



SUOMEN TASOLASIIYHDISTYS RY.

**Rakennuslasien mitoitus standardin SFS-EN 16612:2019
mukaan**

LasiMitta 1.2 -mitoitusohjelma

Ohjelman laskentaperusteet

Versio 9.4.2024

Paavo Hassinen

Jenni Heikkilä

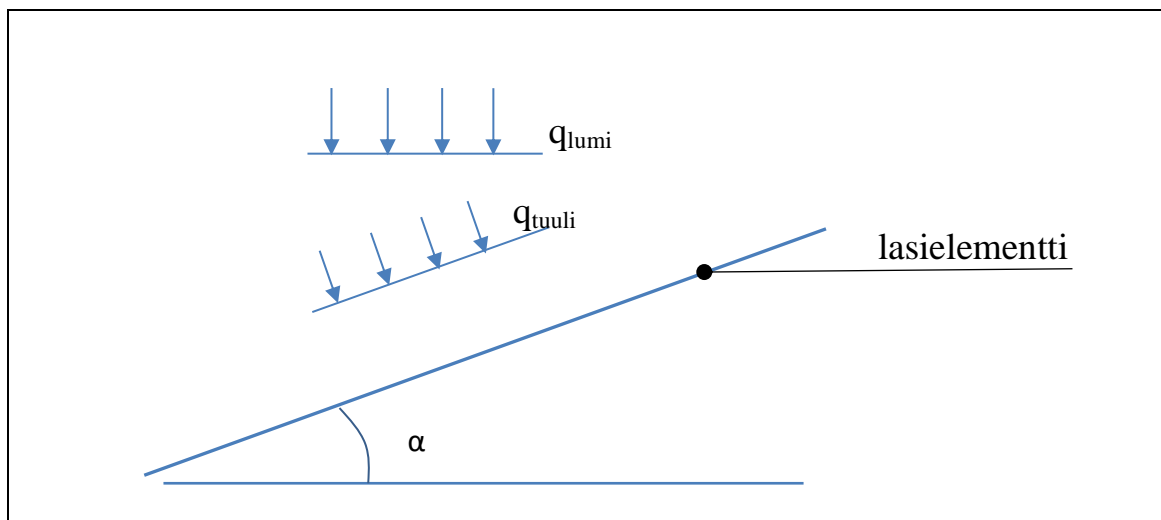
LasiMitta 1.2

Ohjelman laskentaperusteet

1. Yleistä

Lasirakenteiden mitoittamiseen tarkoitettu standardi SFS-EN 16612:2019 julkaistiin pitkän valmistelutyön tuloksena vuonna 2019. Standardi on tarkoitettu ensisijaisesti täytelasilaattojen (infill) mitoittamiseen. Täytelaseielementeillä tarkoitetaan rakenteita, joiden rikkoutumisesta aiheutuvien vahinkojen seuraamusluokka on pienempi kuin CC1. Kuormien määrittäminen suoritetaan EN 1991-1, -1-3 ja -1-4 standardien mukaan. Kuormien vaikutukset yhdistetään EN 1990 standardin periaatteiden mukaisesti käyttörajatilassa ja murtorajatilassa. Lasilaatan lasin taivutuslujuuden mitoitusarvon määrittämistä varten on annettu lausekkeet, jotka ovat liki yhtenevät lasirakenteiden tulevissa Eurokoodeissa annettavien lausekkeiden kanssa. Standardissa EN 16612 annetaan ohjeet myös 2k ja 3k eristyslaseielementin mitoittamista varten. Laattarakenteiden laskennassa tarvittavat laattavakiot voidaan laskea jatkuvien funktioiden avulla.

Standardissa SFS-EN 16612:2019 annettujen laskentalausekkeiden perusteella on kirjoitettu lasilaattojen mitoittamiseen tarkoitettu laskentaohjelma LasiMitta. Laskentalausekkeet on ohjelmoitu MS Excel -ohjelmalla. Tässä ohjeessa kuvataan niitä valintoja, jotka ohjelmaa kirjoitettaessa on tehty standardista löytyvien parametrien määrän rajoittamiseksi tavanomaisissa mitoitusasteissa. Myöhemmin tehtävät kansalliset valinnat saattavat vaikuttaa parametrien arvoihin. Ohjeessa on kuvattu myös yleisesti muista Eurokoodi-standardeista löytyviä, lasirakenteiden mitoituksessa tarpeellisia ohjeita.



Kuva 1. Laskelmissa otetaan huomioon lasilaattojen omapainon lisäksi lumi- ja tuulikuorma, joiden vaikutus riippuu laatan ja vaakatason välisestä kulmasta α . Lasilaatan omapaino lasketaan lasikerrosten nimellisten paksuuksien ja α -kulman perusteella. Tuulikuorma kohdistuu kohtisuoraan lasipintaa vasten. Lumikuorma on pystysuora kuorma, joka sisältää kinostumisen vaikutukset. Kuormat ovat ominaiskuormia.

Standardi EN 16612:2019 kuvaa neljältä sivulta jatkuvasti tuettujen lasilaattojen lujuusteknistä mitoitus, kun laattoihin kohdistuu tasaisesti jakautuneen painekuorman vaikutus.

Standardiluonnoksen kuvaamia periaatteita voidaan käyttää myös paikallisilla kuormilla kuormitettujen pistemäisesti tuettujen laattojen mitoituksessa. Laskentaohjelma kattaa vain tasaisesti jakautuneiden kuormien rasittamat lasilaatat.

Ohjelman käyttäjän edellytetään tuntevan tasolasirakenteiden lujuustekninen käyttäytymisen ja mitoituksen. Ohjelman tekijät eivät ota vastuuta laskettujen tulosten oikeellisuudesta.

2. Lasilaatan mekaaniset ominaisuudet

Laskentaohjelmassa käytetään lasin tiheydelle, kimmokertoimelle ja Poisson vakiolle arvoja

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3, E = 70000 \text{ N/mm}^2 \text{ ja } \mu = 0.22.$$

3. Laskentaohjeessa käytetyt laskentapaksuudet

Laskentaohjelmassa lasilaatan taivutusjännitys, taipuma, suhteellinen painekuorma, laminoidun lasilaatan tehollinen paksuus ja kuormien jakautuminen eristyslaselementin kerrosten välillä lasketaan yksittäisten lasilaattojen nimellisten paksuuksien perusteella. Lasilaatan todellinen paksuus voi olla tuotestandeissa sallitun paksuuspoikkeaman verran pienempi. Yksittäisten lasikerrosten nimellisiä paksuuksia merkitään laskentaohjelmassa standardissa käytetyllä symbolilla h_i .

4. Lasilaatan taivutuslujuuden mitoitusarvo

Laskentaohjelmassa float-lasilaatan taivutusvetolujuuden mitoitusarvo lasketaan standardin lausekkeesta (luku 8.1)

$$f_{g.d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp}}{\gamma_{M.A}} f_{g.k}$$

Lämpölujitetun ja karkaistun lasilaatan taivutusvetolujuuden mitoitusarvo lasketaan vastaavasti lausekkeesta (luku 8.2)

$$f_{gv.d} = \frac{k_{mod} k_{sp}}{\gamma_{M.A}} f_{g.k} + \frac{k_v}{\gamma_{M.v}} (f_{b.k} - f_{g.k})$$

Lausekkeissa lasilaatan aikavaikutuskerroin k_{mod} saa arvon

- $k_{mod} = 1.0$, kun kuormitusyhdistelmässä on mukana hetkellisen tuulikuorman (3 sek) vaikutus,
- $k_{mod} = 0.58$, kun kuormitusyhdistelmässä on mukana eristyslaselementin välitilan kaasunpaineeseen vaikuttava lämpötilan tai barometrisen paineen muutoksen (8 h) vaikutus,
- $k_{mod} = 0.41$, kun yhdistelmässä on mukana lumikuorman vaikutus (3 kk) ja
- $k_{mod} = 0.29$, kun tarkastellaan pelkästään pysyvän kuorman kuten omapainon vaikutusta.

Float-lasin pintakertoimelle käytetään arvoa $k_{sp} = 1.0$ ja lämpölujitetun ja karkaistun lasilaatan karkaisukertoimelle arvoa $k_v = 1$. Jälkimmäinen kerroin on tarkoitettu sellaisille lämpölujituksen ja karkaisun tuottamille lasilaatoille, joihin ei ole jäänyt paikallisia esimerkiksi käsiteltävän laatan tukien kohtien aiheuttamia lujuuden heikennyksiä. Tarvittaessa nämä heikennykset pitää ottaa erikseen huomioon. Nurkan vaikutusta kuvaavalle kertoimelle käytetään arvoa $k_e = 1.0$.

Laskentaohjelmassa float-lasin taivutusvetolujuuden ominaisarvo on $f_{g,k} = 45 \text{ N/mm}^2$. Lämpölujitetun ja karkaistun laatan taivutusvetolujuuden ominaisarvot ovat vastaavasti $f_{b,k} = 70$ ja 120 N/mm^2 .

Aineosavarmuusluku float-lasille murtorajatilassa on $\gamma_{M,A} = 1.8$. Lämpölujituksen ja karkaisun tuomalle taivutusvetolujuuden lisäykselle aineosavarmuusluku on $\gamma_{M,b} = 1.2$. Aineosavarmuuslukuja käyttörajatilamitoitusta varten ei ole määritetty, koska laatan kestävyyttä käyttörajatilassa ei erikseen tutkita.

Edellä esitettyjen parametriarvojen avulla saadaan alla olevassa taulukossa esitetyt kuorman vaikutusajasta riippuvat taivutusvetolujuuden mitoitusarvot.

Lasilaatu	pysyvä kuorma	lumikuorma	välitilan kaasunpaineen muutos	tuulikuorma
Murtorajatilamitoitus				
Float-lasi	7.2	10.2	14.5	25.0
Lämpölujitettu lasi	28.1	31.1	35.3	45.8
Karkaistu lasi	69.7	72.7	77.0	87.5

Taivutusvetolujuuden mitoitusarvo tarkoittaa rajatilamenetelmän mukaista jännityksen raja-arvoa (R_d). Tätä raja-arvoa ei saa sekoittaa aiemmin käytetyn sallittujen jännitysten menetelmän mukaiseen taivutusjännityksen sallittuun arvoon.

5. Lasilaatan laattakertoimet

Taivutetun laatan määräävän jännityksen ja määräävän taipuman arvioinnissa käytettävissä lausekkeissa yhtenä muuttujana on laatan sivumittojen suhteesta ($\lambda = a/b \leq 1$) riippuva laattakerroin k_1 ja k_4 (Liite B, lausekkeet B1 ja B2).

$$\sigma_d = k_1 \frac{a^2}{h^2} q_d \quad \text{ja} \quad w_k = k_4 \frac{a^4}{h^3} \frac{q_k}{E}$$

Laatan taipuessa muodostuvan taipumapinnan tilavuutta kuvataan lisäksi kertoimella k_5 (Liite B, lauseke B3).

$$\Delta V_k = k_5 ab \frac{a^4}{h^3} \frac{q_k}{E}$$

Jos taivutetun laatan suurten taipumien vaikutus eli niin sanottu kalvovaikutus otetaan huomioon, laattakertoimet k_1 ja k_4 riippuvat sivusuhteen λ lisäksi myös kuorman suuruudesta p^* (Liite B, lauseke B4).

$$p^* = \left(\frac{a b}{4 h^2}\right)^2 \frac{q}{E}$$

Kalvovaikutus muuttaa jännitysten jakautumista ja taipumapintaa, jos laatan taipuma ylittää puolet laatan paksuudesta. Kalvovaikutus yleensä pienentää laatan jännitysten ja taipumien kasvua laatan keskellä mutta lisää taivutusjännityksiä laatan reunoilla ja nurkissa.

Standardin EN 16612:2019 liitteen B mukaiset laattakertoimet määritetään joko valitsemalla ja interpoloimalla annetuista taulukkoarvoista tai laskemalla suljetuista lausekkeista.

- lasilaatan taivutusjännityksen laskennassa tarvittava kerroin $k_1 = k_1(\lambda, p^*)$ (taulukko B.1)
- lasilaatan taipuman laskennassa tarvittava kerroin $k_4 = k_4(\lambda, p^*)$ (taulukko B.2)
- lasilaatan taipumisen aiheuttaman tilavuuden muutoksen arvioinnissa tarvittava kerroin $k_5 = k_5(\lambda)$ (taulukko B.3)

Lausekkeissa $\lambda = a/b$ on suorakaiteen muotoisen laatan sivusuhte ($\lambda \leq 1.0$) ja p^* suhteellinen tasaisesti jakautunut pintakuorma. Lineaarinen ratkaisu ilman kalvovoimien vaikutusta saadaan asettamalla $p^* = 0$. Lasilaatan tilavuuden muutos lasketaan ohjelmassa lineaarisen laattateorian mukaan taulukossa B.3 annetusta lausekkeesta.

On huomattava, että taipuisan laatan ($p^* > 0$) määräävä taivutusjännitys eli ensimmäinen päävetojännitys ei välttämättä löydy laatan keskeltä, vaan määräävä jännitys voi olla laatan nurkassa, jossa lasin vetolujuus on reunan alkusäröjen vuoksi yleensä pienempi kuin lujuus laatan keskellä.

6. Laminoituneen lasilaatan tehollinen paksuus

Laminoituneen lasilaatan kerrosten välistä yhteistoimintaa kuvataan leikkauskertoimella ω , joka voi saada arvoja välillä 0 ... 1. Leikkauskerroin ω pitää määrittää tuotekohtaisesti kokeellisesti. Laskentaohjelmaan leikkauskertoimen arvoksi on valittu $\omega = 0.2$. Tämä arvo ei välttämättä ole aina ns. varmallalla puolella. Suuri leikkauskerroin kasvattaa lasikerrosten taivutusjäykkyyttä, joka lisää eristyslaselementin sisäisiä kuormia. Eristyslaselementin kuormia arvioitaessa, leikkauskertoimelle pitäisi käyttää yläraja-arvoa ja lasikerrosten kestävyyttä arvioitaessa alaraja-arvoa. Leikkauskertoimen vaikutus pitää erikseen selvittää, jos leikkauskerroin on ohjelmassa käytettyä arvoa $\omega = 0.2$ pienempi.

Laminoituneelle lasilaatalle lasketaan tehollinen paksuus erikseen

- taipumien laskemista ja eristyslaselementin lasikerrosten välitilojen painekuormien määrittämistä varten ja
- yksittäisten lasikerrosten taivutusjännitysten laskemista varten.

Tehollinen paksuus taipumien ($h_{ef,w}$) ja jännitysjakautumien laskentaan saadaan standardin liitteen luvussa D.2 esitetystä lausekkeesta (D.1) ja teholliset paksuudet erillisten lasikerrosten taivutusjännitysten laskentaa ($h_{ef,\sigma,i}$) varten saman luvun lausekkeesta (D.2).

Leikkauskertoimen merkitystä kuvaa alla olevassa taulukossa laskettu esimerkki. Esimerkissä käytetty laminoitu lasilaatta on valmistettu kahdesta lasikerroksesta $h_1 = 6$ mm ja $h_2 = 4$ mm, joiden välissä on 0.76 mm paksu välikalvo.

Leikkauskerroin ω	Taipumien laskenta		Taivutusjännitysten laskenta	
	Tehollinen paksuus ($h_{ef,w}$), mm		1. kerroksen tehollinen paksuus ($h_{ef,\sigma,1}$), mm	2. kerroksen tehollinen paksuus ($h_{ef,\sigma,2}$), mm
0	6.54		6.83	8.37
0.2	7.78		8.25	9.36
0.3	8.28		8.76	9.66
0.5	9.12		9.55	10.08
1	10.73		10.76	10.64

7. Kuormien osavarmuuskertoimet ja yhteisvaikutuskertoimet ja kuormien yhdistäminen

SFS-EN 16612 standardin mukaan murtorajatilamitoituksessa käytetään pysyväälle kuormalle (G) ja muuttuvalle kuormalle (Q) seuraavia kuorman osavarmuuskertoimia

$$\gamma_G = 1.1, \gamma_{G1} = 1.1, \gamma_{G2} = 0.9, \gamma_Q = 1.1.$$

Näitä alennettuja kertoimia voi käyttää ainoastaan täytelaseielementtien mitoituksessa (CC luokka pienempi kuin CC1). Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimille käytetään arvoja

$$\psi_{lumi} = 0.7 \text{ ja } \psi_{tuuli} = 0.6.$$

Lämpötilan ja barometrisen paineen muutoksesta aiheutuvan eristyslaseielementin välitilan kaasunpaineen muutoksen aiheuttamalle kuormalle käytetään yhdistelykerrointa

$$\psi_{clima} = 0.6.$$

Laskentaohjelmassa lasilaattojen kuormakertoimen K_{FI} arvoksi on valittu $K_{FI} = 1.0$.

Murtorajatilan mukaiseen yhdistelmään otetaan mukaan pysyvien kuormien ja tuuli- ja lumikuorman vaikutus. Eristyslaseielementtien mitoitustehtävässä murtorajatilamitoituksen mukaiseen jännitysten yhdistelmään otetaan lisäksi elementin lasikerrosten välitilan tai välitilojen kaasun paineen muutoksen tuomat rasitukset. Yhdistelmää kuvaa standardin luvussa 7 annettu lauseke (1).

Pystysuoraan asennetun eristyslaseielementin kunkin lasilaatan murtorajatilatarkastelussa tutkitaan seuraavat tasaisesti jakautuneiden kuormien aiheuttamien jännitysten lyhytaikaiset ja hetkelliset yhdistelmät

$$\sigma_d = \gamma_G \sigma_{\Delta H,k} + \gamma_Q (\sigma_{\Delta p,k} + \sigma_{\Delta T,k})$$

$$\sigma_d = \gamma_G \sigma_{\Delta H,k} + \gamma_Q (\sigma_{tuuli,k} + \psi_{clima} (\sigma_{\Delta p,k} + \sigma_{\Delta T,k}))$$

$$\sigma_d = \gamma_G \sigma_{\Delta H.k} + \gamma_Q (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k} + \psi_{tuuli} \sigma_{tuuli.k})$$

Yksittäisen pystysuoraan asennetun lasilaatan murtorajatilatarkastelussa mukana on vain tuulikuorman vaikutus $\sigma_{tuuli.k}$.

Vaakasuoraan tai kaltevaan asentoon asennetun eristyslaselementin kunkin lasikerroksen murtorajatilatarkastelussa tutkitaan seuraavat tasaisesti jakautuneiden kuormien aiheuttamien jännitysten pitkäaikaiset, lyhytaikaiset ja hetkelliset yhdistelmät

$$\sigma_d = \gamma_G (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k})$$

$$\sigma_d = \gamma_{G1} (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k}) + \gamma_Q (\sigma_{lumi.k} + \psi_{clima} (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k}))$$

$$\sigma_d = \gamma_{G1} (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k}) + \gamma_Q (\psi_{lumi} \sigma_{lumi.k} + (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k}))$$

$$\sigma_d = \gamma_{G1} (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k}) + \gamma_Q (\sigma_{lumi.k} + \psi_{tuuli} \sigma_{tuuli.k} + \psi_{clima} (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k}))$$

$$\sigma_d = \gamma_{G1} (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k}) + \gamma_Q (\sigma_{tuuli.k} + \psi_{lumi} \sigma_{lumi.k} + \psi_{clima} (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k}))$$

$$\sigma_d = \gamma_{G1} (\sigma_G + \sigma_{\Delta H.k}) + \gamma_Q (\sigma_{\Delta p.k} + \sigma_{\Delta T.k} + \psi_{lumi} \sigma_{lumi.k} + \psi_{tuuli} \sigma_{tuuli.k})$$

Kuormitusyhdistelmässä käytetty pysyvän kuorman osavarmuuskerroin γ_G riippuu kuorman vaikutuksen suunnasta. Mitoitusjännitystä kasvattavalle jännitykselle käytetään kerrointa γ_{G1} ja mitoitusjännitystä pienentävälle jännitykselle kerrointa γ_{G2} .

Yksittäisen vaakasuuntaan tai kaltevaan asentoon asennetun lasilaatan murtorajatilatarkastelussa mukana ovat pysyvän kuorman ja lumi- ja tuulikuorman vaikutukset σ_G , $\sigma_{lumi.k}$ ja $\sigma_{tuuli.k}$.

Käytännössä on tapauskohtaisesti otettava huomioon myös paikallisten vaakasuorien törmäyskuormien ja paikallisten pystykuormien vaikutus.

Käyttörajatilatarkastelu sisältää vain taipumien arvioimisen ja taipumien vertaamisen sallittuihin taipumiin. Kuormitusyhdistely taipumatarkastelua varten tehdään EN 1990 standardin kuvaaman ominaisyhdistelmän mukaan. Tämä poikkeaa standardiluonnoksen luvussa 7 esitetystä yhdistelmästä (3.b), joka vastaa tavallista yhdistelmää.

Pystysuoraan asennetun eristyslaselementin lasikerrosten käyttörajatilatarkastelussa tutkitaan seuraavat tasaisesti jakautuneiden kuormien aiheuttamien taipumien yhdistelmät

$$w_k = w_{\Delta H.k} + w_{tuuli.k} + \psi_{clima} (w_{\Delta p.k} + w_{\Delta T.k})$$

$$w_k = w_{\Delta H.k} + w_{\Delta p.k} + w_{\Delta T.k} + \psi_{tuuli} w_{tuuli.k}$$

Yksittäisen pystysuoraan asennetun lasilaatan käyttörajatilatarkastelussa mukana on vain tuulikuorman vaikutus $w_{tuuli.k}$.

Vaakasuoraan tai kaltevaan asentoon asennetun eristyslaselementin lasikerrosten käyttörajatilatarkastelussa tutkitaan seuraavat tasaisesti jakautuneiden kuormien aiheuttamien taipumien yhdistelmät

$$w_k = w_G + w_{\Delta H.k} + w_{lumi.k} + \psi_{tuuli} w_{tuuli.k} + \psi_{clima} (w_{\Delta p.k} + w_{\Delta T.k})$$

$$w_d = w_G + w_{\Delta H.k} + w_{tuuli.k} + \psi_{lumi} w_{lumi.k} + \psi_{clima} (w_{\Delta p.k} + w_{\Delta T.k})$$

$$w_d = w_G + w_{\Delta H.k} + w_{\Delta p.k} + w_{\Delta T.k} + \psi_{lumi} w_{lumi.k} + \psi_{tuuli} w_{tuuli.k}$$

Yksittäisen vaakasuuntaan tai kaltevaan asentoon asennetun lasilaatan käyttörajatilatarkastelussa mukana ovat pysyvän kuorman ja lumi- ja tuulikuorman vaikutukset w_G , $w_{lumi.k}$ ja $w_{tuuli.k}$.

Käytännössä on tapauskohtaisesti otettava huomioon myös pysty- ja vaakasuuntaan vaikuttavien paikallisten piste- ja viivakuormien vaikutus.

Yksittäisen lasilaatan mitoitustehtävässä ohjelma tutkii viisi kuormitusyhdistelmää käyttö- ja murtorajatilassa. Eristyslaselementin kohdalla tutkitaan 12 kuormitusyhdistelmää sekä käyttöettä murtorajatilassa.

8. Eristyslaselementin kuormat

Tuulikuorma aiheuttaa ilman paine-eron laatan eri puolille. Näitä paine-eroja kuvataan paine- ja imukertoimilla. Paine-ero voidaan jakaa ulko- ja sisäpintaan kohdistuviksi kuormiksi ($q_{tuuli.e.k}$ ja $q_{tuuli.i.k}$). Tässä laskentaohjelmassa tuulikuorman painearvo ($q_{tuuli.e.k} + q_{tuuli.i.k}$) on kokonaisuudessaan kohdistettu eristyslaselementin ulkopinnan lasilaattaan kohdistuvaksi kuormaksi ja tuulikuorman ns. imukuorma paineena kokonaisuudessaan sisäpinnan lasilaattaan kohdistuvaksi kuormaksi. Eristyslaselementin lasikerrosten jäykkyyksien ja välitilan paksuuden perusteella kuormat jakautuvat eri kerroksille.

Eristyslaselementin välitilan tai välitilojen kaasun paine muuttuu kolmen eri ilmiön vaikutuksesta, jotka ovat asennus- ja valmistuspaikan maantieteellinen korkeusero, barometrisen paineen muutos ja lämpötilan muutos. Välitilan paineen muutos tuo lisäkuormaa yksittäiseen lasikerrokseen.

Laskentaohjelmassa on tehty seuraavat eristyslaselementin välitilan kaasunpaineen muutokseen vaikuttavat valinnat.

Suurimmaksi korkeuseroksi eristyslaselementin asennus- ja valmistuspaikan välille on valittu suomalaiseen ympäristöön sopiva korkeusero $\Delta H = +100 \text{ m} / -100 \text{ m}$. Korkeuseron tuottama välitilan paine-ero on pysyvä kuorma.

Barometrisen paineen muutoksen ääriarvot ohjelmassa ovat $\Delta p = -2 \text{ kPa}$ ja $+4 \text{ kPa}$, jotka vastaavat -20 ja $+40$ millibaarin suuruista ilmanpaineen muutosta. Normaali ilmanpaine on 1013 millibaaria.

Eristyslaselementin eristämän sisätilan ja ulkotilan väliseksi lämpötilaeroksi on valittu kesäaikaan $(+70 - (+20)) = +40^\circ\text{C}$ ja talviaikaan $(-30 - (+20)) = -50^\circ\text{C}$. Lämpötilaero jaetaan suoraviivaisesti sisä- ja ulkopinnan ja välitilojen välille. 2k eristyslaselementin välitilan kaasun lämpötilan muutos on siten $+20^\circ\text{C}$ kesällä ja -25°C talvella. 3k eristyslaselementin ulomman välitilan kaasun lämpötilan muutos on vastaavasti $+26.7^\circ\text{C}$ kesällä ja -33.3°C talvella. Sisemmän välitilan kaasun lämpötilan muutos on $+13.3^\circ\text{C}$ kesällä ja -16.7°C talvella. Lasikerrosten pintojen heijastuksen vaikutusta ei ole otettu huomioon.

Barometrisen paineen muutoksen ja lämpötilan muutoksen tuottama välitilan paine-ero on ohjelmassa lyhytaikainen 8h mittainen muuttuva kuorma.

Tarkemmat arvot välitilojen lämpötilan muutoksille tulee määrittää eristyslaselementin lämpötila-analyysin avulla. Lämpötila-analyysistä saadaan myös profiilien taakse jäävien lasikerrosten reuna-osien lämpötilaero, jota pitää erikseen verrata kyseisen lasikerroksen kestävyyyteen. Lasikerroksen reuna- ja keskiosan välisen lämpötila-eron vaikutusta lasikerroksen kestävyyyteen tässä analyysissä ei tutkita.

Jos valmistus- ja asennuspaikan välinen korkeusero, barometrisen paineen muutos tai kesä- ja talviympäristön tuottama lämpötilaero poikkeaa merkittävästi edellä mainituista valinnoista, ne pitää ottaa huomioon eristyslaselementin lopullisessa mitoituksessa.

9. Sallittu taipuma

Yhdestä monoliittisesta tai yhdestä laminoidusta lasikerroksesta muodostuvan lasilaatan sallittu taipuma käyttörajatilassa tässä laskentaohjelmassa on määräävä arvoista 25 mm tai $a/100$, missä a on lasielementin pienin sivumitta. Eristyslaselementin kunkin lasikerroksen sallittu taipuma käyttörajatilassa on vastaavasti määräävä arvoista 25 mm tai $a/100$.

10. Rakennevaihtoehdot ohjelmassa

yleiset rajoitukset

lasilaatan sivusuhte $0.2 \leq a/b \leq 1$

laminoidun lasilaatan leikkauskerroin $\omega = 0.2$

laminoidun lasilaatan laminointikalvon paksuus 0.76 mm

kuormakerroin $K_{FI} = 1.0$

1k lasilaatta

rakenne; monoliittinen lasilaatta ja kahdesta tai kolmesta kerroksesta laminoitu lasilaatta

yksittäisten lasikerrosten lujuudet; float, lämpölujitettu ja karkaistu

2k eristyslaselementti

ulko- ja sisälasikerroksen rakenne; monoliittinen lasilaatta ja kahdesta kerroksesta laminoitu lasilaatta

yksittäisten lasikerrosten lujuudet; float, lämpölujitettu ja karkaistu

3k eristyslaselementti

ulko-, väli- ja sisälasikerroksen rakenne; monoliittinen lasilaatta ja kahdesta kerroksesta laminoitu lasilaatta

yksittäisten lasikerrosten lujuudet; float, lämpölujitettu ja karkaistu