

LASI RAKENNUSMATERIAALINA

Tahvo Sutela

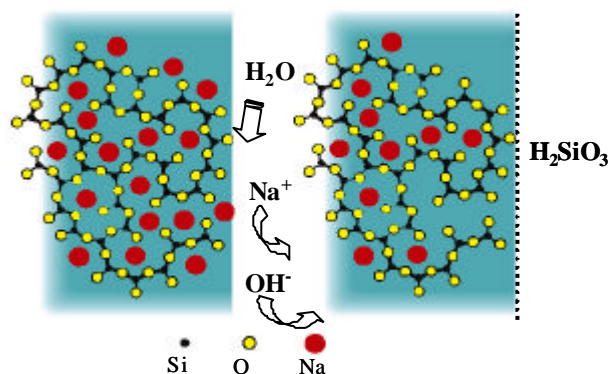
Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 36
No. 2, 2003, ss. 7-24

TIIVISTELMÄ

Lasin käyttö rakentamisessa on viime vuosikymmeninä kasvanut jatkuvasti kansantuotetta nopeammin kaikkialla maailmassa. Artikkelissa käsitellään rakentamisessa yleisimmin käytetyn nk. soda lime -silikaattilasien (soda lime silicate glass) eräitä perusominaisuuksia itse materiaalirakenteen pohjalta. Lisäksi luodaan katsaus auringonsuoja- ja energiansäästölasien toimintamekanismeihin ja käyttöön energian hallinnan kannalta. Tarkastelu on painotuksiltaan tekninen, ei kaikilta osin tieteellisyyden kriteerejä täyttävä. Muita keskeisten Rakennustuotedirektiivin määrittelemien olennaisten vaatimusten, paloturvallisuus, käyttöturvallisuus ja melunsuojaus heijastumista lasin käyttöön rakentamisessa ei tässä käsitellä.

KEMIALLINEN KÄYTTÄYTYMINEN

Rakentamisessa käytetyn lasin perusominaisuudet voidaan ymmärtää sen molekyyli-rakenteesta. Lasin pääraaka-aine on piioksidi (SiO_2). Sulatuksen hallitsemiseksi ja käyttöominaisuuksien optimoimiseksi tarvitaan joukko muita yhdisteitä. Kemiallisen käyttäytymisen kannalta piin (Si) ja hapen (O) kovalenttisista sidoksista muodostuneen homogeenisesti isotrooppiseen verkkomaiseen molekyyli-rakenteeseen jääneillä, valmistusteknisesti välttämättömällä vapaalla natriumilla on taipumus migroitua lasin pintavyöhykkeeseen. Veden huuhtellessa pintaa, syntyy vesiliukoinen Na^+OH^- (lipeä) huuhtoutuu pois ja pintaan syntyy ohut, happoja vastaan erittäin resistentti H_2SiO_3 -kerros.



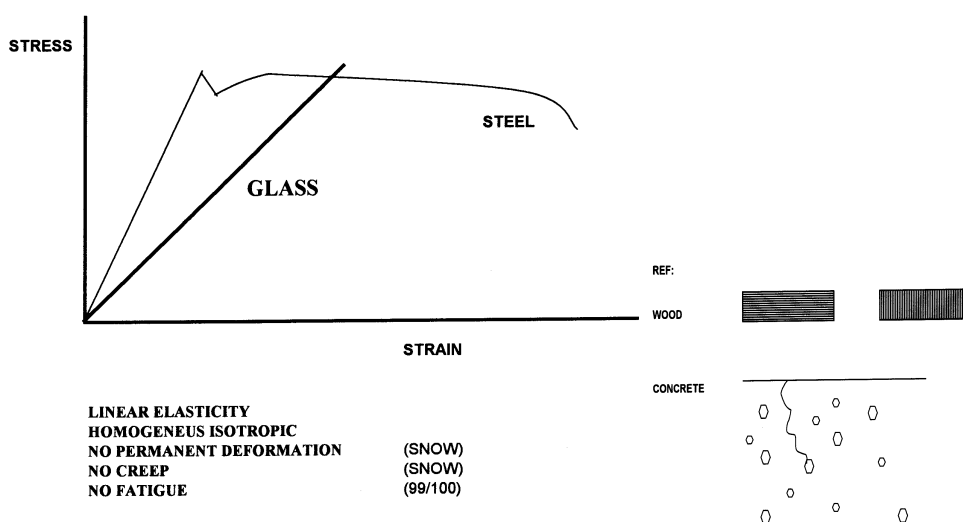
Kuva 1. Soda lime –silikaattilasi.

Periaatteessa hapoista ainoastaan fluoripohjaiset yhdisteet syövyttävät lasia. Toisaalta lasin pinta on herkkä väkeville alkaalisille liuoksille. Yleisimpiä liuottimia lasi kestää hyvin. Lasin kuljetuksessa ja varastoinnissa, missä lasien väliin esim. kondensoitumalla päässyt pieni vesimäärä muodostaa riskin hyvinkin väkevän Na^+OH^- -liuoksen syntymiselle. Tämän johdosta lasiniput pitää varastoida riittävän kuivassa ja tasalämpöisessä tilassa, ei missään tapauksessa ulkona. Julkisivuissa tulee luonnollisesti estää emäksisten saumausaine- ja pinnoitevalumiin pääsy lasipinnoille.

Rakenteestaan johtuen soda lime –silikaattilasi on helposti kierrätettävissä. Lasin sulatus jopa vaatii hallittavasti toimiakseen tietyn määrän, min noin 20% kierrätettyä lasimurskaa sulatusprosessin katalyytiksi.

MEKAANINEN KÄYTTÄYTYMINEN

Lasin mekaanisen käyttäytymisen perusta on sen koostuminen, pääosin piin ja hapen lujien kovalenttisten sidosten muodostamasta molekyyliverkosta. Rakenne on homogeenisesti isotrooppinen. Se on myös lineaarisesti elastinen. Jännitys / venymä –funktiossa ei esiinny lainkaan hystereesiä eikä myötöä. Lasi ei varoita rikkoutumisestaan. Pitkäaikaisestikaan kuormitettuna lasiin ei synny pysyvää venymää, eikä se vanhene.



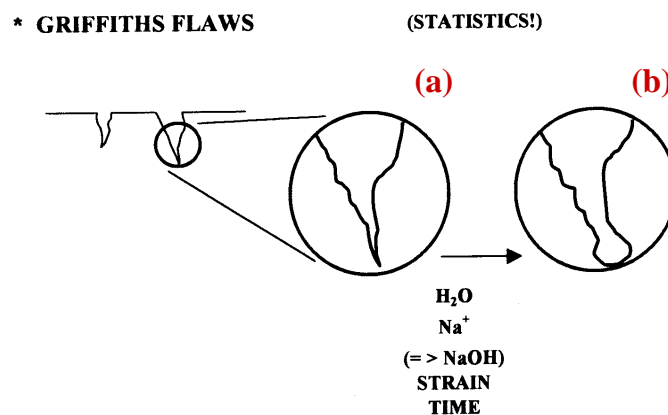
Kuva 2. Lasin ja teräksen jännitys- venymä kuvaaja.

Suurimmalle sallitulle puristusjännitykselle on joissakin vanhemmissa kansallisissa standardeissa annettu lukuarvoja, mutta ne ovat täysin teoreettisia. Koejärjestelyä, jossa lasi olisi saatu murtumaan puristusjännityksen avulla ei ole onnistuttu tekemään. Uusista eurooppalaisista EN –standardeista arvo puuttuu.

Lasi siis rikkoutuu ainoastaan vetojännityksen vaikutuksesta. Itse asiassa rikkoutuminen on lähes aina kemiallinen prosessi, jonka edelleen yleisimmin käytössä olevan perusmallin loi Griffith 1800-luvulla. Mallin mukaan lasin pintaan syntyy luonnostaan mikrokooppisia, erittäin teräväkärkisiä nk. Griffith'in halkeamia (Griffith's Flaws). Mo-

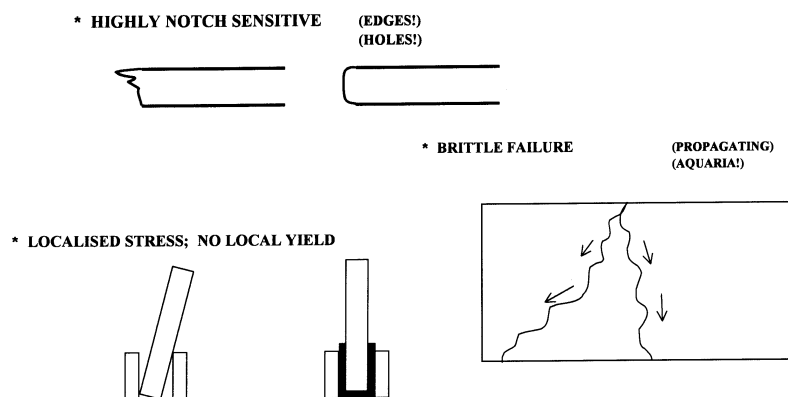
derneinkaan mikroskopia ei ole näitä lasin pinnasta kyennyt havaitsemaan, mutta malli toimii ja sitä käytetään kunnes parempi ja yleisesti hyväksytty pystytään luomaan. Halkeamien syntyä ei osata ennustaa saatikka kontrolloida. Vetojännityksen vaikutuksessa lasin pintaan riittävän pitkään etenee materiaalista erkautuneen natriumin ja ympäröivän atmosfäärin kosteuden muodostaman Na^+OH^- -liuoksen aiheuttama, Si – O sidosta rikkova reaktio.

Rikkoutumista tapahtuu kaiken aikaa, mikäli vetojännitys on riittävän suuri ja sen aiheuttaja, esim. mekaanisen kuorma tai epätasainen lämpölaajeneminen vaikuttaa. Mikäli vetojännitys lakkaa ennen rakenteen murtumista, syöpymä pyöristää ja kasvattaa halkeaman kärjen Si – O -sidoksen mittakaavaa suuremmaksi ja halkeama jää vaarattomaksi.



Kuva 3. Lasin murtumismekanismi.

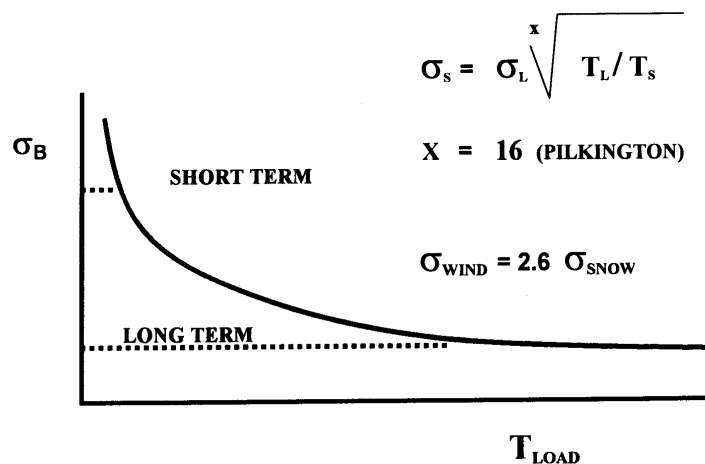
Tyhjössä on lasille mitattu selvästi suurempia lujuuksia normaali atmosfääriin verrattuna. Mutta eivät pelkästään Griffith'in halkeamat, vaan kaikkinaisen epäjatkuvuus, naarmut kolot, lohkeamat jne. ovat hauralle materiaalille potentiaalisia rikkoutumisen alkujia. Lasin särmit niin reunaosissa kuin rei'issä ovat erityisasemassa kun rikkoutumisen riskejä halutaan vähentää.



Kuva 4. Paikallisten virheiden ja kuormien aiheuttama lasin rikkoutuminen.

Mekanismin luonteesta siis johtuu, että lasi on lyhytaikaisia kuormia vastaan lujempaa pitkäaikaisiin kuormiin verrattuna. Verrattaessa esim. tuulikuormien tyypillisiä muutamien sekuntien vaikutusaikaa lumikuormille käytettyihin viikkoihin, on jännitystarkastelussa ollut tapana käyttää kerrointa 2.6.

* **STRENGTH / DURATION**



Kuva 5. Kuormitusajan vaikutus lasin rikkoutumiseen.

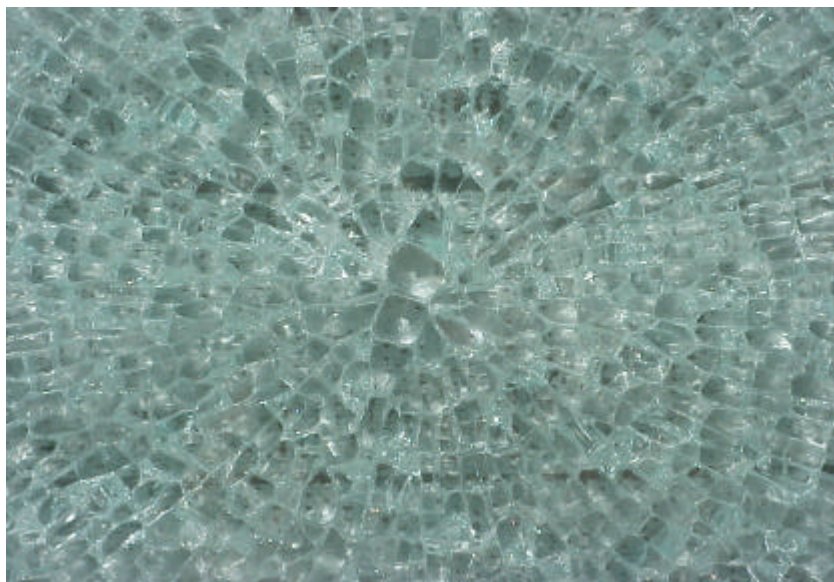
Lasin lujuus / rikkoutumisherkyys on joka tapauksessa luonteeltaan hyvin tilastollinen.

Eri lähteissä, esim. vanhemmissa kansallisissa standardeissa on lasille annettu paljonkin toisistaan poikkeavia sallitun max. vetojännityksen arvoja. Näitä voidaan varsin turvallisesti käyttää, kunhan niitä käytetään saman lähteen laskentamenetelmien yhteydessä. Nämä siis saattavat poiketa toisistaan merkittävästikin. Anekdoottina voisi mainita vertailun, jossa CEN TC 129 (Tekninen komitea Glass in Building) kansallisille delegaatioille annettiin tehtäväksi harjoitelmiana mitoitaa lasin paksuus annetuissa olosuhteissa ja rakenteissa. Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin lähinnä kansallisista varmuuskertomista aiheutuneita eroja, suuruudeltaan kuitenkin vain yhden standardi –paksuus-siirtymän verran. Tämä oli hieman yllättävää ottaen huomioon, että sallittujen vetojännitysten arvot vaihtelivat välillä 14.8 MPa (BE) ... 41 MPa (UK). Tämä selittyy laskentamenetelmien eroilla, jotka ovat ajan saatossa tulleet empiirisesti verifioiduiksi suhteessa käytettyihin jännitysten arvoihin. Vaikka ensimmäisiä eurooppalaisia standardeja on ollut käytössä jo vuosikausia ja ensimmäisiä lasituotteiden harmonisoituja hEN – tuotestandardeja odotetaan julkaistavaksi vuoden 2004 aikana, ei CEN ole vielä saanut aikaiseksi lasia koskevaa rakenteellisen mitoituksen standardeja. Ehdotuksia oli työstetty jo varsin pitkälle, mutta ne jouduttiin lähinnä matemaattisen raskauden takia valitettavasti vetämään pois.

Lasin lämpökarkaisu kasvattaa lasin lujuutta merkittävästi, tyypillisesti 4 ... 5 -kertaiseksi. Kansallisissa määräyksissä sallitaan tyypillisesti noin kaksi kertaa korkeammat vetojännityksen arvot. Prosessissa lasilevy lämmitetään rauhallisesti yli deformaatiopisteensä, n. 620°C:een ja jäädytetään nopeasti. Levyn keskikerros jää vetojännityksen alaiseksi, mutta siitä ei ole haittaa keskellä bulk -materiaalia Griffith'in hal-

keamien puuttuessa. Pintaosa jää pysyvään puristusjännitykseen, joka siis vastustaa halkeaman leviämistä esim. taivutuskuormasta- tai lämpötilaeroista aiheutuvan lämpölaajenemisesta johtuvassa vetojännitystilassa. Puristusjännityksen päästymistä alkaa tapahtua kun lämpötila lähestyy 300°C ja on ajan ja lämpötilan funktio. Päästyminen nopeutuu ripeästi kun 300°C ylittyy.

Lasi sisältää tilastollisesti hyvin pieniä määriä NiS (Nikkelisulfidi) –kiteitä / sulkeumia. Karkaisuprosessin nopeassa jäähdytysvaiheessa saattaa NiS –kide loukkuuntua, jäädä ”vangiksi” käyttölämpötilan kannalta väärään, yli 380°C lämpötilassa stabiiliin β -faasiin. Sulkeuman faasin palautuessa takaisin käyttölämpötilassaan stabiiliin, tilavuudeltaan pienempään α -faasiin saattaa epäedullisessa asetelmassa syntyä pistemäinen, lasin spontaanisti rikkova jännitystilaa. Rikkoutumiskuviolle on usein (ei aina) tyypillistä nk. perhoskuvio.



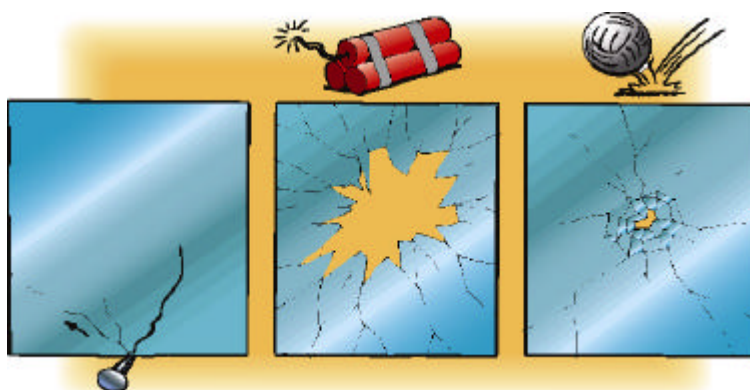
Kuva 6. NiS –sulkeuman aiheuttama karkaistun lasin rikkoutumiskuvio.

NiS –sulkeuman paljastavaa tuotannollista ja luotettavaa on-line menetelmää ei ole onnistuttu kehittämään. Kun karkaistua lasia on suunniteltu käytettäväksi rikkoutumisen kannalta erityisen riskialttiissa kohteissa on suositeltavaa käyttää, valitettavasti ainetta rikkovaa nk. Heat – Soak menetelmää. Tässä karkaistua lasia nostetaan eurooppalaisen standardin mukaisesti kahdeksi tunniksi vajaan 300°C lämpötilaan ja spontaanirikkoutumisen riskin omaavat lasit rikkoutuvat riittävällä todennäköisyydellä.

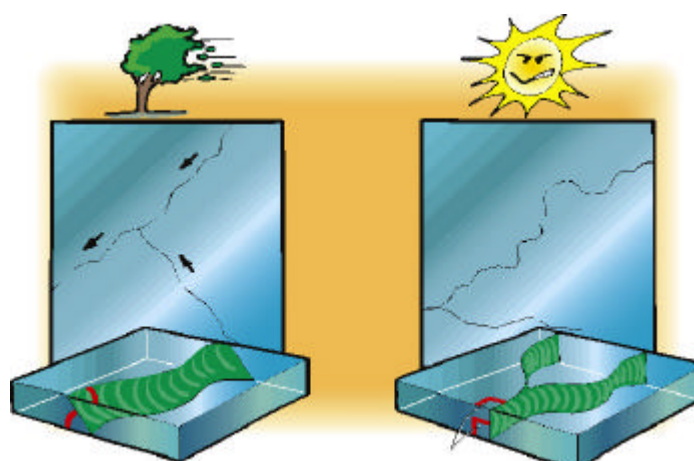
Lasilla ei ole nk. paikallista itsekorjautuvuus –ominaisuutta eli nk. kova kosketus tulee kaikissa oloissa välttää oikeaoppisella suunnittelulla ja asennuksen toteutuksella. (Kuva 4).

Lasin kovuus on Moh’in asteikolla 7 eli se on selvästi yleisiä muovimateriaaleja kovempaa, esim. akryylit tyypillisesti noin 3.

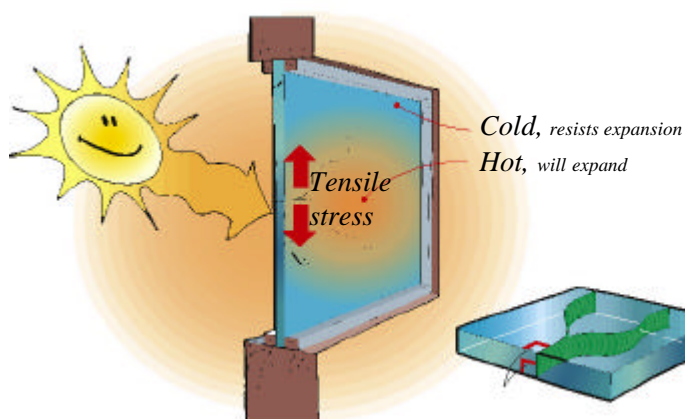
Lasin rikkoutumiskuviosta voidaan usein päätellä itse rikkoutumisen syy. Erityisesti lämpöjännityksen aiheuttamalle rikkoutumiselle, jossa tyypillisesti lasin keskialue lämpenee ja siis laajenee reunoja nopeammin synnyttäen reuna-alueille vetojännityksen, on tyypillistä rikkoutumisen lähtö kohtisuoraan sekä tasoa, että reunaa vastaan.



Kuva 7. Aiheuttajasta riippuvia tyypillisiä lasilevyn rikkoutumiskuvioita.



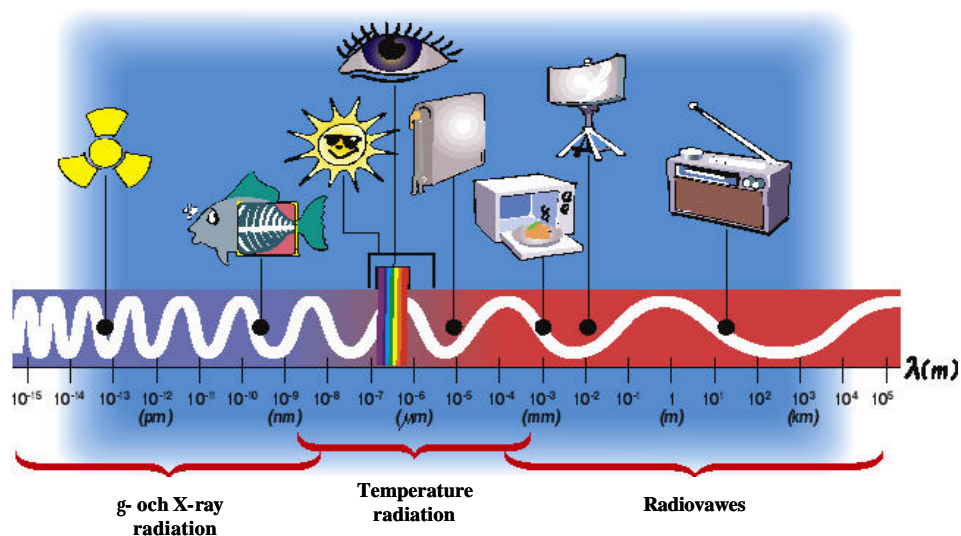
Kuva 8. Mekaanisen kuorman ja lämpötilakuorman aiheuttamia tyypillisiä rikkoutumiskuvioita.



Kuva 9. Lasilevyn keskiosan lämpölaajenemisesta aiheutuva rikkoutuminen.

OPTISET JA ENERGIATEKNISET OMINAISUUDET

Lasin merkittävin käyttö perustuu sen kykyyn läpäistä valoa jonka, aallonpituus on 380 – 780 nm. On kehitetty tekniikoita, joilla valonläpäisyn merkittävästi kärsimättä voidaan hallita muita aallonpituusalueita. Yleensä pyritään vaimentamaan tapauksen kannalta haitallisena pidetyn säteilyn läpäisyä. Sovelluksia on kehitetty Gamma- ja röntgensäteilystä aina radiotaajuuksiin asti.

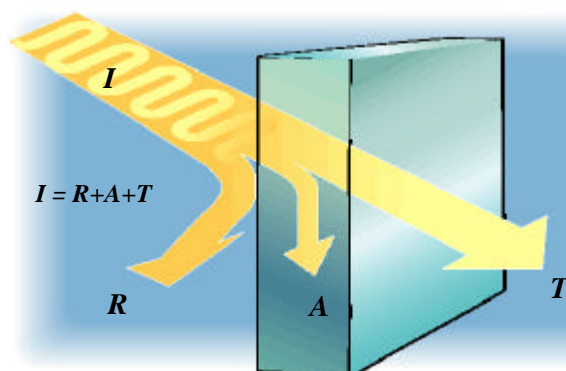


Kuva 10. Elektromagneettisen säteilyn aallonpituusalueet.

Lyhytaaltoisen säteilyn läpäisyn vaimennusta lisätään yleensä lasimassan koostumusta muuttamalla (absorptio), pitkäaaltoisella puolella hyödynnetään yleensä pinnoitustekniikoita (heijastus). Yleisimmin toimitaan kuitenkin aurinkosäteilyn aallonpituusalueella, maanpinnalla n. 0.3 – 2.5 μ m.

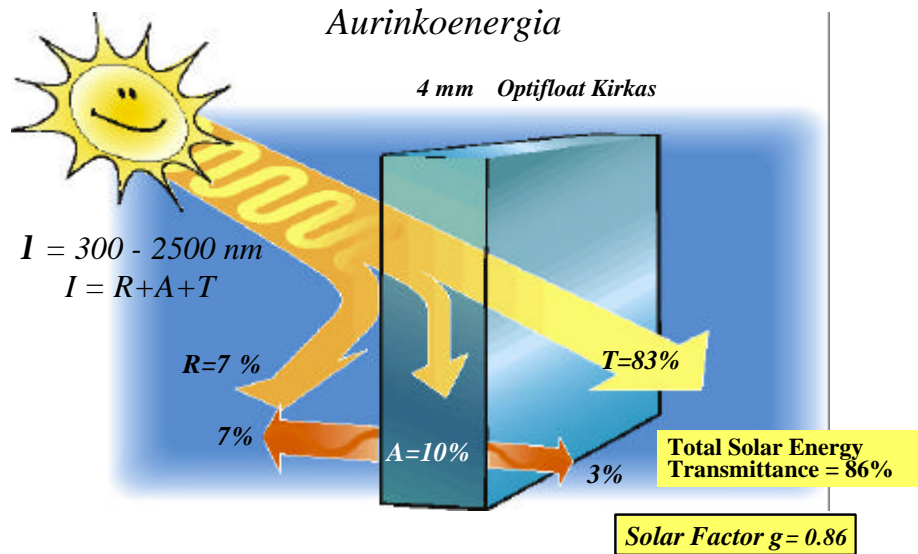
AURINGONSUOJALASIT

Aurinkosäteily, samoin kuin mikä tahansa elektromagneettinen säteily kohdatessaan lasin (tai mikä tahansa väliaineiden rajapinnan) jakautuu kolmeen osaan, osa heijastuu, osa absorboituu lopun läpäistessä lasin.



Kuva 11. Säteililytehon jakautuminen.

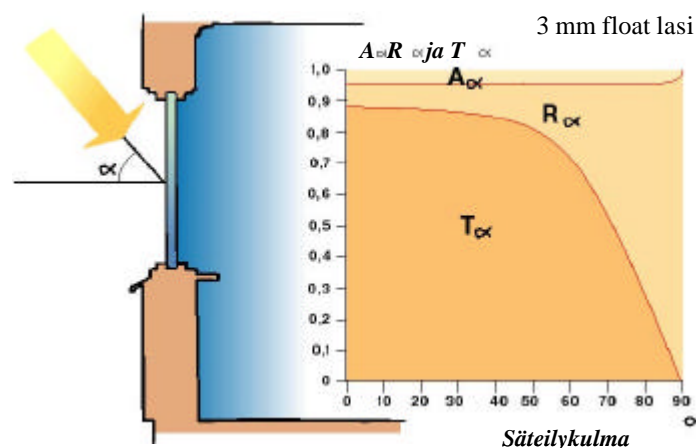
Materiaaliin absorboitunut energia kuitenkin pyrkii uudelleensäteilemään (re-emissio), nyt olosuhteiden ja pintojen ominaisuuksien määräämässä suhteessa.



Kuva 12. Säteilytehon jakautuminen.

Kuvassa 12 soda lime -silikaattilasi (float-, rakennuslasi) standardiolosuhteissa. Suoraläpäisy ja lasirakenteesta re-emittoitunut, aurinkosäteilyn kulkusuunnan mukainen, energia muodostavat yhdessä nk. aurinkosäteilyn kokonaisläpäisyn = aurinkotekijän, Solar Factor, g-arvo.

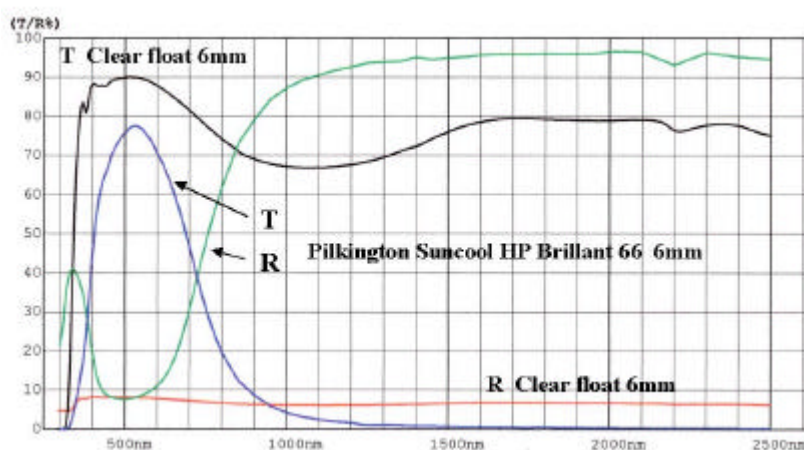
Mikäli halutaan vähentää liiallista aurinkoenergian läpäisyä on siis lisättävä absorptiota ja/tai heijastusta. Heijastus on käytännössä funktio paitsi pinnan/pintojen ominaisuuksista, myös vallitsevan säteilyn tulokulmasta.



Kuva 13. $R + A + T = f(\alpha)$.

Vanhemmille (70- ja 80 -luku), lähes puhtaasti heijastukseen perustuville auringonsuojapinnoitteille on tunnusomaista niiden korkea heijastus myös valon aallonpituus –

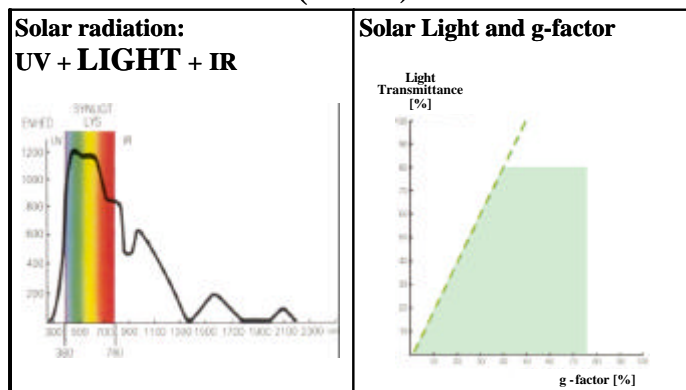
alueella, puhutaan peiliheijasteisista auringonsuojalaseista. Korkean kokonaisheijastuksensa lisäksi ko. pinnoitteiden spektrin huippu on tyypillisesti painottunut tietylle aallonpituudelle, värille. Myöhemmin, 80 –luvun lopulta, opittiin teollisen pinnoitusteknologian kehityksen myötä yhdistämään samaan pinnoitteeseen matala emissiviteetti ja kohtuullinen aurinkoenergian absorptio / heijastus. Saatiin aikaiseksi valon aallonpituusalueelle kohdistettu ”kaistanpäästösuodin”.



Kuva 14. Läpäisyn ja heijastuksen riippuvuus pinnoitteesta ja säteilyn aallonpituudesta.

Koska n. puolet maankuoren saavuttamasta aurinkosäteilyn energiasta sijaitsee valon aallonpituusalueella, on valonläpäisyn ja aurinkoenergian kokonaisläpäisyn suhteen suurin arvo noin 2, johon päästiin teollisesti 90 –luvun puolivälin jälkeen.

(EN 410)

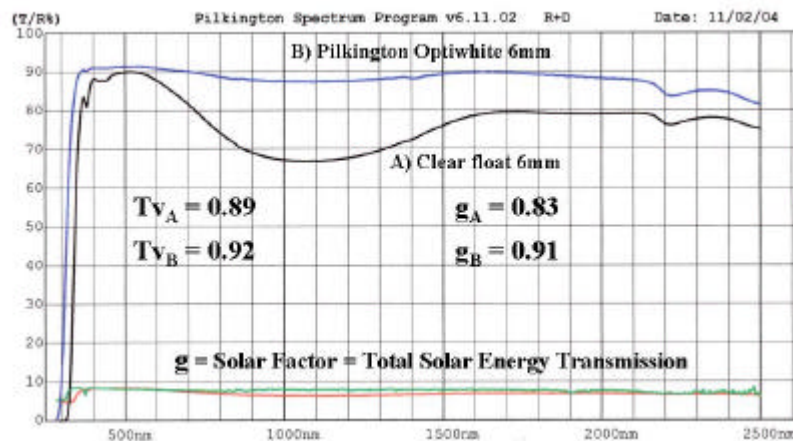


Kuva 15. Aurinkosäteilyn aallonpituus ja aurinkotekijä g.

Tätä suhdetta kutsutaan kansainvälisessä kirjallisuudessa usein selektiivisyys –indeksi. Valikoivuutta tässä mielessä ei pidä sekoittaa Suomessa selektiivilasiksi kutsuttuun malalaemissivitetti –pinnoitettuun energiansäätölasiin, josta tuonnempana.

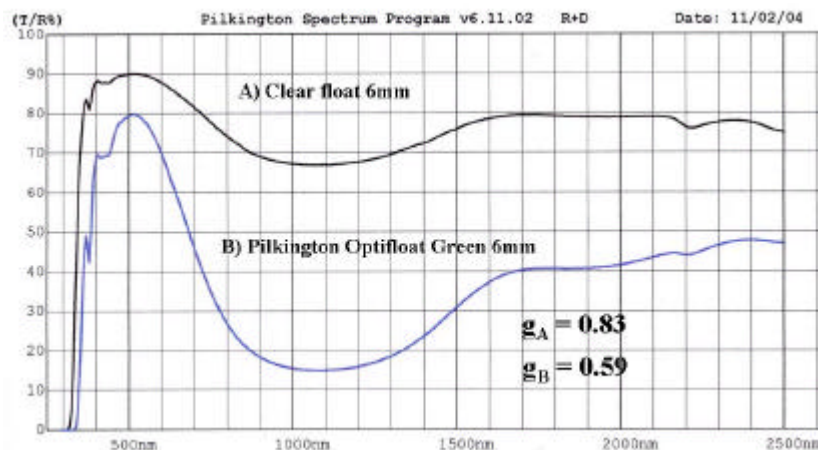
Toinen tapa vaimentaa liiallista aurinkoenergian läpäisyä on absorption lisääminen lasinvalmistuksen kemialla hyväksikäyttäen. Käytännössä läpivärjättyjen = massavärjättyjen auringonsuojalasiensa massa on seostettu ppm - %o verran metallien oksideja, esim.

seleeni, koboltti ja rauta, joilla toivottu väri ja absorptioaste on saatu aikaan. Rakentamisessa käytetyn soda lime -silikaattilasien pääraaka-aine on kvartsihiekkä, joka tyypillisesti sisältää hieman raudan oksideja. Nämä antavat lasille sen luonteenomaisen vihertävän värisävyn. Lasin valmistajilla on tapana tuotteen valmistuslinjasta riippumattoman vaihtokelpoisuuden varmistamiseksi kontrolloida raaka-aineseoksen pitoisuuksia ja tarpeen vaatiessa lisätä seokseen erästä riippuen riittävästi mm. raudan oksideja. Valitsemalla käyttöön erittäin vähärautainen perusraaka-aine, saadaan aikaan nk. erikoiskirkas = rautavapaa (low iron content) lasi. Tuotteelle on tunnusomaista erittäin pieni valon ja aurinkoenergian absorptio, joten se myös vaikuttaa erittäin kirkkaalta.

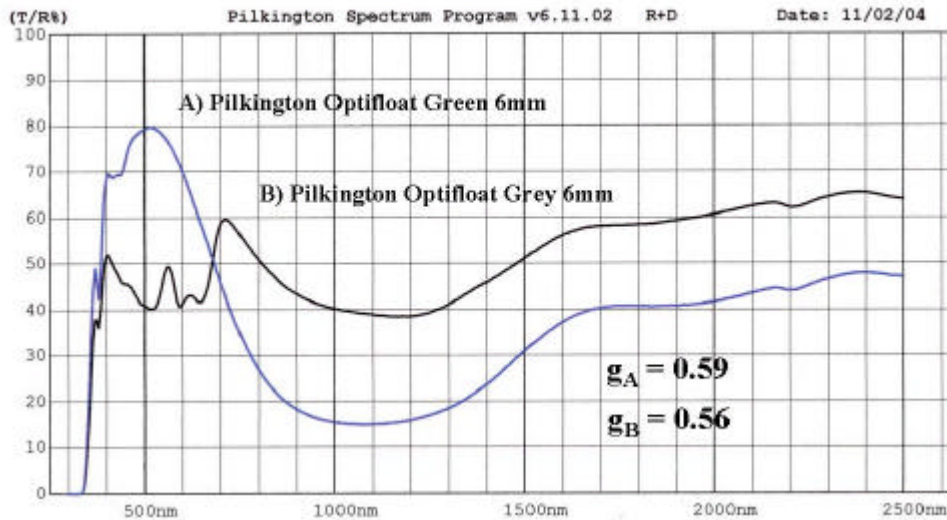


Kuva 16. Rautavapaan ja float-lasin läpäisy (T) ja heijaus (R).

Käyttösovelluksista tyypillisiä ovat erittäin paksut laminoidut suojauslasitus –rakenteet ja erityyppiset aurinkokeräimet ja –parien substraattit ja kapselit. Lisäämällä raaka-aineseokseen normaali reseptiin verrattuna hieman enemmän raudan oksideja saadaan aikaan vihreä läpivärjätty auringonsuojalasi. Muihin seoksiin / väreihin verrattuna on vihreällä lasilla erittäin edullinen läpäisy spektri, g-arvoon verrattuna korkea valonläpäisy.

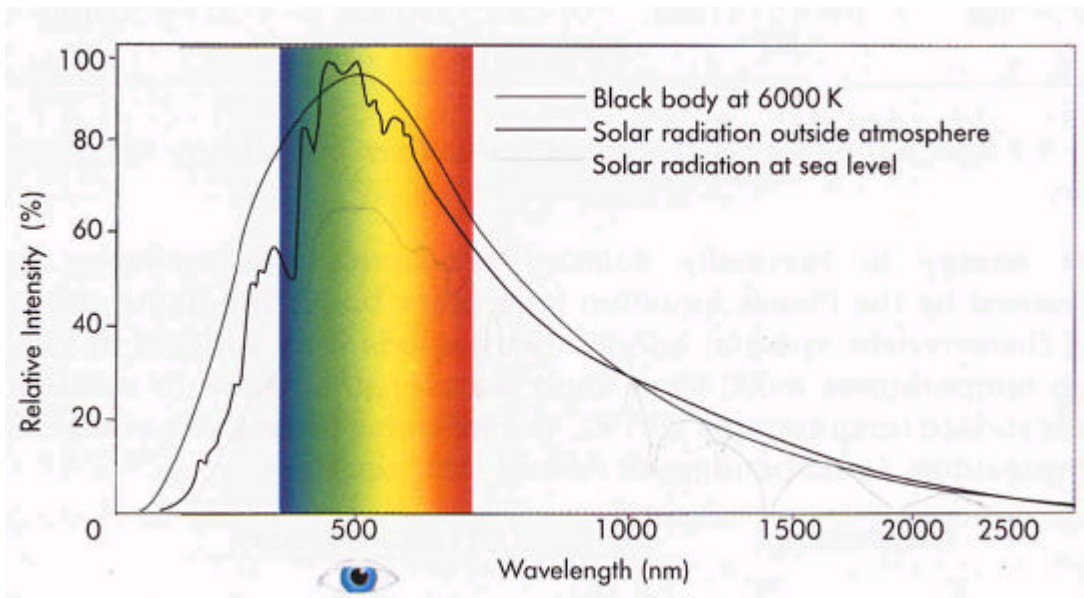


Kuva 17. Vihreän läpivärjätyn ja float-lasin läpäisy (T) ja heijaus (R).



Kuva 18. Vihreän ja harmaan läpiväjäytyn float-lasin läpäisy (T) ja heijastus (R).

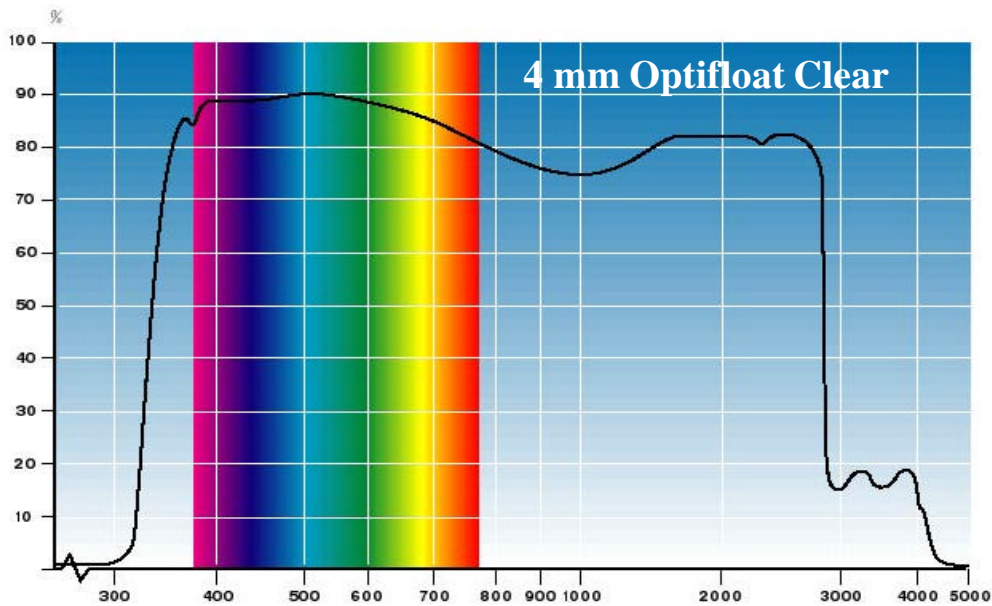
Korkealla valonläpäisevyydellä on tärkeä merkitys rakentamisessa. Luonnonvalon valohyötysuhde (lm/W) on edelleenkin selvästi korkeampi tavallisiin keinovalonlähteisiin verrattuna. Lisäksi luonnonvalon spektri, joka on jatkuva ja sini-vihreää vastaavalle aallonpituusalueelle painottunut, huippu n. 550nm, ks kuva 19, on evoluution seurauksena kehittyneen nykyihmisen hyvinvoinnille ylivoimainen. Etenkin toimitilarakentamisessa meidän pohjoisilla leveysasteilla on ihmisten psykofyysisen toimintakyvyn kannalta riittävän luonnonvalon saannin turvaaminen ratkaisevan tärkeää.



Kuva 19. Luonnon valon säteilyn aallonpituus.

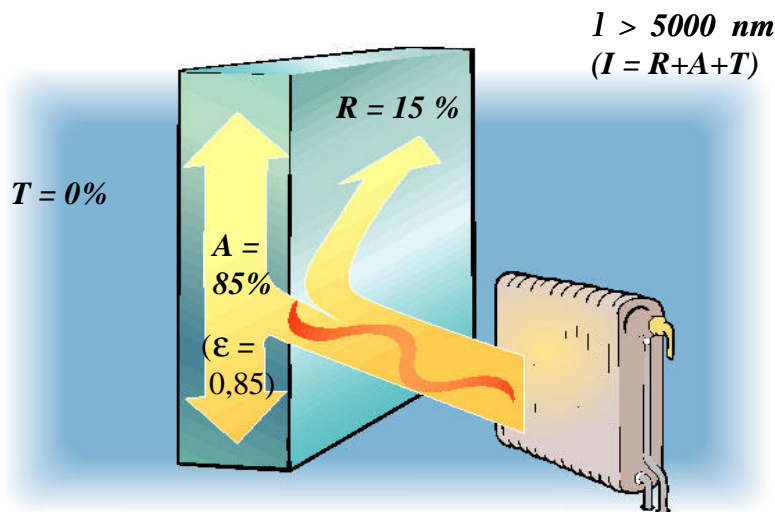
ENERGIASÄÄSTÖLASIT

Soda lime -silikaattilasien läpäisy spektri putoaa jyrkästi aallonpituuden 2.5 μm yläpuolella.



Kuva 20. Float-lasin läpäisy spektri.

Lasin pinta heijastaa huoneen pintojen emittoimasta, aallonpituudeltaan yli 5 μm infrapunasäteilyä n. 15%, loput n. 85% absorboituu lasiin.

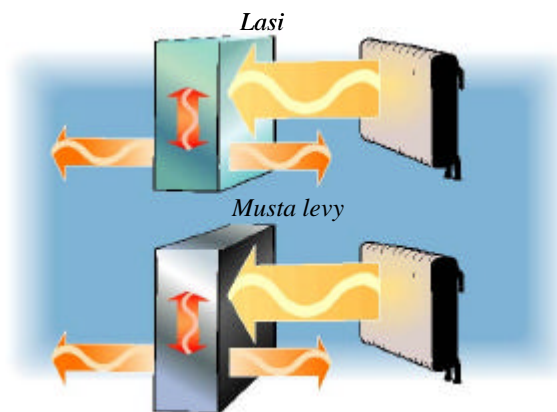


Kuva 21. Säteilytehon jakautuminen.

Eli lasi ei teknisesti otaen suoraan läpäise lämpösäteilyä. Absorptiokerroin on siis n. 0.85, joka taas on lukuarvoltaan yhtä suuri emissiokertoimen kanssa. (Standardissa EN 572 soda lime -silikaattilasien $\epsilon = 0.837$). Eli vaikka lasi absorboi lämpösäteilyn erittäin tehokkaasti, se myös luovuttaa emittoimalla energian edelleen korkealla hyötysuhteella. Lämmöneristeenä yksittäinen lasilevy on siis varsin keho (U -arvo n. $6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$). Eristyslasirakenteella, jossa 2 tai useampia lasilevyjä sulkee vastaavasti 1 tai useamman kaasuvälin lämmön johtumisen radikaaliksi vähentämiseksi saadaan lämmöneristävyyttä parannettua merkittävästi. Yksi ilmapäli, U -arvo n. $3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ja kaksi ilmapäliä, U -arvo

n. $2\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Lasien / ilmväliden määrän kasvattaminen edelleen johtaisi käytön kannalta painaviin ja kömpelöihin rakenteisiin.

Kun tarkastellaan tavallisista float -laseista koostuvan eristyslasin lämmönläpäisyä = energiahukkaa havaitaan n. kaksi kolmasosaa tapahtuvan säteilemällä. Lasipinnan emissiviteetti = kyky säteillä lämpö (IR) -säteilyä on korkea, $e = 0.837$ (EN 673), joka on siis myös absorptiokertoimen arvo. Huoneenpuoleinen lasi absorboituaan huoneen pintojen emittoimaa IR -säteilyä lämpiää, mutta luovuttaa energian ulos kylmän suuntaan hyvällä hyötysuhteella korkeasta emissiviteetistään johtuen.

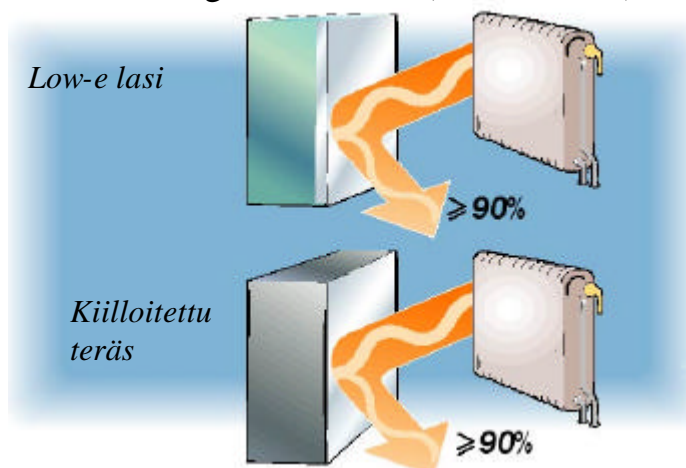


Kuva 22. Pitkäaaltoinen säteily.

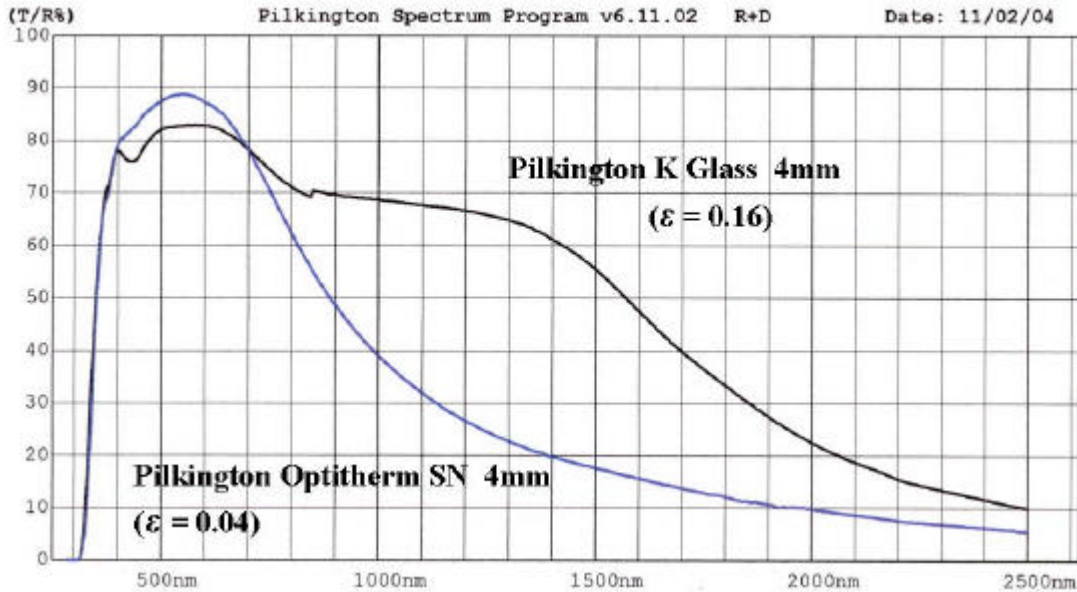
Sama toistuu lasirakenteessa edelleen ulospäin mentäessä.

Lasiteollisuus toi 80 -luvun alussa markkinoille pinnoitteet, joille on ominaista riittävän korkea valonläpäisy yhdistettynä lasipintaan verrattuna selvästi alhaisempi emissiviteetti. Tämä toisaalta tarkoittaa korkeaa lämpösäteilyn heijastusta.

Energiansäästölasit (selektiivilasi)



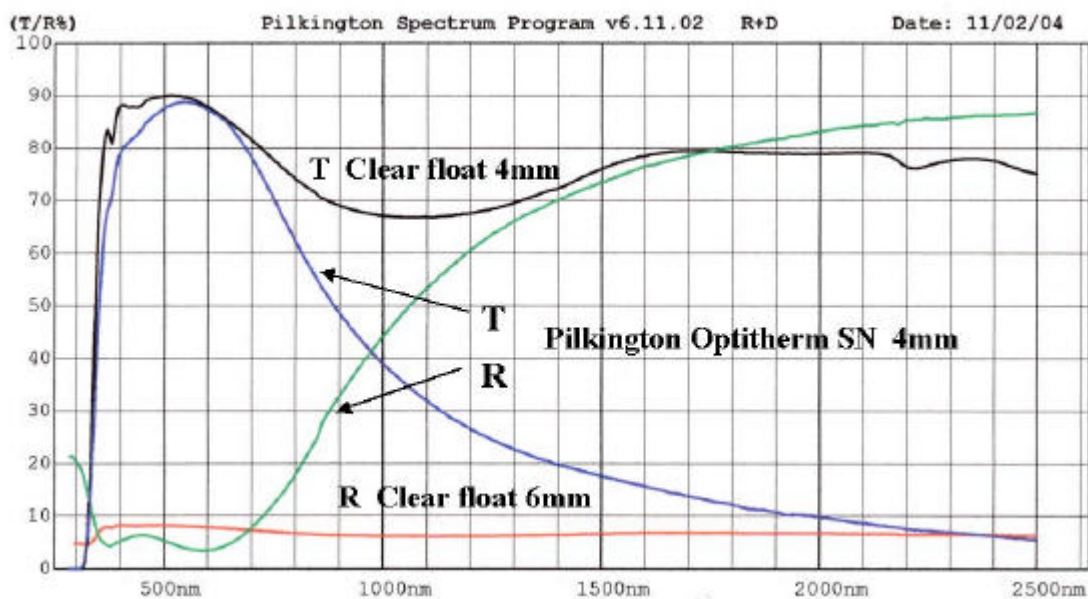
Kuva 23. Lasi jossa low -e pinnoite.



Kuva 24. Kaksi erityyppistä low -e pinnoitetta.

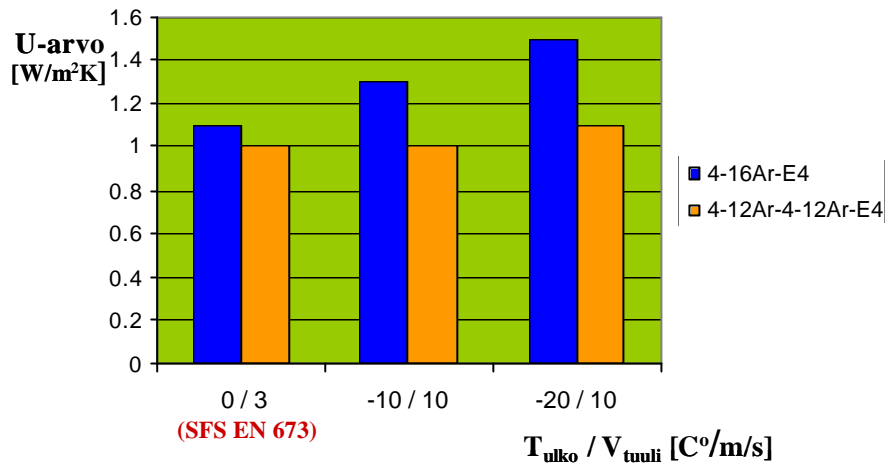
Teollisessa tuotannossa käytetään nykyisin kahta eri pinnoitusteknologiaa.

- Float -lasin valmistuksen yhteydessä, n. 630°C lämpötilassa tapahtuva pyrolyyttinen CVD (Chemical Vapour Deposition), kemiallinen kaasufaasikasvatus. Puhutun prosessin sijainnista johtuen On - Line -pinnoituksesta. Pinnoitteiden luonteesta johtuen näitä kutsutaan yleisesti kovapinnoitteiksi. Yleisin pinnoite on dopattua tinaoksidia (SnO₂) Tyypillinen emissiviteetti -kertoimen arvo $\epsilon = 0.15$. Nämä pinnoitteet ovat yleensä laminoitavissa ja karkaistavissa. (Ilmaisen) aurinkoenergian kokonaisläpäisy (TST, g -arvo) on korkeampi nk. pehmeäpinnoitteilla (ks. alla). Eräs ko. pinnoitteiden käyttösovellus on sähkölämmitteinen lasi.
- Erillisessä tyhjäkammiolinjassa tapahtuva nk. sputterointiprosessi. Koska valmistus tapahtuu lasin valmistuksen jälkeen käytetään termiä Off - Line prosesseista. Pinnoitteet ovat sandwich -ohutkalvorakenteita, low-e kerroksena hopea. Nykyisin tyypillinen näiden nk. pehmeäpinnoitteiden emissiviteetti -kertoimen arvo $\epsilon = 0.04$. Kovopinnoitteisia energiansäästölaseja alempi emissiviteetti johtaa siis eristyslasien parempaan lämmöneristävyyteen, matalampaan U -arvoon =lämmönläpäisykerroin (ent. K -arvo), mutta vastapainona on tyypillisesti alhaisempi g -arvo. Seikalla on merkitystä etenkin energiatase -tarkasteluissa.



Kuva 25. Pinnoittamattoman ja low –e pinnoitetun float-lasin läpäisy (T) ja heijastus (R).

Eristyslasien U –arvo lasketaan ja ilmoitetaan nykyisin perustuen standardiin (SFS) EN 673. Käyttäen eristyslasin täytekaasuna ilman sijasta Argon –kaasua ja optimoimalla lasien väli lämmöneristävyyden kannalta saavutetaan kaksinlasisella (2k) eristyslaseilla U –arvo $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vrt. 2k ”kirkas” ilmatäytteenä $U = 2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$). Lisäämällä yksi lasi ja siis kaasuväli vastaavat arvot ovat 3k eristyslasilla $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ja $1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$). Tämä pieni, $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ero on osoittautunut sudenkuopaksi, johon valitettavan useissa kohteissa on langettu. Ko. standardin mukainen U –arvo määritellään nimittäin tavalla, joka vastaa karkeasti olosuhteita sisällä 20°C , ulkona 0°C ja tuulen nopeus 3.5m/s . Meidän talvisäämme on kuitenkin usein selvästi rankempi, rannikolla tuuli yhdistyy pakkaaseen ja sisämaassa on usein huomattavastikin alhaisempia lämpötiloja. Lasirakenteen lämmönsiirtokerroin ulos alkaa kasvaa ripeästi lämpötilan laskiessa alle nollan ja erityisesti tuulennopeuden kasvaessa. Seurauksena on 2k –eristyslasin (yksi kammio) välitilan sisäisen konvektion kiihtyminen vastakkaisten pintojen lämpötilaeron kasvaessa. 3k –eristyslasissa (kaksi kammiota) lämpötilaero kammion yli jää käytännössä puoleen edellisestä ja olosuhderiippuvuus on näin ratkaisevasti vähäisempi.

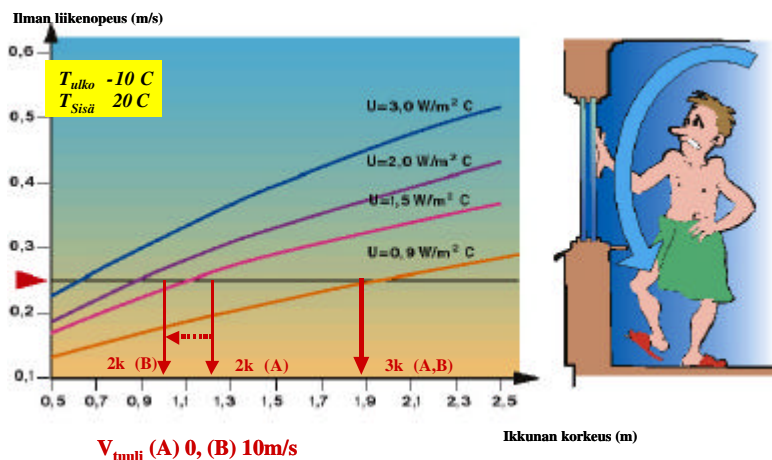


Kuva 26. Rakenne / Ilmasto / U-arvo.

Kuvassa 26 on esitetty U –arvon riippuvuutta em. rakenteilla eri olosuhteissa. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon eristyslasiin välitilan keskimääräistä kaventumista lämpötilan laskiessa, jolloin välitilan paineen laskun seurauksena lasit puristuvat lähemmäs toisiaan. Ilmiö pahentaa tilannetta ja korostaa eroa entisestään. Jo Rakennustuotedirektiivin kuudes keskeinen vaatimuskin liittyy energian säästöön vallitsevassa ilmastossa.

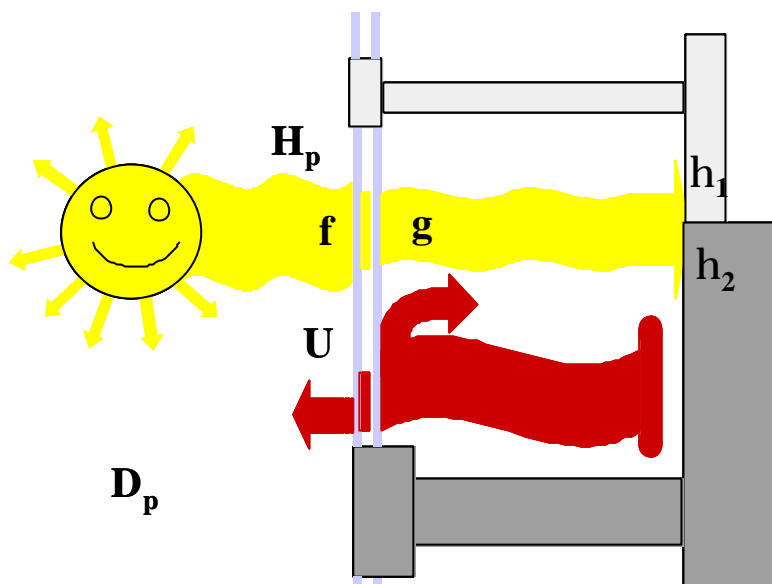
Käytön viihtyvyyden kannalta vähemmän kriittisissä tiloissa voidaan lasitus saada vieraanomaismääräysten määrittämään minimitasoon edullisesti kaksinkertaisilla eristylaseilla. Energiatarkastelussakaan ei merkittävää virhettä tehdä, koska lämmityskauden keskilämpötila on eteläisessä Suomessa 0°C tuntumassa. Mikäli tiloilta vaaditaan työ- ja oleskeluviihtyvyyttä, tulee ilmastomme ottaa huomioon ja valita kolminkertainen lasitus. Vaatimus korostuu hieman suurenpien ja etenkin korkeampien lasitusten kohdalla. Vaikka taulukoitu standardi U –arvo putoaa ainoastaan 1.1 -> 1.0 [W/m²K], hyvä eristystaso pysyy myös talvisissa olosuhteissa.

eri U-arvoilla



Kuva 27. Ikkunan kylmäveto / korkeus.

Nykyinen RakMK osa C3, Rakennuksen lämmöneristys, ottaa käytännössä huomioon ainoastaan johtumis- ja säteilyhäviöt. Lasirakenteiden läpäisemää, sisälle suuntautuvaa ilmaista auringonenergiaa ei taulukkotarkasteluiden nk. vertailurakennuksessa oteta lainkaan huomioon. Tämä lasirakenteiden energiatase –tarkastelu on edullista tehdä määräysten sallimaan kompensointiperiaatteeseen pohjaavassa, kokonaisenergiantarve – tarkastelussa.



Kuva 28. Energiatase.

EN ISO 14438 Energiataseluku

$$E = U - g \cdot \frac{h \cdot f \cdot H_p}{D_p}$$

U	[W/m ² K]
g	aurinkoenergian kokonaisläpäisy
h	hyötysuhde, rakenteiden kyky sitoa säteilyenergiaa (vertailu 0.6)
f	huolto- / varjostuskerroin, likaantuminen jmv. (vertailu 0.8)
H_p	varjostumaton säteilyenergia (lämmityskausi) [kWh/m ²]
D_p	astepäiväluku [K · 24h]

Kuva 29. Energiatase.

Suomi on sitoutunut mukauttamaan lakinsa ja määräyksensä ottamaan huomioon 2006 alusta voimaantulevan Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin vaatimukset. Tällöin asia tultaneen ottamaan huomioon myös RakMK tasolla.

YHTEENVETO

Lasirakenteet on kokemusperäisesti osattu mitoittaa erittäin luotettavasti vastaamaan käytännön vaatimuksia. Valitettavasti lasin mallintaminen ja siitä oikeaoppisesti johdettu mitoitusäännöstö on vielä pahasti kesken. Energianhallinnan osalta on lasiteknoologia kyennyt vastaamaan hyvin rakentamisen kiristyviin vaatimuksiin ja määräyksiin. Esimerkiksi lasirakenteiden kehäosien (karmit, puitteet) kehitys on lämmöneristävyuden kannalta jäänyt kauas jälkeen. Liialliselta auringon kuormitukselta kyetään nykyisin suojautumaan fysiikan rajoja hipovalla valonläpäisyn tasolla. Riittävän luonnonvalon turvaaminen etenkin toimitilarakentamisessa on ratkaisevan tärkeää. Lasi on jatkuvasti kasvattanut osuuttaan rakentamisessa käytännössä ainoana valoaläpäisevänä ja läpinäkyvänä materiaalina. Tämä on mahdollistunut ainoastaan alan voimakkaan ja tuloksellisen tutkimus ja kehitystyön seurauksena. Rakennuslasituotteiden ominaisuuksien kirjon laajeneminen on merkittävästi lisännyt suunnittelijoiden ammattitaidolle asetettavia vaatimuksia. Valitettavasti on pakko todeta, että koulutusjärjestelmämme ei vielä ole tilanteeseen kaikilta osin herännyt.

Lasin pääraaka-aine on piioksidi, kvartsi. Pii on maankuoren yleisin alkuaine, myös muut raaka-aineet esiintyvät luonnossa yleisinä. Lisäksi kierrätykseen hyvin soveltuvana se pystyy vastaamaan jatkuvasti tiukkeneviin kestävän kehityksen haasteisiin.

- **Ainoa valoaläpäisevä ja läpinäkyvä rakennusmateriaali**
- **Pääraaka-aine Piioksidi. Pii yleisin maankuoren alkuaine**
- **Uuden ikkunan energiasisällöstä lasin osuus n. 20 - 30%**
- **Elinkaaritarkastelussa lasituksen energiatehokkuus ratkaiseva**
- **Pinnoite maksaa itsensä takaisin luonnolle n. 1 - 2 vkossa**
- **Suomessa omaa lasinvalmistusta, päätyy vientiin**
- **Tuonti pääosin n. 800km merikuljetus**
- **Lasi ei vanhene ja on täydellisesti kierrätettävissä**

Kuva 30. Rakennuslasi ja ympäristö.

Tahvo Sutela, tekninen neuvonta

Pilkington Lahden Lasitehdas Oy, PL 20,
Ala-Okeroistentie 213, 15820 – Lahti,
tahvo.sutela@pilkington.fi