.

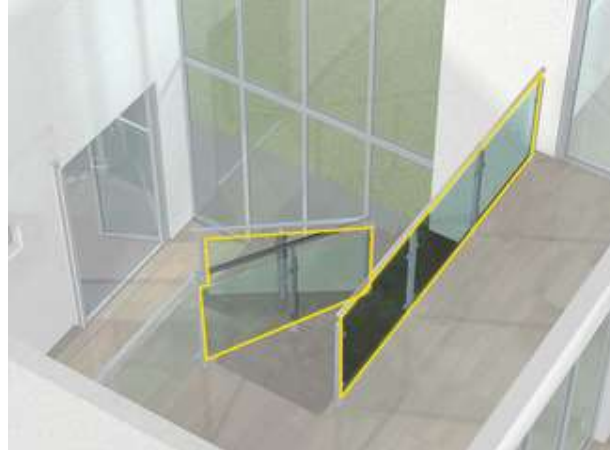
Kuvassa 8 on havainnollistettu asunnon turvalasimääräyksiä. Asunnon yläikkunassa vasemmalla (keltainen pallo) on käytettävä laminoitua turvalasia parvekkeen puoleisessa uloimmassa lasilevyssä putoamisvaaran takia alla olevaan olohuoneeseen. Alakerran ikkunoissa (punainen pallo) riittää karkaistu turvalasi, mutta vasemmanpuoleisessa ikkunassa se tulee olla molemmin puolin. Oikeanpuoleinen ikkuna on ulkoapäin yli 700 mm korkeudella maasta, jolloin turvalasia ei tarvita. Yläikkunaan ei ole turvalasivaateita (vihreä pallo).

Pienessä monilasisessa (vähintään 3 lasikerrosta) alle 250 mm leveässä tai korkeassa lasiaukossa ei katsota olevan putoamisvaaraa. Tämä lievennys koskee kaikkia rakennuksia käyttötarkoituksesta riippumatta. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)



Kuva 9. Asunnon ovissa käytetään usein pieniä lasituksia (alle 250 mm), joiden ei tarvitse olla turvalasia.

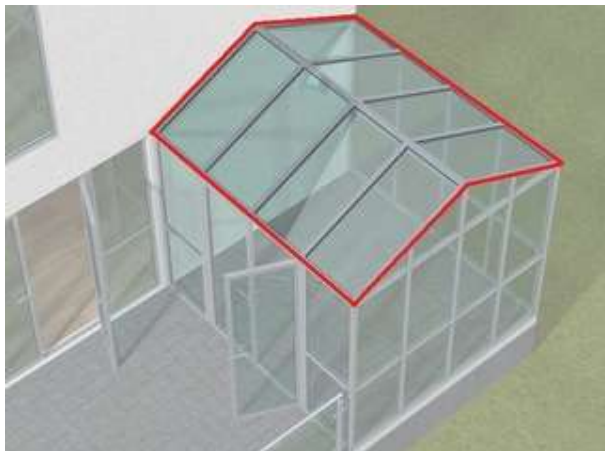
Asunnon ikkunoissa ja ovissa voi käyttää 6 mm tasolasia turvalasin asemasta, jos lasin leveys tai korkeus on alle 250 mm kuten kuvassa 9. Pienissä lasiaukoissa katsotaan karmirakenteen ottavan vastaan törmäystä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)



Kuva 10. Kaide on oltava, kun putoamiskorkeus ylittää 0,5 m ja putoamisen tai harhaan astumisen vaara on olemassa (Glascentrum 2016).

Suojakaidetta käytetään, kun putoamiskorkeus yli 700 mm. Suojakaiteena käytetään laminoitua turvalasia kuten kuvassa 10 on esitetty. Kaiteen yläpuolinen parvekelasitus tehdään karkaistuna, jos lasi on ilman kehärakennetta. Kaiteen suojaavan osan törmäysluokka tulee olla 2(B)2, joka osoitetaan SFS-EN 12600 mukaisella testillä. Testit toteutetaan kaiderakennetta vastaavaan rakenteeseen kiinnitetyille suojaavalle osalle, jolloin myös kiinnityksen lujuus tulee testatuksi. Kun kyseessä on pistekiinnitys, on käytettävä karkaistu-laminoitua turvalasia, sillä lasihin syntyy kiinnitystavan vuoksi suuria keskittyneitä jännityksiä. Lasien mitoitus on tehtävä kiinnitysjärjestelmän toimittajan ohjeiden mukaisesti. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)

Lasikatteista on tehty oma käyttöturvallisuusohje, mutta Topten-ryhmä ei ole toistaiseksi julkaissut sitä. Valmistellun ohjeen mukaan lasikatteissa on pääsääntöisesti käytettävä laminoitua turvalasia. Yksityisissä tiloissa kuten kasvihuoneessa ja asunnon terassilla voi kuitenkin yksilasinen lasikate eli eristämätön lasikate olla myös karkaistua turvalasia neljän metrin korkeuteen asti (kuva 11). Yli neljän metrin korkeudella sijaitsevat lasikatteen ovat kuitenkin aina laminoitua turvalasia. Eristyslaseielementeissä käytetään alimpana lasina laminoitua turvalasia tai muuta vastaavaa rakennetta, joka rikkoutuessaan pysyy paikallaan. Ylimpänä lasina suositellaan käytettäväksi karkaistua turvalasia, joka ottaa paremmin vastaan lumikuorman. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)



Kuva 11. Lasikatteissa käytetään turvalasia (mukaiillen Glascentrum 2016).

Suomen Tasolasiyhdistys ry:n teknisen työryhmän keskusteluiden mukaan turvallisin vaihtoehto kate- ja katekattaisissa olisi käyttää lämpölujitettu-laminoitua turvalasia karkaistu-laminoidun tai laminoitun turvalasin asemasta. Lämpölujitettu-laminoitu turvalasi kestää hyvin lämpötilamuutoksia ja pysyy kiinni rakenteessa usein rikkoutuneenakin. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020b.)

Lasitukset, joihin on vaara törmätä, merkitään kaksiosaisella 0,8–1 metrin ja 1,4–1,6 metrin korkeudelle sijoitettavalla huomiomerkinällä kuten kuvassa 12. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a.)



Kuva 12. Lasien merkintä (mukaiillen Glascentrum 2016).

## 3 MUUT LASIRAKENTEITA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

### JA OHJEET

#### 3.1 Valoisuus

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132) määrätään § 117 j asuin-, majoitus- ja työtiloista ja luonnonvalon saamisesta (kohta 2.1). Lisäksi valoisuudesta määrätään ympäristöministeriön asetuksessa asuin-, majoitus- ja työtiloista (2017/1008) ja ohjeistetaan Topten-rakennusvalvontojen ohjeessa 117 j 02 asuin- ja työtilojen ikkunapinta-ala ja tuoreessa päivänvalostandardissa SFS-EN 17037:2018:en Daylight in buildings.

##### 3.1.1 Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista

Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista (2017/1008) määrää tilojen toiminnallisuudesta ja riittävän luonnonvalon varmistamisesta, mikä vaikuttaa oleellisesti myös lasirakenteiden suunnitteluun. Soveltamisala on kuten asetuksessa rakennuksen käyttöturvallisuudesta.

Valoaukon on oltava vähintään 1/10 huonealasta. Ikkunan sijoituksella ja muulla järjestyllä on varmistettava huoneen valoisuus, näkymä ulos ja kalustettavuus. Asuinhuoneen ja majoitustilan ikkunan tai sen osan on oltava avattavissa eli huoneessa on oltava tuuletusmahdollisuus. Jos työtilassa on oltava ikkuna, on valoaukon oltava vähintään 1/10 työtilan huonealasta. Työtilan ikkunasta säädetään lisää työturvallisuuslaissa (2002/738). Lisäksi asetus määrittelee etäisyyden vastapäiseen rakennukseen suhteessa vastapäisen rakennuksen korkeuteen, jonka voi kuitenkin ohittaa asemakaavan avulla. (YM asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 2017/1008 § 5.)

Ilmansuuntien ja valoisuuden huomioon ottamisella tarkoitetaan suoran auringonvalon mahdollisuutta paistaa huoneistoon. Pohjoiseen avautuvaa huoneistoa ei pidetä toivottavana, ellei sitä voida perustella esimerkiksi häiriötekijöiden takia kuten esimerkiksi liikenteellä, tai avautuvalla näköalalla kuten kauniilla maisemalla. Suunnittelussa on huomioitava muissa ilmansuunnissa auringon lämmittävä vaikutus ja tarvittaessa huolehdittava varjostuksesta sekä jäähdytyksestä. (Lukkarinen 2017b, 4.)

### 3.1.2 Asuin- ja työtilojen ikkunapinta-ala

Topten-rakennusvalvonat, yhteiset käytännöt -ohjeessa 117 j 02 asuin- ja työtilojen ikkunapinta-ala on tarkennuksia edellä mainittuun asetukseen tilanteessa, jossa asuinhuoneisto aukeaa yksinomaan pohjoiseen, asuinhuoneisto ei täytä 45 asteen valokulmaa huoneen lattiatasoon nähden tai yksittäisen asuinhuoneen luonnonvalo on järjestetty toisen tilan kautta välillisesti. Luonnonvalon saantia suositellaan parannettavaksi asetuksen vaatimuksesta seuraavin suunnitteluratkaisuin: asuinhuoneiston pääoleskelutilan ikkunan pinta-ala on vähintään 4 m<sup>2</sup> ja sen valoaukko on vähintään 15 % lattiapinta-alasta tai ikkunoiden avautumista muutetaan erkkerin avulla tai näkymiä avataan parvekkeella tai ranskalaisella parvekkeella siten, ettei huonetilaa pimennetä. (Topten-rakennusvalvonat 2019, 117 j 02.)

### 3.1.3 Päivänvalostandardi

Vuonna 2018 Suomessa vahvistettiin kansalliseksi standardiksi uusi päivänvalostandardi SFS-EN 17037:2018:en *Daylight in buildings*. Tämän eurooppalaisen standardin myötä ympäristöministeriö tilasi aiheesta selvityksen suomalaisilta luonnonvalon asiantuntijoilta, sillä standardia ole vielä käytetty säädösohjauksessa ja verrattuna naapurimaihimme, on ohjeistus Suomessa edelleen niukkaa, vaikka luonnonvalolla on todettu olevan huomattavia positiivisia terveysvaikutuksia, joita keinovaloilla ei voida saavuttaa (Vikberg 2019). On todennäköistä, että standardin suosituksia tullaan käyttämään myös Suomen säädöksissä jollain aikavälillä. Tätä ajatusta tukee lukuisat luonnonvalosta tehdyt viimeaikaiset tutkimukset ja naapurimaidemme edistyksellisemmät määräykset.

Uudessa päivänvalostandardissa käydään läpi neljä päivänvaloon liittyvää osa-aluetta: päivänvalon saatavuus, näkyvä, suoran auringonvalon säteily ja häikäisyltä suojautuminen. Vaatimukset ja suositusarvot on annettu kolmessa tasossa, joita ovat minimi, keskitaso ja korkea. Standardin suositukset on annettu tilakohtaisiksi, ei siis koskien kokonaisrakennuksia, vaan tiloja, joissa oleskellaan pitkäaikaisesti. (SFS-EN 17037:2018; Vikberg 2019.)

Päivänvalostandardin laskentatavat ohjaavat siirtymään ilmastoperusteiseen päivänvalon mallintamiseen (Vikberg 2019). Standardin normatiivisessa osassa käydään läpi se, mitä tarkoitetaan hyvin päivänvalaistulla tilalla. Tila on asianmukaisesti valaistu, jos puolet tilan tarkastelutasosta saavuttaa valaistusvoimakkuuden tavoitearvot vähintään puolet päivänvalotunneista. Jos tilassa valoaukot ovat pystysuorat tai kallistetut, on tietty

valaistusvoimakkuuden minimitaso saavutettava koko (95%) tarkastelutasolla. Tarkastelutaso sijaitsee 0,85 m lattiapinnan yläpuolella. Vain pieni osa tarkastelutasoa voidaan jättää huomiotta erikoistilanteissa. (Vikberg ym. 2019, 29.)

Standardissa on annettu tavoitearvot valaistuksen voimakkuudelle ja vastaavat päivänvalosuhteet Helsingissä 50 % viitealalle: valaistusvoimakkuuden minimi on 300 luksia ja päivänvalosuhte 2,2 %. Keskitaso 500 luksia ja päivänvalosuhte 3,7 %. Taso on korkea, kun valaistusvoimakkuus on 750 luksia ja päivänvalosuhte 5,6 %. 95 % viitealalle (pystysuorat ja kallistetut aukot) minimitaso on 100 luksia ja päivänvalosuhte 0,7 %. (SFS-EN 17037:2018.)

Standardissa mainitaan, että näkymä ulos voi vähentää väsymystä, joka liitetään pitkiin oleskeluihin sisätiloissa. Näkymä antaa tietoa paikallisesta ympäristöstä, säästä ja kellonajasta. Kaikilla tilassa olevissa tulisi olla mahdollisuus hyödyntää näkymän suomia mahdollisuuksia. Riittävä näkymä ulos saavutetaan, kun lasitus on neutraali ja ilman vääristymiä. Käytössä olevalla alalla näkymäaukkojen tulisi sijaita niin, että minimiarvot horisontaaliselle näkymäkulmalle täyttyvät tarkastelupisteessä (minimi  $\geq 14^\circ$ , keskitaso  $\geq 28^\circ$  ja korkea  $\geq 54^\circ$ ). Ulkopuolisen etäisyyden tulisi olla suurempi kuin minimiarvo, joka on 6 m. Korkea arvo puolestaan on 50 m. Lisäksi tasojen (taivas, maisema, maanpinta) minimimäärän tulisi olla nähtävissä käytössä olevalla alueella eli 75 % hyötyalasta pitäisi sisältää vähintään maisematason. Korkea suositustaso sisältää kaikki kolme näkymätasoa samassa valoaukossa. Yli 4 m syvyisessä tilassa suositellaan, että jokaisen näkymäaukon koko on vähintään 1,0 m x 1,25 m (leveys x korkeus). (Vikberg ym. 2019, 30-31.)

Standardissa määritellään, että suoran auringonsäteilyn vähimmäismääräsäteily tulee varmistaa sairaaloiden potilashuoneissa, päiväkotien leikkihuoneissa ja vähintään yhdessä asunnon asuinhuoneessa. Suosituksen mukaan aikaväliltä 1.2.-21.3. valittuna piltvettömänä päivänä suoraa auringonvaloa tulisi saada vähintään 1,5 tuntia. Keskitaso on kolme tuntia ja korkea taso neljä tuntia. (Vikberg ym. 2019, 32.)

Standardissa mainitaan, että häikäisy aiheuttaa epämiellyttävän tunteen tai huonontaa näköä johtuen korkeamman luminanssin pinnasta kuin mihin silmä on sopeutunut. Tämän takia standardissa suositellaan, että jokaisessa päivänvalaistussa tilassa tulisi käyttää varjostuskeinoja häikäisyn estämiseksi. Häikäisyn arviointiin käytetään päivänvalon häikäisytodennäköisyyttä DGP (Daylight Glare Probability). Empiiristen tutkimusten

mukaan häikäisyä ei yleensä koeta, kun DGP-arvo on alle 0,35 ja yli 0,45 tasossa häikäisy koetaan yleensä sietämättömäksi. (Vikberg ym. 2019, 32.)

Kaikki edellä esitetyt standardin aiheosa-alueet sisältävät seikkaperäiset laskentaohjeet itse standardissa. Tässä on esitettynä tiivistäen vain huomioitavat osa-alueet ja niiden luokittelutasoja.

### 3.2 Ääneneristys ja meluntorjunta

Ympäristöministeriö antoi 22.3.2019 rakennusten ääniympäristön suunnittelua ja toteutusta koskevan asetuksen muutoksen (2019/360). Muutos täsmentää rakennuksen ulkovaipan ääneneristysvaatimusta melualueilla. Melualueella tarkoitetaan aluetta, jossa vuorokautinen keskiäänitaso ylittää 55 dB päivällä ja 50 dB yöllä. Ääniympäristön huomioiminen on aikaisempaa tärkeämpää, koska melualueiden läheisyyteen rakentaminen, ympäristömelu ja rakennusten sisätilojen äänilähteet ovat lisääntyneet. (Ympäristöministeriö 2019.)

Asetuksen muutoksella täsmennetään voimassa olevan asetuksen esitysmuotoa uuden rakennuksen ulkovaipan ääneneristysvaatimuksista melualueilla, sekä kevennetään parvekkeiden äänitasovaatimusta. Asetusta sovelletaan ensisijaisesti uudisrakentamisessa. Korjausrakentamisessa ja rakennuksen käyttötarkoitusta muutettaessa rakennuksen ääniympäristöä koskevat vaatimukset määräytyvät lähtökohtaisesti aina rakennuksen valmistusaikana voimassa olleiden säädösten mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2019.)

Asetus tuli voimaan 1.4.2019 ja korvaa 5 §:n 1 ja 3 momenttien, sekä 6 §:n 2 momentin osalta rakennuksen ääniympäristöstä annetun ympäristöministeriön asetuksen (2017/796). (Ympäristöministeriö 2019.)

Ensin 1.1.2018 voimaan astuneessa asetuksessa oli teksti: *Rakennuksen, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, ulkovaipan ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääneneristys on vähintään 30 desibeliä.* (YM asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017.)

Perusvaatimuksena 30 dB ääneneristävyys koettiin rakennusalalla erittäin kovaksi, mikä tarkoitti lisäkustannuksia ja tarpeettomia investointeja. Erityisen haastava asetus oli kiinteille ikkunoille ja lasiseinille.



Nyt muutoksen myötä asetuksen mukaan rakennuksen, jossa on asuntoja tai majoitus- tai potilashuoneita, ulkovaipan ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava melualueilla siten, että ääneneristys on vähintään 30 desibeliä ja impulssimaisen, kapeakaistaisen tai pienitaajuuden melun keskiäänitaso ei ylitä nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa 25 desibeliä, ellei asemakaavasta muuta johdu. (YM asetus rakennuksen ääniympäristöstä annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 ja 6 §:n muuttamisesta 360/2019.)

Samalla asetuksesta poistettiin parvekkeiden ääniolosuhteille asetetut vaatimukset. Asemakaavassa voi kuitenkin olla paikkakuntaakohtaisia vaatimuksia.

Lasirakenteiden ääneneristysominaisuuksien vaatimukset voidaan esittää pelkästään  $R_w$ -indeksinä tai  $R_{w:n}$  ja asiaankuuluvan spektrisovitusermin summana, josta jälkimmäistä erittelyä käytetään silloin, kun vaaditaan tarkkaa ilmoitusta ääneneristävydestä tiettyyn tarkoitukseen (SFS-EN 12758:2019, 9).

### 3.3 Energiatehokkuus

Maankäyttö- ja rakennuslakiin (1999/132) on lisätty lähes nollaenergiarakennus määritelmä muutoksella 16.12.2016/1151. Lisäksi kohdassa 117 g § energiategokkuus sanotaan, että uusi rakennus on suunniteltava ja rakennettava lähes nollaenergiarakennukseksi. Muutos astui voimaan 1.1.2018. Energiategokkuutta on myös parannettava rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos mahdollista.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiategokkuudesta (2017/1010) määrää uuden rakennuksen suunnittelusta §:ssä 3 siten, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti on energiategokkuudeltaan joko laskennallisen energiategokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiategokkuuden mukainen. Lisäksi rakennuksen tulee olla lämpöhäviöltään vähäiselle energiatarpeelle edellytykset luova sekä energiategokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkäteholtaan.

E-luku ( $kWh_E/(m^2a)$ ) on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. E-lukulaskennassa ikkunoille ja oville lämmönläpäisykertoimen vertailuarvovaatimus eli U-arvo on  $1,0 W/(m^2K)$ . Siirtokelpoisen ja puolilämpimän tilan sekä loma-asumiseen

suunniteltavalle pientalolle vastaava arvo on  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . E-luvun laskennassa on huomioitava §:n 8 mukaisesti myös lämpökuorma auringosta ja laskennallinen kesäaikainen huonelämpötila §:n 29 mukaan, joihin vaikuttaa lasirakenteen g-arvo. (YM asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.)

Jos vaatimusten täytyminen osoitetaan rakenteellisella energiatehokkuudella, käyttötarkoitusero- ja 2 kuuluvan rakennuksen lämmönläpäisykerrointaso ikkunoiden ja ovien osalta on  $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (YM asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017).

### 3.4 Rakennuksen sisäilmasto

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (2017/1009) astui voimaan 1.1.2018 ja korvasi RakMk osan D2. Asetus on annettu MRL (1999/132) nojalla, jossa sanotaan 117 c §:ssä, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet huomioon ottaen. Rakennuksen järjestelmien ja laitteistojen on sovellettava tarkoitukseensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita. (MRL 132/1999 117 c §.)

Asetuksen sisäilmaston laatua koskevat vaatimukset pysyivät melko samoina uudistuksessa, mutta hallitusohjelman mukaisesti sääntelyä kevennettiin. Uusi asetus antaa suunnittelulle enemmän vapauksia, mutta korostaa vastuuta ja osaamista suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Uuden rakennuksen keskeisenä tavoitteena on oltava hyvä sisäilmasto, josta ei tule tinkiä energiatehokkuuden vuoksi. (Suomen LVI-liitto ry 2017.)

Asetuksen mukaan suunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti otettava huomioon sisäilmastoon vaikuttavat tekijät kuten esimerkiksi sääolot ja sijainti. Rakennuksen huonelämpötilan on oltava suunniteltuna käyttöaikana viihtyisä, eivätkä ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot ja pintalämpötilat saa sitä heikentää. Sisäilmasto on huomioitava, kun suunnitellaan rakennuksen lämmöneristystä ja energiatehokkuutta sekä ikkunoiden ominaisuuksia ja aurinkosuojauksia. Tai rakennuksen ääneneristystä, tilojen valaistusta ja päivänvalon hyödyntämistä sekä tarvittavaa lämmitystä ja jäähdytystä. (YM asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 3 §, 4§). Nämä kaikki luetellut kohdat liittyvät lasirakenteiden valintaan ja päinvastoin: lasirakenteiden ominaisuudet vaikuttavat rakennuksen sisäilmastoon.

Huonelämpötilojen suunnitteluarvo on 21 °C ja huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa vaihteluväli talvella on 20-25 °C ja kesällä 20-27 °C. Huonelämpötilojen hallinnan suunnittelun perusteena käytettävänä mitoittavina säätietoina käytetään eri säävyöhykkeille säädettyjä testivuoden säätietoja ja ulkoilman lämpötiloja. (YM asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 4 §). Ilmatieteen laitoksen tietojen mukaisesti Etelä-Suomessa keskimääräinen lämpötila on 5,6 °C ja mitoittava ulkoilman lämpötilana on -26 °C, kun Pohjois-Suomessa vastaavat arvot ovat 0,1 °C ja -38 °C (Ilmatieteen laitos 2020).

Huonelämpötilojen vaihteluväli ylittyy herkästi tilanteessa, jossa yhtenäisen lasijulkisivun korkeus on yli 3 metriä (Saukko 2020a). Kanadassa, USA:ssa ja Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan toimistorakennuksista vain 11 % lämpöolosuhteet ovat hyvällä tasolla (Huizenga ym. 2006). Mikä usein tarkoittaa, että kovilla pakkasilla huonelämpötila saattaa laskea alle 20° C aiheuttaen vedon tunteen (konvektio ja kylmät pinnat) ja kesällä riittämätön auringonsuojaus nostaa lämpötilan yli 27° C johtuen vääristä lasivalinnoista. Tästä aiheesta kerrotaan lisää kohdassa 4.5.10 sähkölämmitteiset eristyslasit.

### 3.5 Lujuustekninen mitoitus

Lasirakenteiden mitoituksessa käytetään CEN:n (Comité Européen de Normalisation) julkaisemia eurooppalaisia standardeja, joihin on liitetty kansallisia liitteitä, joissa huomioidaan paikalliset olosuhteet. Eurokoodissa 1990 ja 1991 käsitellään lasilevyjen mitoittamiseen tarvittavia lähtötietoja ja laskentaperiaatteita. Lasilaattojen mitoituksessa tarvitaan tyypillisesti alla mainittuja eurokoodien 1990 ja 1991 osia sekä lisäksi voidaan käyttää hiljattain julkaistuja mitoitusstandardeja SFS-EN 16612 *Rakennuslasit. Kuormankestävyyden määrittämisessä käytettävät laskelmat* ja SFS-EN 16613 *Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties*.

Lujuusteknisessä mitoituksessa tarvittavia standardeja ja niiden osia:

- SFS-EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.
- SFS-EN 1991-1-1 + AC. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat.
- SFS-EN 1991-1-3. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat.

- SFS-EN 1991-1-4 + AC +A1. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.
- SFS-EN 16612:2019:en. Rakennuslasit. Kuormankestävyyden määrittämisessä käytettävät laskelmat.
- SFS-EN 16613:2019:en. Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties.

Lisäksi parhaillaan valmistellaan eurokoodien tasoista mitoitusstandardia lasirakenteille. Sen soveltamisalue tulee olemaan laajempi verrattuna SFS-EN 16612 standardiin. Tämän eurokoodin nimeksi tulee uuden numerointijärjestelmän mukaisesti todennäköisesti Eurokoodi 11, SFS-EN 19100 *Design of glass structures*.

Eurokoodien mukaan suunnitellun ja toteutetun rakenteen katsotaan täyttävän kantavia ja jäykistäviä rakenteita koskevat olennaiset tekniset vaatimukset, mutta myös muita laskentatapoja voi soveltaa, kun sillä saavutetaan riittävä varmuus rakenteiden murtumista vastaan (Ympäristöministeriö 2016). Mitoitusstandardit SFS-EN 16612 ja 16613 ovat pakollisia CE-merkinnän kautta, jos harmonisoiduissa tuotestandardeissa niihin viitataan määräävinä standardeina. Oletettavaa on, että eurokoodi SFS-EN 19100 tulee sisältämään viittaukset standardeihin 16612 ja 16613.

### 3.5.1 Eurokoodit 1990 ja 1991

Eurokoodien mukaan tehtävä lasirakenteen mitoitus perustuu rajatilojen käyttöön. Laskennat tehdään murto- ja käyttörajatilassa. Murtorajatilatarkastelussa käytetään rakenteiden ominaiskuormista laskettuja mitoituskuormia ja materiaalien lujuuksina ominaislujuuksista laskettuja mitoituslujuuksia, jotka sisältävät varmuuskertoimet. Näin varmistetaan, että mitoituskuormista aiheutuvat jännitykset eivät ylitä lasin laskentalujuutta ja rakenteet kestävät riittävällä varmuudella vaaditun käytön menettämättä stabiiliuttaan. Käyttörajatilatarkastelussa puolestaan käytetään kuormien ominaisarvoja ja materiaalien lujuuksina materiaalien ominaislujuuksia, jolla varmistetaan, että lasirakenteen taipuma on sallituissa rajoissa käytön aikana. (RIL 272-2019, 51.)

Lasirakenteiden suunnitteluperusteet on kerrottu eurokoodissa SFS-EN 1990. Lasiin kohdistuvat kuormat määritellään eurokoodin SFS-EN 1991 ja sen kansallisten liitteiden mukaan. Lasin tulee kestää standardissa SFS-EN 1991-1-1 määritellyn käyttötarkoituksen mukainen vaakakuorma. Rakenteita rasittavia kuormia ovat lumikuorma, tuulikuorma, muut hyötykuormat ja rakenteen oma paino. (SFS-EN 1991.)

### 3.5.2 Mitoitusstandardit

Lasilaattojen mitoituksesta julkaistiin 25.10.2019 standardi SFS-EN 16612:2019. *Rakennuslasit. Kuormankestävyiden määrittämisessä käytettävät laskelmat*. Standardissa on kuvattu laskentamenetelmät lasin taivutuslujuuden arvon määrittämiseksi tasaisen kuorman kuormittamalle lasilevyille, joka on jatkuvasti tuettu sivuiltaan. Standardin sovellusalueeseen kuuluvat monoliittiset lasilaatat (1K), laminoidut lasilaatat ja kaksilasiset (2K) ja kolmilasiset (3K) eristyslaselementit. Laskentamenetelmää sovelletaan lasilaatoille, joihin kohdistuu tasoa vastaan kohtisuoria kuormia. Näitä kuormia ovat tuulikuorma, lumikuorma, kaltevan lasin oma paino ja eristyslaselementtien sisäiset paineen vaihtelut. Standardi antaa suositellut arvot mm. seuraaville tekijöille: materiaalin osavarmuusluvut  $M;A$  ja  $M;v$ , kuormitusajan huomioivan kertoimen  $k_{mod}$ , ja reunojen lujuuskertoimen  $k_e$ . Lisäksi standardissa SFS-EN 16612 on todettu, että kaikkien lasilaattojen tulee suunnittelukuormien lisäksi kestää käyttökohteesta riippumatta tasan jakautunut lyhytaikainen  $0,4 \text{ kN/m}^2$  kertoimeton kuorma riittävän lujuuden takaamiseksi. (SFS-EN 16612:2019:en.)

Laminoidun lasilaatan lasikerrosten yhteistoiminta määritellään standardissa SFS-EN 16613:2019:en *Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties*. Tämä standardi määrittelee testimenetelmän kerrosten välisten materiaalien mekaanisten viskoelastisten ominaisuuksien määrittämiseksi, joita tarvitaan laminoidun lasin kuormituskestävyyden määrittämiseksi. (SFS-EN 16613:2019:en.)

Työryhmä CEN TC250 / SC11 valmistelee uutta lasirakenteiden eurokoodia EN 19100 *Design of Glass Structures*. Sen on arvioitu valmistuvan lopullisesti vuosien 2024-2025 aikana. Standardi tulee sisältämään kuvaukset materiaalin ja tuotteiden ominaisuuksista, lasin käyttökohteista, rikkoutumismahdollisuuksista ja -seurauksista, näkökulmia turvallisuudesta ja luotettavuudesta, suunnittelun periaatteet sekä mitoituksen säännöt.

### 3.6 Tuotemäärittelyohje

Suunnitteluasiakirjoissa tulee esittää rakennuslaseja koskevan eurooppalaisen yhdenmukaistetun standardin mukaiset perusominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot (hEN Helpdesk 2019). Rakennuslaseille ei ole olemassa kansallista soveltamisstandardia, jossa olisi esitettyä suosituksia ominaisuuksien arvoille. Tämän takia rakennuslaseista eristyslaseille, karkaistuille lasille ja laminoiduille lasille on laadittu

tuotemäärittelyohjeet vuoden 2019 lopussa ja ne julkaistaan kesällä 2020. Rakennuslasien tuotemäärittelyohjeet löytyvät tämän opinnäytetyön liitteestä 1.

Perinteisesti suunnittelukäytännöt ovat perustuneet tuotenimien määrittelyyn suunnitelmissa, mutta hankintaorganisaation on ollut vaikea vaihtaa tuotetta vastaavaan toisen nimeen tuotteeseen. Tuotemäärittelyohje on tarkoitettu liitettäväksi osaksi suunnitelma-asiakirjakokonaisuutta. Suunnittelijan on kuitenkin kohdekohtaisesti harkittava, mitkä näistä ominaisuuksista ovat kussakin kohteessa oleellisia. (hEN Helpdesk.) Rakennuslasien tuotemäärittelyohjeissa on määritetty sinisellä värillä yleensä olennaiset ominaisuudet, vihreällä erityistapauksissa ja punaisella ei olennaiset. Yleensä olennaisia ovat eristyslasien tapauksessa palokäyttäytyminen, lämpöominaisuudet ja pitkäaikaiskestävyys. (Liite 1).

## 4 LASIN OMINAISUUDET JA VALINTA

### 4.1 Lasi materiaalina

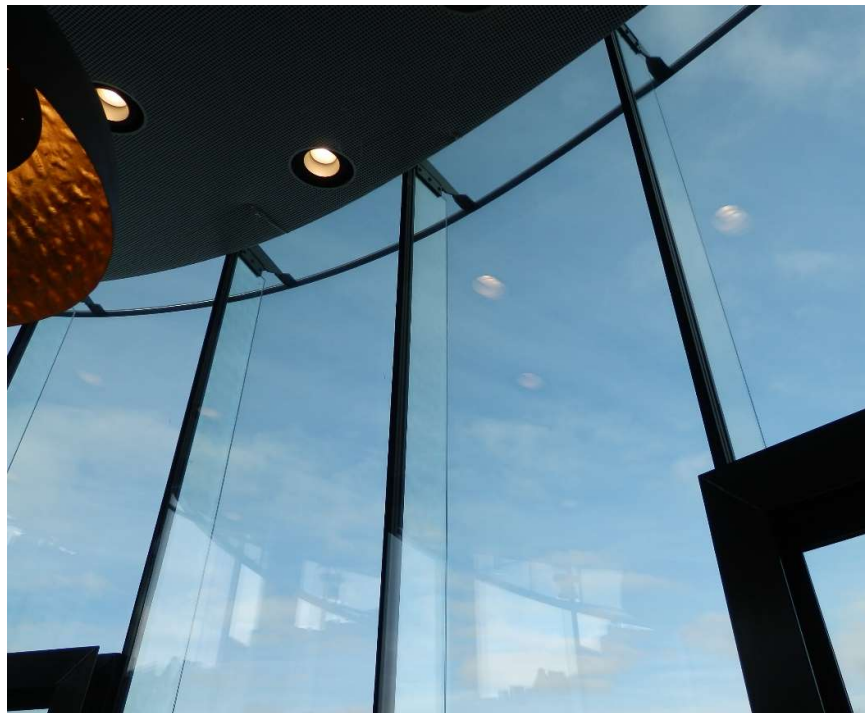
Lasi on yksi monipuolisimmista ja perinteisimmistä rakennusalan materiaaleista. Sen rooli arkkitehtuurissa on kehittynyt vuosien saatossa vaatimattoman pienistä ruuduista nykyajan monitoimilaseihin (kuva 13). Arkkitehtonisen näkökulman ja rakenteellisten ominaisuuksien lisäksi lasiin on kehitetty uusia ominaisuuksia, jotka parantavat sisätilojen viihtyvyyttä, helpottavat huoltotoimintoja tai tarvittaessa lisäävät yksityisyyttä.



Kuva 13. All glass corner – kokolasinurkka on viimeisimpiä lasisia uutuuksia maailmalla (Vitkala 2019.)

Lasi on ainutlaatuinen materiaali sen valonläpäisykyvyn ja läpinäkyvyytensä ansiosta. Lasia on vaikea korvata millään muulla materiaalilla. Lisäksi lasielementtirakentaminen on nopeaa ja se vaatii vain vähän huoltoa – lähinnä säännöllisen puhdistamisen.

Sanotaan, että lasi on hauras materiaali. Sitä on syytä käsitellä varovasti, mutta imagonsa epävarmana materiaalina lasi on menettänyt. Viime vuosina on nähty yhä monimutkaisempia lasin suorituskykyä koskevia vaatimuksia ja toteutuksia niin sisä- kuin ulkotiloissakin. Lasista tehdään myös rakenteellisia lasijulkisivuja, jossa lasia käytetään kantavana elementtinä tai tukevana rakenneosana kuten kuvassa 14.



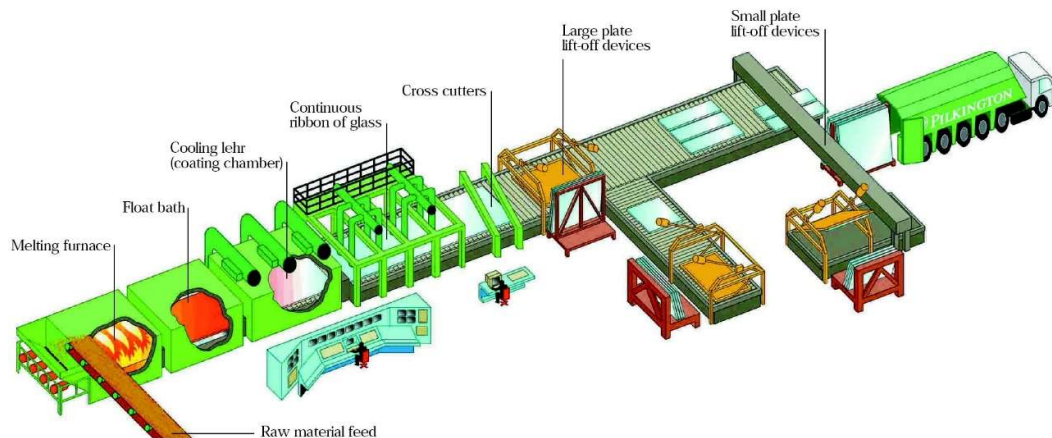
Kuva 14. Lasieviä käytetään tukevana osana rakenteellisissa lasijulkisivuissa. Meripaviljonki, Helsinki.

Lasivalinta vaikuttaa LVI-laitteiston kokoon ja siten tarvittavan lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen sekä sisäilmastoon eli viihtyvyyteen. Valinnalla on myös vaikutusta sisätiloihin saatavan luonnonvalon määrään ja häikäisyyn. Lisäksi valinta vaikuttaa rakennuksen ääniolosuhteisiin, henkilöturvallisuuteen, suojaukseen ilkeiltä ja murtautumista vastaan, palonsuojaukseen palon rajoittamiseksi sekä käyttöön ja huoltoon. (Almstedt, Carlson, Grange & Ödesjö 2017, 17.)

#### 4.2 Lasin valmistus

Ihminen keksi lasin vahingossa tuhansia vuosia sitten. Lasin massatuotanto alkoi 1800-luvun teollisen vallankumouksen aikaan. (Pilkington 2019.) 1900-luvun puoliväliin saakka lasia valmistettiin vetämällä tai muovaamalla sulaa lasia ja kiillottamalla pinta tasaiseksi (Guardian Glass 2019a). Sir Alistair Pilkington keksi 1950-luvulla float-lasin valmistusmenetelmän, jonka ansiosta työläs kiillotusvaihe poistui käytöstä ja lasin tuoteominaisuudet paranivat ratkaisevasti. Kuvan 15 mukainen kelluva lasinvalmistusprosessi on nykypäivänä käytössä kaikkialla maailmassa. (Lasifakta 2018 2017, 2.)





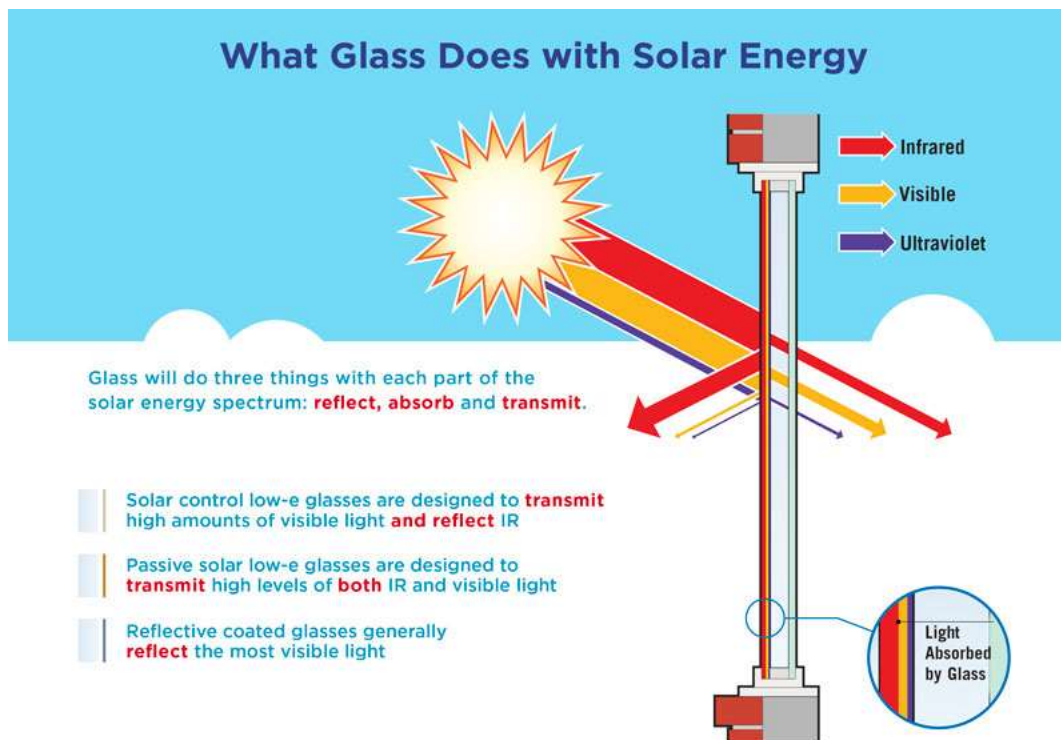
Kuva 15. Float-lasiprosessi (Pilkington 2020a). Tavallista tasolasia kutsutaan englanniksi usein float glass tai annealed glass.

Tavallinen rakennuslasi eli float-lasi valmistetaan sulatetusta kvartsihiekasta, soodasta, dolomiitista, kalkista, alumiinioksidista ja muista raaka-aineista (Lasifakta 2018 2017, 68). Kierrätettyä lasisirua lisätään tyypillisesti 10-30 % raaka-aineista valmistajasta riippuen (Uusioaines Oy 2015). Lasiseos syötetään uuniin ja sulatetaan noin 1600 °C asteessa. Seuraavaksi sula lasi levitetään nestemäisen tinamassan pinnalle tasaiseksi. Samalla lasi jäähdytetään alle 1000 °C asteeseen, jolloin se muuttuu kiinteäksi lasilevyksi. Lasinvalmistusprosessin lopussa lasi leikataan ja tarvittaessa pinnoitetaan ennen asiakkaalle lähetystä. (Guardian Glass 2019a.)

Englannin kielisessä aineistossa käytetään usein sanaa annealed glass. Tällä termillä tarkoitetaan float-lasia, jota ei ole lämpökäsitelty (Guardian Glass 2020a). Suomeksi se olisi hehkutettu lasi tai päästetty lasi. Tätä lasia voidaan leikata, koneistaa, porata ja kiillottaa toisin kuin lämpökäsiteltyä lasia.

#### 4.3 Ominaisuudet

Lasin tärkein ominaisuus on läpinäkyvyys. Lasin molekyyli rakenne on homogeenisesti järjestymätön, jonka takia auringon säteilyenergia (infrapuna, valo, UV) läpäisee sen kuvan 16 mukaisesti. Ainutlaatuisen rakenteensa ansiosta voimme nähdä lasin läpi. Kirkas lasi läpäisee lämpösäteilyä 88 % ja valoa 91 %, mutta se ei läpäise alle 300 nm ja yli 4000 nm aallonpituuksia. Auringonsuojalaseilla voidaan pudottaa läpäisyä spektrin eri alueilla. (Lasifakta 2018 2017, 68.)



Kuva 16. Kun auringon säteilyenergia osuu lasiin, osa siitä heijastuu, osa absorboituu ja osa läpäisee lasin. (Vitro Architectural Glass 2020a.)

Lasin läpi katsotaan paljon, joten sen odotetaan olevan mahdollisimman neutraali ja virheetön sekä luovan sisätiloihin viihtyisyyttä ja toimivuutta. Lasin muita tärkeitä ominaisuuksia luonnonvalon läpäisyn ja sääsuojan lisäksi ovat optinen laatu, lämmöneristävyyys, auringonsuojaus, ääneneristävyyys, yksityisyys ja puhdistettavuus. Nykyaikaiseen monitoimilasiin voidaan sisällyttää oikeastaan kaikki toiminnot, on vain valittava oikea lasi oikeaan paikkaan.

Tietyt ilmiöt liittyvät lasin toimivuuteen ja ulkonäköön. Energiatehokkaat eristyslasit huurtuvat etenkin keväällä ja syksyllä. Suuret yhtenäiset lasipinnat lisäävät helpolla veto-ongelmia kylmänä aikana ja lämmittävät sisätiloja liikaa kesäaikana. Vinoon lasirakenteeseen jää lumi ja jää paikoilleen pimentäen sisätiloja ja joskus eristyslaselementin lasi napsahtaa rikki ilman ulkoista syytä. Kaikki edellä esitetyt asiat ovat vältettävissä oikeanlaisella suunnittelulla.

#### 4.3.1 Optiset ominaisuudet

Optiset ominaisuudet liittyvät lasin tasomaisuuteen ja siihen, miten kohde havaitaan lasin läpi. Lasin optinen laatu määritellään visuaalisten havaintojen perusteella. Huomioitavaa on, että visuaalisilla virheillä tarkoitetaan eri asiaa eli pistemäisiä virheitä ja viivamaisia naarmuja itse lasissa, ja niiden hyväksytyistä tasoista löytyy tietoa kyseistä lasia koskevasta standardista (SFS-EN 572-2:2012).

Tavallinen kirkas float-lasi on väriltään hieman vihertävää. Väri näkyy parhaiten lasin reunaa katsottaessa. Vihreä sävy johtuu lasin raaka-aineissa luonnollisesti esiintyvistä rautaoksidista. Neutraalimpi värisävy on matalarautaisessa float-lasissa. Matalarautainen lasi toistaa ympäristön värit puhtaammin kuin tavallinen float-lasi. (Guardian Glass 2019a.)

On hyvä huomata, että myös matalarautainen lasi saattaa taittaa hennosti vihreää sävyä reunoistaan. Matalarautaisia lasituotteita käytetään etenkin kohteissa, joissa arkkitehtuuriset vaatimukset ovat tiukat sekä kun lasikerroksia ja pinnoitteita on paljon, minkä takia lasi on herkästi vihertävämpää.

Standardien SFS-EN 572-1 ja -2 *Rakennuslasit. Perustuotteet. Soodakalkkisilikaattilasi*. mukaan valmistettu float-lasi saattaa vaihdella värisävyllään. Sävyerot ovat sallittuja standardissa mainittujen rajojen puitteissa.

Standardin sallimien toleranssien lisäksi tasolasin sävy riippuu valmistusajankohdasta ja valmistajasta. Jokaisella tehtaalla on oma lasin valmistusreseptinsä ja spesifikaationsa. Myöhemmin tilatussa lasissa voi siten olla sävyero, mikä on täysin sallittua, ellei sitä ole erikseen tilausvaiheessa määriteltä. Myös eri valaistuskulmat, taustamateriaalit ja pinnoitteet vaikuttavat lasin värisävyyteen. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020a.) Laminoidun lasin välissä oleva kirkas laminoitikalvo ei muuta lasin sävyä tai valonläpäisykykyä (Lumon Group 2020a).

Optisista ominaisuuksista häiritsevintä lienee vääristymä. Lasissa olevat vääristymät voivat aiheuttaa esineiden epäsäännöllistä peilautumista ja lasin läpi katsoessa maiseman vääristymistä. Lämpökarkaistu turvalasi ei ole yhtä tasomainen kuin float-lasi, jonka takia standardin SFS-EN 12150 *Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi*. mukaisesti karkaistulle lasille on määriteltä raja-arvot erilaisten taipumien suhteen. Tasomaisten lasien standardeja ja tuotetoleransseja ei voida soveltaa kuitenkaan kaareviin lasiin. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b; Schlösser 2019.)

Lasin vääristymät voivat johtua rulla-aalloista, taipumista tai vääntymistä. Ne voivat olla peräisin tuotannosta, kokoonpanosta tai asennuksesta. Myös asennuksen jälkeen paneeliin kohdistuva kuormitus voi aiheuttaa vääristymiä kuten lämpökuorman pumppausilmiö, tuulikuorma ja ilmastokuorma. (Schlösser 2019.)

#### 4.3.2 Kemialliset ominaisuudet

Lasi kestää hyvin veden ja happojen vaikutusta, mutta huonosti emäksisiä liuoksia. Lasi ei myöskään kestä fluorivetyhappoa, joka onkin lasin etsausaine. Rakennustyön ajaksi ikkunat ja lasiovet pitää suojata huolellisesti, sillä emäksiset kalkki- ja sementtiliuokset liuottavat lasin alkaleja. Sadevedet pitää ohjata rapatusta tai betonijulkisivusta niin, ettei ne valu lasituksiin. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017a.)

#### 4.3.3 Lasin koko

Tavallisesti tasolasia on saatavissa 2-25 mm paksuisena. Standardikoko on 3,21 x 6 metriä. (Guardian Glass 2019a.) Standardikoon lasia kutsutaan jumbolasiksi.

Lasisuunnittelijan on hyvä huomioida jumbolasin koko, sillä lasileikkuusta aiheutuvat hukkapalat tulee asiakkaan maksettavaksi. Pahin hukka syntyy tilanteessa, jossa lasimitat ovat hieman yli lyhyen sivun puolikas kertaa hieman yli lyhyen sivun koko mitta, esimerkiksi 1,7 m x 3,3 m. (Rahikkala 2018). Tämä korostuu projektissa, jossa käytetään erikoistuotteita, kuten harvemmin käytettävää lasipaksuutta. Ennen lopullista suunnitelmaa on hyvä myös selvittää karkaisulinjojen kokorajoitukset varsinkin suurten lasien tapauksessa. (Sutela 2020.)

Suurien lasitusten kohdalla korostuu tilaajaosaaminen. Tilaajan on hyvä määritellä lasityypin, suorituskykoodin (U/LT/g) ja haluttujen toimintojen lisäksi toleranssit, jonka mukaisesti lasi tulee valmistaa. Näitä toleransseja ovat mm. sivumitta, korkeusmitta, ristimitta, kokonaispaksuus, välilistan asemointi, reunojen siirtymät, aaltoisuus, isotropia ja kaarevuus. Sekä millaisia virheitä lasissa sallitaan. Lisäksi tulisi määritellä halutut reunahionnat ja merkinnät. Nämä varsinkin, jos halutaan poiketa voimassa olevista standardeista. (SFS-EN 1279-6:2018.)

#### 4.3.4 Suorituskykykoodi

Lasirakenteen suorituskyky muodostuu rakenteen ja lasien järjestyksestä sekä lasien ominaisuuksien valinnasta. Suorituskykykoodi U/LT/g on yhteenveto lasituksen

suorituskyvystä perusvaatimusten suhteen, jossa U on U-arvo, LT on valonläpäisy ja g on aurinkoenergian kokonaisläpäisy. (Lasifakta 2018 2017, 7.) Suorituskykykoodia voidaan pitää vähimmäistasona, jonka jokaisen rakennushankkeeseen ryhtyvän pitäisi tuntea julkisivun lasirakenteen suhteen.

Lasirakenteen hyvä lämmöneristävyys eli matala U-arvo rajoittaa lämpöhukkaa talvella ja pitää sisimmän lasin pintalämmön riittävänä normaaliolosuhteissa, mikä vähentää sisätilan veto-ongelmia. Lasin valonläpäisyarvo LT (light transmission) kertoo, kuinka paljon auringon näkyvän valon spektristä (380-780 nm) läpäisee lasin. Korkea LT-arvo vähentää keinovalaistuksen tarvetta. Matalarautaisen kirkkaan 4 mm lasin LT-arvo on noin 92 % ja tavallisen kirkkaan lasin noin 90 %, eristyslaselementissä puolestaan arvo on usein alle 80 %. Aurinkotekijä g on rakenteen kokonaan läpäissyt aurinkoenergia, joka saadaan, kun aurinkoenergian suoraläpäisy (ST) lisätään rakenteeseen absorboituneesta energiasta sisään suuntautuvaan säteilyyn. Nykyaikaisessa pinnoitetussa auringonsuojalasissa on matala g- ja U-arvo, mutta korkea LT-arvo. Tyypillisesti LT on kaksi kertaa korkeampi kuin g-arvo, g-arvon ollessa on usein alle 40 %. Etenkin rakennuksen etelä- ja länsipuolella lasituksen pitää suojata auringon yllämmöltä, mutta samalla laskea riittävästi luonnonvaloa sisään. (Lasifakta 2018 2017; Pilkington 2020b.)

Alla olevassa taulukossa 2 on esimerkki 3K-eristyslaselementistä, jossa on korkea suorituskyky sisältäen myös korkean ääneneristyskyvyn, itsepuhdistuvuusominaisuuden ja auringonsuojauksen.

Taulukko 2. Esimerkki lasirakenteesta (Lasifakta 2018 2017).

Rakenne	6-16-4-16-8,8 (A6C(70)-16Ar-4-16Ar-8,8Lp)
U/LT/g	0,8/60/33
Ääneneristys Rw(C;Ctr)	43 (-2; -7) dB

Esimerkissä on uloimpana lasina 6 mm paksuinen Pilkingtonin Activ Suncool™, jonka LT on 70 % ja g-arvo 35 %. Kyseessä on lasi, jossa on puhdistustarvetta vähentävä pinnoite ja auringonsuojapinnoite. Välitilat ovat 16 mm ja argon täytteellä, välissä 4 mm lasi. Sisälasina on laminoitu turvalasi 8,8 mm erityisellä ääneneristyskalvolla. (Lasifakta 2018 2017, 40.)

Lasirakenteen energiatehokkuutta voidaan siis parantaa lasiin lisättävillä pinnoitteilla, monikerrosrasirakenteilla, välitilaa kasvattamalla ja välitilaan lisättävillä eristävillä aineilla. Eriste voi olla ilmaa, tyhjiö tai tietty kaasu; tyypillisesti argon tai harvemmin käytetty krypton.

Huomioitavaa on, että ilmoitettu U-arvo voi olla 2K ja 3K rakenteilla hyvin lähellä toisiaan, mutta kylmässä ilmastossamme pakkasessa ja tuulessa 2K-elementin lämmöneristävyyks heikkenee nopeasti 3K-elementin säilyttäessä ominaisuutensa. U-arvot ilmoitetaan standardoiduissa oloissa, jotka on määritelty lauhkeisiin ilmastoihin sopivaksi. (Lasifakta 2018 2017, 75.)

#### 4.3.5 Ääneneristys

Äänen eristäminen perustuu massan, ilmatiiveyden ja rakenteiden resonanssiin. Lasirakenteen ääneneristävyyteen vaikuttaa samalla periaatteella lasin paksuus, välitilojen koko sekä niiden erot ja lasityyppi.

Lasien paksuutta kasvattamalla lasin massa kasvaa, jolloin ääniaallot eivät saa sitä liikkeeseen niin helpolla. Massan kaksinkertaistuessa lasin ääneneristysluku kasvaa noin 6 dB matalista taajuuksista koinsidenssitaajuuteen asti. Koinsidenssi-ilmiö huonontaa ääneneristävyyttä korkeilla taajuuksilla. Tämä tulee ottaa huomioon käytettäessä yli 4 mm paksuja laseja. Ääneneristävyyks ei merkittävästi parane, mikäli ikkunan lasit ovat yhtä paksuja, sillä silloin ne värähtelevät samalla taajuudella. Tätä kutsutaan perusresonanssiksi. Tehokkaimmin lasirakenteen ääneneristävyyttä voidaan parantaa suurentamalla lasilevyjen välissä olevan ilmatilan paksuutta sekä käyttämällä epäsymmetriaa niin lasipaksuuksissa kuin välitiloissakin. (Lasifakta 2018 2017, 38; Lahtela 2004, 53; Sutela 2020.)

Avattava ikkuna on tehokkaampi äänieriste kuin kiinteä johtuen suuresta ilmavälistä. Kohteissa, joissa vaaditaan hyvää ääneneristävyyttä, yli 50 dB, on valittava lasirakenne, jossa on suuret ilmavälit ja ääntä absorboivat välitilat. Näitä ovat rakenteita ovat 1-2, 1+3 ja 2+2 ikkunat. (Lasifakta 2018 2017, 39.)

Laminoimalla useita laseja yhteen, lasin taivutusjäykkyys pienenee ja yli 1000 Hz ääniaallot vaimenevat tehokkaasti, sillä koinsidenssitaajuus siirtyy korkeammalle taajuusalueelle. Laminoitu lasi eristää ääntä paremmin kuin vastaavan paksuinen monoliittinen lasi. Ääneneristävyyttä voidaan parantaa entisestään käyttämällä ääneneristykseen kehitettyä laminointikalvoa. (Lasifakta 2018 2017, 38.)

Lasirakenteen ääneneristävyyys on pakkasella heikompi, jos laminoitu lasi on rakenteen uloimpana lasina, koska kylmässä laminoitikalvo muuttuu kovemaksi eikä eristä ääntä yhtä hyvin kuin lämpöiseen aikaan. Myös syvät ikkunasyvennykset heikentävät ikkunan ääneneristävyyttä. Tämän takia ikkuna kannattaa sijoittaa samaan linjaan muun julkisivun kanssa. (Lasifakta 2018 2017, 40.)

Sisätilojen lasiseiniin saadaan enemmän ääneneristävyyttä, kun lasivälit tiivistetään tiivistemassalla. Tällöin pitää huolehtia erityisesti työjäljen siisteydestä. Muita vaihtoehtoja on käyttää kaksipuoliteippiä tai profiiliratkaisuja kuten alumiini- tai H-profiilia. (Havukainen 2019.)

Ikkunarakenteen valmistajan testauspöytäkirjoista saa tarkastettua ääneneristysluvun, johon vaikuttaa koko rakenne mukaan lukien puitteet, karmit, tiivisteet ja venttiilit. (Lasifakta 2018 2017, 40.)

#### 4.4 Kestävyys

Lasi on teoriassa hyvin lujaa, vaikka onkin hauras materiaali. Se rikkoutuu vetojännityksen ylittäessä vetolujuuden laatan pinnassa tai reunassa olevan mikrohalkeaman kautta. Tavallisen float-lasin taivutusvetolujuus vaihtelee välillä 40-120 N/mm<sup>2</sup> kuormitustavasta riippuen. Lasin puristuslujuus puolestaan on suuruusluokaltaan 900-1000 N/mm<sup>2</sup>. Tämän takia mitoituksessa tarkastellaan yleensä vain laatan vedetyn pinnan suurinta pääjännitystä ja verrataan sitä vetojännitysten alaisen pinnan taivutusvetolujuuteen. (RIL 198-2001.)

Lasilevyn kestävyys vaikuttaa kuormituksen lisäksi kuormitusaika, levyn koko, lämpötila ja suhteellinen kosteus. Lasi kestää hetkellistä kuormitusta enemmän kuin pitkäaikaista. Taivutusvetolujuus pienenee lasilevyn pinta-alan kasvaessa johtuen suuremmasta määrästä alkuvirheitä. (RIL 198-2001.) Lisäksi kestävyys vaikuttavat lämpökäsittely ja kemiallinen lujitus sekä reunojen laatu eli hionta ja kulmien tyssäys. Niila Kunnari tarkastelee aihetta laajemmin insinööriyössään Lasirakenteiden mitoitusohje, jossa hän toteaa Aalto-yliopiston tutkimuksesta muun muassa, että laadukkaalla reunakäsittelyllä on positiivinen vaikutus lasilevyn mitoituksen kannalta ja että kiiltoreunahionnalla saavutetaan muita reunahiontoja hieman korkeampi keskimääräinen murtolujuus ja pienin keskihajonta (Kunnari 2015, 7).

## 4.5 Lasityypit

Lasituotteita on lukematon määrä. Lasityypit voidaan jakaa karkeasti raakalaseihin ja prosessoituihin lasihin kuten esitetty taulukossa 3 (AGC 2014-2015, 94).

Taulukko 3. Lasityypit jaoteltuina raakalaseihin ja prosessoituihin lasihin (mukaillen AGC 2014-2015).

<b>Raakalasisit</b>	float-lasi laminoitu turvalasi pinnoitettu lasi peili ja maalattu lasi kuviolasi ja kuviollinen lankalasi happoetsattu lasi
<b>Prosessoidut lasit</b>	lämpökäsitelty lasi (karkaistu, lämpölujitettu, Heat Soak testattu, taivutettu lasi) kemiallisesti lujitettu lasi eristyslasi laminoitu turvalasi luodin- ja räjähdysten suojaukseen emaloitu lasi silkkipainettu lasi BIPV lasi (Building-Integrated Photovoltaics) pintakäsitelty lasi (etsaus, hiekkapuhallus jne.) tulenkestävä lasi

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi yleisimpiä lasityyppejä sisältäen osittain edellä olevan taulukon lasityyppejä ja lisäksi muutaman muun erikoislasiyypin.

### 4.5.1 Float-lasi

Yleisin rakennuslasityyppi on soodakalkkisilikaattilasi eli tavallinen tasolasi, joka valmistetaan nykyisin pääasiassa float-menetelmällä. Se on kirkasta, tasapaksuista, vääristymätöntä ja sileäpintaista. (Guardian Glass 2020a.)

Lasirakenteiden suunnittelu alkaa float-lasista (standardeissa annealed glass), sillä se toimii muiden lasien perusmateriaalina. Sitä voidaan leikata, koneistaa, porata sekä reunata hioa ja kiillottaa. Väreinä ovat kirkas, vähärautainen eli neutraalin värinen ja värjätyistä vihreä, harmaa, pronssi, punertava ja sininen. (Guardian Glass 2020a.)

Rikkoutuessaan float-lasi hajoaa teräviksi kappaleiksi ja voi siksi aiheuttaa merkittäviä henkilövahinkoja.



#### 4.5.2 Laminoitu turvalasi

Laminoitu lasi koostuu kahdesta tai useammasta lasilevystä, jotka on laminoitu yhteen yhden tai useamman laminointikalvokerroksen avulla. Laminointikalvoissa on erilaisia ominaisuuksia, siksi kalvo tulee valita lasin käyttökohteen mukaan. Yleisimpiä kalvoja ovat PVB (polyvinyylibutyaali) ja EVA (etyleeni-vinyyliasettaatti). (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.) Näitä huomattavasti jäykempi ja kestävämpi laminointikalvo on SentryGlas®, jota suositellaan esimerkiksi haastaviin julkisivun rakenteellisiin ratkaisuihin ja avoreunaisiin kaiteisiin, joissa kosteus voi aiheuttaa delaminoitumista ja ikääntyminen kellastumista (Trosifol 2020a). Muita laminointimateriaaleja ovat hartsi, silikaatti ja geeli (AGC 2014-2015, 97).

Laminoitu turvalasi on sitkeää ja se pysyy koossa myös murtuneena. Se suojaa ilkivaltaa ja murtautumista vastaan sekä vähentää henkilövahinkoriskiä, sillä rikkoutuessaan elastinen välikerros sitoo lasin osat yhteen rajoittaen rikkoutuneen aukon kokoa ja pienentäen leikkaus- ja pistohaavojen riskiä. Kaikki laminoituneet lasit eivät kuitenkaan ole turvalasia, vaan ne, jotka täyttävät standardin SFS-EN ISO 12543-2 *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Osa 2: Laminoitu turvalasi* mukaiset vaatimukset. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.) Laminoituneille lasille ja laminoituneille turvalasille on olemassa tuotestandardi SFS-EN 14449:2005+AC:2005 *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Vaatimustenmukaisuuden arviointi/Tuotestandardi*.

Tunnetuin laminoituneen turvalasin käyttökohteet lienee ajoneuvojen tuulilasit. Rakennuslasipuolella puolestaan kohteet, joissa on putoamisvaara lasin rikkoutuessa. Niitä ovat esimerkiksi parvekkeiden, terassien ja portaiden kaiteet. Myös kohteet, joissa on lumen ja jään putoamisriski kuten valokatteiden alin lasi tai kohteet, joissa voi syntyä tungosta kuten julkisten tilojen eteisaulat. Kohteita, joissa on ilmeinen loukkaantumisriski ovat päiväkodit ja koulut, niissä laminoitu turvalasi on turvallisin valinta vaikkei putoamisvaaraa olisikaan. (Lumon Group 2020a.) Näyteikkunoiden ja julkisten tilojen lasiovien tulisi aina olla laminoitua turvalasia. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.)

Laminoitua lasia käytetään lisäksi rakenteellisissa lasituksissa, ääneneristyslasina, palonsuojalasina, UV-suojana, koristelasina ja toiminnallisena lasina. Koristelaseissa voi olla värillinen laminointikalvo tai printattu digitaalinen kuva ja toiminnallisissa lasissa kalvo, jonka läpinäkyvyyttä voidaan säätää (on/off lasit). (Trosifol 2020a.)

Laminoitu turvalasi voidaan valmistaa float-lasin lisäksi myös lämpökäsitellystä lasista eli karkaistusta turvalasista tai lämpölujitetusta lasista. Näin saadaan rakenne, jossa yhdistyy laminoitujen turvalasien ja karkaistujen tai lämpölujitettujen lasien erinomaiset ominaisuudet.

Osa laminoitikalvoista ei siedä korkeita lämpötiloja, siksi esimerkiksi saunan laseiksi ei suositella laminoitua, vaan karkaistua turvalasia. Laminoitu lasi rikkoutuu helpommin kuin vastaavan paksuinen monoliittinen float-lasi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.)

Laminoidun turvalasin lisäksi on olemassa laminoitua suojalasia, jota käytetään suojana murtautumista, ilkivaltaa ja ampumista vastaa. Suojalasit luokitellaan standardin SFS-EN 356 *Rakennuslasi. Suojalasisitus. Murtautumisyhteyden kestävyys ja luokitus* mukaan. Laminoitun suojalasin suojaustaso perustuu lasin ja kalvon paksuuksiin sekä lasi- ja kalvokerrosten lukumäärään. Ne voidaan jakaa iskunkestäviin laseihin ja murransuojalaseihin. Iskunkestävällä lasilla tarkoitetaan lasia, joka on testattu standardin SFS-EN 356 mukaan luokkiin P1A-P5A (kovan esineen iskutesti) ja murransuojalaseilla puolestaan lasia, joka on testattu samaisen standardin mukaan luokkiin P6B-P8B (terävän esineen iskutesti). (Turva- ja suojalasit 2015.)

Suojauslasitusta vaaditaan käytettäväksi rakenteellisten murtosuojausohjeiden mukaisesti toimialoilla, jotka kuuluvat II ja III toimialaluokkaan. Toimialaluettelo löytyy Finanssialan verkkosivuilta. Luettelo on ohjeellinen, joten vakuutusyhtiöllä voi olla myös omia vaatimuksia rakenteelliselle murtosuojaukselle.

#### 4.5.3 Pinnoitetut lasit

Lasiin lisättävät pinnoitteet perustuvat ohutkalvotekniikkaan. Pinnoitteilla lisätään lasiin toimintoja kuten tehostetaan lämmöneristystä, hallitaan aurinkoenergian läpäisyä, estetään heijastumista tai huurtumista ja saadaan aikaan likaa hylkivä pinta, mikä vähentää pesun tarvetta (kuva 17). Toisin sanoen pinnoitteilla vähennetään energiankulutusta ja lisätään mukavuutta. (Saint-Gobain.)



Kuva 17. Puhdistustarvetta vähentävä pinnoite toimii auringon UV-säteilyn ja veden yhteisvaikutuksesta. Se myös ylläpitää näkyvyyttä ulos sateen aikana eikä huuru niin helpolla kuin pinnoittamaton lasi. Kuvassa vasemmalla pinnoittamaton lasi ja oikealla pinnoitettu. (Saint-Gobain.)

Pinnoitteita on kahdenlaisia; off-line (magnetron sputtering) ja on-line (pyrolyttinen). Off-line pinnoitettuihin lasiin viitataan yleensä nimellä pehmeäpinnoitetut lasit. Ne on pinnoitettu tyhjiöpinnoitusmenetelmällä, jolloin lasin pinnalle muodostuu ohut yhtenäinen ionokerros, mutta heikoin sidoksin. Tämän takia pehmeä pinnoitettu lasi on herkästi naarmuuntuva ja vaurioituva, joten se sijoitetaan yleensä lasirakenteen suojattuun välitilaan. Kerroksia on tyypillisesti 6-12 kappaletta ja jokaisella kerroksella on oma tehtävänsä. Näin saadaan esimerkiksi hyvä emissiviteetti eli lämpösäteilyn heijastusominaisuus, mikä parantaa lämmöneristystä eli U-arvoa eristyslaseissa. (AGC 2014-2015, 99.)

On-line eli kovapinnoitetut lasit on pinnoitettu lasin valmistuksen yhteydessä float-linjalla. Pyrolyttisesti pinnoitettujen lasien pinnoite on osa lasirakennetta ja voivat olla kovempia kuin itse lasi. Kovapinnoitettuja laseja voidaan käyttää yksittäislasina tai eristyslasin osana. Lasi voidaan lämpökäsitellä, emaloida tai silkkipainaa ja lämpötaivuttaa myös pinnoituksen jälkeen. (AGC 2014-2015, 99.)

Molemmilla pinnoitustyypeillä on etuja ja haittoja. Arvioitaessa parasta vaihtoehtoa, ovat pinnoitteen suorituskyky ja helppo valmistus tärkeitä tekijöitä. Tiivistäen voidaan sanoa, että off-line pinnoitetut lasit voivat tarjota parempia ominaisuuksia tiettyihin sovelluksiin, kun taas online-pinnoitetut ovat kestävämpiä ja tuovat toiminnallisia ominaisuuksia lasiin.

#### 4.5.4 Heijastamaton lasi

Museon vitriinissä tai myymälän näyteikkunassa tuotteen halutaan näkyvän mahdollisimman hyvin lasin läpi. Tällöin on tärkeää, ettei lasi heijasta. Matalaheijasteisilla laseilla

voidaan minimoida lasin luontaiset heijasteet. Matalaheijasteinen näkymä saadaan aikaan kestäväällä pinnoitteella. Matalaheijasteinen lasi on myös värineutraali eli se toistaa värit oikein. Sitä käytetään näyteikkunoiden ja vitriinien lisäksi näytöissä, kylmäkalusteissa, tauluissa ja liikuntasaleissa. (Pilkington 2020c.)

#### 4.5.5 Puhdistusta helpottavat pinnoitteet

Lasin valmistuksen yhteydessä lasin ulkopintaan lisättävä titaanidioksidipinnoite vähentää lasin puhdistamisen tarvetta. Pinnoite toimii kaksivaiheisesti käyttäen hyväkseen ilmakehän kosteutta ja päivänvalon UV-säteilyä, jolloin lasin pinnalle muodostuu aktiivinen molekyylikerros. Aktivoituminen tapahtuu muutamassa päivässä, jonka jälkeen pilkkoutunut orgaaninen lika huuhtoutuu sateen mukana pois. Pinnoite tarvitsee toimiakseen siis aurinko-UV-säteilyä ja vettä irronneen lian pois kuljettamiseen. Pinnoite kestää yhtä kauan kuin lasikin, eikä se kulu pois normaalikäytössä. Se ei sisällä vaarallisia aineita, vaan on ympäristöystävällinen, kun ikkunoiden pesuun tarvittavien kemikaalien ja puhtaan veden käyttöä saadaan vähennettyä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017a.)

Lasia, jossa on puhdistusta helpottava pinnoite suositellaan korkeisiin rakennuksiin, suuriin lasijulkisivuihin, kohteisiin, joissa lasit on hankalasti pestävissä ja vilkkaasti liikennöityjen katujen varsilla oleviin lasituksiin. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017a.)

Suihkutilan laseiksi suositellaan myös pinnoitettua lasia, jossa on pyrolyyttinen korroosion suoja. Vesi, lämpö ja kosteus aiheuttavan ajan mittaan lasin pinnan syöpymistä, jolloin lasi muuttuu haaleaksi ja sen ulkonäkö kärsii (kuva 18). Pinnoitteen avulla lasi on aina puhdas ja kirkas. Pinnoite on saatavissa kirkkaan värisenä ja yhdelle puolelle lasia. (Pilkington 2020d; AGC 2014-2015)



Kuva 18. Vertailuanalyysi, jossa vanhemmistestein korkeissa lämpötiloissa ja kosteudessa osoitetaan, että pinnoitteella voidaan rajoittaa korroosioprosessia ja kalkkisaostumia verrattuna käsittelemättömään lasiin (Pilkington 2020d).

Pinnoitettua suihkulasia voidaan käyttää seinälaatoituksen tapaan pesutiloissa. Sen käyttö nopeuttaa rakentamista, sillä lasit valmistetaan sarjatuotantona ja asennusvalmiina. Saumapinta-alaa ei ole, mikä vähentää huoltotoimenpiteiden tarvetta. Lasin ulkonäköä voidaan tehostaa värein ja printein sekä valaistuksen avulla kuten kuvassa 19. (Rakla 2020.)



Kuva 19. Kuvan kaikki seinät ovat korroosion kestäväää suihkulasia (Rakla 2020, kuvaaja Antti Kulmanen).

#### 4.5.6 Lämpökarkaistu turvalasi

Lämpökarkaistun turvalasin valmistuksessa lasi lämmitetään noin 650°C asteeseen ja sitten se jäähdytetään nopeasti, jolloin kuormittamattoman lasin pintaosaan jää pysyvä puristusjännitys ja sisäosaan vetojännitys. Karkaistu lasi kestää siten mekaanista rasitusta noin neljä kertaa paremmin kuin saman paksuinen tavallinen tasolasi. Toisin sanoen se on turvallinen vaihtoehto kohteisiin, joissa vaaditaan erityisen hyvää iskunkestävyyttä ja taivutuslujuutta. Sitä käytetään myös lasituksissa, joissa lasiin syntyy keskityneitä jännitystiloja. Se kestää 200 C° lämpötilaeron, mutta se ei kestä terävien esineiden iskuja. Rikkoutuessaan karkaistu lasi murenee pieniksi muruiksi, joilla ei ole lasille tyypillistä leikkaavaa reunaa. Karkaistun lasin käytöllä vähennetään lasirikoista aiheutuvia henkilövahinkoja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b; Lumon Group 2020b; RIL 272-2019, s. 40)

Lämpökarkaistua turvalasia käytetään rakennusten julkisivuissa, ikkunoissa, ovissa, parvekekaiteiden yläpuolisissa liukulaseissa, laseissa, joissa on työstöjä vetimiä ja sarnoita varten, katoksissa, väliseinälaseina, kylpy- ja suihkukaappien laseissa, sisustuslasina ja muissa käyttötarkoituksissa, jotka vaativat erityistä lujuus- ja turvaomaisuuksia. Karkaistua lasia ei voida leikata, porata tai työstää karkaisun jälkeen, vaan kaikki työstöt pitää tehdä lasiin ennen karkaisuprosessia, koska rikkoutumisriski kohoaa ja lasi saattaa tuhoutua välittömästi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.)

Lämpökarkaistu turvalasi ei ole yhtä tasomainen lasilaatta kuin float-lasi johtuen lämpökarkaisuprosessin luonteesta. Tasomaisuus riippuu lasityypistä kuten esimerkiksi pinnoitetusta lasista, lasin mitoista ja käytetystä prosessista. Tämän takia lämpökarkaistulle lasille on määriteltä raja-arvot erilaisten taipumien suhteen standardissa SFS-EN 12150-1 *Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 1: Määritelmä ja kuvaus.* (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.) Kuten laminoidulle turvalasille, myös lämpökarkaistulle turvalasille on CE-merkintä pakollinen tuotestandardin SFS-EN 12150-2:2004 *Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 2: Vaatimustenmukaisuuden arviointi/Tuotestandardi* mukaisesti.

Kaikki tasolasit sisältävät jonkin verran epäpuhtauksia. Yksi tällainen epäpuhtaus on nikkelisulfidisulkeuma (NiS). Useimmat Ni-sulkeumat ovat vakaita, eivätkä aiheuta ongelmia, mutta karkaistussa lasissa se voi aiheuttaa lasin spontaanin murtumisen ilman kuormitusta tai lämpörasitusta. (Guardian Glass 2020b.) Ni-sulkeumasta johtuvaa lämpökarkaistun turvalasin rikkoutumisriskiä voidaan pienentää oleellisesti ylimääräisellä

lämpökäsittelyllä eli Heat Soak -testillä. Testiä suositellaan kohteisiin, joissa lasituksen koossapysyminen on tärkeää käyttäjien turvallisuuden kannalta. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.) Testi ei kuitenkaan ole sataprosenttisen varma. Testi lisää kustannuksia ja voi vähentää lasin puristusjännitystä. Tosin Ni-sulkeumat ovat erittäin harvinaisia. (Guardian Glass 2020b.)

#### 4.5.7 Lämpölujitettu lasi

Lämpökäsittelyllä lisätään lasin mekaanista kestävyyttä ja lämmönkestävyyttä. Lämpölujitettu lasi valmistetaan samaan tapaan kuin lämpökarkaistu turvalasi, eli se kuumentaan yli 600 °C asteeseen, mutta se jäähdytetään hitaasti toisin kuin karkaistu turvalasi, jolloin lasin jähmettyminen tapahtuu tasaisemmin ja lasin pinnoilla vallitseva puristusjännitys sekä sisäosissa vallitseva vetojännitys jää pienemmäksi. Lämpölujitettu lasi ei siis ole yhtä lujaa kuin karkaistu turvalasi. Lämpölujitettua lasia käytetään pääasiassa lämpökuorman aiheuttaman murtumisen estämiseen. (AGC Glass Europe 2020.)

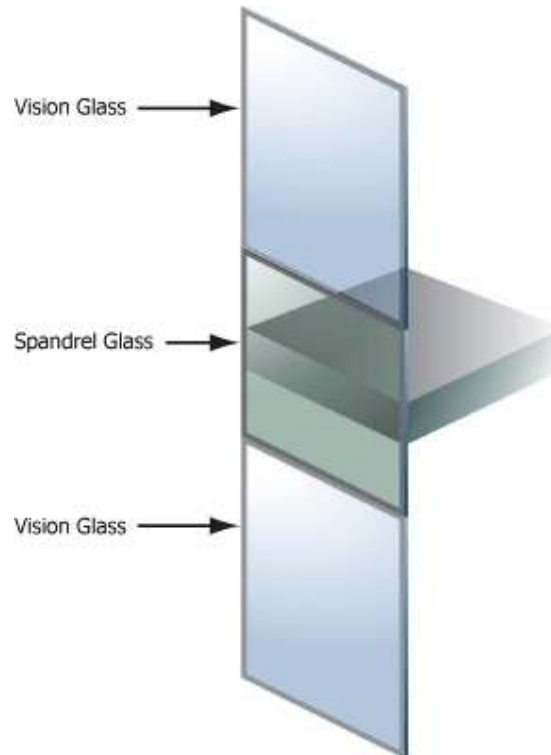
Lämpölujitetun lasin lujuus on karkeasti arvioiden kaksinkertainen saman paksuiseen tavalliseen lasiin verrattuna ja se kestää noin kolme kertaa paremmin lämpökuormaa. Se on kuin puoliksi karkaistua lasia tavallisen lasin rikkoutumisominaisuuksilla. Lujitettua lasia ei voi leikata, hioa tai muutoin työstää lujituksen jälkeen, koska käsittely saattaa rikkoo lasin. Rikkoutuneen lämpölujitetun lasin sirpaleet ovat pyöreämpiä ja pienempiä kuin tavallisen lasin, mutta suurempia kuin karkaistun lasin. Tämän takia lämpölujitettu lasi pysyy rikkouduttuaan paremmin raameissaan. (Tambest Oy 2019; Guardian Glass 2019b; Glass Academy 2016.)

Terävasärmäisen rikkoutumistavan takia lämpölujitettu lasi ei ole turvalasi, mutta lami-noimalla lämpölujitettu lasi saadaan turvalasi, jossa on hyvä iskunkestävyys ja sirpaleet pysyvät yhdessä, vaikka lasi hajoaisi. Lämpölujitettu-laminoitua lasia käytetään usein kattoikkunoissa, katoissa, lasilatioissa ja muotinäytösten lavoissa. (Finnglass 2020a.)

Verrattaessa lämpölujitettua lasia karkaistuun lasiin, on sen etuna se, ettei nikkelisulfidi-jäämistä aiheutuvaa spontaanin rikkoutumisen riskiä juurikaan ole (Rainamo & Riikonen, 1999, 88). Vaikka lämpölujitettu lasi ei olekaan turvalasi, on sen käyttö perusteltua koh-teissa, jossa tarvitaan lisälujuutta tuuli- ja lämpökuormaa vastaan eikä turvalasin käyttö ole pakollista. Tällainen kohde on esimerkiksi kahden kerroksen välissä oleva lasitus, josta näkee vain osittain läpi (spandrel glass) kuten kuvassa 20. (Guardian Glass 2019b.)

Usein Spandrel-lasit tehdään kuitenkin karkaistusta turvalasista. Lujitettua lasia käytetään myös eristyslaseielementeissä ja korkearakentamisen lasirakenteissa.

Johtuen lämpöprosessista myöskään lämpölujitetun lasin optiset ominaisuudet eivät ole yhtä tasomaiset kuin float-lasin eli siinä voi esiintyä optista vääristymää kuten karkaistussa lasissa, mitä voidaan kontrolloida, mutta ei täysin poistaa. Siksi suositeltavaa on tarkistaa ja hyväksyä laatu mock-up menettelyn avulla. (Guardian Glass 2019c.)



Kuva 20. Spandrel-lasi (CMSWillowbrook, Inc 2019).

#### 4.5.8 Kemiallisesti lujitettu lasi

Lasia voidaan lujittaa kahdella eri tekniikalla: kemiallisesti tai lämpökäsittelemällä. Molemmat prosessit muuttavat lasin ulkopintaa, jolloin ulkopinnan puristuslujuus on korkeampi kuin sisälasin, joka on jännitteisessä tilassa. (Reynolds S. 2016.)

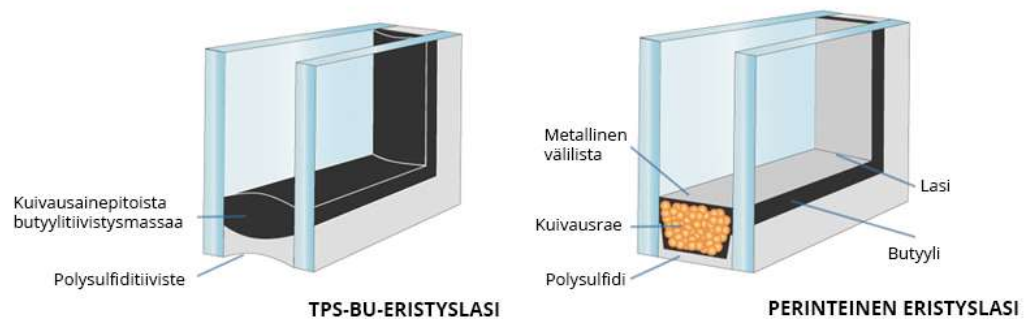
Kemiallisesti lujitettua lasia käytetään vaativissa kohteissa ja olosuhteissa. Kohteissa, joissa lämpötilat muuttuvat nopeasti, happamissa ympäristöissä tai paikoissa, joissa lasiin kohdistuu kovaa kulutusta. (Heikkilä 2019a.)



Lasin lujitus tapahtuu ioninvaihdoksessa kuumen sulakylvyn aikana, jolloin lasipinnan natriumionit korvautuvat suuremmilla kaliumioneilla, mikä aikaansaa puristusjännityksen. Kemiallisesti lujitettu lasi ei rikkoudu kuten lämpökarkaistu turvalasi, vaan kuten float-lasi, mutta hieman tylpemmällä särmillä, joten se ei ole turvalasia. Sillä on kuitenkin hyvä mekaaninen lujuus, myös reunoistaan eikä se naarmuunnu yhtä herkästi kuin lämpökarkaistu turvalasi. Myös optiset ominaisuudet ovat erinomaiset eli float-lasin tasoa. Kemiallisesti lujitettua lasia käytetään lähinnä teknologiateollisuudessa (Gorilla-lasit), silmälasissa, kaivoksien työkaluissa kuin rakennuspuolella, sillä se ei ole kovin suurikokoista. Maailmalla suurimmat lasit ovat kooltaan noin 2000 x 1000 mm. Ohuin pala on 0,3 mm. (Heikkilä 2019a.)

#### 4.5.9 Eristyslasit

Eristyslasi on elementti, jossa kaksi tai useampia lasia on suljettu ilmatiiviisti toisiinsa lasien reunoja ympäröivien välilistakehien ja elastisten massojen avulla (kuva 21). Ilmatiivis rakenne parantaa elementin lämmöneristävyyttä. Siten puhutaan myös energiansäästölaseista tai lämpölaseielementeistä. Energiansäästölaseilla tarkoitetaan kuitenkin lasia, joka on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella. Se voi olla myös monoliittinen. Energiansäästölasi läpäisee auringon lyhytaaltoisen säteilyenergian ja heijastaa takaisin sisätiloihin pitkäaalloisen huoneesta ulos pyrkivän lämpösäteilyn. (Lasifakta 2018 2017, s. 16.)



Kuva 21. Eristyslasin rakennemalleja. TPS-lyhenne tulee sanoista thermoplastic spacer. (Sely Oy 2020b.)

Samalla kun eristyslasien koko ja siten myös paino ovat kasvaneet sekä ominaisuudet lisääntyneet, niiden vaihdettavuus rikkotilanteissa on hankaloitunut. Tarvitaan nostimia, erityiskalustoa, toisinaan täytyy purkaa seinärakennetta, jotta lasi voidaan vaihtaa.

Vaihdosta aiheutuneet kustannukset jaetaan monesti valmistajaketjun kesken, varsinkin tilanteessa, jossa voidaan osoittaa, että rikko ei johtunut käyttö- tai asennusvirheestä. Siksi haastaviin kohteisiin on tärkeä suunnitella kestävä lasirakenne. Rikkoutuminen voi johtua muun muassa reunavirheestä tai monisyisestä lämpörikosta. (Heikkilä 2019b.)

Eristyslasin kestävyyttä voi lisätä teettämällä lasirakenteelle lämpörikkoanalyysin, jonka perusteella tarvittavissa laseissa käytetään hienoreunahiontaa, jossa lasin reunoista poistetaan vajaat särmät. Lisäksi nurkat tyssätään 1-2 mm. Suuremmissa rikkoriskitilanteissa voidaan käyttää kiiltoreunahiontaa. Reunahionnan ansiosta suuren eristyslasin mittatoleranssit pienenevät sujuvoittaen asennustyötä. Lisäksi rikkoriskin vähentämiseksi on oleellista käyttää lasirakenteessa enemmän lämpökäsiteltyjä laseja; karkaitua turvalasia tai lämpölujitettua lasia. Myös pinnoitteiden sijainnilla saattaa olla merkitystä. (Heikkilä 2019b.) Seloy Oy:n mukaan joustava lämpömassalista kuten kuvan 21 mukainen TPS-BU-välilista (TPS=thermoplastic spacer) vähentää reuna-alueiden rikkoutumisen riskiä (Seloy Oy 2020b).

Katoissa eristyslasin alimpana lasina käytetään laminoitua turvalasia ja ylimpänä lasina usein karkaistua turvalasia (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a).

Eristyslasit tuetaan kannatuspaloilla, jotka siirtävät painon karmiin tai puitteeseen. Kaikki eristyslasin lasit on oltava tuettuna asianmukaisesti kahden asennuspalan varaan. Palat eivät saa tukkia kyntteen tuuletusaukkoja. (RT 38-10941, 18.) Mitattavissa olevaa taipumaa kannatuksessa ei yleensä sallita. Julkisivulasituksissa lasituki on syytä mitoittaa aina tapauskohtaisesti lasin mittojen, painon, jännevälän ja lasin liikkeiden mukaan. Lasituennassa tehtävät muutokset vaikuttavat eristyslaselementin kitin syvyyden mitoittamiseen. Tämän takia lasituen muutokset on ilmoitettava eristyslasin valmistajalle. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020b.)

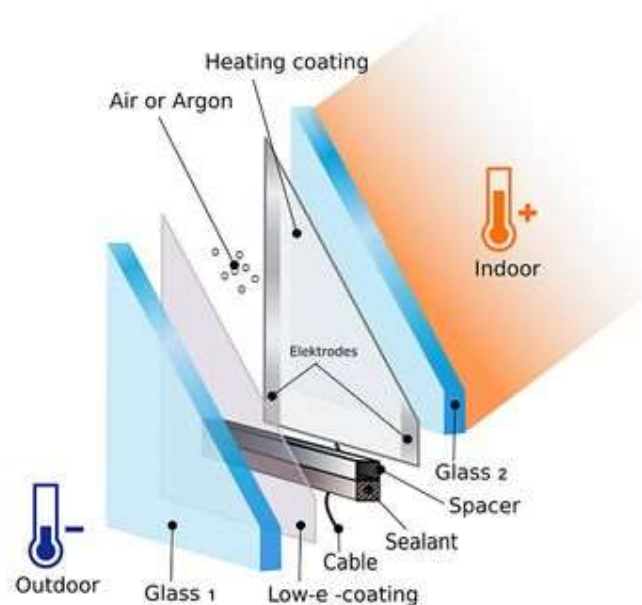
Eristyslaseille on tuotestandardi SFS-EN 1279-5:2018 *Rakennuslasit. Eristyslasit. Osa 5: Tuotestandardi*.

#### 4.5.10 Sähkölämmitteiset eristyslasit

Suuri ikkunapinta-ala lisää väärin toteutettuna talviajan veto-ongelmia, kesäajan ylikuumenemista ja lämmitysjärjestelmään tarvittavia lattianeliöitä. Veto-ongelmat johtuvat kylmien lasipintojen läheisyydessä olevasta viilenevästä ilmasta, joka laskeutuessaan liukuu lattiaa pitkin ja lämmitessään nousee takaisin ylös. Konvektio loppuu, kun lasin pinta

lämmitetään huonelämpötilaan. Toinen vedon aiheuttaja on kylmä lasipinta, joka aiheuttaa säteilyvetoa eli kylmän hohkaa lasin vieressä olevalle. (Suomen Tasolasiyhdistys ry.)

Sähkölämmitteinen lasi eli sähkölasi on kehitetty parantamaan rakennuksen sisäolosuhteita, eli estämään konvektion ja sulattamaan lumen katoilta. Samalla näköala pysyy esteettömänä. Sähkölasi on eristyslasi tai laminoitu lasi, jossa lämpöä tuotetaan käyttötärpeen mukaan ja säädetysti sähkövirran avulla. Tuotettu lämpö voidaan suunnata jopa 93 %:n hyötysuhteella haluttuun suuntaan käyttäen moderneja pinnoitteita ja tehokkaita välikaasuja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry; Finnglass 2020b.) Sähkölasin rakennetta on havainnollistettu kuvassa 22.



Kuva 22. Kuvan tuote-esimerkissä on kaksi karkaistua lasia, joista toisessa on sähkölämmitteinen pinnoite. Low-e pinnoite pitää lämmön sisätiloissa ja sähköä johtava pinnoite lämmittää sisälasin tasaisesti (Finnglass 2020b).

Sähkölasin avulla voidaan vähentää rakennusaikaisia kustannuksia ja tehostaa lattialan käyttöä, sillä tilaa vieviä radiaattoreita tai puhallinkonvektoreita ei silloin tarvita. Niitä käytetään estämään veto-ongelmia, mutta sähkölaseihin verrattuna tehottomasti ja tilaa vievin taloteknisin järjestelmin. Puhallinkonvektorilla lasin pinta puhalletaan usein turhan kuumaksi ja konvektio siirtyy kauemmas lasista. Puhallin ei siis poista konvektiota. Kun sähkölasilla lämmitetään lasipinta huonelämpötilaan, jolloin lasin läpi tapahtuva

lämpöhukka minimoituu ja energiaa säästyy jopa 50 % tavalliseen lasitukseen verrattuna. (Suomen Tasolasiyhdistys ry; Finnglass 2020b.)

Sähkölasin avulla lasin pinta voidaan pitää huurtumattomana ja näkymä avoimena säästä riippumatta. Lämmin lasi sulattaa kattolasituksista lumen ja jään. Automaattinen lumensulatustekniikka estää turvallisuusrisin, joka aiheutuu katolta putoavasta lumesta ja jäästä, mikä on tärkeää etenkin korkeissa rakennuksissa. Sähkölasin käyttö on suosituttua esimerkiksi Lapin lukuisissa iglukylissä. Sähkölasilla varmistetaan, että talvella vähäinkin luonnonvalo pääsee huonetilaan, eikä vaarallisia ja häiriötä aiheuttavia huoltotoimenpiteitä lumen poistamiseksi tarvitse tehdä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry.)

Sähkölasia käytetään myös kosteiden tilojen lasituksissa estämään kondenssia, jota ilmenee etenkin talvella, kun lasipintojen lämpötilojen ero huonelämpötilaan on riittävän iso ja huoneilman kosteus kasvaa. Huolimatta eristyslasien parantuneista lämmöneristysarvoista lämpötilaero voi olla yli 5 °C. Kosteus tiivistyy kylmille lasipinnoille. Kondenssia voidaan ehkäistä perinteisillä puhallinratkaisuilla, mutta silloinkin kosteutta pääsee tiivistymään edelleen vaakapuitteiden yläpintoihin. Sähkölämmitteisen lasin avulla lasien sisäpinnan lämpötila nostetaan pienen sähkövirran avulla juuri kastepistelämpötilan yläpuolelle, jolloin kosteus ei pääse tiivistymään. Käyttökohteina ovat esimerkiksi uimahallit ja kylpylät. (Suomen Tasolasiyhdistys ry; Finnglass 2020b.)

Sähkölämmitteiset lasit toimivat rakennuksessa aktiivisena rakenteena toisin kuin perinteiset lasitusratkaisut. Ohjausjärjestelmän ansioista sähkölämmitteiset lasit lämpenevät, kun sisä- tai ulko-olosuhteet sitä vaativat energiaa säästäen. Sähkölämmitteinen lasi voidaan sijoittaa käyttötarkoituksen mukaan joko sisälasiksi, ulkolasiksi tai niihin molempiin. Teknisistä tiedoista mainittakoon, että U-arvo on keskimäärin 0,5-1,0 W/m<sup>2</sup>K, jännite 0-400 V, neliöteho rakennuksissa 0-700 W/m<sup>2</sup> käyttötarpeen mukaan ja arvioitu lumensulatuskustannus Suomessa 1 euro/m<sup>2</sup>/vuosi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry; Finnglass 2020b.)

Jotta sisäilma on viihtyisä myös kesäaikaan, sähkölämmitteisiin lasihin on mahdollista lisätä ominaisuuksia. Alhainen g-arvo saadaan auringonsuojalasein tai sähkökromaattisiin lasiin, ja ulkopuolelta aiheutuvaa melua voidaan vaimentaa laminoidulla ääneneristyslasilla. Yhdistelemällä ominaisuuksia lasirakenteeseen vältetään monia rakennuksen käytön aikaisia ongelmia ja kustannuksia.

#### 4.5.11 Auringonsuojalasit

Auringonsuojauksen merkitys on korostunut energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä kohti nollaenergiarakentamista. Tehokkaat rakennukset eivät hukkaa lämpöään, jolloin sisätilat kuumenevat herkästi epämiellyttävän kuumaksi. Auringonsuojalasit mahdollistavat lasin laajan käytön rakennusten suunnittelussa ja vähentävät merkittävästi kalliiden ilmastointilaitteiden ja häiritsevien kaihtimien tarvetta. Nykyaikaiset auringonsuojalasit estävät sisätilojen ylikuumenemista, mutta säilyttävät huonetilan valoisuuden.

Perinteisiä auringonsuojalaseja on kahta tyyppiä: massavärjättyjä ja pehmeäpinnoitettuja. Tai näiden yhdistelmiä. Auringonsuojalasi toiminta perustuu lasin kykyyn absorboida ja heijastaa auringon säteilyenergiaa. Myös silkkipainettuja ja printattuja lasia käytetään auringonsuojalaseina kuten myös sähkökromaattisiakin. Parhaimman auringonsuojauksen saamiseksi pitää auringonsuojalasi sijoittaa rakenteen uloimmaksi lasiksi (Lasifakta 2018 2017, 22-23).

Lasirakenteen läpäissyt auringon lämpöenergia vaikuttaa sisäolosuhteisiin nostamalla huoneilman ja pintojen lämpötilaa. Pinnoitettu auringonsuojalasi heijastaa lyhytaaltoista lämpösäteilyä takaisin tulo-suuntaan ja pitkäaaltoista takaisin sisälle, jolloin siinä yhdistyy auringonsuojauksen lisäksi hyvä lämmöneristävyys. Erivärisissä massavärjättyissä auringonsuojalaseissa on suunnilleen sama aurinkotekijä (g-arvo), mutta valon läpäisevyys vaihtelee määrältään ja väritään johtuen lasin sävyistä. Nyrkkisääntönä on: mitä paksumpi lasi, sitä tummempi sävy, matalampi valonläpäisy ja aurinkotekijä. Massavärjättyjä lasia käytetään tavallisesti esteettisistä syistä. Pinnoitettuja puolestaan, kun halutaan pitää lasin ulkonäkö mahdollisimman tavallisena ja valonläpäisy mahdollisimman korkeana. Massavärjättyä käytetään myös kaksoisjulkisivulasituksissa eli se ei vaadi eristyslasirakennetta. (Lasifakta 2018 2017, 23-24.)

Auringonsuojaus on tarpeellista rakennuksissa, joissa on suuret lasipinnat. Ei kuitenkaan rakennuksen pohjoispuolella, jonne ei kohdistu suoraa auringonpaistetta. Auringonsuojalasit eivät ole tarpeellisia myöskään tilanteessa, jossa lasituksen edessä on jokin muu varjostava elementti tai jos terassilaseissa on jo auringonsuojalasi.

#### 4.5.12 Sähkökromaattiset lasit

Sähkökromaattisen lasin läpäisyominaisuuksia voidaan säätää dynaamisesti auringon valoisuuden mukaan. Näkymä säilyy ja sisätilan lämpötila pysyy sopivana. Sähkökromaattinen lasi on siis auringonsuojalasi, jonka avulla auringon säteilyenergian määrää

voidaan säätää, estää häiritsevää häikäisyä ja vähentää jäähdytyksen tarvetta ilman perinteisiä menetelmiä kuten kaihtimia, verhoja tai low-e-lasia. Sitä käytetään etenkin toimistoissa, ravintoloissa ja muissa tiloissa, joissa luonnonvalo tai maisema halutaan maksimoida, mutta ylikuumentuminen ja häikäisy estää. (Sageglass.)

Sähkökromaattisen lasin sävy on tasaisen ja neutraalin harmaa. Maksimikoko on 1,57 x 4,4 m, mutta muodolla ei ole rajoitteita. (Finnglass 2020c.)

Sähkökromaattinen pinnoite on laminoitu lasien väliin. Esimerkiksi Saint-Gobainin valmistamassa Sageglass nimisessä tuotteessa on viidestä kerroksesta koostuva keraaminen pinnoite. Pienen sähköjännitteen avulla pinnoite tummenee, kun litiumionit ja elektronit siirtyvät yhdestä sähkökromaattisesta kerroksesta toiseen. Näin rakennuksen sisään tulevan auringon säteilyenergian (LT/g) määrää voidaan säätää esimerkiksi vain lasin yläosasta (kuva 23). Lasi palautuu takaisin kirkkaaksi, kun jännitteen napaisuus käännetään, jolloin ionit ja elektronit palaavat alkuperäiseen kerrokseensa. Tätä puolijohdereaktiota ohjataan matalan jännitteen (alle 5 V DC) virtalähteellä. Sähköä kuluu vain sävyn vaihtamiseen, jolloin sähkönkulutus on 1 W/m<sup>2</sup>. Sävyä voidaan säätää automaattisesti, valokatkaisimesta tai erillisestä ohjaimesta manuaalisesti ja portaattomasti. (Sageglass; Finnglass 2020c.)



Kuva 23. Sähkökromaattinen lasi voidaan tummentaa esimerkiksi vain yläosastaan (Sageglass).

Sähkökromaattinen lasi on energiatehokas ratkaisu. Sen avulla voidaan estää auringon-säteilyn lämmittävä vaikutus kuumina päivinä ja hyödyntää se kylmänä ajankohtana ilman että yhteys ympäristöön katkeaa. Eli se toimii vuodenaikojen mukaan tehokkaalla hyötysuhteella, joka lisää pitkäaikaisia säästöjä rakennuksen elinkaaren aikana. Sen lisäksi, että sillä säästetään varjostusjärjestelmien hankintakustannukset, se vähentää kokonaisenergiankulutusta keskimäärin 20 %. (Sageglass.) Huomioitavaa on myös se, että sisäpuoliset verhot ja kaihtimet estävät häikäisyn, mutta päästävät suurimman osan lämpöenergiasta sisään aiheuttaen tilan lämpenemisen.

Esimerkiksi 3K rakenteessa, jonka paksuus on 65 mm suorituskyvykkoodi U/LT/g on kirkkaana 0,5/56/0,35 ja tummana 0,5/14/0,1. Värintoistoindeksi  $R_a$  on kirkkaana 90 ja tummana 89 (Finnglass 2020c). Tämä indeksi kuvaa valon läpäisy spektrin vääristymättömyyttä, sitä kutsutaan myös väripuhtausindeksiksi (Lasifakta 2018 2017, 11).

Sähkökromaattinen lasi on mahdollista yhdistää sähkölämmitteiseen lasiin, jolloin voidaan hyödyntää molempien lasien ominaisuudet. Lasit ovat tavanomaista kalliimpia, mutta säästö tulee muiden rakennusosien korvautumisesta, tilansäästöä saavuttaen sama tilan toiminnallisuus sekä merkittävästä energiakustannusten putoamisesta. Samalla sisäilmaolosuhteet saadaan aiempaa paremmaksi. Lisäksi sähkölasilla pystytään estämään huurtuminen. (Finnglass 2020c.)

Tämän energiatehokkaan ratkaisun avulla on huomattavasti helpompi saavuttaa LEED, BREEAM- tai ympäristösertifikaatin vaatimukset. (Finnglass 2020c.)

## 4.6 Ongelmat ja virheet

### 4.6.1 Suuri lasipinta-ala ja veto-ongelma

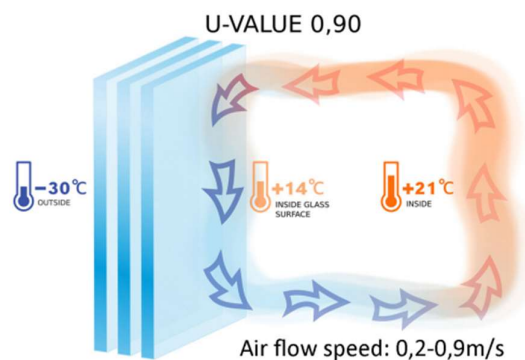
Oleskelutila on miellyttävä, kun siellä on vedotonta ja huonelämpötila on noin 21° C. Vetoisuus voi johtua puutteellisesta ikkunoiden ja ovien tiivistyksestä, väärin säädetyistä ilmanvaihdosta tai rakenteellisesta viasta. (Motiva 2019). Vetoisuus voi johtua myös suuresta lasipinta-alasta, jota ei ole suunniteltu oikein ja sisäolosuhteita tutkittu mallintamalla virtaus- eli CFD-laskennalla (Computational Fluid Dynamics) (Saukko 2020a).

Veto-ongelma on yleisimpiä sisäilmastoa koskevia valituksia. Se johtuu alhaisesta ilman tai pintojen lämpötilasta kuten kohdassa 4.5.10 Sähkölämmitteiset eristyslasit on kuvailtu. Vetoa voidaan estää pitämällä ilman lämpötila mahdollisimman tasaisesti

sopivalla tasolla. Lasirakenteen matala U-arvo ei aina pelasta tilannetta, sillä lasin pintalämpötila voi olla kovilla pakkasilla n. 15° C, josta voi aiheutua säteilyvetoa eli kylmän hohkaa lähellä olevalle. Vetoaikutusta lisää ikkunan pinnalla alas virtaava kylmä ilmassa. Suuri ikkuna tai lasijulkisivu ja lattialämmitys vaativat erityistä suunnitteluun panostamista, jotta veto-ongelmat voidaan välttää. (Talotekniikkateollisuus ry 2014.)

Sisäilman laatu vaikuttaa merkittävästi terveyteen ja työnteon tuottavuuteen. Kahden celsiusasteen muutos epämiellyttävästä lämpötilasta sopivaan lämpötilaan lisää työntekijöiden tuottavuutta 5 %. (Tham, Willem, Sekhar, Wyon, Wargocki & Fanger 2003.)

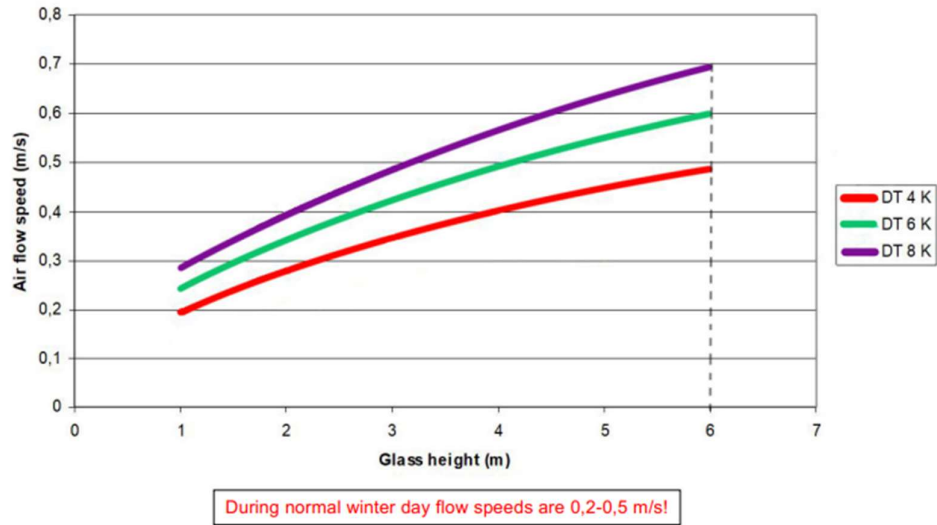
Kuvassa 24 on 3K eristyslaselementti U-arvolla 0,9. Kovalla -30 °C pakkasella lasin pintalämpötila putoaa 14 celsiusasteeseen, mikä saa ilman virtaamaan nopeudella 0,2-0,9 m/s. Huomioitavaa on, että parempi U-arvo ei ratkaise tilannetta, sillä U-arvolla 0,6 lasin pintalämpötila huoneen puolella silti vain 16 °C, kun pakkasta on -30 °C. (Saukko 2020b.)



Kuva 24. Konvektion aiheuttaa vedon tunteen (Saukko 2020b).

Konvektio on sitä suurempi mitä isompi lämpötilaero lasipinnan ja huoneen lämpötilan välillä on. Kuvion 1 mukaisesti ilman virtausnopeus (m/s) kasvaa lasikorkeuden kasvaessa. (Saukko 2020b.)





Kuvio 1.  $\Delta T$  (DT) on lämpötilaero lasipinnan ja huoneen lämpötilan välillä (Saukko 2020b.)

Ratkaisuna isojen lasipinta-alojen aiheuttamaan luonnolliseen konvektioon on sähkölämmitteiset eristyslasit. Sähkölasi pysäyttää konvektion, kun lasipinta lämmitetään huonelämpötilaan. Samalla kun sisäilma on miellyttävän tasainen, eikä veto-ongelmaa esiinny, voidaan sisälämpötilaa laskea. Yhden celsiusasteen lasku säästää 5 % lämmityskuluissa (Suomen Tasolasiyhdistys ry.; Motiva 2019).

#### 4.6.2 Huurtuminen

Lasin ulkopinnan huurtuminen on yleinen ilmiö etenkin keväällä ja syksyllä nopeiden lämpötilan vaihteluiden vuoksi. Huurre muodostuu lasin ulkopintaan tilanteessa, jossa ulkona on yöllä kosteaa, tyyntä, pilvetöntä ja suhteellisen lämmintä. Korkean emissiviteetin omaava lasipinta säteilee lämpöä kylmälle taivaalle niin paljon, että lasi jäähtyy ulkoilmaa kylmemmäksi ja kun aamuaurinko lämmittää ulkoilmaa, kosteus tiivistyy kylmän lasin pintaan ja syntyy huurretta kuten kuvassa 25. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b.)

Lasirakenteen ulkopinnan huurtumista esiintyy sitä todennäköisemmin mitä matalampi lasirakenteen U-arvo on ja mitä suurempi vapaa säteilykulma taivaalle on. Toisin sanoen huonon lämmöneristävyyden omaava ikkuna ei huurru, sillä sisältä tuleva lämpövuoto pitää ulkolasin kuivana, eikä ikkuna, joka sijaitsee suojassa esimerkiksi leveän räystään alla. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b.)



Kuva 25. Kuvassa huurtunut ikkuna Skaalan ikkunatehtaalla 25.11.2013 klo 11:45. Vasemmanpuoleinen energiatehokas eristyslaselementti on jäässä, kun oikeanpuoleinen vastaava elementti, mutta FrostFree-ominaisuudella, on pysynyt täysin kirkkaana. (Puuinfo 2013.)

Huurtuminen on siis ympäristön, rakennuksen ja ilmaston yhteisvaikutusten summa. Lasipinta saattaa säilyä märkänä, kylmänä aikana huurtuneena jopa päiväkausia talon pohjoisjulkisivulla, kun aurinko ei pääse lämmittämään lasipintaa. Jos ilmiö häiritsee talon tietyllä sivulla, voi esimerkiksi varjostava kasvillisuus tai markiisi auttaa asiassa. Yhtenä vaihtoehtona on huurtumaton lasi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b.)

Huurtumattomassa lasissa on ohut läpinäkyvä pyrolyyttinen pinnoite lasin ulkopinnalla. Pinnoite vähentää jäähtymistä ja siten kosteuden tiivistymistä. Huurtumattoman lasirakenteen voi tilata esimerkiksi vain talon alavan puolen ikkunoihin, joissa huurtumisriski on suurin. Huurtumattomalla lasilla ei voida kuitenkaan estää lasin ulkopinnan huurtumista kaikissa olosuhteissa, mutta huurtumisenestopinnoite pienentää riskiä huomattavasti. Eli myös huurtumattomalla lasilla varustettu lasirakenne saattaa huurtua tietyillä sääilmiöillä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b.)

Ulkopintaan tiivistyvä kosteus ei kuitenkaan vaurioita ikkunaa, koska ikkunat on tehty kestämään sadetta. Muille lasipinnoille kertyvän kosteuden syy on sen sijaan aina selvitettävä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b.)

Kovapinnoitteinen selektiivilasi ei huurru pinnoittamattoman lasin tavoin, mutta siinä saattaa näkyä herkemmin haze-ilmio ja lasin pesuominaisuudet saattavat kärsiä johtuen karheasta pinnoitteesta. Myös muut pinnoitetut lasit kuten helposti puhdistettavat lasit huurtuvat etenkin miinusasteissa, joten huurtumaton lasi on ainoa sähkölasin ohella, joka toimii. (Rahikkala 2020.)

#### 4.6.3 Haze

Haze on optinen ilmiö, joka saa lasin näyttämään kuin sen pinnalla olisi yhtenäinen ohut pölykerros, kun lasia katsotaan vinosta kulmasta tai voimakas valo tulee lasin pintaan vinosti. Kovapinnoitetussa lasissa tämä ilmiö näkyy jossain määrin tietyissä valaistusoloissa. Ilmiö johtuu pinnoitteen karheudesta, joka aiheuttaa lasin pinnassa valon sirontaa eli hajoittumista, mikä havaitaan sameutena. Haze on pinnoitetuille lasille ominainen ja hyväksyttävä ominaisuus. Tuotekehityksen myötä pinnoitetun lasin haze-ilmiota on pystytty vähentämään. (Pilkington 2020e.)

Karkaistussa lasissa ilmenevän sameuden kohdalla puhutaan valkoisesta hazesta (white haze). Valkoinen haze voi olla pölyä, lasilinjan rullien jälkiä tai mekaanisia muodonmuutoksia, jotka johtuvat lasin ja rullien välisestä liian voimakkaasta mekaanisesta paineesta. Tuotannosta aiheutuvaa valkoista hazea ei sallita, kun lasia tarkastellaan kyseessä olevan lasin standardin mukaisesti. (Patola 2015).

#### 4.6.4 Delaminoituminen

Delaminoituminen näkyy laminoitussa lasissa rakkuloina ja/tai värimuutoksena yleisimmin lasin reunassa tai kiinnitysreiän ympärillä. Delaminoitumistilanteessa kalvo, joka sitoo lasit yhteen, menettää kiinnittymisen lasin pintaan (kuva 26).

Delaminoitumiselle altistavia tekijöitä ovat mm. suojaamaton reuna, ulkotilat, kosteat tilat, lasin muoto; terävät kulmat kuten kolmion muotoiset lasit ja lasin kiinnitys pistekiinnityksellä. Pistekiinnikkeiden sijoittaminen reunan/kulman läheisyyteen lisää riskiä. Delaminoituminen voi johtua myös valmistusvirheestä kuten esim. aaltoilevista lasista tai väärän laminoitikalvon valinnasta. Tyypillinen esimerkki delaminoituneesta lasista on karkaistu-laminoitu lasi, jossa karkaistun lasin reunataipuma avaa reunaa. Delaminoitumista voidaan parhaiten estää valitsemalla olosuhteisiin sopiva laminoitikalvo. (Sutela 2020.)

Ulkotiloissa tai kosteissa tiloissa sijaitsevan laminoidun lasin reunat voi myös suojata U-listalla toimittajan ohjeita noudattaen. Riskinä kuitenkin on, että kosteus pääsee kulkeutumaan lasin ja listan väliin (Sutela 2020).



Kuva 26. Delaminoitunut lasi.

#### 4.6.5 Anisotropia

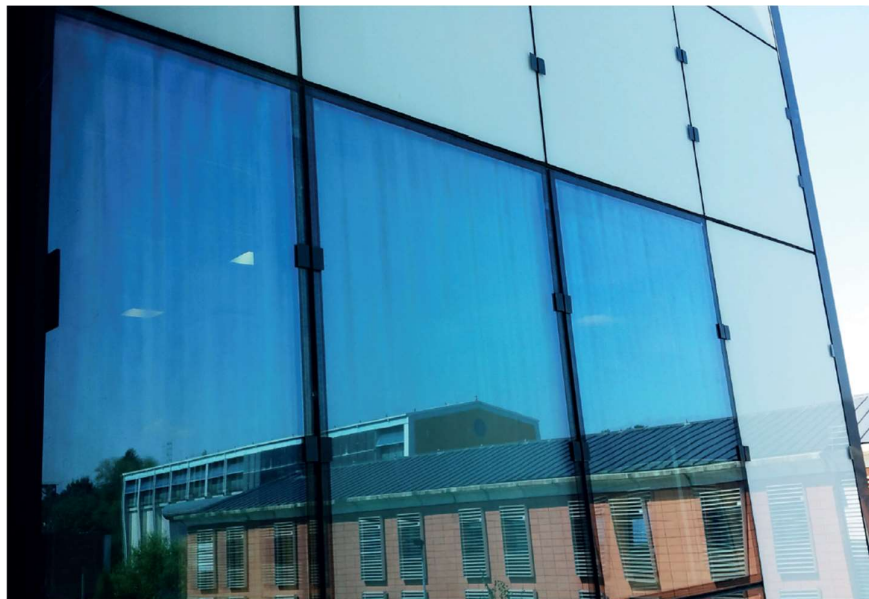
Samalla, kun rakennusten lasitusten koko kasvaa, lasielementin toiminnallisuus monipuolistuu ja turvallisuusvaatimukset kiristyvät, lisääntyy lämpökarkaistun turvalasin käyttö. Kuten aiemmin on esitetty lämpökarkaistua lasia ei ole yhtä tasomainen kuin tavallinen

float-lasi, lisäksi siinä on jännitysalueita, jotka saattavat näkyä tietyssä valaistusolosuhteissa ja katselukulmassa tummempina laikkuina eli anisotropiana (kuva 27).

Anisotropia on termi, jota käytetään lämpökarkaistussa lasissa havaittavasta optisesta ilmiöstä, joka näkyy, kun polarisoitu valo heijastuu karkaistun lasin epätasaisista jännitysalueista (kuva 27). Ilmiö näkyy etenkin laseissa, jotka on asennettu vesistön äärelle tai sijaitsevat korkealla vuoristossa, mutta sen voi nähdä muuallakin, sillä valon polarisoitumista tapahtuu tavallisessa päivänvalossa riippuen säästä ja auringonkulmasta (Färm 2018a; SFS-EN 12150-1:2015). Anisotropiaa ilmenee herkemmin paksussa lasissa ja se johtuu lähinnä karkaisuprosessin hallinnasta (Färm 2018b, 5). Standardin SFS-EN 12150 mukaan anisotropia on kuitenkin lämpökarkaistun lasin sallittu ominaisuus.

Kohteissa, joissa ilmiö on usein näkyvässä, anisotropia aiheuttaa ristiriitatilanteita ja reklamaatioita. On kyse sitten asunnosta tai julkisesta rakennuksesta, niin tilaaja ei välttämättä hyväksy lasitusta standardin lauseista huolimatta, vaan vaatii tilalle paremmin läpinähtävän lasin.

Vaikka anisotropia onkin lämpökarkaistun lasin harmillinen, mutta väistämätön ominaisuus, eikä sitä saada kokonaan pois, voidaan sitä kuitenkin mitata, jotta voimakkaimmin kuvioituneet lasit eivät päätyisi asiakkaalle saakka tai kohteisiin, joissa tiedetään olevan usein polarisoitunutta valoa. Ensimmäinen suoraan prosessilinjalle asennettava anisotropiaa visualisoiva laite kehitettiin vuonna 2016. Laitteella voidaan mitata jokainen yksittäinen karkaistu lasilaatta. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää prosessissa, kun arkkitehtuurisen projektin lasit hyväksytetään etukäteen mock-up mallissa, ja anisotropian taso mitataan. (Decourcelle ym. 2017, 2.)



Kuva 27. Anisotropia julkisivun lasituksessa (Decourcelle ym. 2017).

Anisotropiaa voidaan kuitenkin hallita karkaisuprosessissa kuten tasomaisuuttakin. Kummatkin vaikuttavat karkaistun lasin ulkonäköön ja optisiin ominaisuuksiin. Anisotropian taso on hyvä, kun mitattu isotropia on yli 90 % (Saukko 2020c). Yleinen laatutaso on kuitenkin luokkaa 55-80 % (Arcon Flachglas-Veredlung GmbH & Co 2020).

#### 4.6.6 Lämpörikkoutuminen

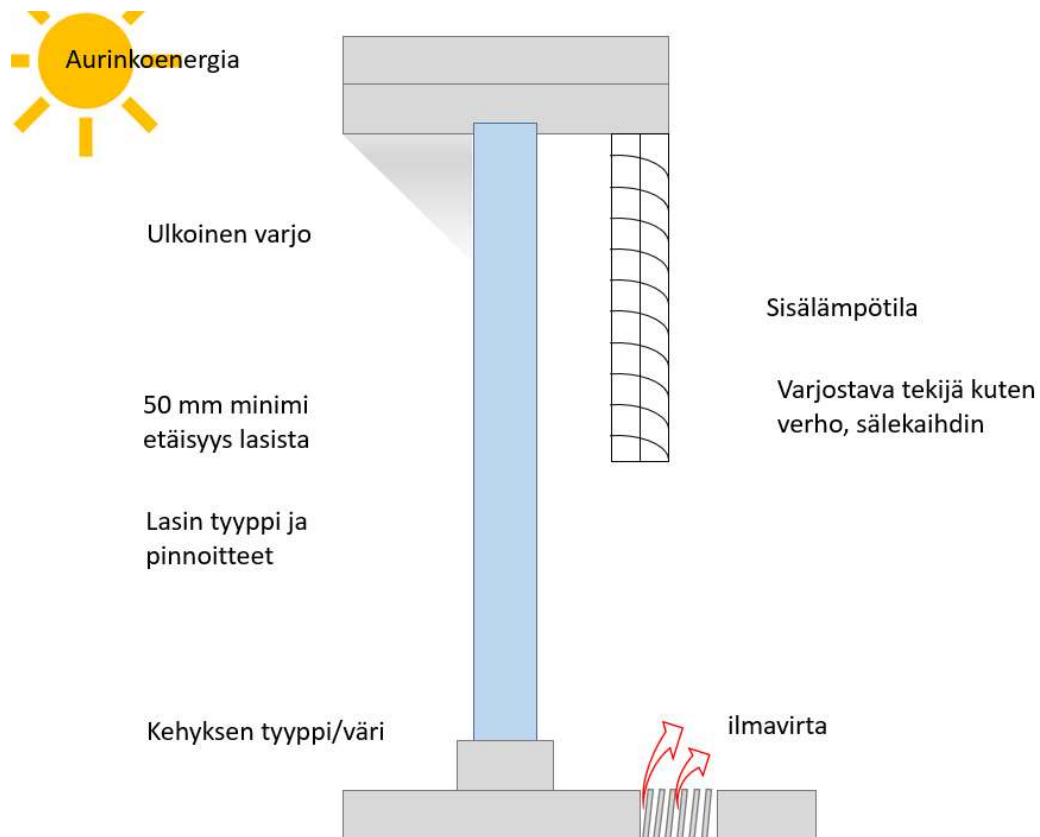
Lasin lämpörikkoutuminen tapahtuu silloin, kun lämpötilaero lasilevyn eri alueiden välillä kasvaa liian suureksi. Ennen lämpörikkoa lasilevy lämpiää voimakkaasti lasin keskialueelta ja laajenee, mutta reuna-alue ja kyntetila pysyy edelleen kylmänä, jolloin reunoille kohdistuva vetojännitys ylittää lasin lujuuden aiheuttaen lasin murtumisen reunastaan 90° kulmassa. Mitä haarautuneempi rikko on, sitä kovempi jännitys lasissa on ollut. (Vitro Architectural Glass 2020b.) Kuvassa 28 on esimerkki lasin lämpörikkokuvioista.



Kuva 28. Eristyslasin lämpörikko (Saukko 2020d).

Merkittävimmät syyt eristyslasien lämpörikkoutumisille liittyvät lasityyppiin, reunan laatuun, pinnoitteeseen ja sen sijaintiin elementissä, varjostaviin tekijöihin ulkona ja sisällä tai itse lasissa sekä matala U-arvo. Myös lämmitysjärjestelmän sijainti, virtauksen suuntaus ja lasin kiinnitysjärjestelmä vaikuttavat lämpörikkoriskiin. Lämpörikon tekijöitä on esitetty kuvassa 29. Kapeilla laseilla puolestaan syynä voi olla sisäisen paineen aiheuttamat rikot, kun eristyslasin sisäiset olosuhteet muuttuvat isokoorisiksi. (Heikkilä 2019b.)

Massavärjätty lasi absorboi auringon säteilyenergiaa enemmän kuin kirkas lasi, ja rikkoutuu siten herkemmin lämmön vaikutuksesta. Lämpökäsitelty lasi (karkaistu tai lujuutettu) kestää hyvin lämpötilaeroja. Myös pinnoitetut lasit heijastavat ja absorboivat auringonsäteilyä, jolloin pinnoitteen sijainnista riippuen se voi lisätä ulko- tai sisemmän lasilevyn absorboimaa auringonsäteilyä vaikuttaen lämpörikkoriskiin. Päivittäisten lämpötilavaihtelujen ja auringon säteilyenergian intensiteetin ( $W/m^2$ ) lisäksi puut ja rakennukset toimivat varjostavina tekijöinä, jotka aiheuttavat lasirakenteeseen alati muuttuvia lämpökuormia, varjostuskulmia ja -pisteitä. Myös sisätilan huonekalut ja sälekaihtimet voivat aiheuttaa lasiin epätasaisen lämpökuorman, kun lämpösäteily heijastuu osittain varjostavasta elementistä takaisin lasiin. (Heikkilä 2019b.)



Kuva 29. Lämpörikkoon vaikuttavia tekijöitä.

Kuvan 29 mukaisesti lämmityslaitteen ilmavirta on suunnattava lasista pois päin. Jos sälekaihdinta pidetään lasin puolella välissä, lämpörikkoriski kasvaa enemmän kuin kaihdin olisi 2/3 lasin korkeudesta. Sälekaihdin ei saa myöskään olla absorboiva tai kiinni lasissa. Lasin kiinnitysjärjestelmän ominaislämpökapasiteetti tulee olla mahdollisimman alhainen. (Heikkilä 2019b.)

Suomen Tasolasiyhdistyksen takuehtojen mukaisesti lasin valmistaja ei ole vastuussa sellaisesta eristyslasista, johon on jälkikäteen lisätty teippauksia, kalvoja tai tarroja. Tämä koskee osittaisiakin kalvoja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019d.)

Kalvoja lisätään eristyslasin pintaan esimerkiksi koristeeksi, auringonsuojaksi, lisäeristeeksi, huomiotarroituksien, lintujen suojaksi ja murtosuojaksi. Kalvot lisäävät auringon säteilyenergian absorptiota lasiin. Tämä tarkoittaa, että lasi lämpenee, kuten myös koko eristyslasielementti, jolloin sekä lasin että välilistan lämpökuorma on korkeampi kuin ilman kalvoa. Kalvojen aiheuttama lisälämpeneminen voidaan ottaa huomioon



eristyslaselementtiä suunniteltaessa ja muuttaa lasirakenne kalvolle paremmin soveltuvaksi. (Bundesverband Flaschglas e.V. 2016.)

Suomessa tyypillinen lämpörikko johtuu kuitenkin useimmiten absorboivasta sälekaihtimesta MSE-ikkunassa (Sutela 2020).

#### 4.6.7 Lintuturvallisuus

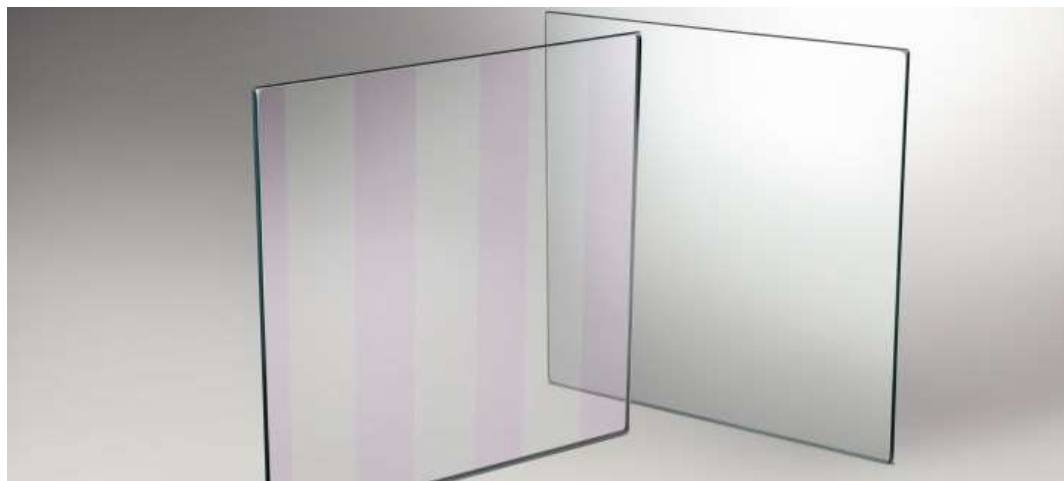
Rakennettu ympäristö sisältää monia linnuille vaarallisia elementtejä kuten läpinäkyviä melusteita, bussipysäkkejä ja korkealla sijaitsevia laajoja heijastavia lasipintoja. Lintu pyrkii lentämään kohti puuta tai taivasta, joka heijastuu lasipinnasta tai lentämään läpi näkymättömän ja heijastamattoman lasin (kuva 30). Törmäys on usein kohtalokas; tutkijoiden arvion mukaan ainakin 100 miljoonaa lintua kuolee pelkästään Yhdysvalloissa vuosittain. Erityisen vaarallisia linnuille ovat muuttoreiteillä olevat lasiset rakennukset ja valaistut pilvenpiirtäjät. (Sheppard & Phillips 2015.)



Kuva 30. Linnun törmäyksestä jäänyt jälki lasissa. (Huston 2012).

Lasin lintuturvallisuutta voidaan parantaa teippauksilla, printatuilla pisteillä tai uudella lasiratkaisuilla (kuva 31). Lintuturvallisessa lasissa on pinnoite, joka yhdistää UV-heijastavan ja -heijastamattoman materiaalin kuvioon, joka häiritsee heijastusta. Kun

lintu näkee sen, se toimii kuin esteenä. Pinnoite on melko näkymätön ihmiselle, varsinkin rakennuksen sisältä. (Sheppard & Phillips 2015; Guardian Glass 2020c).



Kuva 31. Lintu näkee raidat, ihminen ei (Guardian Glass 2020c).

Kaikki linnut eivät kuitenkaan hyödy UV-laseista. Ruotsin maatalousyliopiston ja Uppsalan yliopiston tutkijat osoittivat, että koska linnut eroavat voimakkaasti siinä, kuinka hyvin ne näkevät ultraviolettivalon. Merkinnät näkyvät hyvin vain lajeille, joilla on tietyn tyyppinen värinäkö. Esimerkiksi lokit ja papukaijat ovat lajeja, jotka näkevät UV-merkinnät selvästi eri valaistusolosuhteissa. Petolinnut, kyyhkysset ja varikset puolestaan eivät näe UV-merkintöjä yhtä hyvin. Tehokkaasti toimivien pinnoitteiden tai kalvojen tulisi tuottaa lähes täydellisiä kontrasteja alhaisella väri vaihtoehdoilla, mutta korkealla UV-pitoisuudella, kuten kirkas sininen taivas. (Buildings 2014.)

Keskimäärin yksi rakennus tappaa 10 lintua per vuosi, pahimmillaan jopa satoja. Trendikäs "vihreä" muotoilu voi joko lisätä tai vähentää lintujen törmäysriskiä. Vihreä design, joka lisää lintuturvallisuutta ei sisällä yövalaistusta ja muutokset luonnonmukaisessa maisemassa ja ekosysteemissä ovat mahdollisimman vähäiset. Se, mikä vähentää lintuturvallisuutta, on hämmästyttävää kyllä, viheralueet aivan rakennuksen vieressä. Ne houkuttelevat lisää lintuja. Samalla lasipinnat luovat väärän maiseman vihreine heijastuksineen ja linnut erehtyvät luulemaan niitä puiksi. Myös rakennuksen sisäpuoliset viheralueet aiheuttavat törmäyksiä. (Sheppard & Phillips 2015.)

Linnut ovat alttiita törmäyksille lasiin läpi vuoden. Kuolleiden lintujen määrä on kuitenkin korkein kevät- ja syysmuuton aikana. Suurten vesialueiden viereiset suurkaupungit aiheuttavat suurimman törmäysvaaran muuttoaikana. Etenkin viheralueiden lähellä olevat

rakennukset, joissa on suuria määriä lasia, ovat kriittisiä paikkoja keskittyä törmäysten ehkäisemiseen. Törmäyksiä esiintyy eniten rakennusten alimmissa kerroksissa. Tyypillisesti lintuystävällinen lasi on asennettu rakennuksen kolmeen alimpaan kerrokseen, mutta toisinaan jopa 18 metrin korkeuteen asti. Jos rakennusta ympäröi korkeat puut, tulisi lintuturvallinen lasi ulottaa aina puiden korkeuteen saakka. (Sheppard & Phillips 2015.)

Lukuisat lasivalmistajat maailmalla ovat lisänneet lintuystävällisiä tuotevalintoja viime vuosina. Uusimmissa tuoteinnovaatioissa on perehdytty myös eri lajien UV-näkökyvyn vaihtelevuuteen. Tuotteet ovat kuitenkin vielä kehitysasteella eikä Suomessa vielä yleisessä käytössä.

#### 4.7 Kiinnitysmenetelmät

Laseja voidaan kiinnittää rakennukseen erilaisilla kiinnikkeillä kuten listakiinnityksin, pisteikiinnityksin, alumiinirakentein tai teräsrakentein. Tärkeää on tehdä lujuus ja käyttörajatilamitoitus myös lasia tukeville järjestelmille. Lisäksi vesi- ja ilmantiiveys tulee testata. Hyväksi testausmenetelmäksi asiakkaan kannalta on koettu mock-up mallit, joissa todellinen rakenne väri- ja muine vaihtoehtoineen ja muine tuotteineen tulee testatuksi ja myös asiakkaalla hyväksytyksi. Kiinnitysjärjestelmän lisäksi lasia tukevat tuki- ja runkorakenteet sekä ripustukset tulee suunnitella niin, että ne ovat kestäviä ja lasirakenteiden pienet mittatoleranssit tulee huomioiduksi. Mitoituslaskelmissa on tarkasteltava myös massan lujuutta, jotta eristyslasi kestää sille suunnitellun käyttöiän (Saukko 2019).

Lasirakenteissa on aina olemassa lasirikon mahdollisuus, siksi lasi täytyy olla vaihdettavissa pelkät pintalistat irrottamalla. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.)

#### 4.8 Lasin merkinnät

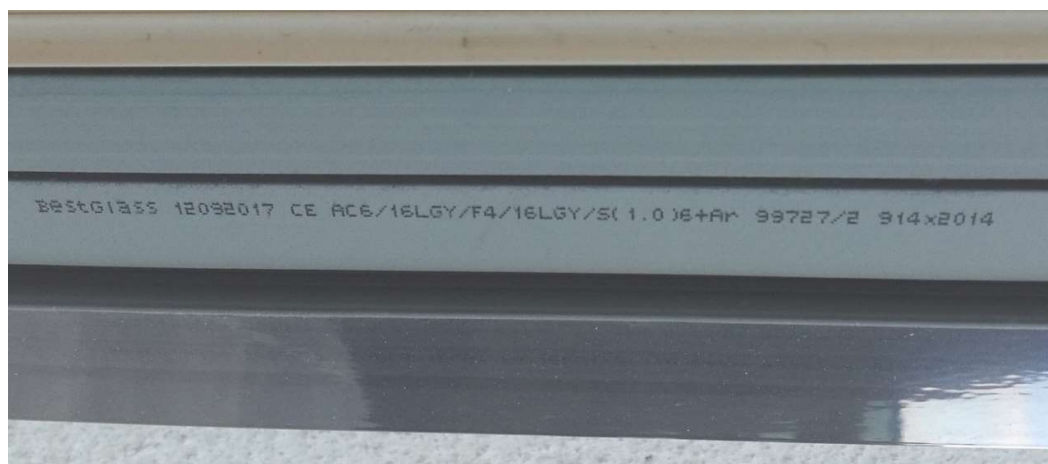
Suomessa ei ole velvoittavaa lainsäädäntöä tai ohjeistusta lasien merkitsemisestä. Ainoastaan standardissa SFS-EN 12150-1:2015 *Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 1: Määritelmä ja kuvaus* on määrätty, että karkaistu turvalasi on merkittävä pysyvällä tavalla. Merkinnän on sisällettävä valmistajan nimi tai tavaramerkki, standardin numero ja lisäksi 3 mm suihkuseinässä tulee olla kirjain "S". (SFS-EN 12150-1:2015, 26.) Esimerkki karkaistun turvalasin merkinnästä on kuvassa 32.



Kuva 32. Esimerkki karkaistun turvalasin merkinnästä.

Laminoidulle turvalasille ei ole pakollista merkintää, mutta sen nimikkeestä on ohje standardissa SFS-EN ISO 12543-2 *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Osa 2: Laminoitu turvalasi*. Standardin mukaan nimike muodostetaan niin, että siinä on lasityyppi, viittaus standardiin ISO 12543-2, nimellispaksuus, nimellisleveys (B) ja nimelliskorkeus (H) millimetreinä. Esimerkiksi palonkestävä laminoitu turvalasi merkitään ISO 12543-2 – 6,4 – 2000 x 1500. (SFS-EN ISO 12543-2:2013.)

Tasolasin, eristyslasin ja ikkunan valmistajilta on pitkään pyydetty merkintöjä myös muihin lasihin kuin karkaistuun lasiin. Osa valmistajista merkitsee eristyslasielementin välilistan rakenteen tiedot. Tosin ne ovat alan koodikielellä, jolloin ulkopuolisen on vaikea ymmärtää niitä ilman opaskirjaa kuten kuvassa 33.



Kuva 33. Eristyslasielementin välilistan merkintä.

Suomen Tasolasiyhdistys ry:n mukaan hyvä käytäntö huollon, puhdistuksen ja turvallisuuden kannalta olisi merkitä pysyvästi kaikki turvalasirakenteet eli myös laminoidut turvalasit sekä erilaiset yhdistelmä rakenteet. Riskilliset kohteet kuten lasitukset alhaalla ja kulkuväylillä tulisi olla tarkistettavissa myös jälkikäteen turvamääräysten osalta. Esimerkiksi Britanniassa merkintä on kansallisesti standardisoitu ohjeilla BS6262-4:2005 *Glass for buildings* ja BS6206 *Impact performance requirements for flat glass and safety plastics for use in buildings*.

Britanniassa vaatimuksena on, että käytettävässä turvalasissa laadun tunnistamiseksi jokaisen ruudun tulisi olla pysyvästi merkitty niin, että merkintä näkyy asennuksen jälkeen. Merkintöjen tulee sisältää valmistajan nimi, tavaramerkki tai asennusyrityksen nimi, lasityypin standardinumero ja iskun suorituskyvyn luokittelu 1, 2 tai 3 ja A, B tai C standardin EN 12600 mukaan. (GGF 2013, 33.)

Britanniassa eristyslaselementeissä sallitaan merkintä koko lasirakenteen osalta yhdessä lasilaatassa, kun molemmat reunoilla sijaitsevat lasit ovat turvalasia. Merkinnässä tulee kuitenkin selvästi ilmaista, että sitä sovelletaan molempiin ruutuihin. Lisäksi on merkittävä alhaisin suorituskyky, jos lasit ovat erilaiset. Turvamerkintöjä ei pidä sekoittaa eristyslasin tuotemerkkeihin, jotka on ohjeistettu Britanniassa erikseen. (GGF 2013, 33.)

Yleisimpiä merkintöjä koottuna (FI=suomi, GB=Iso Britannia, GE=Saksa) taulukossa 4.

Taulukko 4. Lasin merkintöjä.

Tuote/käsittely	Merkintä FI	Merkintä GB	Merkintä GE
Lämpökarkaistu turvalasi	T FT	T (tempered tai toughened) FT (fully tempered) TG (tempered glass)	ESG
Laminoitu turvalasi	L	L (laminated glass) LG	VSG
Karkaistu heat soak testattu lasi	FT-H	FT HST FT-H TG-H	ESG-H
Lämpölujitettu lasi	HS	HS (heat strengthened) HSG	TVG

Suomessa taulukon 4 merkinnät eivät ole vakiintuneita, mutta ne voisivat toimia jatkossa suosituksena. Britanniassa käytetyt merkinnät ovat perusteltuja, sillä SFS-EN standardit ovat joko englanniksi tai suomeksi ja englanniksi, jolloin niiden nimikkeet ovat helposti löydettävissä. Saksalaiset merkinnät puolestaan on otettu mukaan

kansainvälisen tunnettavuuden takia. Saksalaiset kun usein urakoivat pitkin maailmaa. (Saukko 2019.)

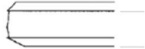
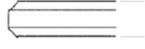




Jos lasirakenne on esimerkiksi 4 mm karkaistu + 0,76 mm PVB + 4 mm karkaistu, niin siitä käytetään merkintää 4T4T.2 tai 44.2 FT. Mikäli siinä on heat soak -testatut lasit, on merkintä 44.2 T-H tai 44.2 FT-H. Jos vain toinen lasista (sisin) on karkaistu, on sen merkintä 44T.2. Pisteiden jälkeinen numero kertoo 0,38 mm kalvon monikerran. (Sutela 2020.)

Edellä esitettyjen mukaisesti lasirakenteen voisi merkitä kuvan 34 tiedoilla.



Kuva 34. Esimerkki lasin merkintäleimasta.

Erilaiset reunahionnat on myös totuttu merkitsemään lyhenteillä, mutta ei itse lasiin vaan asiakirjoihin tarjousvaiheessa. Tietoa näistä lyhenteistä on hankala löytää, minkä takia ne on koottu tähän opinnäytetyöhön. (Kuva 35).

Nimike	Lyhenne	Kuvaus	Reunamalli
Teräväsärmä	TSH	särmien poisto	
Raakareuna	RRH	särmät mattahiotut	
Puolipyöreä	PPH	reuna puolipyöreä	
Kiiltoreuna	KRH	särmät ja reunat kiiltäviä	
Jiirihionta	JH	reunat hiottu 45° kulmiin	
Fasetti	FH	reunat hiottu viistokulmiin	

Kuva 35. Lasin reunahionnat (Riikonen 2014).

## 5 TERVEYS, ENERGIA JA YMPÄRISTÖ

### 5.1 Luonnonvalo

Luonnonvalosta käytetään englannin kielessä termiä ”daylight”, joka suoraan käännettynä on päivänvalo. Suomessa luonnonvaloa on myös muulloin kuin päivällä. Esimerkiksi Nuorgamissa on valoisaa kesällä 74 päivän ajan, joten termi luonnonvalo toimii suomen kielessä paremmin. (Vikberg 2014).

#### 5.1.1 Valoisuus rakennuksissa

Rakennusten vaikutus ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin on merkittävä. Länsimainen ihminen viettää keskimäärin 90 % ajastaan sisätiloissa. Valoisuus on yksi rakennuksen tärkeimmistä viihtyvyyteen vaikuttavista tekijöistä. Lasiakkojen suunnittelu puolestaan vaikuttaa eniten huoneen luonnonvalon saantiin. Luonnonvalo vaikuttaa positiivisesti terveyteen ja vireystilaan, siten myös tuottavuuteen. Pimeän vuodenajan aikana valon vaikutus korostuu, jolloin sen määrään ja laatuun tulisi suunnittelussa kiinnittää huomiota etenkin oleskelutilojen, työtilojen ja oppimisympäristön kohdalla. (Velux 2018a; RT 07-11300 2018, 3; Vikberg 2014.)

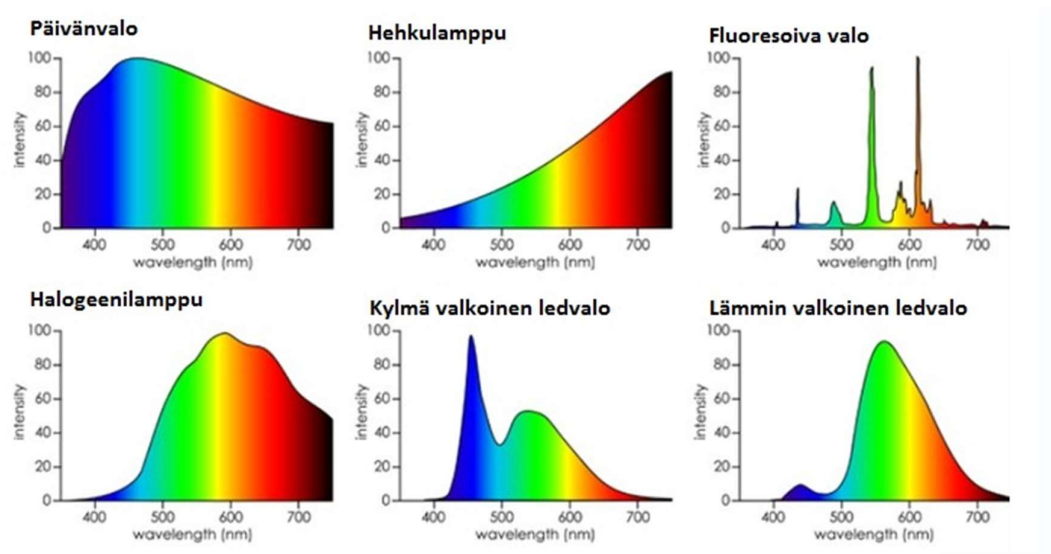
Sir Winston Churchill lausui muinoin: ”kun muokkaamme rakennuksiamme, rakennukset muokkaavat meitä”. Tällä sanomalla on myös taloudellisia vaikutuksia; yrityksen rakennukseen kuluttamaa jokaista euroa kohti, viisi euroa uppoaa käyttökuluihin rakennuksen elinkaaren aikana ja 95 euroa kuluu työntekijöiden palkkoihin. Työyhteisön hyvinvointi ja tuottavuus ovat siten suurimmat yrityksen varat, jotka riippuvat ratkaisevasti työympäristön laadusta. (Velux 2018a.)

Hanna Vikberg on tutkinut luonnonvalon hyödyntämistä laajasti diplomityössään Valoisa asunto, luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisessa kerrostaloasunnossa. Opinnäytetyönsä alkumetreillä hän toteaa, että suomalaista kirjallisuutta aiheesta on vain vähän verrattuna kansainvälisen kirjallisuuden runsaaseen antiin. Mikä on harmillista, sillä Etelä-Euroopan rakennusten valaistusohjeita ei voida kopioida meille pohjoiseen, sillä Suomessa pääasiallinen valonlähde on pilvisestä ilmastosta johtuen pehmeä hajavallo eikä suora voimakas auringonvalo. (Vikberg 2014). Vikbergin diplomityö toimii monipuolisena suunnittelijan työkaluna parempaan luonnonvalaistukseen.



Hyvin luonnonvalaistu huone on valoisa ja valaistus muuttuva. Huoneeseen osuu suoraa auringonvaloa talvella ja siitä on yhteys ympäristöön. Yksityisyys on otettava huomioon etenkin asuntojen kohdalla, häikäisyriski kaikkien tilojen kohdalla. Hyvin suunniteltu rakennus hyödyntää aurinkoenergiaa lämmityksessä ilman ylikuumenemisen riskiä. (Vikberg 2014.)

Valaistuksen suunnittelu ei kuitenkaan ole vain rakennuksen sisäinen asia, vaan kysymys on luonnonvalon ja keinovalon yhteensovittamisesta, rakennuspaikan olosuhteista, maaston muodoista, rakennuksen pohjaratkaisusta ja sijoituksesta tontille kuten myös lähistön rakennuksista ja kasvillisuudesta. Ulkopuoliset esteet vaikuttavat suoran auringonvalon lisäksi voimakkaasti siihen, miten paljon huoneeseen saapuu taivaan hajava-  
loa. Esteiden määrittely on tärkeää suunniteltaessa rakennusta tiiviiseen kaupunkitilaan. Tutkimusten mukaan luonnonvalo on arvokkainta valoa, jota keinovalo ei pysty korvaamaan. (Vikberg 2014; Kotilainen 2010.) Kuvasta 36 on nähtävissä, miten erilainen keinovalon spektri on luonnonvaloon verrattuna.



Kuva 36. Luonnonvaloa ei pystytä täysin korvaamaan keinovaloilla, sillä ne tuottavat erilaista valoa. (Peda.net.)

### 5.1.2 Luonnonvalon merkitys ihmiselle

Luonnonvalo vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin monella tapaa. Se laskee sydämen sykettä, verenpainetta ja stressitasoa, mutta kasvattaa innovatiivista ajattelukykyä. Luonnonvalo lisää myös keskittymiskykyä, jolloin se lisää turvallisuutta ja tehokkuutta työpaikoilla ja

oppimisympäristöissä. Valon puute puolestaan aiheuttaa nukkumisvaikeuksia, masentuneisuutta ja kaamosväsymystä. Pimeääkin tosin tarvitaan, jotta melatoniinin määrä kehossa lisääntyy ja nukahtaminen helpottuu. (ZVEI 2013; Velux 2018b).

Neljä tärkeintä valoon liittyvää ihmisen tarvetta ovat:

- 24-tuntinen sykli, johon sisältyy pimeitä ja valoisia vaiheita
- altistuminen kirkkaalle valolle talvikuukausina
- rakennuksen käyttäjän tarve tuntee yhteys ulkoilmaan
- välttyminen häikäisyltä, joka aiheuttaa epämukavuutta ja vaikeuttaa vaarojen havaitsemista

Luonnonvalo määrä ja väri välittävät tietoa sisätiloissa olijalle vuorokauden ajasta ja säästä, jolloin se tukee ihmisen vuorokausirytmiiä. Lisäksi luonnonvalo toistaa värit oikein sisätiloissa, mikä voi olla monelle sisustajalle tärkeä asia.

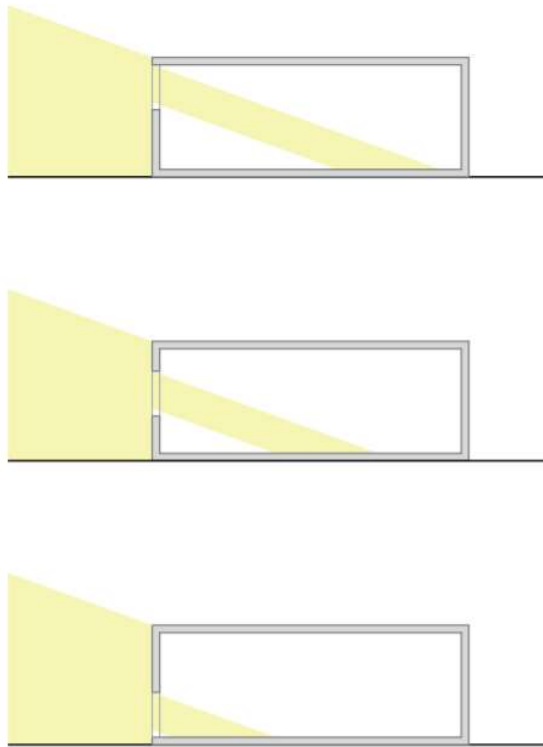
### 5.1.3 Päivänvalo-olosuhteet

Huoneen päivänvalaistusta mitataan ulkomailla usein päivänvalosuhteella. Päivänvalosuhte kuvaa huoneen valaistusvoimakkuutta suhteessa ulkotilan valaistusvoimakkuuteen, toisin sanoen sisätilan ja ulkotilan välistä kontrastia. Se on parempi mittari huoneen valoisuudesta kuin valaistusvoimakkuuden määrittäminen lukseina. Toimistoihin suositellaan minimissään 1-2,5 % päivänvalosuhdetta, kun asunnoille suositellaan yleensä matalampaa 1,5 % keskimääräistä päivänvalosuhdetta, mutta se voidaan kokea synkäksi. Kirkkaasti valaistun huoneen keskimääräinen päivänvalosuhte on 5 %. Joten hyvin valaistun huoneen päivänvalosuhte on 2-5 %. Oleskelutilojen päivänvalosuhteen suositukset ovat suurimmat ja makuuhuoneen pienin. Tosin korkeilla leveysasteilla päivänvalon voimakkuus vähenee, jolloin Suomessa suositusten tulisi olla korkeampia. Päivänvalosuhdetta hyvin ennakoiva määre on lasiaukon suhte huoneen lattiapinta-alaan. (Vikberg ym. 2019, 19; Vikberg 2014.)

Korkealla sijaitsevat lasiaukot päästävät eniten valoa vaakatasoisille pinnoille, kuten toimiston työtasoille. Korkeista lasirakenteista valo osuu kohtisuorempaan vaakapinnalle ja aiheuttaa voimakkaamman valaistuksen. Lisäksi taivas on yleensä kirkkaampi zenitissä kuin juuri horisontin yläpuolella eikä varjostavat esteet vaikuta niin paljoa.

Kuvan 37 mukaisesti korkealla sijaitsevat lasiaukot vähentävät kontrastia tilan etualan ja taka-alan välillä valon ulottuessa syvemmälle huoneeseen ja vähentäen valonmäärää

suoraan lasituksen edessä, kun tilannetta verrataan matalalla sijaitsevaan lasitukseen. Mikäli huone on valaistu yhdestä suunnasta, saadaan tasaisin ja syvin valaistus, kun lasiaukko on korkealla ja mahdollisimman leveä. Tällöin lasitus jatkuu suoraan kattoon, josta valo heijastuu, eikä häikäisyä esiinny. Matalalla sijaitseva lasiaukko puolestaan jättää etualan pimeäksi. (Vikberg 2014, 75.)



Kuva 37. Korkealla sijaitsevat lasiaukot päästävät eniten luonnonvaloa huoneeseen (Vikberg 2014).

Toisaalta korkealla sijaitsevat suuret lasirakenteet voivat aiheuttaa häikäisyä, joten häikäisyriskin tulisi olla kontrolloitu. Eniten häikäisyä aiheutuu auringon nousun ja laskun aikaan eli pääasiassa itä-länsisuunnista, talvella etelästä. Pohjoisesta ei saada suoraa auringonvaloa lainkaan, jolloin paras valaistusratkaisu saadaan, kun lasituksen aukeamissuuntana on etelä. Itä-länsisuunta aiheuttaa häikäisyn lisäksi ylikuumenemista. Eteläpuolen korkeammalta tulevan häikäisyn ja lämpökuorman voi estää helpommin esimerkiksi räystäällä. Muita sopivia häikäisynestoja ovat valohyllyt, siirrettävät häikäisynesotot ja lasit, joissa on säädettävä sävy. (Vikberg 2014; Sutela 2020.)

Luonnonvalon lisäksi lasituksen tulee avata näkymiä ja ikkunan toimia ilmanvaihdon kanavana. Kaiken ei kuitenkaan tarvitse olla yhdessä ja samassa ikkunassa. Eri

käyttötarkoituksia varten tulisi miettiä lasituksen kokoa, muotoa, sijaintia, suuntausta ja ikkunan ohjaus- ja säätöjärjestelmiä. On tärkeämpää suunnitella lasituksen olemus sisältäpäin tilan käyttäjän kannalta kuin laittaa rakennuksen julkisivu etusijalle. Ikkunan vaikutus rakennuksen ilmeeseen on kuitenkin merkittävä. (Vikberg 2014.)

Ihanteellinen ratkaisu on, että jo suunnitteluvaiheessa huomioidaan rakennuksen mahdollisimman suuri luonnonvalon määrä unohtamatta kuitenkaan energiataloudellisuutta. Nykyisillä lasiratkaisuilla nämä vaaditut ominaisuudet on helppo täyttää. Luonnonvalon kaltaisessa valaistuksessa värit toistuvat oikein ja kontrastit erottuvat, jolloin myös näemme paremmin. Oikeanlainen valo on miellyttävää.

Edellä esitettyjä asioita tukee vahvasti tuore päivänvalostandardi SFS-EN 17037:2018:en Daylight in buildings. Ohjeen johdannon mukaisesti luonnonvalon tulisi olla merkittävä valaistuksen lähde kaikissa tiloissa, joissa on valoaukko. Asukkaille ja tilan käyttäjille luonnonvalo on vahvasti suosittu valaistusmuoto, jolla sisätilan pinnat valaistaan asianmukaisesti ja energiaa säästään. Valoaukot tarjoavat näkymien lisäksi yhteyden ympäristöön. Luonnonvalaistussa tilassa värit toistuvat oikein, valaistus muuttuu vuorokauden ja vuodenajan mukaisesti tukien ihmisen vuorokausirytmiiä ja hyvinvointia.

Standardissa lisäksi mainitaan, että suora auringonvalo on tärkeä asunnoissa, sairaaloissa ja hoitokodeissa. Toisaalta tiloissa, joissa luetaan, kirjoitetaan tai käytetään näyttöpäätteitä, on huomioitava varjostus häikäisyn estämiseksi. Luonnonvalolla tulisi valaista tila merkittävän osan vuosittaisesta päivänvalotunneista. Luonnonvalon määrään vaikuttaa ilmaston lisäksi rakennuksen ympäristö ja sen esteet, valoaukon välittömässä läheisyydessä olevat komponentit ja sisätilojen rakenne. (SFS-EN 17037:2018:en.)

## 5.2 Energiansäästöpotentiaali

EU:n tavoitteena on olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Seuraavana askeleena ilmastotoimenpiteissä on rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, joka tulee voimaan vuoden 2020 päättyessä, jolloin uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Euroopan komission antamien tietojen mukaan rakennukset kuluttavat käytetystä energiasta 40 % ja aiheuttavat 36 % kokonaishiilidioksidipäästöistä EU:ssa (Euroopan parlamentti 2019). Rakennusalan yritykset joutuvat osallistumaan ilmastotalkoisiin, jossa piileekin monia mahdollisuuksia, sillä Suomen rakennuskannassa on paljon korjausvajetta.

Tarkastellaan seuraavaksi mitä mahdollisuuksia lasirakenteilla on ilmastotoimenpiteiden edistämiseksi, sillä Glass for Europeen teettämän selvityksen mukaan lasirakenteissa on valtava energiansäästöpotentiaali.

Euroopan tasolasi-alan ammattijärjestö Glass for Europe teetti hiljattain TNO:lla (Alankomaiden sovelletun tieteellisen tutkimuksen järjestö) selvityksen Glazing Potential, Energy savings & CO2 Emission Reduction. Selvityksen perusteella tehdyssä raportissa The Energy Performance of Buildings Directive kerrotaan, että EU-maiden rakennuskannan keskimääräinen ikkunan U-arvo on 3,4 (Lähde: Clean Planet for all Building Stock Observatory). Luku vastaa 60-luvun ikkunan eristystasoa. Rakennuskanta Euroopassa on pahasti ikääntynyt ja korjausrakentaminen on hidasta. Energiatohokkaiden lasirakenteiden vaihtotyö on rajoittunut lähinnä asuntopuolelle. (Glass for Europe 2019.)

Suomessa ikkunan U-arvon vaatimuksena on 1,0. Rakennuskannan keskimääräisen U-arvon arvioidaan olevan 1,9. Vastaavat arvot Ruotsissa ovat 1,2 ja 2,5. (Glass for Europe 2019). Nykyaikaisissa lasirakenteissa U-arvo on usein 0,6 tai vähemmän tarkoittaen kiinteitä eristyslaselementtejä, ei MSE-ikkunaa.

Glass for Europeen teettämässä tutkimuksessa selvitettiin kahden skenaarion avulla kuinka paljon energiaa ja sitä kautta CO<sub>2</sub>-päästöjä voitaisiin vähentää, jos kaikki ikkunat Euroopassa vaihdettaisiin helposti saatavilla oleviin korkean suorituskyvyn lasituksiin vuonna 2030 ja vuonna 2050 vielä astetta parempiin (taulukko 5). (Glass for Europe 2019).

Taulukko 5. Kahden skenaarion mukainen energiansäästöpotentiaali (mukaillen Glass for Europe 2019).

Skenario	Energiansäästö	CO <sub>2</sub> -päästön säästö
Vuosi 2030	75,5 Mtoe (-29 %)	94,3 MtCO <sub>2</sub>
Vuosi 2050	67,3 Mtoe (-37 %)	68,5 MtCO <sub>2</sub>

Tutkimus osoittaa, että vuoden 2030 energiansäästöpotentiaali vastaa 29 % vähennystä rakennusten energiankulutuksessa. Ja myös sitä, että lasirakenteet ovat avainasemassa, kun tarkastellaan rakennuksen energiatohokkuustoimenpiteitä. Tulos tarkoittaa, että 42 % EU:n vuoden 2030 energiansäästötavoitteesta voidaan toteuttaa vaihtamalla vanhat ikkunat nykyaikaisiin korkean suorituskyvyn lasituksiin. (Glass for Europe 2019.)

Toisaalta, jos laseja vaihdettaisiin tuplasti enemmän eli korjausaste nostettaisiin nykyisestä kahdesta prosentista neljään prosenttiin, kohdistettaisiin vaihtotyö heikkotasoiisiin rakennuksiin ja panostettaisiin korkean tason lasituotteisiin, niin kymmenen vuoden kuluessa energiaa säästettäisiin jopa puolet skenaarion esittämästä potentiaalisesta määrästä. Korjaustoimenpiteet vaikuttavat positiivisesti myös työllisyyteen. (Glass for Europe 2019).

Glass for European julkaiseman raportin mukaan rakennusten jäähdytyslaitteiden määrän arvioidaan lisääntyvän tulevaisuudessa huomattavasti. Tällä hetkellä 15 % asuinrakennuksista on jäähdytyslaite. Vuonna 2050 luvun on arvioitu olevan 50 %. Muissa kuin asuinrakennuksissa jäähdytyslaite on jo 50 % ja vuonna 2050 se voi olla jopa 85 %. (Glass for Europe 2019).

Raportissa todetaan, että EU:ssa voidaan saavuttaa 28 % energiansäästö jäähdytyksessä vuonna 2050 auringonsuojalaseja käyttämällä (Glass for Europe 2019). Uudehkot tuoteinnovaatiot kuten on/off-lasit ja erityisesti sähkökromaattiset lasit, joilla voidaan säätää aurinkoenergian kokonaisläpäisyä tai lasituksiin integroitavat aurinkoenergiajärjestelmät voivat parantaa lisää energian säästöpotentiaalia ja vähentää siten myös CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Lasit ovat pitkäikäisiä tuotteita, sillä ne pysyvät rakennuksissa keskimäärin 50 vuotta. Oikein asennettuna ja huollettuna ne tarjoavat vakaan energiatehokkuuden koko käyttökänsä ajan, joten energiansäästöä voidaan saavuttaa useiden vuosikymmenien ajan. Myös tämän takia on tärkeää valita oikeanlainen tehokas lasirakenne. (Glass for Europe 2019).

Lisää energiansäästöpotentiaalia löytyy kaksoisjulkisivuratkaisuista ja parvekelasituksista, joilla saadaan rakennuksen lämpöhukkaa kuriin. Suomalaisen selvityksen mukaan parvekelasituksen valmistuksessa syntyvät päästöt on kompensoitu noin 3,3 vuodessa lasituksen käytöstä syntyvillä päästöhyödyillä. Sen lisäksi, että lasitus lämmittää sisätiloja, jolloin sisälämpötilaa voidaan alentaa jopa asteen verran, parvekelasitus myös suojaa parvekkeen muita rakenteita ja vähentää siten korjaustarvetta. Kesällä puolestaan lasitus voidaan avata tai käyttää lasiin integroitavia aurinkosuojia, jolla estetään sisätilojen ylikuumeneminen. (Gustafsson 2019).

Edellä esitetyn johtopäätöksenä voidaan todeta, että hiilineutraali Eurooppa tarvitsee toteutuakseen suuria määriä energiansäästölaseja ja energiaa tuottavia laseja, jotka on tuotettu mahdollisimman energiatavallisesti eli lähellä ja puhtaalla energialla. Jotta

EU:n asettamiin tavoitteisiin päästään, on vaatimuksia tiukennettava entisestään. Lisäksi Suomessa tulisi määrittää vaatimus lasituksen g-arvolle. Lasituksen g-arvo otetaan huomioon Suomessa vain rakennuksen E-luku laskennassa. Glass for Europe mukaan energiatasapaino on tarkin tapa arvioida lasirakenteen energiatehokkuutta. Se on yhtälö, joka ottaa huomioon lämpösaannin ja lämpöhäviön ja tulos painotetaan ilmasto-olosuhteiden perusteella. Energiatasapaino -menetelmä on kuitenkin käytössä vasta Tanskassa ja Britanniassa. (Glass for Europe 2019.)

### 5.3 Ympäristö

Lasiala on tehnyt suuria harppauksia tuotekehityksessä viime vuosien aikana. Tuotteet ovat entistä eristävempiä, turvallisempia, suojaavat ylikuumentumiselta ja niihin on saatavilla monia lisäominaisuuksia. Lasirakenteet ovat tärkeä osa toimivaa rakennusta, jonka tulee olla viihtyisä, valoisa, tehokas ja samalla entistä ympäristöystävällisempi.

Lasi on kestävä tuote, joka on valmistettu yksinkertaisista materiaaleista.

#### 5.3.1 Kierrätys

Rakennuslasien oletettavissa oleva käyttöikä on keskimäärin 50 vuotta riippuen käyttökohteen olosuhteista ja ympäröivistä rakenteista. Käytön jälkeen lasit voidaan kierrättää lähes 100 prosenttisesti, vain pieniosa lasirakenteen muista materiaaleista päätyy energiahyötykäyttöön. Elinkaarensa päässä olevia rakennuslaseja kuten eristyslaselementtejä voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi kasvihuoneissa tai sisälaseinissä.

Kierrätettäviä tasolasituotteita ovat kaiken väriset float-lasit, lämpökarkaistu turvalasi, laminoitu turvalasi, eristyslaselementit ja puualumiini-ikkunat. Eri materiaalit pitää lajitella omiin keräysastioihin kierrätystä varten. Tulenkestävä lasi kuten takkaluukkujen lasi, lankalasi ja osa palonsuojalaseista ei ole kierrätettäviä. (Uusioaines Oy 2018.)

Puhdistettu lasisiru on tärkeä raaka-aine lasiteollisuudelle. Sen käyttö vähentää lasinsulattajan energiantarvetta, hiilidioksidipäästöjä ja neitseellisten raaka-aineiden tarvetta, mutta lisää tuotantokapasiteettia. (Uusioaines Oy 2018.)

Jokainen tonni lasia, joka valmistetaan lasisirusta kuluttaa noin 30 % vähemmän energiaa kuin valmistus neitseellisistä raaka-aineista. Kerran sulatetusta lasista ei vapaudu uudelleen sulatuksessa prosessihiilidioksidipäästöjä, sillä lasisiru ei sisällä

karbonaatteja, siten sen käyttö vähentää lasiteollisuuden CO<sub>2</sub>-päästöjä. Jokainen tonni lasisirua vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta yli 1,2 tonnia. (Heikkilä 2011.)

Tasolasia kerätään ja kierrätetään Suomessa vuosittain noin 38 000 tonnia (Uusioaines Oy 2015).

### 5.3.2 Lähellä tuotettu

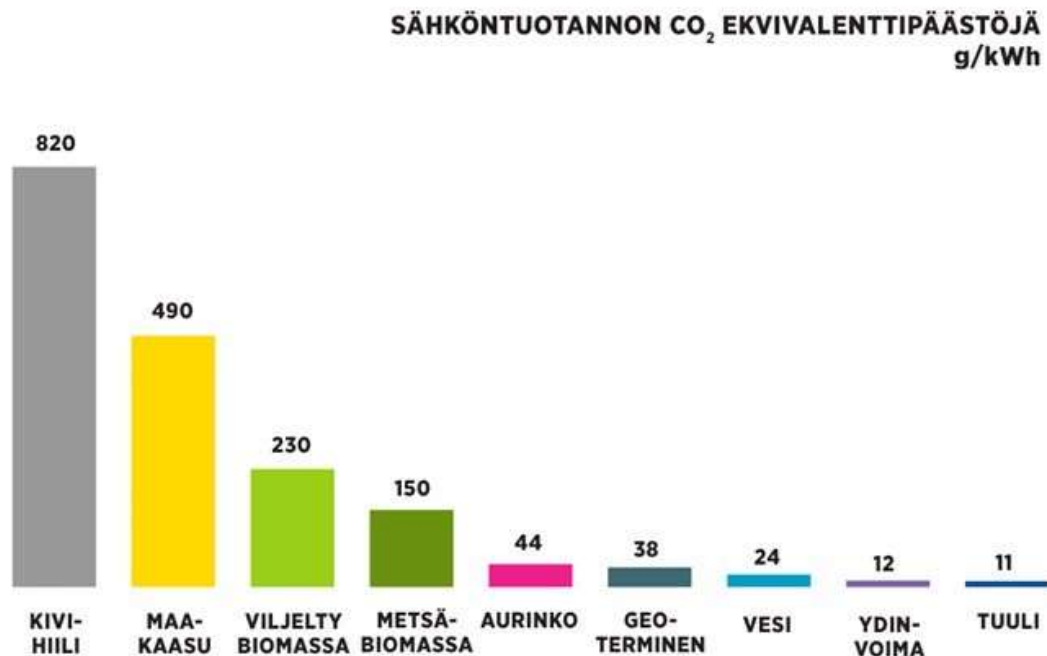
Suomessa ei ole ollut float-lasin valmistusta vuoden 2009 jälkeen. Suomessa jatkojalostettava float-lasi valmistetaan suurimmaksi osaksi eli 87 %:sti Venäjän ja Saksan tehtailla (Tulli 2019). Float-lasi leikataan ja käsitellään tuotteiksi lasin jatkojalostajilla pääsääntöisesti Suomessa. Hyvä niin, sillä Suomessa jatkojalostettu lasituote on ympäristöystävällisin valinta. Tarkastellaan seuraavassa tätä aihetta tarkemmin.

Jumbokoon float-lasia saadaan kuljetettua erikoisrekassa kerralla 26,5 tonnia. Kun auto lähtee Suomesta tyhjänä ja palaa esimerkiksi Saksan Gladbeckissä sijaitsevalta tehtaalta, siitä aiheutuu päästöjä noin 57,37 kg CO<sub>2</sub>/tonni. Kun lasi toimitetaan Etelä-Suomessa sijaitsevalta keskusvarastolta asiakkaalle, aiheutuu siitä vuosikeskiarvon mukaan 14,99 kg CO<sub>2</sub>/tonni lisää päästöjä. (Okkolin 2019). Yhteensä siis 72,36 kg CO<sub>2</sub>/tonni.

Kuljetuksen jälkeen lasi jatkojalostetaan esimerkiksi eristyslaselementiksi suomalaisella tehtaalla, jossa käytetään sähköä, joka on tuotettu tuulivoimalla. Siitä aiheutuu kuvion 2 mukaisesti hiilidioksidipäästöjä 11 g/kWh (Luukko 2019).

Verrataan päästöjä Puolassa tuotettuun eristyslaselementtiin. Puola on perusteltu valinta, sillä sieltä viedään paljon eristyslaselementtejä Ruotsiin ja Norjaan. Lisäksi Puola on saanut huomattavat investointiavustukset EU:lta, mikä on lisännyt puolalaisen rakennuslasin tuotantoa supistaen tuotantoa muualta kuten Pohjoismaista. Puola tuottaa 80 % sähköstään hiiltä polttamalla (Szewczyk M. Hiiliriippuvainen Puola, 2019). Lasin prosessointi kuten leikkaus, hionta ja karkaisu tapahtuu Puolassa siis energialla, joka on tuotettu lähinnä hiilivoimalla. Energiayhtiö Helenin mukaan kivihiilen sähköntuotannon hiilidioksidipäästö ekvivalenttipäästönä on 820 g/kWh (Luukko 2019). Se on taulukon korkein arvo verrattaessa muihin energiamuotoihin. Se on myös 75 kertaa suurempi kuin tuulivoiman CO<sub>2</sub>-päästö.





Kuvio 2. Kuviossa on verrattu sähköntuotannon päästöjä eri energiamuotoja käytettäessä (Luukko 2019).

Elinkaaripäästöissä käytetään hiilidioksidiekvivalenttilukua, joka saadaan, kun elinkaarren aikaiset ilmastoa lämmittävät vaikutukset muutetaan vastaamaan saman vaikutuksen aiheuttavaa hiilidioksidipäästöä. Tuulivoiman CO<sub>2</sub>ekv. päästö on vain 11 g/kWh. (Luukko 2019).

Verrataan vielä Suomen ja Puolan tuotannon kuljetuksista aiheutuvia päästöjä. Eristyslaseja kuljetaan yhdistelmäajoneuvoin, joihin mahtuu keskimäärin 14 tonnia lasia, huomioiden, että lasipukkien paino on vähennetty (Ohtamaa 2020). Jumbolasia puolestaan kuljetetaan kerralla 26,5 tonnia eli melkein 90 % enemmän kuin eristyslaseja. Toisin sanoen suuri osa kuormasta on ilmaa eristyslaseja kuljetettaessa.

Oletetaan, että täydessä eristylasikuormassa on keskimäärin 14 tonnia lasia (pukkeja ei huomioida). Siitä aiheutuu VTT:n lipastotietokannan mukaan CO<sub>2</sub>-päästöjä 58 g/tkm Euro 4-luokan autolla. Kun eristylasi toimitetaan Keski-Puolan tehtaalta Jyväskylään, josta etäisyys maanteitä pitkin on noin 1600 km, aiheutuu siitä maantieajossa 14 tonnin osakuormalla CO<sub>2</sub>-päästöjä 1291 kg. Oletetaan, että auto palautuu Puolaan tyhjänä, josta aiheutuu 990 kg lisää CO<sub>2</sub>-päästöjä. Yhteensä siis 2281 kg CO<sub>2</sub>-päästöjä. Vastavasti laskettuna Nivalan tehtaalta toimitettu eristylasikuorma aiheuttaa CO<sub>2</sub>-päästöjä

vain 309 kg, kun etäisyys on 217 km. Puolasta tuodun eristyslaselementin hiilidioksidipäästö on myös kuljetusten osalta moninkertainen. (Lipasto 2020.)

Kun eristyslasit tilataan paikalliselta toimijalta ja mahdollisimman läheltä rakennustyömaata, tuetaan suomalaisen lasiteollisuuden lisäksi vihreää energiatuotantoa ja vähennetään hiilidioksidipäästöjä, jotka aiheutuvat niin tuotannosta ja kuljetuksista.

## 6 LASILEVYN MITOITUS

### 6.1 Mitoituksen lähtökohdat

Aiemmin lasilevyjen mitoituksessa käytettiin laajalti vuonna 1986 julkaistua RT-38-10316 *Lasilevyt, paksuuden mitoitus* -ohjetta ja RIL 198-2001 *Valoaläpäisevät rakenteet* -kirjaa.

25.10.2019 lähtien lasilaattojen mitoitus tapahtuu standardin SFS-EN 16612 *Rakennuslasit. Kuormankestävyyden määrittämisessä käytettävät laskelmat* mukaisesti. Standardi perustuu rajatilamitoitukseen ja osavarmuuslukumenetelyyn ja on siten periaatteeltaan samankaltainen eurokoodien kanssa. Käyttö- ja murtorajatilan kuormitusyhdistelmät sekä näiden kuormien aiheuttamien vaikutusten mitoitusarvot määrittyvät EN 1990 ja EN 1991 mukaisesti (Hassinen 2020).

Murtorajatilatarkastelussa käytetään rakenteiden ominaiskuormista laskettuja mitoituskuormia ja materiaalien lujuuksina ominaislujuuksista laskettuja mitoituslujuuksia, joiden kuormat ja lujuudet sisältävät varmuuskertoimet. Näin varmistetaan, että mitoituskuormat eivät ylitä materiaalin laskentalujuutta ja rakenteet kestävät riittävällä varmuudella vaaditun käytön menettämättä stabiiliuttaan. (RIL 272-2019, s. 51.)

Käyttörajatilatarkastelu tehdään käyttäen kuormien ominaisarvoja ja materiaalien lujuuksina materiaalien ominaislujuuksia, jolla varmistetaan, että lasilevyn taipuma on sallituissa rajoissa käytön aikana. Mitoituksen lähtökohdaksi on, että valittu materiaali kestää sitä rasittavat kuormat ja säilyttää vakautensa eurokoodissa määrättyllä tavalla. (RIL 272-2019, s.51.)

Pääsuunnittelija vastaa lasiin kohdistuvien kuormien (tuuli-, imu ja lumikuorma) määrittämisestä eurokoodin SFS-EN 1991 ja sen kansallisten liitteiden mukaisesti. Pääsuunnittelija tekee tarvittavat kuormitusyhdistelmät osavarmuuslukumenetelmällä ja tarkistaa, että käytön aiheuttamat kuormat eivät ylitä kantavien rakenteiden lujuutta missään kuormitustapauksessa. (RIL 272-2019, s.51.) Usein lasirakenteen mitoituksesta vastaa alan erityissuunnittelija.

Lähtökohdaksi mitoituksessa on sellaisen lasin kohdalla, joka ei toimi putoamisesteenä, että seuraamusluokka on alhaisempi kuin CC1. Jos lasi toimii putoamisesteenä, on mitoituksessa käytettävä seuraamusluokkaa CC2. Lasipaneelit ovat tyypillisesti täytepaneelleja (infill panel), jotka kantavat vain itsensä. (RIL 272-2019, s.52.)

Lumikuorma määritetään kalteville lasirakenteille standardin EN 1991-1-3 mukaan. Tuulikuormat määritetään puolestaan standardin EN 1991-1-4 mukaan. Ohjeissa RIL 201-1-2017 *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* ja RIL 272-2019 *Parveke- ja terassilasitus rakennusosana* on eurokoodistandardia täydentäviä suunnitteluohjeita kuormien laskemiseksi.

Lasilevyjen tuulikuormat on määritettävä ottamalla huomioon sekä ulkopuoliset että sisäpuoliset tuulenpaineet. Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulivoima voidaan määrittää kokonaisvoimakertoimen  $c_f$  avulla tai osapintoihin kohdistuvien painevoimien summana. (RIL 201-1-2017, 138.)

Tuulikuormien määrittäminen ilman avustavia laskentaohjelmia on epätarkkaa ja aikaa vievää. Tuulikuormien määrittämisperiaatteet on käyty läpi monessa eri julkaisussa, mutta havainnollistavia laskuesimerkkejä on vain vähän, joten tämän opinnäytetyön liitteessä 1 on tuulikuormien laskennasta esimerkki. Laskuesimerkki on suoritettu SKOL M10 Tuulikuorma v1.6 ohjelmalla.

## 6.2 Taipuma

Suomen Tasolasiyhdistys ry suosittelee Käyttöturvallisuusohjeessaan neljältä sivulta tuetun lasiruudun maksimitaipumaksi  $L/100$ ,  $L$  = lyhyempi sivu, max. taipuman ollessa kuitenkin 25 mm. Jos taipuma ei ole tarkasteltavalle lasirakenteelle kriittinen, suuremmatkin taipumat ovat mahdollisia (kuten esim. kaidelasi).

Esimerkiksi jos lasilaatan koko on 1200 x 1500 mm, sallittu taipuma on  $L/100$  mukaisesti 12 mm.

Standardin EN 16612 mukaan taipumarajaksi valitaan pienempi arvoista  $L/65$  tai 50 mm niin, että  $L$  on:

- kahdelta sivulta tuetun lasin pidempi tueton sivu
- kolmelta sivulta tuetun lasin tueton sivu
- neljältä sivulta tuetun lasin lyhin sivu

Jos taipuma ei ole tarkasteltavalle lasirakenteelle kriittinen, suuremmatkin taipumat ovat mahdollisia.

Suomen Tasolasiyhdistys ry:n suosittelema taipumaraja on yhtenäinen LasiMitta-ohjelman kanssa. Siinä taipumarajoiksi yhdestä monoliittisesta tai yhdestä laminoidusta lasilaatasta muodostuvalle rakenteelle min. taipuma on  $L/100$ , max. 25 mm. Sama myös eristyslaselementille. Kuormana näiden taipumien laskemisessa käytetään ominaisyhdistelmää.

SFS-EN 16612 standardissa esitetyt sallitut taipumat ovat suuria eristyslaselementille, eivätkä ne ole yleisesti käytössä. Riskinä on, että kyseisellä max. taipumalla lasi siirtyy reunoistaan ja irtoaa profiilistaan.

### 6.3 Vaakuorma (viivakuorma)

Täyskorkea lasitus asunnoissa ja muissa tiloissa, joissa ei esiinny tungoskuormaa, mitoitetaan 0,5 kN/m vaakuormalle. Muissa rakennuksissa 1,0 kN/m. Kuorma lasketaan viivakuormana käsijohteen eli 1200 mm:n korkeudella tai potentiaalisen riskin korkeudella. (RIL 272-2019, s. 51; Sutela 2020.)

## 7 MITOITUSOHJELMA LASIMITTA 1.1

### 7.1 Ohjelman taustaa

Mitoitusstandardia SFS-EN 16612 valmisteltiin CEN:n työryhmässä kymmeniä vuosia, kunnes se julkaistiin viimein 25.10.2019. Suomen olosuhteisiin sopivaa mitoitusohjelmaa puolestaan aloitettiin suunnitella vuonna 2004 yhteistyössä Suomen lasialan ammattilaisten kesken, ryhmän pääsuunnittelijana toimi DI Paavo Hassinen.

Ensimmäiset laskentakaavat kirjoitettiin vuonna 2010 Matlab-ohjelmalla ja myöhemmin MathCad-ohjelmalla, mutta internetselaimella toimivaksi MathCad:ä ei onnistuttu muuttamaan, minkä takia laskentakaavat siirrettiin vielä Excel-ohjelmaan. Esistandardiin prEN 16612:2013 perustuvan LasiMitan ensimmäinen versio 1.0 julkaistiin huhtikuussa 2017. Toinen paranneltu versio 1.1 julkaistiin kesäkuussa 2019. Seuraava versio 1.2 on tarkoitus saada valmiiksi lähiaikoina, jotta standardin uusimmat muutokset tulevat huomioituksi.

Nykyaikaisiin mitoituslaskelmiin perustuva laskentatapa lisää ennen kaikkea lasirakenteiden turvallisuutta ja yhtenäistää Suomessa käytettävien tasolasirakenteiden mitoituslaskentaa. Ohjelman käyttäjän edellytetään tuntevan tasolasirakenteiden lujuustekninen käyttäytyminen ja mitoituksen perusteet. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017b.)

LasiMitta on Suomen Tasolasiyhdistys ry:n omistama ohjelma.

### 7.2 Ohjelman kuvaus

LasiMitta-mitoitusohjelma on tarkoitettu suunnittelijoiden, ikkuna- ja lasirakentajien mitoitustyökaluksi. Ohjelma sopii neljältä sivulta jatkuvasti tuettujen suorakaiteen muotoisten lasirakenteiden lujuusteknisen mitoituksen tarkasteluun, kun lasilaattoihin kohdistuu tasaisesti jakautuneen painekuorman vaikutus. Lasilaatta voi olla rakenteeltaan 1K, 2K tai 3K eli toisin sanoen monoliittinen, kaksi- tai kolmelasinen eristyslaselementti. Ohjelma ottaa huomioon mahdollisen laminoinnin ja kerrosten lasityypin. Lasityyppejä ovat tavallinen float-lasi, lämpölujitettu lasi ja karkaistu lasi. Ohjelma laskee lasin taipuman, sallitun taipuman ja ilmoittaa kunkin lasikerroksen lujuusteknisen kelpoisuuden lasin koon, tehtyjen lasivalintojen ja kuormitustietojen perusteella. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017b.)

### 7.3 Käyttöohjeet

LasiMitta-ohjelma on käytettävissä lisenssin ostaneille osoitteessa [www.lasimitta.fi](http://www.lasimitta.fi). Laskelmaa varten tarvittavia tietoja ovat leveys, korkeus, kallistuskulma (90° pystysuora), lasiruutujen lukumäärä ja rakenne (1K, 2K tai 3K). Yksittäinen lasilaatta voi olla myös kahdesta tai kolmesta kerroksesta laminoitu lasilaatta. Eristyslaselementin lasikerrokset voivat olla vain monoliittisia tai kahdesta lasilaatasta laminoituja kerroksia. Syötettyjen lähtötietojen perusteella valitaan uloimman lasiruudun paksuus ja lasityyppi. Jos kyseessä monikerros lasi, valitaan välitilan paksuus ja seuraavat lasikerrospaksuudet sekä lasityypit. Ohjelma piirtää valitusta rakenteesta kuvan, josta on helppo tarkistaa suoritettut valinnat. Viimeiseksi ilmoitetaan kuormat: pystysuora tuulenpaine, tuulen imu ja vaakasuora lumikuorma. Kuormatiedot ovat rakennesuunnittelijan vastuulla. Kuormat vaihtelevat rakennuksen pystyseiniin mukaan. Kuormat määritetään lasielementtikohteisesti ottaen huomioon tuulikuorman erilaisuus eri tuulivyöhykkeissä ja lumikuorman mahdollinen kinostuminen.

Jos rakennesuunnittelija on ilmoittanut seuraavasti:

- maksimi tuulen imu nurkka-alueilla (0-4 m nurkasta):  $q_{w,k}=1,53 \text{ kN/m}^2$
- maksimi tuulenpaine/imu muualla:  $q_{w,k}=1,26 \text{ kN/m}^2$

niin rakennuksen nurkan alueella olevaa lasirakennetta mitoittaessa tuulen painekuorma -soluun asetetaan arvo 1,3 ja tuulen imu -soluun arvo -1,5. Lähtöarvoina toimivat kuormat määritetään laskentaa varten yhden desimaalin tarkkuudella. Nurkka-alueen ulkopuolella tuulen painekuorma -soluun asetetaan arvo 1,3 ja tuulen imukuorma -soluun arvo -1,3. Negatiivisella etumerkillä varustettu imukuorma tarkoittaa painekuormaa, jonka suunta on rakennuksen sisältä ulospäin. Ohjelmassa imukuorma kohdistuu lasirakenteen sisälasiin ja positiivinen painekuorma uloimpaan lasilevyyn. (Hassinen 2020.)

Lomakkeessa on ilmoitettuna omegavakion arvo 0,20, joka on tyypillinen laminoituneen lasin välikalvon leikkauskerroin. Sitä ei pysty käyttäjä ohjelmassa muokkaamaan. Kun tiedot on syötetty, klikataan laske näppäintä ja ohjelma suorittaa linkitettyssä Excel-taulukossa laskennan. Tiedonsiirto saattaa kestää joitakin sekunteja.

Tulokset näkyvät lasikerroksittain. Kun taiputuslujuuden käyttösuhde tai taipuman käyttösuhde on alle 1,0 on lasilevyn mitoitus ok. Kun käyttösuhde on 1,0-1,09 on lasilevy lievästi alimittainen ja kun yli 1,09 on se alimittainen, jolloin lasivalintoja on syytä muuttaa. Laskelman saa tallennettua PDF-muodossa.

Huomioitavaa on, että MSE-ikkunoiden osat täytyy tarkastella omina erillisinä laskelmina. Ulkopuitteen lasilaatta kuormitetaan varmuuden vuoksi täydelle tuulikuormalle ja sisäpuitteen 2K elementti samalla tavalla täydelle tuulikuormalle. (Hassinen 2020).

#### 7.4 Mitoitustaulukko

Tarkastelin LasiMitta 1.1 ohjelmalla 3K eli kolmilasisen eristyslaselementin mitoitusta tuulen puuskanopeuspaineella  $q_{p0}$  0,45 kN/m<sup>2</sup> ja 0,5 kN/m<sup>2</sup>, taulukot löytyvät liitteistä 2 ja 3. Nämä nopeuspaineet ovat maastoluokan IV (tasainen maasto) nopeuspaineita korkeudella 20 m ja 25 m taulukosta 4.2S, RIL 201-1-2017 osa 1.4, s. 137.

Tarkastelun tavoitteena oli havainnoida 3K eristyslaselementin lasin paksuuksia eri mit-tayhdistelmillä ja nähdä missä taulukon kohdissa rakenne pitää muuttaa turvallisem-maksi.

Tarkastelua ei haluttu tehdä vaativammalle maastoluokalle tai nopeuspaineille, jotta tau-lukkoa ei voida käyttää yleisenä mitoituspohjana. Eristyslasi- ja eristyslaselementtien käytöstä on luovuttu, niiden sisältämien riskien takia. Suomen Tasolasiyhdistys ry:n tarkoi-tuksena on ohjata tapauskohtaiseen mitoitusarkisteluun nykyaikaisilla mitoitusohjel-milla standardin EN 16612 mukaisesti.

Tarkastelun reunaehtoina on, että uloin lasilevy saa olla lievästi alimittainen sallitun tai-puman käyttösuhteen osalta eli enintään 1,05 ja taivutuslujuuden käyttösuhte enintään 1,01. Muut lasikerrokset eivät saa olla tulokseltaan lievästi alimittaisia. Turvalasivaati-muksia ei ole huomioitu.

Rakenteiksi valittiin monoliittiset float-lasit seuraavilla yhdistelmillä:

- 4-16-4-16-4
- 6-16-6-16-6
- 8-16-6-16-6
- 10-16-6-16-6 ja
- 12-16-6-16-6

Tilanteessa, jossa ohjelma ei anna tulosta float-lasilla, valittiin uloimmaksi lasiksi lämpö-karkaistu float-lasi rakenteella T4-16-4-16-4 tai koko rakenne karkaistuilla lasilla T4-16-T4-16-T4. Joissa numero 16 on välitilan paksuus millimetreinä. Loput luvut ovat eri lasi-paksuuksia millimetreinä.



Taulukoiden alkupään tulokset ovat hyvin samanlaiset. Olosuhteet muuttuvat isokooriseksi lasimittojen ollessa kapeita ja/tai pitkiä. Tämän takia välillä leveys 400 mm ja korkeus 400 mm jatkuen leveys 4000 mm ja korkeus 3000 mm taulukon kuvion mukaisesti on käytettävä karkaistua lasia.

Taulukoiden loppupään tuloksista on nähtävissä, että 0,05 kN/m<sup>2</sup> tuulen nopeuspaineen muutos vaikuttaa oleellisesti valittavan lasin paksuuteen lasimittojen kasvaessa.

Taulukoiden väri rajojen jyrkkyys ja erilaiset muutosrajat tukevat Tasolasiyhdistyksen tavoitetta lasien tapauskohtaisesta mitoitusarpeesta. Jotta suunnittelijat tai eristyslaseja valmistavat tahot voisivat käyttää taulukoita mitoitusperusteena, pitäisi niitä olla jokaiselle tuulikuormalle erikseen, mikä tekee taulukoiden tarkastelun hankalaksi ja aikaa vieväksi.

## 7.5 Haastattelujen tulokset

LasiMitta 1.0 ohjelman kolmea käyttäjää haastateltiin puolen vuoden kuluttua ohjelman julkaisemisen jälkeen vuonna 2017. Käyttäjää ei tuolloin ollut vielä montaa. Haastattelun taustatiedoiksi kysyttiin pätevyyteen liittyvät tiedot suunnittelukokemuksesta ja -koulutuksesta, jolla haluttiin varmistaa, että haastateltava tuntee lasin mitoituksen perusteet. Haastattelussa kysyttiin palautetta LasiMitta-ohjelman käytöstä, kommentteja suunnitteluihin muutoksiin ja pyydettiin kehitysehdotuksia. Haastattelu suoritettiin puhelimitse ja yksi vastaus saatiin sähköpostitse. Haastattelulomake löytyy liitteestä 4. Nimitetään tässä haastateltavia A, B ja C.

Palautte käyttökokemuksista oli vaihtelevaa. Haastateltavat A ja B kertoivat, että ohjelmaa oli kohtuullisen helppo käyttää, tosin B oli käyttänyt ohjelmaa vielä melko vähän. A kommentoi tuloksista, että LasiMitaa antaa tulokseksi paksummat lasit kuin Pilkingtonin laskentaohjelma. Ero johtuu eri mitoitusstandardista.

Kolmas eli C palautteen antaja sen sijaan kertoi, ettei voi käyttää ohjelmaa virallisena laskelmana, sillä tulokset ovat outoja, eikä niillä saisi tarjouskohteita. Tulokset eivät olleet hänen mielestään käytettäviä, koska varmuuskertoimet olivat liian suuria. Hän epäili, että ohjelma siirtää liian paljon kuormaa eristyslaselementin väli- ja sisälasilille. Varsinkin kattolasitusten kohdalla laskelmat eivät toimineet. Tosin B kertoi, että juuri kattolasien kohdalla ohjelmasta oli apua, kun tuulikuormat olivat todella suuret. Tulosten erot johtuvat todennäköisesti lasirakenteen eroista. Monoliittisen lasin kohdalla laskelma on

yksinkertaisempi ja virhemahdollisuus pienempi. Käyttäjät B valmistaa lähinnä terassilaseja ja C lasijulkisivuja, joissa 3 K eristyslaseielementit.

Pyydettyä kommentteja suunnitelluista muutoksista B ja C kommentoivat kuormalaskurista ja siihen opastavasta ohjeesta, että se olisi tarpeellista. Kaikki olivat sitä mieltä, että kaidemitoituslaskuri olisi tervetullut lisä. B ja C kaipasivat lisäksi ohjeita viivakuorman laskemiseksi.

Muiden kehitysehdotusten kohdalla A kertoi, että työselityksistä puuttuu usein tuulikuormalaskelmat. Jos niitä joskus on, niin luvuiksi on laitettu käsittämättömän suuria lukuja, ilmeisesti siksi, ettei niitä ole laskettu vaan arvioitu varman puolelle. Lisäksi A kaipasi tietoa imukuormista ja niiden huomioimisesta. A ehdotti myös pieniä korjauksia ohjelman termistöön.

B mainitsi kehitysideoissa, että tarvitsevat apua lasien piirtämisessä, varsinkin salmiakin muotoiset lasit ovat hankalia piirtää. C puolestaan ehdotti lisävalintoja, jotka vaikuttavat varmuuskertoimiin. Esimerkiksi hiontaa ei oteta huomioon varmuuskertoimissa. C myös totesi kattolasien olevan kaikista vaativampia mitoitaa ja viivakuorman olevan esillä usein isojen lasirakenteiden kohdalla, joihin valmiit taulukot eivät riitä. Loppukommenttina oli vielä erikoislaseista; ne lisääntyvät kuten isot lasikootkin, jolloin varmuuskertoimia pitäisi tarkentaa standardiin ja ohjelmaan.

## 7.6 Kehittämistarpeet

Mitoitusstandardissa SFS-EN 16612 on tehty muutamia muutoksia verrattuna kevään prEN 16612:2019 esistandardiin, jolloin LasiMitin versio 1.1 julkaistiin. Muutokset ovat varsin pieniä ja koskevat lähinnä muutamaa kerrointa.

3K kattolasien kohdalla laskentaohjelma antaa hyväksytyyn tuloksen varsin paksuin lasirakentein. Jossain tilanteissa ei sopivaa rakennetta löydy. Uloimman lasilevyn kuormitusyhdistelmät ja mitoitus toimivat oikein, mutta keskimmäisen ja sisälasin kohdalla kuormitusyhdistelmissä yhdistetään lumikuorma ja kesäajan lämpötilamuutos välitiloissa, koska nämä kuormat taivuttavat sisälasia samaan suuntaan. Lumikuorman ja kesälämpötilan muutoksen yhdistäminen samaan yhdistelmään ei ole käytännössä mahdollista. Ohjelma toimii tässä tilanteessa turhan varmasti. Nyt tarkasteltavia yhdistelmiä on yhdeksän käyttörajatilassa, kun etsitään suurinta taipumaa ja yhdeksän murtorajatilassa, kun etsitään suurinta taivutusjännitystä. Yhdistelmämäärää pitäisi siis kasvattaa.

## 8 MUUT RAKENNUSLASIN SUUNNITTELUOHJELMAT

Tuulikuormalaskurin ja lasin mitoitusohjelman lisäksi on olemassa muita lasirakenteiden suunnittelua helpottavia ohjelmia. Monet valmistajat ovat kehittäneet työkaluja, joilla voi tarkastella muun muassa rakennuksen visuaalista ilmettä tehtyjen lasivalintojen perusteella tai huonetilan päivänvalon määrää ikkunoiden sijoittelun ja koon perusteella.

### 8.1 Eristyslasin ominaisuudet

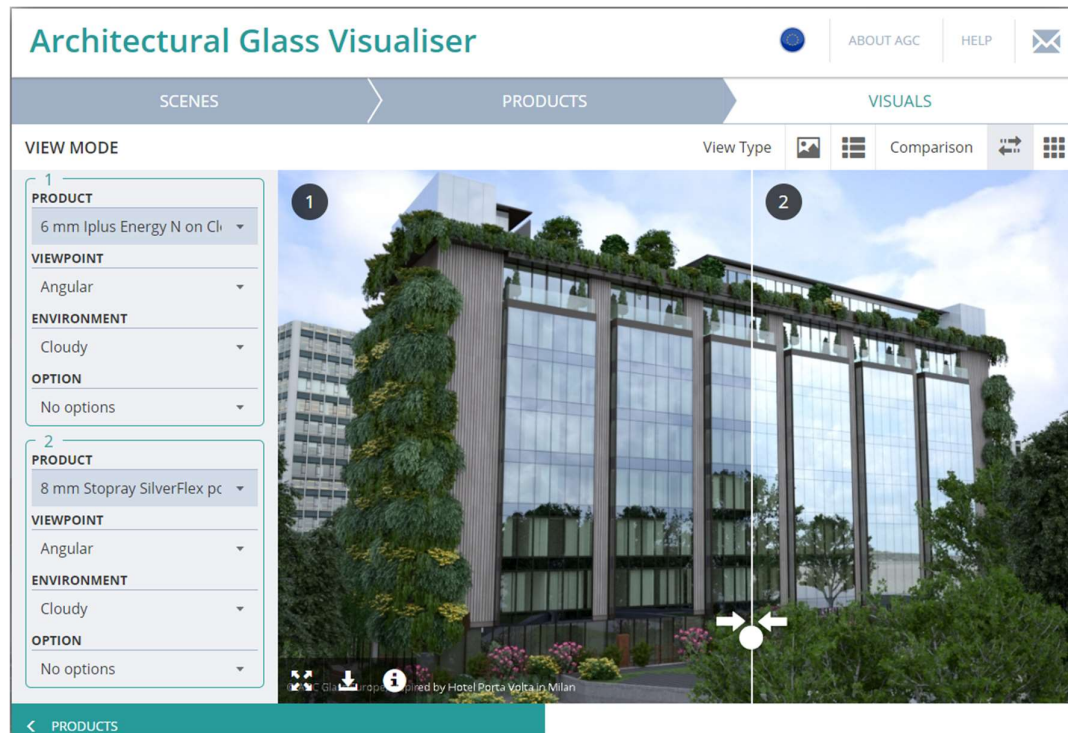
Pilkington Spectrum -ohjelmalla voi tarkastella eristyslasirakenteen tärkeimpiä ominaisuuksia tehtyjen lasivalintojen perusteella. Ohjelma määrittelee eristyslaselementin suorituskykykoodin lisäksi jossain tapauksissa muun muassa ääneneristysarvot, UV-säteilyn ja värinpuhtausindeksin (Ra). Lasirakenne voi olla 1K, 2K tai 3K sekä ikkunarakenne kuten esimerkiksi 1+1, 2+2 tai 1+3. Ohjelmassa voi lasityypin ja pinnoitteen lisäksi valita kaasun laadun ja välitilojen leveydet. Ohjelma laskee muutokset jokaisen valinnan jälkeen ja sijoittaa pinnoitteen automaattisesti oikeaan kohtaan. Yhdistelmävaihtoehtoja on lukemattomia, siten on-line version Spec-it! toiminto helpottaa valintaa, kun halutut ominaisuudet voi määrittellä ja ohjelma antaa vaihtoehdot luettelon mallisesti. Ohjelma on suomenkielinen. (Lasifakta 2018 2017, s 10.)

Myös muilta raakalasin valmistajilta löytyy vastaavia ohjelmia, sillä ominaisuudet ovat tuotekohtaisia. AGC:n ohjelma on nimeltään Glass Configurator ja Guardian Glass -yhtiön puolestaan Guardian Glass Analytics™ (AGC Glass Europe 2019; Guardian Glass 2020d). Guardianin online-sivustolla on itseasiassa viisi työkalua valittavana: Performance Calculator, Glass Visualizer, Sustainability Calculator, Building Information Modeling (BIM) Generator ja Building Energy Calculator. Lisäksi sivuilta löytyy vielä kuudes Acoustics Calculator, jolla pystyy tarkastelemaan lasirakenteen ääneneristävyyttä. (Guardian Glass 2020d.)

### 8.2 Rakennuksen ilmeen visualisointi

Architectural Glass Visualiser on AGC:n visualisointiohjelma arkkitehdeille ja suunnittelijoille. Ohjelman avulla voi ennakoida valittujen lasien todellista ilmettä rakennuksessa erilaisissa valaistusolosuhteissa. Ohjelma sisältää esimerkkirakennuksia, joihin voi valita AGC:n tuoteluettelosta erilaisia laseja. Rakenteena on 2K eristyslaselementti. Vertailtavaksi voi valita kahdeksan eristyslasiä erilaisilla ominaisuuksilla ja niiden ilme-eron

näkee kuvan 38 mukaisesti. Valaistusta voi vaihtaa pilvisestä aurinkoiseen ja hämärään. (AGC Glass North America 2017.)

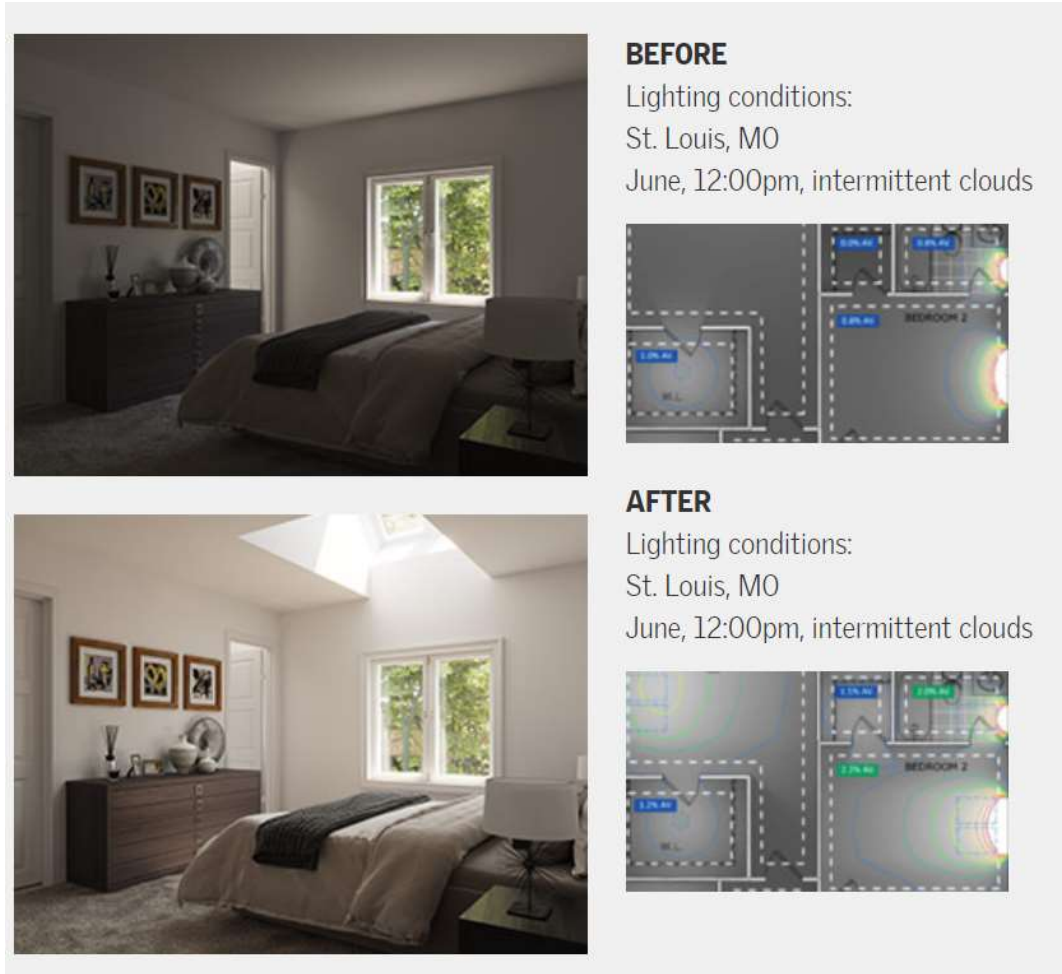


Kuva 38. AGC:n visualisointi työkalu Architectural Glass Visualiser.

Ohjelman hyvänä puolena muihin vastaaviin ohjelmiin on muutoksen vertailumahdollisuus reaaliaikaisesti. Kuvan keskellä on viivapalkki, jota voi siirtää ja vertailurakenteita saa helpolla vaihdettua seuraaviin.

### 8.3 Luonnonvalon simulointi

VELUX Daylight Visualizer on ammattilaisille tarkoitettu valaistuksen simulointityökalu, jolla pystyy tarkastelemaan rakennuksen luonnonvalo-olosuhteita. Ohjelman tarkoituksena on edistää luonnonvalon käyttöä ja auttaa suunnittelijoita havainnollistamalla ja dokumentoimalla luonnonvalon tasot ja tilan ulkonäkö ennen rakennussuunnitelman toteuttamista. Sovellus antaa konkreettista tietoa valon määrästä ja laadusta tilassa. Verrattaessa ohjelmaa 3D-visualisointiohjelmiin, on erona se, että 3D-ohjelmat tuottavat vain kuvia ilman tietoa valon määrästä ja laadusta (kuva 39). Daylight Visualizer -sovelluksen avulla saa tehtyä tietoisempia päätöksiä päivänvalon suorituskyvystä arkkitehtuurisuunnittelussa. (Velux 2016.)



Kuva 39. Luonnonvalon simulointityökalu Daylight Visualizer (Velux 2016).

#### 8.4 Laminoidun lasin lujuus

Kuraray Group:n omistama tuotemerkki Trosifol™ on Euroopassa hyvin tunnettu ja laajasti käytetty laminointikalvo. Trosifol-sivustolta löytyy laminoidun turvalasin vahvuuslaskuri, jolla suunnittelija voi mallintaa erilaisia lasiasennusratkaisuja lasityypin, välikerros- ja ulkoisten kuormien suhteen. Ohjelmalla voi tarkastella viivakuorman vaikutusta esimerkiksi alhaalta tuetun kaidelasin yläreunassa tai tilannetta, jossa tasaisesti jakautunut painekuorma ja viivakuorma vaikuttavat yhtä aikaa. Laskurin mitoituskaavat perustuvat ASTM E1300 standardiin lasin kuormituskestävyyden määrittämiseksi (Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings). (Trosifol 2020b.) ASTM International on kansainvälinen standardisoimisjärjestö, jonka standardeja käytetään etenkin Pohjois-Amerikassa.

## 8.5 Lämpörikkoriski

Pilkingtonin lämpörasituslaskin (Thermal Stress Calculator) on suunniteltu yleisohjeeksi kertomaan, voidaanko lasirakenne tehdä turvallisesti ympäristöolosuhteet huomioiden float-lasista ilman lämpökäsittelyä. Ohjelma toimii yksinkertaiselle ja kaksinkertaiselle lasitukselle. Huomioitavaa on, että kolmilasinen eristyslaselementti on monimutkaisempi rakenne kuin kaksilasinen, eikä ohjelma siten anna kuin suuntaa antavan laskelman, jos sitä soveltaa 3K rakenteeseen. Lisäksi ohjelma on suunniteltu lähinnä Pohjois-Amerikan olosuhteisiin. (Pilkington 2020f.)

Euroopan alueelle sopivampi vaihtoehto on saksalaisen valmistajan Sommer Informatik GmbH luoma ohjelma WINTHS. Ohjelma on muista edellä esitetyistä ohjelmista poiketen maksullinen, mutta se soveltuu myös 3K rakenteelle. Ohjelmaan saa asetettua paikallisen alueen olemassa olevat ilmastotiedot (keskimääräiset ja ääriarvot) ja vapaasti valittavat arvot. Pohjatietoihin saa valittua laajasti erilaisia lasilaatuja, reunan laadun, ilmävälin, kaasutäyteen, rungon tyyppin ja paksuuden tai rakenteen lämmönjohtavuuden (kuva 40). (Sommer Informatik GmbH 2020.)

The screenshot shows the WINTHS software interface. The main window displays a cross-section diagram of a glass unit with 'outside' and 'inside' labels. The diagram shows multiple layers of glass and air gaps. The software interface includes a menu bar, a toolbar, and several panels: 'Object data' on the left, 'Construction' in the center, and 'Details' on the right. The 'Details' panel shows a table of layer composition and layer information.

Nr	BE	Description	Thickness (mm)
1		PLANCLEAR...	4,00
2		PVB-fol	0,38
3		PLANCLEAR...	4,00
4		90% Argon	16,00
5		PLANCLEAR...	4,00
6		90% Argon	16,00
7		PLANTHERM...	0,00
8		PLANCLEAR...	4,00

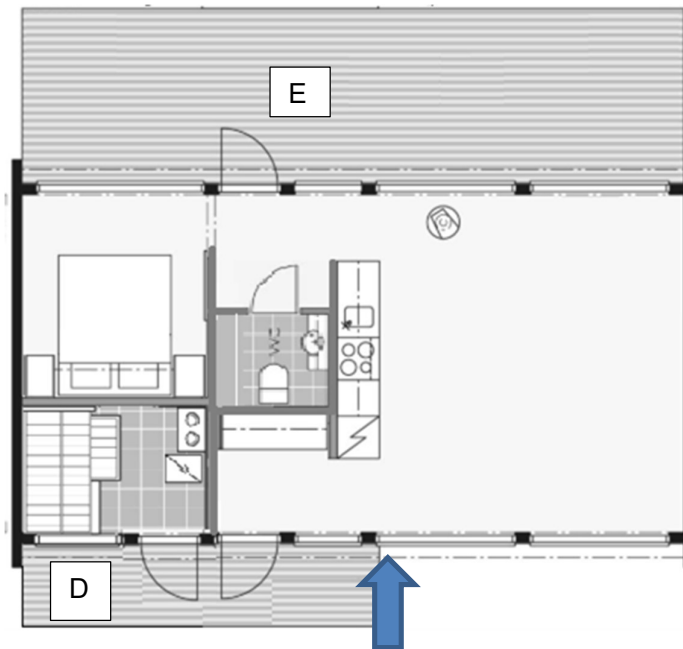
Name	PLANCLEAR
Thickness (mm)	4,00
e(corr) [EN 12898:20...	0,8374
e(corr) [EN 12898:20...	0,8374
Thermal conductivity ...	1,000
Tau (VIS)	0,905
Rho (VIS)	0,082
Rho' (VIS)	0,082
Tau (SOL)	0,870
Rho (SOL)	0,078
Rho' (SOL)	0,078
Type of glass	ANG
updated	26.11.2019

Kuva 40. Esimerkki lämpörikkoriskin laskurista (Sommer Informatik GmbH 2020).

## 9 SUUNNITTELUESIMERKKI

### 9.1 Kohteen tiedot

Tarkastellaan kohde-esimerkin avulla yksikerroksista tasakattoista asuinrakennusta, joka on suorakulmion muotoinen. Rakennuksen mitat ovat: pituus 9400, leveys 5100 ja korkeus 3300 mm. Etu- ja takaseinä ovat pääasiassa lasia ovet mukaan lukien (kuva 41). Kohde sijaitsee Etelä-Suomessa haja-asutusalueella, rannikolla, maastoluokassa 0 ja kumpareen päällä neljän metrin korkeudella vesistön pinnasta. Vallitseva tuulensuunta on merkitty sinisellä nuolella kuvaan 41.



Kuva 41. Esimerkkirakennus.

Rakennuksen eristyslaselementtien koot on koottu taulukkoon 8.

Taulukko 6. Esimerkkirakennuksen lasikoot.

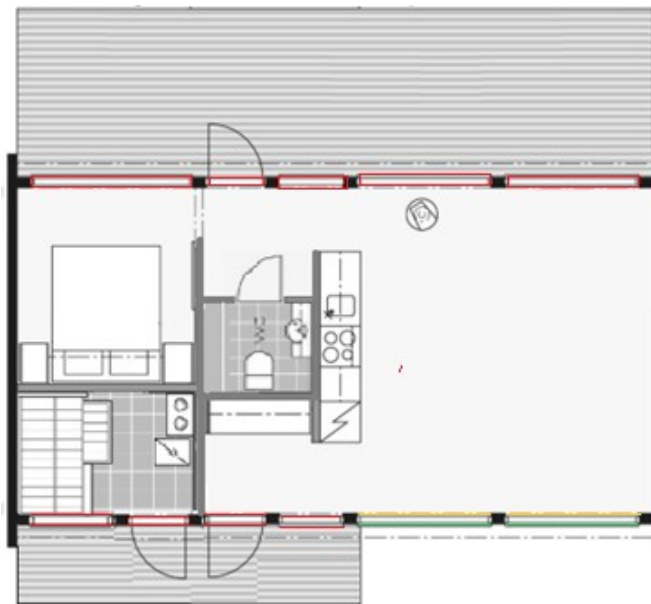
	Koko L*K (mm)
sauna 3K	1300*2290
lasiovi 3K	600*1800
tuuletusikkuna 1+2	500*2290

OH 3K	1800*2290
MH 3K	1900*2290

Kaikki rakennuksen kiinteät eristyslaselementit lähtevät 50 mm korkeudelta lattiatasosta ja ovat 2290 mm korkeita, paitsi ovien lasit. Seinä D on rakennuksen tuulenpuoleinen länsisivu, jonka välittömässä läheisyydessä on avara vesistö. Seinä E suojanpuoleinen itäisivu. Kohteessa on kaksi tulisijaa lasitusten lähellä. Seinän D kahden lasin edessä on pudotusta 2,3 m. Kohteessa ei ole varjostavia elementtejä lasitusten lähellä.

## 9.2 Lasin valinta

Tarkastellaan ensin turvalasin tarve. Rakennuskuvissa on määritelty sisäpuolen lasit turvalasiksi, mutta myös ulkopuolella terrassien kohdalla laseihin on riski törmätä, jolloin turvalasivaatimus koskee molempia lasipintoja. Seinällä D on kaksi lasia jyrkänteen kohdalla, niissä on törmäysvaaran lisäksi putoamisvaara, jolloin on käytettävä laminoitua turvalasia törmäyspuolen lasina. Uloimmalle lasille ei ole turvalasivaatimuksia kuvan 42 mukaisesti.



Kuva 42. Turvalasivaatimukset merkitty väreittäin esimerkikohteen taloon. Punainen väri tarkoittaa, että on oltava turvalasia (karkaistu tai laminoitu), keltainen laminoitua turvalasia ja vihreä ei turvalasivaatimusta.



Saunan lasit ja oleskelutilan yksi lasi sijaitsevat lähellä tulisijoja. Sisimmäksi lasiksi valitaan tällöin karkaistu turvalasi, koska se kestää hyvin lämpötilanvaihteluita ja kuumuutta toisin kuin laminoitu turvalasi. Valitaan myös terassialueiden sisimmäksi lasiksi karkaistu turvalasi yhtenäisen ilmeen luomiseksi. Uloimmaksi lasiksi valitaan laminoitu turvalasi, jolloin myös anisotropia-ilmiö vältetään.

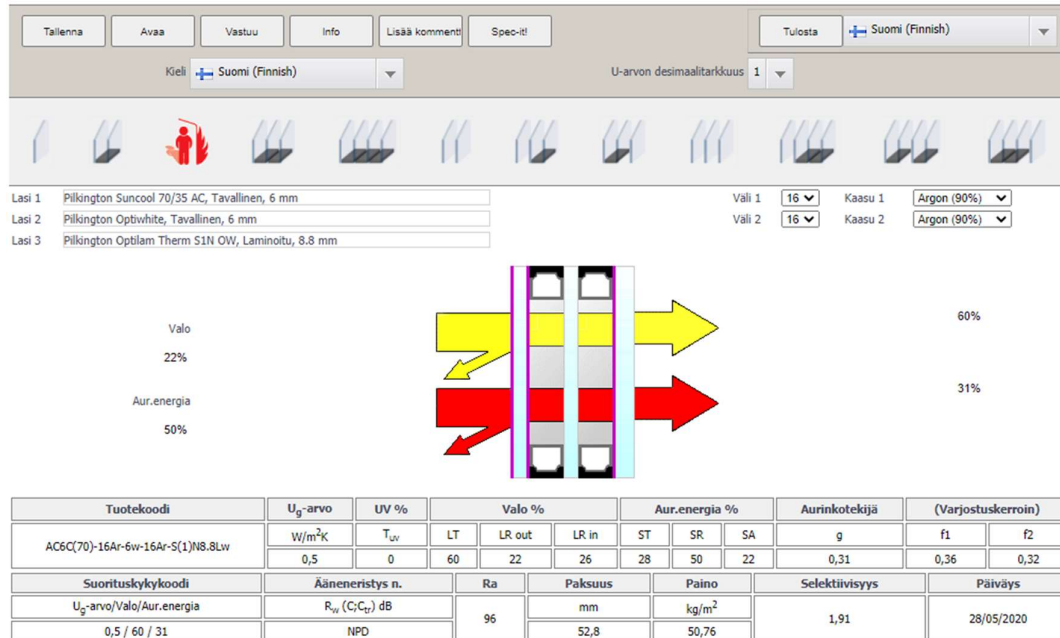
Seuraavaksi määritellään lasirakenteelle halutut ominaisuudet. Aloitetaan suorituskoodista. U-arvo vaatimus on 1,0, mutta kiinteillä eristyslaseilla on helposti saavutettavissa parempi taso. Valitaan rakenteeksi 3K eristyslaselementti ja U-arvoksi  $\leq 0,7$ . Suomen olosuhteissa 2K rakenne ei ole riittävä, vaikka vaatimustaso täytyisikin, sillä käytännössä 2K rakenteen lämmöneristävyys heikkenee, kun ulkolämpötila laskee ja tuuli voimistuu, 3K kohdalla muutos on minimaalinen (Lasifakta 2018 2017, 18). Suuren lasijulkisivun tapauksessa on tärkeää välttää kylmän hohka. Yhtenä vaihtoehtona on myös sähkölämmitteinen lasi, joka toimii myös lämmönlähteenä estäen konvektion ja eikä se myöskään päällä ollessaan huuru.

Eristyslaselementin tuotemäärittelyohjeen mukaisesti LT arvon tulisi olla  $\geq 60$  % ja hyvä auringonsuojaustaso on, kun g-arvo on  $\leq 35$  %. Auringonsuojaus on tarpeellinen, sillä rakennuksen etu- ja takaseinä ovat pääasiassa lasia, ja suuntautuvat itään ja länteen. Tarkoittaen, että aamuaurinko lämmittää kesäisin puoleen päivään ja iltapäiväaurinko iltaan asti tehden rakennuksesta tukalan kuuman ilman jäähdytyslaitetta tai varjostavia elementtejä. Ylikuumentamisen välttämiseksi on syytä valita tehokkaat auringonsuojalasisit.

Saunassa auringonsuojaus ei ole tarpeellista, mutta lukuisat pinnoitteet muuttavat lasin sävyä vihreämmäksi/tummemmaksi, jolloin saman sivun lasit kannattaa valita samanlaisella rakenteella tai pinnoitteilla.

Alhainen ikkunarakenteen U-arvo aiheuttaa herkästi huurtumista, joten uloimman lasin pinnoitteeksi valitaan vielä huurtumista vähentävä pinnoite. Lisäksi alava maasto ilman varjostavia elementtejä lisää huurtumisen riskiä, mikä voi olla häiritsevää kohteessa, jossa näkymä ulos on maksimoitu laajalla lasipinta-alalla.

Valittujen ominaisuuksien saavuttamiseksi tarkastellaan Pilkingtonin Spektrum -ohjelmalla erilaisia lasitusvaihtoehtoja. Alustavaksi rakenteeksi valitaan jyrkänten kohdalle seinälle D kuvan 43 mukainen rakenne, jonka suoritustasokoodi on 0,5/60/31.




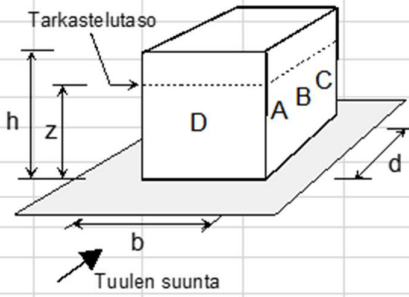
Kuva 43. Eristyslasin ominaisuuksien tarkastelu Pilkington Spectrum -ohjelmalla.

Saunan lasissa laminoitu lasi sijoitetaan uloimmaksi, jolloin rakenteelle AC8.8LC(70)-16Ar-4w-16Ar-S(3)4T saadaan suorituskykykoodiksi 0,5/60/31. Myös muut lasit valitaan saunan lasirakenteen mukaan, takasta ja yhtenäisestä ilmeestä johtuen. Seuraavaksi tarkastellaan, onko alustava rakenne mitoitusmekanisesti riittävä.

### 9.3 Tuulikuorma

Asuinrakennusten suunnitelmiin on harvoin määriteltä tuulikuormaa talotehtaan toimesta. Jotta LasiMitta -ohjelmaa voidaan käyttää, on määriteltävä tuulikuorma. Käytetään apuna SKOL ry:n Eurocode M10 -laskuria, jossa kokonaistuulikuorma määritetään osapintojen pintapaineiden avulla eli painekerroinmenetelmällä. Laskuri toimii apuna kohteissa, jotka eivät sijaitse tasamaalla kuten esimerkkitapauksessa.

Rakennuksen tiedot syötetään ohjelman lähtötiedot-sivulle, ja loput solut täytetään ohjeen RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat mukaan. Yksinkertaistamisen vuoksi sisäpuolisina painekertoimina käytetään tässä esimerkissä arvoja  $c_{pi}=+0,2$  ja  $c_{pi}=-0,3$  (RIL 201-1-2017, 163). Kuvaotteessa 44 on laskurin lähtötiedot-sivu täytettynä ja kuvaotteessa 45 on tulokset erikseen jokaiselle pystyseinalle vyöhykkeittäin.

		Rakennelaskelma	
		Tekijä:	
Rakennuskohde:	Työ no:	Päiväys: 6.12.2019	Sijainti:
Esimerkkilaskelma	1	Sisältö:	Saaristo
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan			Versio 1.6
Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
Maastoluokka = 0		Suunniteltu käyttöikä = 100 vuotta	
Tuulen nopeuden modifioimaton perusarvo = 21 m/s		Rakennuksen mitat:	
Maaston kaltevuus $\Phi = 0,50$		h = 4,2 m	
Sijaintikerroin S = 0,7		d = 5,1 m	
Ilman tiheys $\rho = 1,25$ kg/m <sup>3</sup>		b = 9,4 m	
Korkeus maanpinnasta z = 3,4 m		Sisäisen paineen kertoimet:	
Puuskanopeuspaine:		Ylipaine C <sub>pi</sub> = 0,20	
q <sub>p</sub> (z) = 1761,9 N/m <sup>2</sup>		Alipaine C <sub>pi</sub> = -0,30	
q <sub>p</sub> (h) = 1846,9 N/m <sup>2</sup>		Pinta-ala A = 10 m <sup>2</sup>	
Suurin kuorma seinässä korkeudella z:			
Suurin kuorma tasakatolla ylöspäin:			
2466,7 N/m <sup>2</sup>			
3693,8 N/m <sup>2</sup>			

Kuva 44. SKOL ry:n M10 Tuulikuorma -laskurin lähtötiedot-sivu esimerkkikohteen tiedoilla täytettynä.

Kuormat seinässä:			
Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.			
	Kuorma		Leveys
A:	2466,7 N/m <sup>2</sup>		1,68 m
B:	1761,9 N/m <sup>2</sup>		3,42 m
C:	1233,3 N/m <sup>2</sup>		0 m
D:	1896,6 N/m <sup>2</sup>		9,4 m
E:	1150,4 N/m <sup>2</sup>		9,4 m

Kuva 45. Tulokset vyöhykkeittäin.

## 9.4 Lasien mitoitus

Nyt kun tuulen paine on määritelty, tarkastellaan seuraavaksi LasiMitta-ohjelmalla seinän D saunassa sijaitsevaa eristyslaselementtiä, jonka mitat ovat 1300 x 2290 mm. Edellä kuvattujen seikkojen takia rakenteeksi on alustavasti valittu 8,8L-16Ar-4-16Ar-4(T). Eli uloimpana lasina on 4+4 mm laminoitu turvalasi kaksinkertaisella PVB-laminointikalvolla (0,76 mm), 16 mm välitila argon täytteellä, keskellä 4 mm tavallinen float-lasi, välitila ja sisimpänä lasina 4 mm karkaistu (T=tempered).

### LasiMitta 1.1 - Tasolasien mitoitusohjelma

Mitoituskohde: Esimerkki 1

**Perusrakenne:**  
 Leveys: 1 300 mm Korkeus: 2 290 mm  
 Kallistuskulma: 90 ° Ohje: kulma vaakatason ja lasilaatan tason välillä, jos alpha=0 (laatta vaakasuorassa), jos alpha=90 (laatta pystysuorassa)

Lasiruutujen lkm: 3K lasielementti  
 Lasiruutujen rakenne: 3K, uloin 2, keskimäinen 1, sisin 1 lasilevyä

**Uloimman lasiruudun ominaisuudet:**  
 Uloimman lasilevyn paksuus: 4 mm Lasityyppi: float  
 Keskim. lasilevyn paksuus: 4 mm Lasityyppi: float

**Keskimmäisen lasiruudun ominaisuudet:**  
 Uloimman lasilevyn paksuus: 4 mm Lasityyppi: float  
 Välitilan paksuus (ulompi) 16 mm

**Sisimmän lasiruudun ominaisuudet:**  
 Uloimman lasilevyn paksuus: 4 mm Lasityyppi: karkaistu

**Kuormat**  
 Tuulen paine, pystysuora: 1,89 kN/m<sup>2</sup>  
 Tuulen imu: -1,89 kN/m<sup>2</sup>  
 Lumikuorma, vaakasuora: 0,00 kN/m<sup>2</sup>  
 Ornegavakio (väliläpön leikkauksittain, jos lasiaetta on laminoitu): 0,20

Lisenssi No. 20170001 Jenni Heikkilä

**SUOMEN TASOLASISYHDISTYS RY.**

Tasolasien mitoitusohjelma  
 LasiMitta 1.1 käyttöohje löytyy alla olevasta linkistä:  
<http://www.lasimitta.fi/ohje>

Valittu rakenne:

TARKISTA KUVASTA ETTÄ RAKENNE ON LÄHTÖTIEDOIN JA LASKENNAN MUKAINEN

Tulokset	3K LASIELEMENTTI		2K LASIELEMENTTI		1K LASILAATTA		
	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	3. lasikerros
Uloin lasiruutu	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	3. lasikerros
Taivutuslujuuden käyttösuhte	1,185	1,185					
Lujuuskriteeri	alimittainen	alimittainen					
Suurin taipuma, mm	14,7						
Sallittu taipuman käyttösuhte	1,417						
Taipumakriteeri	alimittainen						
Keskimmäinen lasiruutu	1. lasikerros	2. lasikerros					
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,864						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	12,9						
Sallittu taipuman käyttösuhte	1,237						
Taipumakriteeri	alimittainen						
Sisin lasiruutu	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros			
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,198						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	12,9						
Sallittu taipuman käyttösuhte	1,245						
Taipumakriteeri	alimittainen						

Kuva 46. Esimerkkilaskelma 3K eristyslaselementistä.

Kuvan 46 mitoitusesimerkin tuloksen mukaan tuulenpuoleisen sivun eristyslaselementti on alimitoitettu jokaisen lasin kohdalta. Samoin lasiovien kohdalla rakenne on alimitoitettu.

Tosin sisäisen paineen kertoimena käytettiin vaarallisimman vaikutuksen tuottavaa arvoa. Jos sisäinen painekerroin määritetään ohjeen RIL 201-1-2017 kuvan 7.13S sivulla 162 mukaan, sivusuhte  $1/2$ ,  $c_{pi}$  on noin  $-0,1$ , mikä laskee tuulen paineen seinällä D arvoon  $1,54 \text{ kN/m}^2$ , mutta ei siltikään tee rakennetta riittäväksi.

Kelvollinen tulos saunan eristyslaselementille saadaan vaihtamalla uloimman lasiruudun paksuus  $6+6 \text{ mm}$  rakenteeksi ja sisin lasi  $6 \text{ mm}$  lasiksi, jolloin tulos on hyväksyttävä kaikkien lasiruutujen osalta (kuva 47). Kaikissa ikkunoissa käytetään huurtumisen esto pinnoitetta, jota ei ole Spectrum-ohjelman mukaan saatavana  $12,8$  laminoituna turvalasina, jolloin se täytyy jättää pois saunan lasituksesta, eikä se siinä olekaan merkittävässä roolissa.

Tulokset	3K LASIELEMENTTI		2K LASIELEMENTTI		1K LASILAATTA		
	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	3. lasikerros
<b>Uloin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	1,091	1,091					
Lujuuskriteeri	lievästi alimitt.	lievästi alimitt.					
Suurin taipuma, mm	8,4						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,809						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						
<b>Keskimmäinen lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	1,064						
Lujuuskriteeri	lievästi alimitt.	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	10,5						
Sallitun taipuman käyttösuhte	1,013						
Taipumakriteeri	lievästi alimitt.						
<b>Sisin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,210						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	9,1						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,874						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						




Kuva 47. Uloin lasiruutu muutettu  $12,8$  rakenteeksi ja sisin  $6 \text{ mm}$  lasiksi.

Jotta seinän D lasiovien ( $600 \times 1800 \text{ mm}$ ) mitoitus saadaan riittäväksi, on kaikki lasilevyt vaihdettava karkaistuiksi laseiksi. Lasioven rakenne ( $8,8L+16Ar+4+16Ar+4(T)$ ) seinällä E ei myöskään ole riittävä, vaikka tuulenpaine onkin vain  $1,15 \text{ kN/m}^2$ . Jos katsotaan liitteiden 4 ja 5 mitoitustaulukoita pienemmillä tuulenpaineilla ( $0,45$  ja  $0,5 \text{ kN/m}^2$ ), on edelleen lasirakenteen jokaisen lasin oltava karkaistua lasia johtuen lasin kapeasta muodosta.

Jyrkänteen kohdalla on elementti, jonka koko on  $1800 \times 2290 \text{ mm}$ . Alustavaksi rakenteeksi oli valittu  $6-16Ar-6-16Ar-8,8L$ , joka on uloimman lasin osalta alimittainen. Vaihetaan sisimmäksi lasiksi  $10,8L$  myöhemmän vaakakuormatarkastelun johdosta, jolloin kuvan 48 mukaisesti tulos on hyväksyttävä.

Tulokset	3K LASIELEMENTTI		2K LASIELEMENTTI		1K LASILAATTA		
	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	3. lasikerros
<b>Uloin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,836						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	14,3						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,991						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						
<b>Keskimmäinen lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,767						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	13,2						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,919						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						
<b>Sisin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,864	0,864					
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	14,7						
Sallitun taipuman käyttösuhte	1,019						
Taipumakriteeri	lievästi allmitt.						



Kuva 48. Jyrkänteen lasirakenteen mitoitustarkastelu tulokset.

Vyöhykkeillä A, B ja C ei ole lasituksia, mutta takasivulla on eli vyöhykkeellä E. Tarkastellaan seuraavaksi vyöhykkeen E lasia. Suurin niistä on eristyslaselementti, jonka mitat ovat 1900 x 2290 mm. Rakenteeksi valittiin 8,8L-16Ar-6-16Ar-6(T).

Tulokset	3K LASIELEMENTTI		2K LASIELEMENTTI		1K LASILAATTA		
	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	1. lasikerros	2. lasikerros	3. lasikerros
<b>Uloin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,589	0,589					
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	13,3						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,875						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						
<b>Keskimmäinen lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,665						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	12,4						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,816						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						
<b>Sisin lasiruutu</b>							
Taivutuslujuuden käyttösuhte	0,156						
Lujuuskriteeri	mitoitus OK	mitoitus OK					
Suurin taipuma, mm	12,8						
Sallitun taipuman käyttösuhte	0,841						
Taipumakriteeri	mitoitus OK						



Kuva 49. Seinän E lasirakenteen (1900 x 2290 mm) mitoitustarkastelu suoritettuna LasiMitta-ohjelmalla.

Kuvan 49 mukaisesti seinän E lasin mitoitus on riittävä. Myös tilanteessa, jossa puuskanopeuspaine ( $q_p(z)$ ) on  $1,76 \text{ kN/m}^2$ . Myös hieman pienemmät lasit kooltaan 1800 x 2290 mm ovat vastaavalla rakenteella riittäviä mitoitusteknisesti.

Jäljellä on vielä kaksi tuuletusikkunaa seinillä D ja E. Lasilevyjen koko on 500 x 2290 mm. Tarkastellaan ensin tuulenpuoleista sivua D ja kullekin rakenteelle erikseen

(tuulenpaine 1,89 ja imu -1,89). Ikkunan rakenne on 1+2. Uloimmaksi lasiksi valitaan 4 mm karkaistu, jolloin tulos on ok ja 2K eristyslaselementti 6-16Ar-4(T) on uloimman lasin lujuuskriteerin osalta lievästi alimittainen, muutoin mitoitus on ok. Samoin seinän E tuuletusikkuna.

Lopuksi on vielä tarkasteltava viivakuorma seinän D laselle (1800 x 2290 mm), joiden takana on pudotus, sillä käyttöturvallisuusasetuksen § 6 *tasanne* mukaan lasirakenteen on kestettävä henkilökuorma, jos putoamisvaara on olemassa. Toisin sanoen, kun lasirakenne toimii kaiteena, on sille tehtävä vaakakuormatarkastelu. Tällöin mitoituksessa on tutkittava lasilevyn kestävyys tilanteelle valitun laskentalujuuden perusteella.

Käytetään tässä apuna Turva- ja suojalasi 2015 opasta, jossa kuorman osavarmuusluku laskelmissa on 1,5 ja neljältä sivulta tuetun lasilaatan sallittu taipuma on pienimmän sivun sadasosa (L/100). Laattaa kuormittaa vaakasuuntaan vaikuttava vaakasuunnassa jakautunut viivakuorma 0,5 kN/m. Viivakuorma (käsijohdekuorma) laitetaan vaikuttamaan lattiatasosta 1200 mm:n korkeuteen.

Turva- ja suojalasi 2015 oppaan sivun 16 taulukon mukaan laminoitu turvalasi, jonka korkeus on  $\leq 2600$  ja leveys  $\leq 2000$  mm tulee olla rakenteeltaan vähintään 55.2. Oppaan taulukot perustuvat esistandardiin prEN 16612:2013.

Tarkastelujen pohjalta lasiksi valittiin taulukon 9 mukaisesti:

Taulukko 7. Esimerkkirakennuksen lasivalinnat.

	Rakenne (tuotekoodi)	U/LT/g
sauna 3 K	12,8LC(70)-16Ar-4-16Ar-S(3)6(T)	0,5/62/32
lasiovet 3K	AC8,8LC(T)+16Ar+4(T)+16Ar+S(3)4(T)	0,5/60/31
tuuletusikkunat 1+2	4(T)-30+C(70)6-16Ar-S(3)4(T)	0,8/64/38
jyrkänteen 3K	AC6C(70)-16Ar-6w-16Ar-S(3)10.8L	0,5/59/32
muut 3K	AC8.8LC(70)-16Ar-6w-16Ar-S(3)6wT	0,5/60/31

Kaikki asetetut ominaisuudet eivät toteutuneet esimerkkikohteessa. Kokonaisuuden kannalta muutamat pienet ylitykset eivät kuitenkaan haittaa. Tärkeintä on, että lasitus on turvallinen, mitoitettu oikein eikä suuri lasipinta-ala aiheuta veto-ongelmaa tai kesäajan ylikuumentumista. LT arvo ei ole tässä tapauksessa suuressa roolissa, sillä laaja lasipinta-ala takaa korkean luonnonvalon määrän. Häikäisyn estoon tosin on syytä miettiä

esimerkiksi verhoja. Huurtumatonta lasia ei saatu saunan lasiin eikä tuuletusikkunaan. Tuuletusikkunan U-arvo on kuitenkin vain 0,8, joten se tuskin huurtuu. Saunassa yleensä ollaan illalla, jolloin mahdollinen huurtuminen on jo lakannut, eikä lasi sijaitse pohjoispuolella rakennusta, vaan auringon lämpö pääsee sulattamaan lasin.

Lisäksi lasit kannattaa tilata hienoreunahiottuna ja kulmat tyssättynä, jotta lämpöriskeä voidaan vähentää.



## 10 TULOKSET

### 10.1 Vastaukset tutkimuskysymykseen

Opinnäytetyön pääkysymykseksi työn alussa on määritelty: miten rakennuslasit tulisi suunnitella Suomen olosuhteissa huomioiden lasien kestävyys, sisätilojen viihtyisyys ja toimivuus uusien vaatimusten sekä standardien perusteella?

Aihe on niin laaja, että sen mahduttaminen yhteen opinnäytetyöhön on liki mahdotonta. Tässä opinnäytetyössä on siten pyritty kokoomaan oleellimmat rakennuslasin suunnittelun aihealueet ja ilmoittamaan niiden lähteet, joista voi etsiä tarkemmat detaljit. Vastaukset pääkysymykseen löytyvät hiljattain uusituista rakennuksia koskevasta lainsäädännöstä ja tuoreista standardeista, mutta jotta niitä osaa soveltaa käytäntöön on myös tutustuttava rakennuslasien ominaisuuksiin ja niiden merkityksiin.

Vastauksena kestävyyteen, on lasirakenne ensinnäkin mitoitettava nykyaikaisilla menetelmillä ja tapauskohtaisesti huomioiden vallitsevat olosuhteet eli lasiin kohdistuvat kuormat. Mitoitusstandardit SFS-EN 16612 ja 16613 ovat ainoat ohjeet, mitä Suomessa on tällä hetkellä olemassa. Näiden ohjeiden mukaisesti laskemalla voi helpoiten todentaa lasirakenteen vaatimustenmukaisuuden mitoituksen suhteen. Näihin standardeihin perustuu myös LasiMitta-ohjelma. Se soveltuu neljältä sivulta jatkuvasti tuetun lasin mitoitamiseen.

Kestävyteen vaikuttaa mitoituksen lisäksi lasin käyttöturvallisuus. Lasituksen on vastattava käyttöturvallisuusasetuksen määräyksiä eli oltava turvalasia riskillisissä kohdissa. Riskillisiksi kohteiksi katsotaan alhaalla sijaitsevat lasit, joihin on vaara törmätä ja lasikatteet, joissa on alle jäävän haavoittumisvaara rikkotapauksissa.

Myös valittu lasityyppi, lasin leikkuureunan laatu ja ympäröivän rakenteen lämmönjohtavuus ja stabiilius vaikuttavat lasin kestävyteen. Se mikä lasityyppi sopii kyseessä olevaan kohteeseen, riippuu vaikuttavien kuormien lisäksi lasin sijoittumisesta rakennuksessa ja muista ympäristön olosuhteista. Lämpökäsiteltyjä lasilaatuja käytetään, kun rakenteelta vaaditaan lisälujuutta lämpö- ja tuulikuormaa vastaan. Laminoidun lasin kestävyteen vaikuttaa oleellisesti valittu laminointikalvo.

Rakennuksen sisätilojen viihtyisyyteen ja toimivuuteen puolestaan vaikuttaa valoaukkojen määrä, pinta-ala ja sijoittuminen sekä lasirakenteen ominaisuudet. Lasirakenteet

tarjoavat näkymän ympäristöön ja päästävät luonnonvalon lävitseen, mikä tukee ihmisen terveyttä ja vuorokausirytmää. Lasirakenteen on oltava myös kosteus- ja ääniteknisesti toimiva ja täytettävä energiavaatimukset huomioiden energiatase. Vähimmäistaso mitä julkisivun lasirakenteesta jokaisen asunnonostajan olisi syytä tarkistaa on suorituskykykoodi eli U/LT/g.

Mitä suurempi yhtenäinen lasijulkisivu on, sitä tärkeämpää on panostaa lasirakenteiden suunnitteluun, sillä valittu lasirakenne vaikuttaa oleellisesti sisätilojen viihtyvyyteen kuten häikäisyyn, ylikuumentumiseen ja veto-ongelmaan, jonka ihminen tuntee häiritseväenä kylmän hohkana ja vedon tunteena. Hyvällä lasirakenteiden suunnittelulla ja moderneilla monitoimilaseilla ehkäistään edellä mainitut ongelmat sekä samalla säästetään lattiapinta-alaa puhaltimilta ja vähennetään LVI-laitteiden tarvetta ja käyttökustannuksia.

Auringonsuojalasien merkitystä ei voi olla korostamatta suurten lasipinta-alojen ollessa kyseessä. Tehokkaat auringonsuojalasit ovat myös lämpöä eristäviä, jolla on merkitystä rakennuksen hiilijalanjälkeen ja kun rakennetaan lähes nollaenergiarakennuksia.

Toimivin lopputulos saadaan, kun rakennuksen lasituksia tarkastellaan suunnitteluvaiheessa monipuolisesti eri simulointi- ja mitoitushjelmilla sekä kun käytetään standardien mukaan valmistettuja ja testattuja rakennuslasituotteita. Lisäksi suurissa hankkeissa lasirakenteista on syytä rakentaa luonnollisen kokoiset mock-up eli mallikappaleet optisten ja visuaalisten ominaisuuksien hyväksymiseksi.

Yhteenvedona voidaan todeta, että rakennuslasien tulee kestää niihin kohdistuvat kuormat, täyttää toiminnalliset ja turvallisuusvaatimukset vaaditun käyttöiän, keskimäärin noin 50 vuoden ajan. Hyvin suunniteltuna ja toteutettuna rakennuslasi on kestävä materiaali. Sillä on erittäin korkea puristuslujuus, hyvä korroosionkestävyys sekä kierrätettävyys ja mikä tärkeintä erinomainen valonläpäisevyys. Kehitystyön tuloksena lasirakenteet ovat entistä energiatehokkaampia. Erilaiset pinnoitteet vaikuttavat energiatehokkuuden lisäksi puhdistusominaisuuksiin ja auringonsuojaukseen. Lisäksi lasirakenteet ovat entistä suurempia ja oikein toteutettuna myös turvallisempia. Riittävän osaamisen ja modernien tietokoneohjelmien avulla lasirakenteen lujuus voidaan määrittää tarkemmin ja tehdä lukuisia vertauksia entistä nopeammin. Tehtävä on kuitenkin haastava, sillä lasirakenteen kestävyys ja toimivuus vaikuttaa moni seikka, joita on käyty läpi tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 4. Yhteenvedona opinnäytetyön aiheista olen koonnut suunnittelijan muistilistan, joka löytyy liitteestä 5.

## 10.2 Jatkotoimenpiteet

Tämän opinnäytetyön asiasisällöstä on mahdollista laatia Suomen Tasolasiyhdistykselle vielä laajempi suunnittelijan opas lisäten tietoa palonsuojauksesta ja vesitiiveydestä sekä tiivistäen lainsäädännöllistä osuutta ja avaten laajemmin mitoitusteknistä puolta. Lisäksi LasiMitta-ohjelmaan olisi syytä tehdä julkaistujen mitoitustandardien mukaiset muutokset ja korjata ohjelman laskentakaavat sopimaan paremmin myöskin virolle lasirakenteelle.

## 10.3 Loppusanat

Tämän suunnittelijan oppaana toimivan opinnäytetyön kirjoittamiseen tarvittiin kokonainen kylä. Ilman keskusteluita, lukuisia sähköpostiviestejä, joita olen käynyt laajan asiantuntijajoukon – yhdistyksen hallitusten jäsenten, etenkin teknisen työryhmän jäsenten, rakennusvalvonnan työntekijöiden, muiden rakennusalan yhdistysten edustajien kanssa tai ilman lasialan artikkeleita, kirjoja ja seminaareja, joihin olen työni kautta saanut tutustua, tätä opasta ei olisi syntynyt. Ja toimiakseen monipuolisempaan suunnittelijan oppaana, tarvitaan vielä jatkotoimenpiteitä – lisää jäsentelyä ja tietoa. Toisaalta tiivistämistä. Opas toimii kuitenkin kokoomateoksena ja hyvänä tietolähteenä aloittelevalle lasialan suunnittelijalle.

Suomen Tasolasiyhdistyksen työntekijänä olen päässyt vaikuttamaan tässä oppaassa mainittuun ja hiljattain päivitettyyn käyttöturvallisuusasetukseen ja siihen liittyvään ohjeistukseen, jolloin perustelumistioiden ja ohjeiden taustat ovat olleet tiedossani. Työni ansiosta olen myös osannut tuoda tässä opinnäytetyössä esiin niitä epäkohtia ja puutteita, jotka nousevat esille toistuvasti.

Opinnäytetyö ei siis ole yksin minun aikaansaannostani vaan koonti lasi- ja rakennusalan ammattilaisten asiantuntijuudesta. Työtäni ovat tukeneet väsymättömästi ja kannustaen erityisesti Paavo Hassinen, Tahvo Sutela ja Timo Saukko. Heille kuuluu iso kiitos asiantuntijuudesta ja avusta.

Se, että opinnäytetyöstä muodostui kirja, johtunee motivaatiostani oppia uutta ja ymmärtää syvemmin syysseuraus suhteita. Kiehtovinta lienee ollut tutustua luonnonvalaistukseen ja sen merkitykseen ihmisen hyvinvoinnille. Vaikeinta puolestaan lasin mitoituksen laskentakaavat, jotka surutta jätin standardien sivuilta luettavaksi. Osaamattomuuteni lasirakenteeseen vaikuttavien kuormien määrittämiseksi johti siihen, että opetelin ne RIL:n kirjoja sitkeästi tavaamalla.

Lasirakenteita käsitteleviä suomalaista kirjallisuutta on hyvin vähän, jolloin koin tärkeäksi kirjoittaa siitä ajantasaisen oppaan, joka olisi voinut olla myös nimeltään rakennuslasin perusteet. Kirjoittaessani olen oppinut valtavasti lisää, mikä auttaa jokapäiväisessä työssäni Suomen Tasolasiyhdistyksessä.

## LÄHTEET

AGC Glass Europe 2019. Glass Configurator. Viitattu 5.4.2020 <https://www.agc-yourglass.com/configurator/en>

AGC Glass Europe 2020. Heat Strengthened Glass. Viitattu 21.3.2020 <https://www.agc-yourglass.com/gb/en/type-of-glass/heat-strengthened-glass>

AGC Glass North America 2017. AGC Launches Architectural Glass Visualizer. Viitattu 4.4.2020 <https://www.agcglass.com/press-media/agc-launches-architectural-glass-visualizer>

AGC. Glass unlimited, English 2014-2015. 431 s.

Almstedt, L-Å.; Carlson, P-P.; Grange, T. & Ödesjö, M. 2017. Bygga med glas. Ruotsi: Östertälje Tryckeri AB. 145 s. ISBN 978-91-639-5759-8.

Arcon Flachglas-Veredlung GmbH & Co 2020. Anisotropy in glass – what is it? Viitattu 25.4.2020 <https://arcon-glas.de/en/products/anisotropy-in-glass.html>

Bundesverband Flaschglas e.V. 2016. BF-Information 006/2016. BF Information on subsequently affixed films. 2 s. Viitattu 20.3.2020 [https://www.flachglas.de/fileadmin/user\\_upload/download/Mediathek/Zertifikate/BF-Merkblaetter/Englisch/BF\\_Information\\_006-2016\\_-\\_Nacht-raeglich\\_angebrachte\\_Folien\\_EN.pdf](https://www.flachglas.de/fileadmin/user_upload/download/Mediathek/Zertifikate/BF-Merkblaetter/Englisch/BF_Information_006-2016_-_Nacht-raeglich_angebrachte_Folien_EN.pdf)

Buildings 2014. Not all birds benefit from UV Glass. Viitattu 3.3.2020 <https://www.buildings.com/article-details/articleid/18126/title/not-all-birds-benefit-from-uv-glass>

CMSWillowbrook, Inc 2019. Architectural terms “Spandrel”. (More than just spandrel glass!). Viitattu 7.4.2019 <http://www.cmswillowbrook.com/constructorknowledge/2015/2/27/architectural-terms-spandrel-more-than-just-spandrel-glass>

Decourcelle, R.; Kaminski, G. & Serruys, F. 2017. Controlling Anisotropy. GPD Glass Performance Days 2017. Viitattu 5.2.2018 <https://gii-fi-bin.directo.fi/@Bin/214a642d14da22ca37ffba16ed97fc4d/1587797890/application/pdf/184088/Fran-cis%20Serruys%20-%20Anisotropy.pdf>

Euroopan parlamentti 2019. Energiatohokkuus. Viitattu 25.9.2019 <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/69/energiatohokkuus>

Färm, R. 2018a. Taking control of anisotropy in tempering process: The new way. Viitattu 15.12.2018 <https://gpd.fi/speakers/farm-riku/>

Färm, R. 2018b. Taking control of anisotropy. New tempering solution. Viitattu 15.12.2018 <http://www2.glaston.net/gpd2017-towards-better-anisotropy>

Finnglass Oy 2020a. Lämpökäsitelty lasi. Viitattu 21.3.2020 <https://www.finnglass.com/fi/tuotteet/lampokasitelty-lasi#lasiamme>

Finnglass Oy 2020b. Sähkölämmitteinen lasi. Viitattu 21.3.2020 <https://www.finnglass.com/fi/tuotteet/lampokasitelty-lasi#lasiamme>

Finnglass Oy 2020c. Sähkökromaattinen lasi. Viitattu 30.3.2020 <https://www.finnglass.com/fi/tuotteet/sahkolammitetty-lasi>

Glascentrum. 2016. Guide för glasval för glassäkra miljöer. Viitattu 18.11.2019 <https://www.glascentrum-mtk.se/>

Glass Academy 2016. Heat Strengthened Glass. Viitattu 7.4.2019 <http://www.glass-academy.com/heat-strengthened-glass/>

Glass and Glazing Federation (GGF) 2013. GGF Safety and Security Glazing: Good Practice Guide. Iso-Britannia. 175 s.

Glass for Europe 2019. The Energy Performance of Buildings Directive, Implementation guidance. Raportti perustuu tutkimukseen Potential impact of high-performance glazing on energy and CO2 savings in Europe, TNO, 2019. Saatavissa selainversio: [https://glassforeurope.com/wp-content/uploads/2019/04/EPBD\\_guidance\\_webversion.pdf](https://glassforeurope.com/wp-content/uploads/2019/04/EPBD_guidance_webversion.pdf)

Glazcon 2018. Breaking It Down – 3 Common Glass Types. Kuva. Viitattu 5.4.2020 <https://www.glazcon.com/glass-types-explained/>

Guardian Glass 2019a. Glass basics. Viitattu 17.12.2019 <https://www.guardianglass.com/us/en/tools-and-resources/library/glass-basics>

Guardian Glass 2020a. Float glass. Viitattu 20.3.2020 <https://www.guardianglass.com/eu/en/products/glass-type/float-glass>

Guardian Glass 2020b. Heat Soaking. Viitattu 21.3.2020 <https://www.guardianglass.com/eu/en/tools-and-resources/resources/glass-glossary/heat-soaking>

Guardian Glass 2019b. Heat-Strengthened Glass. Viitattu 7.4.2019 <https://www.guardianglass.com/commercial/ToolsandResources/Resources/GlossaryandTerms/Heat-StrengthenedGlass/index.htm>

Guardian Glass 2019c. Heat Strengthened and Fully Tempered Glass. Viitattu 7.4.2019 <https://www.guardianglass.com/us/en/tools-and-resources/library/faqs/commercial/heat-strengthened-and-fully-tempered>

Guardian Glass 2020c. Bird Friendly Glass. Viitattu 3.3.2020 <https://www.guardianglass.com/us/en/products/glass-type/bird-friendly>

Guardian Glass 2020d. Guardian Glass Analytics. Viitattu 5.4.2020 <https://glassanalytics.guardian.com/app/configure>

Gustafsson, A. 2019. Parvekelasitus säästää sekä energiaa että ilmastoa. Viitattu 23.3.2020 <https://lumon.com/fi/meista/ajankohtaista/parvekkeen-lasitus-saastaa-seka-energiaa-etta-ilmastoa>

Hassinen, P. 2020. Siltatekniikan ja lasirakenteiden asiantuntija. Keskustelut 2020.

Havukainen, H. 2019. Myyntipäällikkö. Sähköpostiviesti 26.2.2019. Inlook Oy.

Heikkilä, J. 2011. Lasinkierrätys kannattaa. Selvitys. Uusioaines Oy.

Heikkilä, J. 2019a. Kemiallisesti lujitettu lasi. Lasin Maailma. Vol. 29:2. S. 19–20.

Heikkilä, J. 2019b. Rikkoutumaton eristyslasi. Lasin Maailma. Vol. 31:4. S. 15–18.

hEN Helpdesk 2019. Suunnittelun tuotemäärittely rakennustuotteille. Viitattu 25.3.2020 <http://www.henhelpdesk.fi/suunnittelun-tuotemaarittelyt.html>

Huizenga, C.; Abbaszadeh, S.; Zagreus, L. & Arens, E. 2006. Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, 3. painos, 393-397 s. Viitattu 29.4.2020 <http://escholarship.org/uc/item/7897g2f8>

- Huston, G. 2012. Kuva. Viitattu 3.3.2020 <https://jp.mongabay.com/2012/11/house-windows-may-kill-22-million-canadian-birds-each-year-2>
- Ilmatieteen laitos 2020. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Viitattu: 26.5.2020 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>
- Kotilainen, H. 2010. Valon välttämättömyys. Viitattu 26.11.2018 <http://www.muistiasiantuntijat.fi/memo.php?udpview=read&src=db25114&sid=151&lang=fi>
- Kunnari, N. 2015. Lasirakenteiden mitoitusohje. Insinööriyö. Rakennustekniikka. Helsinki: Metropolian Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.3.2020 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504224754>
- Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa. Wood Focus Oy. 110 s. Viitattu 28.3.2020 <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>
- Lasifakta 2018 2017. Pilkington Lahden Lasitehdas Oy. 80 s.
- Lipasto 2020. Lipasto yksikköpäästötietokanta. Viitattu 28.5.2020 [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaas-tot/guide\\_tie.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaas-tot/guide_tie.htm)
- Lukkarinen, P. 2017a. Muistio 20.12.2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Ympäristöministeriö. 13 s. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/numero/%7B4346D32A-EBB4-4EA9-B20B-EFED9738B268%7D/133774>
- Lukkarinen, P. 2017b. Muistio 20.12.2017. Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista. Ympäristöministeriö. 8 s. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/numero/%7B3A8D0AB6-AEA1-41B2-97CC-5A69ABEBB9CC%7D/133775>
- Lumon Group 2020a. Laminoitu turvalasi. Viitattu 21.3.2020 <https://lumon.com/fi/ammattilaisille/turvalasit/laminoitu-turvalasi>
- Lumon Group 2020b. Karkaistu turvalasi. Viitattu 21.3.2020 <https://lumon.com/fi/ammattilaisille/turvalasit/karkaistu-turvalasi>
- Luukko, K. 2019. Päästöissä on eroja. Helen Sähköverkko Oy. Viitattu 11.2.2020 <https://www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2019/p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6iss%C3%A4-on-eroja>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
- MOTIVA 2019. Hallitse huonelämpötiloja. Viitattu 30.4.2020 [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/hyva\\_arki\\_kotona/hallitse\\_huonelampotiloja](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/hallitse_huonelampotiloja)
- Ohtamaa, T. 2020. Operatiivinen johtaja. Sähköposti 12.2.2020. BestGlass Oy.
- Okkolin, J. 2019. Toimitusjohtaja. Sähköposti 18.12.2019. OKLINE Oy.
- Patola, V. 2015. Killing the glass ghost: how to eliminate white haze from tempered glass? Glaston Corporation. Viitattu 25.4.2020 <https://www.glastory.net/killing-the-glass-ghost-how-to-eliminate-the-white-haze-from-tempered-glass/>
- Peda.net. Miksi esineet näyttävät eri valossa eri värisiltä? Kuva. Viitattu 28.5.2020 <https://peda.net/yl%C3%B6j%C3%A4rvi/peruskoulut/yy/7-9-luokat/fysiikka/valo-ja-v%C3%A4ri/menevev>
- Pilkington 2019. Lasin koostumus. [Viitattu 17.12.2019]. Saatavissa: <https://www.pilkington.com/fi-fi/tietoa-yhtiosta/mita-lasi-on/lasin-koostumus>

- Pilkington 2020a. Kuva. Viitattu 20.3.2020 <https://www.pilkington.com/-/media/pilkington/site-content/uk/reference/floatplant.jpg>
- Pilkington 2020b. Oikea lasi oikeaan paikkaan. Viitattu 22.3.2020 <https://www.pilkington.com/fi-fi/news-insights/latest/oikea-lasi-oikeaan-paikkaan>
- Pilkington 2020c. Pilkington OptiView™ Tuoteperhe. Viitattu 22.3.2020 <https://www.pilkington.com/fi-fi/tuotteet/tuotteen-hyodyt/erikoislasit/pilkington-optiview#yleist>
- Pilkington 2020d. Pilkington Optishower™. Viitattu 30.4. <https://www.pilkington.com/fi-fi/tuotteet/tuotteen-hyodyt/erikoislasit/pilkington-optishower>
- Pilkington 2020e. Householders FAQs - Windows and Conservatories. Why have I got a haze/milky appearance on my windows? Viitattu 25.4.2020 <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/householders/faqs/windows-and-conservatories>
- Pilkington 2020f. Thermal Stress Calculator. Viitattu 7.4.2020 <https://www.pilkington.com/en/us/window-manufacturers/tools-and-calculators/thermal-stress-calculator>
- Puuinfo 2013. Energiaikkunoiden huurtumista ei tarvitse pitää normaalina. Viitattu 25.4.2020 <https://www.puuinfo.fi/tiedote/energiaikkunoiden-huurtumista-ei-tarvitse-pit%C3%A4%C3%A4-normaalina>
- Rahikkala, J. 2018. Hallituksen jäsen. Sähköpostiviesti 12.11.2018. Lasifakta Oy.
- Rahikkala, J. 2020. Senior Technical Sales Manager. Sähköpostiviesti 28.2.2020. NSG Pilkington.
- Rainamo, M. & Riikonen, M. 1999. Lasirakentajan käsikirja. Entrepres Oy. 160 s.
- Rakla Oy. 2020. Moderneissa kylpyhuoneissa yhdistyvät äly, kauneus ja tehokkuus. Viitattu 29.4.2020 <https://www.rakla.fi/ckeditor/plugins/fileman/Uploads/Files/Rakla%20-%20Saunatalo%20-tiedote%20kuvilla%204.2.2020.pdf>
- Reynolds, S. 2016. Swift Glass. Thermal Glass Tempering vs. Chemical Strengthening: What's the Difference? Viitattu 7.4.2019 <https://www.swiftglass.com/blog/thermal-glass-tempering-vs-chemical-strengthening-whats-difference/>
- Riikonen, M. 2014. Lasi kalenteri 2014. 13. painos. Helsinki: Suomen Kalenterit Oy.
- RIL 198-2001. 2001. Valoaläpäisevät rakenteet. Yleisjäljennös Oy: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 206 s. ISBN 951-758-416-4.
- RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Grano Oy: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 210 s. ISBN 978-951-758-609-2.
- RIL 272-2019. 2019. Parveke- ja terassilasitus rakennusosana. Määräykset, ohjeet ja toimivat käytännöt. Hansaprint Oy: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 174 s. ISBN 978-951-758-645-0.
- RT 07-11300. 2018. Aurinkosuojaus. RT-ohjekortti. Rakennustieto. 12 s.
- RT 38-10941. 2008. Eristyslasit. RT-ohjekortti. Rakennustieto. 20 s.
- Sageglass. Natural light done right. Viitattu 20.3.2020 <https://www.sageglass.com/en/products/sageglass>
- Saint-Gobain. World leader in coated glass. Viitattu 28.3.2020 <https://www.saint-gobain.com/en/solutions/technological-materials/world-leader-coated-glass>
- Saukko, T. 2019. Toimitusjohtaja. Sähköpostiviesti 18.4.2019. Finnglass Oy.



- Saukko, T. 2020a. Toimitusjohtaja. Keskustelu 29.4.2020. Finnglass Oy.
- Saukko, T. 2020b Electrically heatable low-e glass. Finnglass Oy. Viitattu 30.4.2020 <https://www.finnglass.com/news>
- Saukko, T. 2020c. Toimitusjohtaja. Sähköpostiviesti 17.4.2020. Finnglass Oy.
- Saukko, T. 2020d. Toimitusjohtaja. Sähköpostiviesti 1.4.2020. Finnglass Oy.
- Schlosser, N. 2019. Quality Control and Specification for Distortions of Curved Glass. Glass on Web. Ensin esitetty GPD-tapahtumassa 27.6.2019. Viitattu: 16.1.2020 <https://www.glassonweb.com/article/quality-control-and-specification-distortions-curved-glass>
- Seloy Oy 2020a. Selektiivilasit. Viitattu 29.5.2020 <https://www.seloy.fi/selektiivilasit>
- Seloy Oy 2020b. TPS-BU-ERISTYSLASIT. Viitattu 27.5.2020 <https://www.seloy.fi/tps-bu-eristyslasit>
- SFS-EN 12150-1:2015. 2015. Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 1: Määritelmä ja kuvaus. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 67 s.
- SFS-EN 12600:en. 2003. Glass in building. Pendulum test. Impact test method and classification for flat glass. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 41 s.
- SFS-EN 12758:2019. 2019 Rakennuslasit. Lasirakenteet ja ilmaääneneristävyys. Tuotekuvaukset, ominaisuuksien määrittäminen ja lisätarkastukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 27 s.
- SFS-EN 1279-6:2018. 2018. Rakennuslasit. Eristyslasit. Osa 6: Tuotannon sisäinen laadunvalvonta ja määräaikaistestit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 98 s.
- SFS-EN 16612:2019:en. 2019. Glass in building. Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 45 s.
- SFS-EN 16613:2019:en. 2019. Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 20 s.
- SFS-EN 17037:2018:en. 2018. Daylight in Buildings. SESKO ry. 58 s.
- SFS-EN 1991. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 572-2:2012. 2012. Rakennuslasit. Perustuotteet. Soodakalkkisilikaattilasi. Osa 2: Float-lasi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 24 s.
- SFS-EN ISO 12543-2. 2013. Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Osa 2: Laminoitu turvalasi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 18 s.
- Sheppard, C. & Phillips, G. 2015. Bird-Friendly Building Design. 2nd Ed. The plains, VA: American Bird Conservancy. 60 s.
- Sommer Informatik GmbH 2020. WINTHS. Viitattu 7.4.2020 <https://www.sommer-informatik.com/WinTHS/index.php/en/winths-en/>
- Stanek Windows 2017. What is Low-e Glass & Does it Make Windows Energy Efficient? Viitattu 29.5.2020 <https://www.stanekwindows.com/what-is-low-e-glass-and-does-it-make-windows-more-energy-efficient.aspx>
- Suomen LVI-liitto SuLVI ry 2017. Uusi asetus rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta sekä FINVACin oppaat julkaistu. Viitattu 29.4.2020 <https://sulvi.fi/uusi-sisailma-ja-ilmanvaihto-asetus/>
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017a. Lasipintojen puhdistusohje, ohjekortti No. 4. Viitattu 30.4.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjekortit/>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2017b. Tiedote. LasiMitta 1.0 on valmistunut. 1 s. Viitattu 13.3.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/@Bin/186399/Esite%20LasiMitta%201%2020170607.pdf>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018a. Ohje, Käyttöturvallisuus, Lasirakenteet. Julkaisuersio 3, luonnos. Viitattu: 30.12.2019 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/@Bin/196671/Ohje+K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuus+lasirakenteet+jv3+20181015.pdf>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018b. Ikkunan ulkopinnan huurtuminen. Viitattu 19.9.2019 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/@Bin/195978/Huurtuminen+20180920.pdf>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a. Käyttöturvallisuus, Tarkennus käyttöturvallisuusohjeistukseen 14.8.2019. Viitattu 19.3.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/turva-ja-suojalasi/kayttoturvallisuus/>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b. Ohjekortti No. 1, karkaistu turvalasi. Viitattu 16.1.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c. Ohjekortti No. 2, laminoitu turvalasi. Viitattu 20.3.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019d. Takuuehdot. Viitattu 29.5.2020 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020a. Lausunto tasolasin tarkastelusta 26.3.2020.

Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020b. Teknisen ryhmän keskustelu 27.3.2020.

Suomen Tasolasiyhdistys ry. Sisäolosuhteet kuntoon sähkölämmitteisten lasien avulla. Viitattu 30.3.2020 <https://tasolasiyhdistys-fi-bin.directo.fi/@Bin/c1112c3c47b8ab3b6743918f4fd7a2/1585578735/application/pdf/211847/Sis%c3%a4olosuhteet%20kuntoon%20s%c3%a4hk%c3%b6lasien%20avulla.pdf>

Sutela, T. 2020. Toimitusjohtaja. Keskustelu 26.5.2020. Lasifakta Oy.

Szewczyk, M. 2019. Hiiliriippuvainen Puola etsii vaihtoehtoisia energianlähteitä EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Viitattu 11.2.2020 <https://www.marketopportunities.fi/home/2019/hiiliriippuvainen-puola-etsii-vaihtoehtoisia-energiälähteitä-eun-ilmastotavoitteiden-saavuttamiseksi/>

Talotekniikkateollisuus ry 2014. Kodin hyvä sisäilma. Viitattu: 30.4.2020 <https://www.rakla.fi/ckeditor/plugins/fileman/Uploads/Files/Rakla%20-%20Saunatalo%20tiedote%20kuvilla%204.2.2020.pdf>

Tambest Oy 2019. Taivutetut lasit. Viitattu 7.4.2019 <http://www.tambest.fi/tuotanto/taivutetut-lasit/>

Tham, K.W.; Willem, H.C.; Sekhar, S.C.; Wyon, D.P.; Wargocki, P. & Fanger, P.O. 2003. Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers (study of a call centre in the topics). Healthy Buildings 2003 – Proceedings 7th International Conference. 7-11.12.2003. National University of Singapore. Vol. 3. S. 280-286.

Topten-rakennusvalvonnat 2019. Yhtenäiset käytännöt 117 j 02, asuin- ja työtilojen ikkunapinta-ala. Viitattu 15.3.2020 <http://www.pksrava.fi/doc/tulkintakortit/MRL-117j02.pdf>

Trosifol 2020a. SentryGlas®. Kurarey Europe GmbH. Viitattu 20.3.2020 <https://www.trosifol.com/products/architecture/trosifolr-structural-security/sentryglasr/>

Trosifol 2020b. Strength of Glass Calculator. Kurarey Europe GmbH. Viitattu 7.4.2020 <https://www.trosifol.com/architectsengineerscorner/>

Tulli 2019. Uljas tietokanta. Tilasto-otos 2019. <https://uljas.tulli.fi/uljas/>

Turva- ja suojalasit 2015. Suomen Tasolasiyhdistys ry. Opasvihko. 31 s.

Uusioaines Oy 2015. Tasolasin kierrätystilastot. Excel-taulukko.

Uusioaines Oy 2018. Tasolasin kierrätysopas. Viitattu 18.8.2019 <https://www.uusioaines.com/wp-content/uploads/Uusioaines-tasolasin-lajitteluopas-2018.pdf>

Velux 2018a. Forward through feedback, Issue 29. Viitattu 26.1.2018 <https://www.velux.com/daylight-and-architecture>

Velux 2018b. People perform better in daylight environments. Viitattu 26.1.2018 <https://www.velux.com/deic/daylight/benefits-of-daylight>

Velux 2016. Daylight Visualizer. Viitattu 7.4.2020 <https://www.velux.com/article/2016/daylight-visualizer>

Vikberg, H. 2014. Valoisa asunto. Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa. Diplomityö. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos. Espoo: Aalto yliopisto. Viitattu 26.1.2018 [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15528/master\\_Vikberg\\_Hanna\\_2014.pdf;jsessionid=1EC2BA8630C085D6D1C9D52E35E5306E?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15528/master_Vikberg_Hanna_2014.pdf;jsessionid=1EC2BA8630C085D6D1C9D52E35E5306E?sequence=1)

Vikberg, H. 2019. Olemmeko unohtaneet päivänvalon? Lasin Maailma. Vol. 31:4. S. 12–14.

Vikberg, H.; Lylykangas, K. & De Luca, F. 2019. Päivänvalo-olosuhteiden arviointi- ja ohjausmenetelmät. Tallinn University of Technology, selvitys. Viitattu 23.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B9C1BB3E7-4C48-48CA-812A-7EA9A716248B%7D/156355>

Vitkala, J. 2019. Global Glass Trends – 2019. Yhteenveto esitysaineisto GPD 2019 tapahtumasta. Alkuperäinen kuva: Karl Stefan Dewald, Schüco International KG.

Vitro Architectural Glass 2020a. Solar Control Low-E Glass for Warmer Climates. Viitattu 27.5.2020 [http://www.vitrowindowglass.com/window\\_glass/solarcontrol\\_lowe.aspx](http://www.vitrowindowglass.com/window_glass/solarcontrol_lowe.aspx)

Vitro Architectural Glass 2020b. Preventing Thermal Stress Breakage. Viitattu 31.3.2020 <http://glassed.vitroglazings.com/topics/preventing-thermal-stress-breakage>

Ympäristöministeriö 2016. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Viitattu 1.4.2020 [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden\\_lujuus\\_ja\\_vakaus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus)

Ympäristöministeriö 2019. Tiedote 22.3.2019. Ääneneristysvaatimuksia melualueilla täsmennetään asetusmuutoksella. Viitattu 1.4.2019 [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Aaneneristysvaatimuksia\\_melualueilla\\_tas\(49762\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Aaneneristysvaatimuksia_melualueilla_tas(49762))

Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 1008/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. Annettu Helsingissä 24.11.2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 ja 6 §:n muuttamisesta 360/2019. Annettu Helsingissä 22.3.2019.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.

ZVEI LightingEurope, German Electrical and Electronic Manufacturer's Association (ZVEI) 2013. Market Study, Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency. Viitattu 15.11.2018 [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2013/Oktober/Market\\_Study\\_\\_Human\\_Centric\\_Lighting/Market-Study-Human-Centric-Lighting.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2013/Oktober/Market_Study__Human_Centric_Lighting/Market-Study-Human-Centric-Lighting.pdf)

## Tuotemäärittelyohjeet

Eristyslaseja koskevat standardit, ominaisuudet ja vaatimukset.

Ominaisuus	Vaatus EN 1279-5 Eristyslasit
Palonkestävyys [EI]	Esitettävä, jos tuotteelle on palonkestävyysvaatimuksia
Palokäyttäytyminen [A1...F]	Esitettävä rakennusten paloturvallisuudesta säädetyn ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) mukaisesti
Ulkopuolinen palokäyttäytyminen [B <sub>ROOF</sub> (2), F <sub>ROOF</sub> ]	B <sub>ROOF</sub> (2), jos tuotetta käytetään vesikatoissa
Luodinkestävyys [BR1...BR7], [SG1, SG2], [NS, S]	Esitettävä luodinkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään luodinsuojana
Rajähdyspaineenkestävyys [ER1...ER4]	Esitettävä rajähdyspaineenkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään rajähdyksensuojana
Murronkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilkivalta [P1A...P5A]</li> <li>• Murtautuminen [P6B...P8B]</li> </ul>	Finanssiala ry:n Rakenteellinen murtosuojausohje: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luokka 1 = Ei vaatimuksia</li> <li>• Luokka 2 ≥ P4A</li> <li>• Luokka 3 ≥ P6B</li> </ul>
Iskunkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>• Testiheilurin pudotuskorkeuden (1200 mm, 450 mm, 190 mm) mukaan [1, 2, 3]</li> <li>• Rikkoutumistavan (tavallinen, laminoitu, karkaistu) mukaan [A, B, C]</li> </ul>	Esitettävä iskunkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään turvalasina <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei törmäysvaaraa: Ei vaatimuksia</li> <li>• Törmäysvaara: Karkaistu lasi 1(C)3 tai Laminoitu lasi 2(B)2</li> <li>• Törmäys- ja putoamisvaara: Laminoitu lasi 2(B)2</li> </ul>
Lämpöjännitystenkestävyys [Hyväksyty]	Esitettävä standardin EN 1279-1 kohdan 5.2 mukaiset komponentikohtaiset yleiset arvot. Tuotteen oltava standardin EN 1279-1 mukainen.
Mekaaninen kestävyys [MPa]	Esitettävä standardin EN 1279-5 liitteen A mukaiset komponentikohtaiset ominaistaivutuslujuudet, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Ilmaaneneristävyyttä [dB]	Esitettävä, jos tuotteelle on ääneneristävyyttävaatimuksia
Lämpöominaisuudet [%, W/m <sup>2</sup> K]	Esitettävä emissiviteetti ε ja laskennallinen tai kokeellinen lämmönläpäisykerroin U kahden merkitsevän numeron tarkkuudella
Säteilyominaisuudet tv, pv/p'v [%]	Laskennallinen valon läpäisy LT≥60 % ja valon heijastuminen LR <sub>v</sub> /LR <sub>s</sub> ≤20 % normaalirakenteissa, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Aurinkoenergiaominaisuudet te, pe, g [%]	Esitettävä laskennallinen auringonvalon suora läpäisy ST ja auringonvalon suora heijastuminen SR, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa. Aurinkoenergian kokonaisläpäisy g≤35 %, jos tuotetta käytetään auringon suojauksessa.
Pitkäaikaiskestävyys [Hyväksyty]	Tuotteen oltava standardin EN 1279-1 mukainen

sininen = yleensä olennainen, vihreä = erityistapauksissa olennainen, punainen = ei olennainen

Karkaistuja laseja koskevat standardit, ominaisuudet ja vaatimukset.

Ominaisuus	Vaatus EN 12150-2 Karkaistut lasit
Palonkestävyys [EI]	Esitettävä, jos tuotteelle on palonkestävyysvaatimuksia
Palokäyttäytyminen [A1...F]	Esitettävä rakennusten paloturvallisuudesta säädetyn ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) mukaisesti
Ulkopuolinen palokäyttäytyminen [B <sub>ROOF</sub> (2), F <sub>ROOF</sub> ]	B <sub>ROOF</sub> (2), jos tuotetta käytetään vesikatoissa
Luodinkestävyys [BR1...BR7], [SG1, SG2], [NS, S]	Esitettävä luodinkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään luodinsuojana
Rajähdyspaineenkestävyys [ER1...ER4]	Esitettävä rajähdyspaineenkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään rajähdyksensuojana
Murronkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilkivalta [P1A...P5A]</li> <li>• Murtautuminen [P6B...P8B]</li> </ul>	Finanssiala ry:n Rakenteellinen murtosuojausohje: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luokka 1 = Ei vaatimuksia</li> <li>• Luokka 2 ≥ P4A</li> <li>• Luokka 3 ≥ P6B</li> </ul>
Iskunkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>• Testiheilurin pudotuskorkeuden (1200 mm, 450 mm, 190 mm) mukaan [1, 2, 3]</li> <li>• Rikkoutumistavan (tavallinen, laminoitu, karkaistu) mukaan [A, B, C]</li> </ul>	Esitettävä iskunkestävyysluokkaa, jos tuotetta käytetään turvalasina <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei törmäysvaaraa: Ei vaatimuksia</li> <li>• Törmäysvaara: Karkaistu lasi 1(C)3 tai Laminoitu lasi 2(B)2</li> <li>• Törmäys- ja putoamisvaara: Laminoitu lasi 2(B)2</li> </ul>
Lämpöjännitystenkestävyys [K]	Esitettävä standardin EN 12150-1 mukainen yleinen arvo, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa (normaali- ja riskirakenteissa 200 K)
Mekaaninen kestävyys [MPa]	Esitettävä standardin EN 12150-1 mukainen ominaistaivutuslujuus ja lasin nimellispaksuus, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Ilmaaneneristävyyttä [dB]	Esitettävä, jos tuotteelle on ääneneristävyyttävaatimuksia
Lämpöominaisuudet [%, W/m <sup>2</sup> K]	Esitettävä emissiviteetti ε ja laskennallinen tai kokeellinen lämmönläpäisykerroin U kahden merkitsevän numeron tarkkuudella
Säteilyominaisuudet tv, pv/p'v [%]	Laskennallinen valon läpäisy LT≥60 % ja valon heijastuminen LR <sub>v</sub> /LR <sub>s</sub> ≤20 % normaalirakenteissa, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Aurinkoenergiaominaisuudet te, pe, g [%]	Esitettävä laskennallinen auringonvalon suora läpäisy ST ja auringonvalon suora heijastuminen SR, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa. Aurinkoenergian kokonaisläpäisy g≤35 %, jos tuotetta käytetään auringon suojauksessa.
Pitkäaikaiskestävyys [Hyväksyty]	Tuotteen oltava standardin EN 12150-1 mukainen

sininen = yleensä olennainen, vihreä = erityistapauksissa olennainen, punainen = ei olennainen

## Laminoituja laseja koskevat standardit, ominaisuudet ja vaatimukset

Ominaisuus	Vaatus EN 14449 Laminoituid lasit
Palonkestävyys [EJ]	Esitettävä, jos tuotteelle on palonkestävyysvaatimuksia
Palokäyttätyminen [A1...F]	Esitettävä rakennusten paloturvallisuudesta säädetyn ympäristöministeriön asetuksen (849/2017) mukaisesti
Ulkopuolinen palokäyttätyminen [ $B_{door}(2)$ , $F_{door}$ ]	$B_{door}(2)$ , jos tuotetta käytetään vesikatoissa
Luodinkestävyys [BR1...BR7], [SG1, SG2], [NS, S]	Esitettävä luodinkestävyysluokka, jos tuotetta käytetään luodinsuojana
Rajähälyspaineenkestävyys [ER1...ER4]	Esitettävä rajähälyspaineenkestävyysluokka, jos tuotetta käytetään rajähälyksensuojana
Murronkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>Ilkivalta [P1A...P5A]</li> <li>Murtautuminen [P6B...P8B]</li> </ul>	Finanssiala ry:n Rakenteellinen murtoisuusohje: <ul style="list-style-type: none"> <li>Luokka 1 = Ei vaatimuksia</li> <li>Luokka 2 <math>\geq</math> P4A</li> <li>Luokka 3 <math>\geq</math> P6B</li> </ul>
Iskunkestävyys <ul style="list-style-type: none"> <li>Testiheilurin pudotuskorkeuden (1200 mm, 450 mm, 190 mm) mukaan [1, 2, 3]</li> <li>Rikkoutumistavan (tavallinen, laminoitu, karkaistu) mukaan [A, B, C]</li> </ul>	Esitettävä iskunkestävyysluokka, jos tuotetta käytetään turvalasina <ul style="list-style-type: none"> <li>Ei törmäysvaaraa: Ei vaatimuksia</li> <li>Törmäysvaara: Karkaistu lasi 1(C)3 tai Laminoitu lasi 2(B)2</li> <li>Törmäys- ja putoamisvaara: Laminoitu lasi 2(B)2</li> </ul>
Lämpöjännitystenkestävyys [K]	Esitettävä standardin EN 14449 mukaiset komponenttikohtaiset yleiset arvot, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa (normaalirakenteissa 40 K, riskirakenteissa 200 K)
Mekaaninen kestävyys [MPa]	Esitettävä ohjeen RIL 198-2011 mukaisesti, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Ilmaaneneristävyys [dB]	Esitettävä, jos tuotteelle on ääneneristävyysvaatimuksia
Lämpöominaisuudet [%, $W/m^2K$ ]	Esitettävä emissiviteetti $\epsilon$ ja laskennallinen tai kokeellinen lämmönläpäisykerroin U kahden merkitsevän numeron tarkkuudella
Säteilyominaisuudet $\tau_v$ , $p_v/p'_v$ [%]	Laskennallinen valon läpäisy $LT \geq 60$ % ja valon heijastuminen $LR_v/LR \leq 20$ % normaalirakenteissa, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa
Aurinkoenergiaominaisuudet $\tau_e$ , $\rho_e$ , g [%]	Esitettävä laskennallinen auringonvalon suora läpäisy ST ja auringonvalon suora heijastuminen SR, jos tuotetta käytetään ulkovaipassa. Aurinkoenergian kokonaisläpäisy $g \geq 35$ %, jos tuotetta käytetään auringon suojauksessa
Pitkäaikaiskestävyys [Hyväksyty]	Tuotteen oltava standardin EN ISO 12543-2 (laminoituid turvalasit) tai EN ISO 12543-3 (laminoituid lasit) mukainen

sininen = yleensä olennainen, vihreä = erityistapauksissa olennainen, punainen = ei olennainen







# Haastattelulomake



**SUOMEN TASOLASIYHDISTYS RY**  
Haastattelulomake: LasiMitta 1.0 käyttäjäkokemukset

Yritys		pvm:
Nimi		
Työtehtävä		

Pätevyys:	Suunnittelukoulutus/kokemus:	Kokemus lasirakenteiden suunnittelusta:	Muu:
	<input type="checkbox"/> AA erityisvaatimus <input type="checkbox"/> A perusvaatimus <input type="checkbox"/> B pienehkö <input type="checkbox"/> C vähäinen	<input type="checkbox"/> alle vuosi <input type="checkbox"/> 2-4 vuotta <input type="checkbox"/> yli 5 vuotta	

## KÄYTTÖKOKEMUKSET

- Miten ohjelma on vastannut odotuksia?
- Ovatko tulokset käytettäviä?
- Ovatko tulokset erilaisia mihin totuttu? Miten?

## KOMMENTIT SUUNNITELTUIHIN MUUTOKSIIN (TARVE, HYÖDYT)

- Kuormalaskuri ja siihen opastava ohje:
- Kaidemitoitus:
- Pienet huomautukset esim. lasin oltava turvalasia jos kallistuskulma:

## KEHITYSEHDOTUKSET

- Miten ohjelmaa voisi kehittää?
- Missä suunnittelutilanteissa kaipaisitte tukea työhönne?

Muuta:

## MUISTILISTA RAKENNUSLASIEN SUUNNITTELUSTA

1. **Hankesuunnitteluvaiheessa** määritellään lasirakenteiden pääarvot (U-arvo, LT, g-arvo, sähkölasi ja lasitusjärjestelmä), sillä ne vaikuttavat:

sisälämpötilaan huoneessa	viihtyvyyys
lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen	energiatehokkuus, päästöt
tilankäytön tehokkuuteen	ympäristö, kustannukset
LVI-järjestelmään	kustannukset

2. **Rakennussuunnitteluvaiheessa** määritellään:

lasikoot	ääneneristävyysvaatimukset
kuormat	pinnoitteet
lujuuslaskelmat käyttö- ja murtorajati- lassa	lämpörikkoutumisen riski
lasityypit ja turvalasit	

3. **Tarjousvaiheessa** sovitaan:

toleranssit ja niiden todentaminen	heat soak -testaus
takuuaika ja sen rajoitteet	tarkistetaan sertifikaatit
mock-up mallit	tarkistetaan testaustulokset

4. Edellä esitetyt tiedot ilmoitetaan myös yritykselle, joka valmistaa lasirakenteet.

5. Suorituskyvyltään hyvätasoisen lasirakenteen ja valoisan tilan arvot:

U-arvo	< 0,7 W/Km <sup>2</sup>
LT	> 60 %
g-arvo	< 40 %
huoneen päivänvalosuhte	2-5 %

### Syy-seuraus suhteet

- U-arvo < 0,65 W/Km<sup>2</sup> – ulkopinta huurtuu herkästi tietyillä sääilmiöillä.
- g-arvo > 40 % – ylikuumeneminen, kun suuret lasipinnat ilman varjoa.
- Ylisuurat lasit (XXL) – tukirakenteiden erityissuunnittelu, asennus erityiskalustolla.
- Karkaistu turvalasi tulisi heat soak testata, jos lasit ovat hankalasti vaihdettavissa tai rikkoutuessaan aiheuttavat vaaraa.
- Sähkökromaattisen lasin avulla voidaan ilmastoinnista poistaa usein jäähdytystarve kokonaan.
- Sähkölämmitteisillä julkisivulaseilla voidaan poistaa puhallinkonvektorien tarve julkisivun edestä ja saavuttaa parempi lämpöviihtyvyyys ja tehostaa lattian käytöpinta-alaa.
- Sopivilla lasiratkaisuilla voidaan poistaa kokonaisia rakennusosia ja säästää siten LVI-hankinnoissa.
- Jos kattolasi halutaan pitää lumettomana ja huurtumattomana ympäri vuoden suositellaan käytettäväksi sähkölämmitteisiä laseja lumensulatuksella. Näin varmistat takuuvarmen taivasnäkyvän ja miellyttävän sisäilmaolosuhteet.
- Sähkölasi sopii kosteisiin tiloihin (sisäpinta) kondenssintorjuntaan

### Ympäristöolosuhteet

- Muut kuin pohjoisjulkisivu tarvitsevat usein auringonsuojan – valitse auringonsuojalasi, esim. LT/g: 70/30 tai sähkökromaattinen lasi.
- Polarisoitunut valo saattaa näkyä karkaistussa lasissa laikkuina etenkin vesistön äärellä – anisotropia-ilmiö, määrittele sallitun anisotropian taso. Hyvä taso on, kun isotropia > 90 %.
- Alavat maastot – huurtuminen. Valitse huurtumaton lasi.
- Kylmä ja tuulinen ilmasto – 3K eristyslaselementti tai kolmilasinen MSE-ikkuna, U-arvo alle 0,7.
- Kattolasit varmallalla taivasnäkyellä – sähkölämmitteiset lasit, joissa lämmitys kahdessa pinnassa, myös uloimmaisessa.

Muista, että lasi lasirakenteissa on aina olemassa lasirikon mahdollisuus, siksi lasi täytyy olla vaihdettavissa pelkät pintalistat irrottamalla. Teknistä suunnitteluapua saa lasialan konsulteilta ja osalta lasin jatkojalostajista.