

Kaidelasien turvallisuus – katsaus vuoteen 2023

1.12.2023

Jenni Heikkilä





Onnettomuus 2.3.2023

- 7. krs
- nuori henkilö ilmeisesti kompastui kynnykseen ja selkä edellä törmäsi kaidelasiin, lasi petti ja henkilö tippui
- ainoa virhe, mitä rakenteista on löytynyt, on vain liian ohut kaidelasi ja siten puutteellinen mitoitus
- kaidelasin rakenne 44.1 kahdelta sivulta tuettu
- syksyllä yli 2000 parveketta edelleen käyttökiellossa

Kaidelaseja
käytettiin
Suomessa yli 25
vuotta ilman
vakavia
onnettomuuksia

- Vantaan rava määräsi onnettomuustalon kaikki parvekkeet käyttökieltoon
- 6.3. Tukes tutkinta käynnistyi
- 30.3. YM suositteli kiinnittämään huomiota kaidelasien vaatimustenmukaisuuteen käynnissä olevissa hankkeissa
- käyttökieltoja (lyhytaikaisia ja pitkiä)
- kohdekohtaiset laskelmat tuuli, viiva- ja pistekuorman suhteen (myös jo valmistuneista) ja selvitys kiinnikkeiden kestävyydestä
- kolmannen osapuolen tarkastukset ja korjaukset
- 1.6.23 Tasolasiyhdistys julkaisi kaidelasin mitoitusohjeen

Tukesin loppuraportti

Vertailulaskelmat

Asetusten ja määräysten mukaan kaiteen suojaavat osat tulee aina mitoittaa kohdekohtaisesti tuuli-, piste- ja viivakuormalle.

Lasin mitat 903 x 1065 mm, rakenne 4+4, PVB 0,38 mm.

Tukesin mukaan kohteen lasit oli mitoitettu vain tuulikuormalle.

Vertailulaskelmissa käyttöasteeksi murtorajatilassa tuulikuormalle saatiin 68 % (ok), pistekuorma ylittyi kaksinkertaisesti (n. 200 %).

Analyysien perusteella määräävä tekijä lasin suunnittelukapasiteetin kannalta on sen pistekuormakapasiteetti.

Tukesin loppuraportti

Heilurikoe

- 44.1 rakenteelle tehdyssä testissä lasi hajosi ja irtosi kiinnikkeistään alimmillaan 250 mm pudotuskorkeudelta
- johtopäätös: n. 80 kg henkilön on mahdollista saada kaiteessa käytetty 44.1 lasi rikki kaatuessaan lasia päin.

Tukesin loppuraportti

Tukes on laajamittaisemmin tehnyt heiluritestauksia eri tyyppisille lasille ja kaidejärjestelmille syyskuun 2023 aikana. Havaintona on mm. se, että 55.1 lasi hajosi reunaan lyötynä 190mm pudotuskorkeudelta. Näihin edellä mainittuihin testeihin ja havaintoihin perustuen Tukes katsoo, että 50kg heilurilla tehty testi 450mm pudotuskorkeudelta ei ole ylimitoitettu koetilanne.

Esimerkiksi Iso-Britannian kansallisessa testausstandardissa BS6206 lasiin kohdistuvat voimat oli määritelty seuraavasti:

- 190 mm:n pudotuskorkeus vastaa sitä voimaa kun aikuinen työntää voimakkaasti lasia vasten tai lapsi juoksee lasia päin.
- 450 mm pudotuskorkeus vastaa isompaa voimaa kuin aikuinen kävelee lasia päin, mutta pienempää voimaa kuin juoksemalla sitä kohti.
- 1200 mm:n pudotuskorkeus on tarkoitettu lasin testaamiseen kriittisiin sovelluksiin. johtopäätös: n. 80 kg henkilön on mahdollista saada kaiteessa käytetty 44.1 lasi rikki kaatuessaan lasia päin.

Tukesin loppuraportti

Yhteenveto

Vertailulaskelman tulosten perusteella kaidejärjestelmän suojaava lasiosa ei laskennallisesti tarkasteltuna täytä Ympäristöministeriön asetuksen 4/16 mukaista pistekuormavaatimusta. Käyttöaste lasin reuna-alueella ylittyy kun lasin mitoitusta tarkastellaan toteutuneen kohteen suunnittelulähtötietojen ja kaidejärjestelmää koskevien kansallisten asetuksien mukaisesti.

Kaidejärjestelmää testattiin kokeellisesti 5.4.2023 Eurofins Expert Service Oy:lla. Heilurikokeessa maksimi pudotuskorkeutena käytettiin 450mm. Alimmillaan lasi irtosi kiinnikkeistään 250mm pudotuskorkeudelta.

Suomessa...

Kaiteiden suunnittelussa havaittuja virheitä

- lasin paksuuden määrittelyssä huomioitu vain tuulikuorma eli viiva- ja pistekuormalaskelmat puuttuvat
- viivakuorma siirretty virheellisesti käsijohteelle
- heiluritestejä tekemättä

Handwritten mathematical notes on a chalkboard, including:

- Equations: $D(x) = -2 + 3 + 4.31447$, $\sqrt{a^2 + b^2} = x^2$, $x^2 + y^2 = ab + 4c$, $A \cap B$, $Cx^2 + 34x + c = 0$, $\sum_{k=2}^n N_{30} \cdot x$, $\beta = 9 + x^2 + y^2$.
- Diagrams: A rectangle with a shaded area, a graph of a downward-opening parabola, and a graph of an upward-opening parabola.
- Other markings: Circled numbers (10, 10), a triangle with a circle, and a box containing binary code: $\begin{matrix} 010112 \\ 010002 \\ 20010 \\ 011002 \end{matrix}$.

Kaiteiden suunnittelu

Kaidelasia koskevat lait

- Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132
- YM asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (1007/2017)
- YM asetus kantavista rakenteista (477/2014)
- Eurokoodi SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet ja sen kansallinen liite 07.11.2016 3/16
- Eurokoodi SFS-EN-1991-1 Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat ja sen kansallinen liite 07.11.2016 4/16
- Eurokoodi SFS-EN-1991-1 Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat, tuulikuormat ja sen kansallinen liite 07.11.2016 7/16





Kaiderakenteita koskevat vaatimukset maankäyttö- ja rakennuslaissa

Lain mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen rakenteet ovat:

- lujia ja vakaita
- soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin
- kestävät rakennuksen suunnitellun käyttöään.

Kantavien rakenteiden suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava rakenteiden mekaniikan sääntöihin ja yleisesti hyväksytyihin suunnitteluperusteisiin taikka luotettaviin koetuloksiin tai muihin käytettävissä oleviin tietoihin.

Käyttöturvallisuus asetus

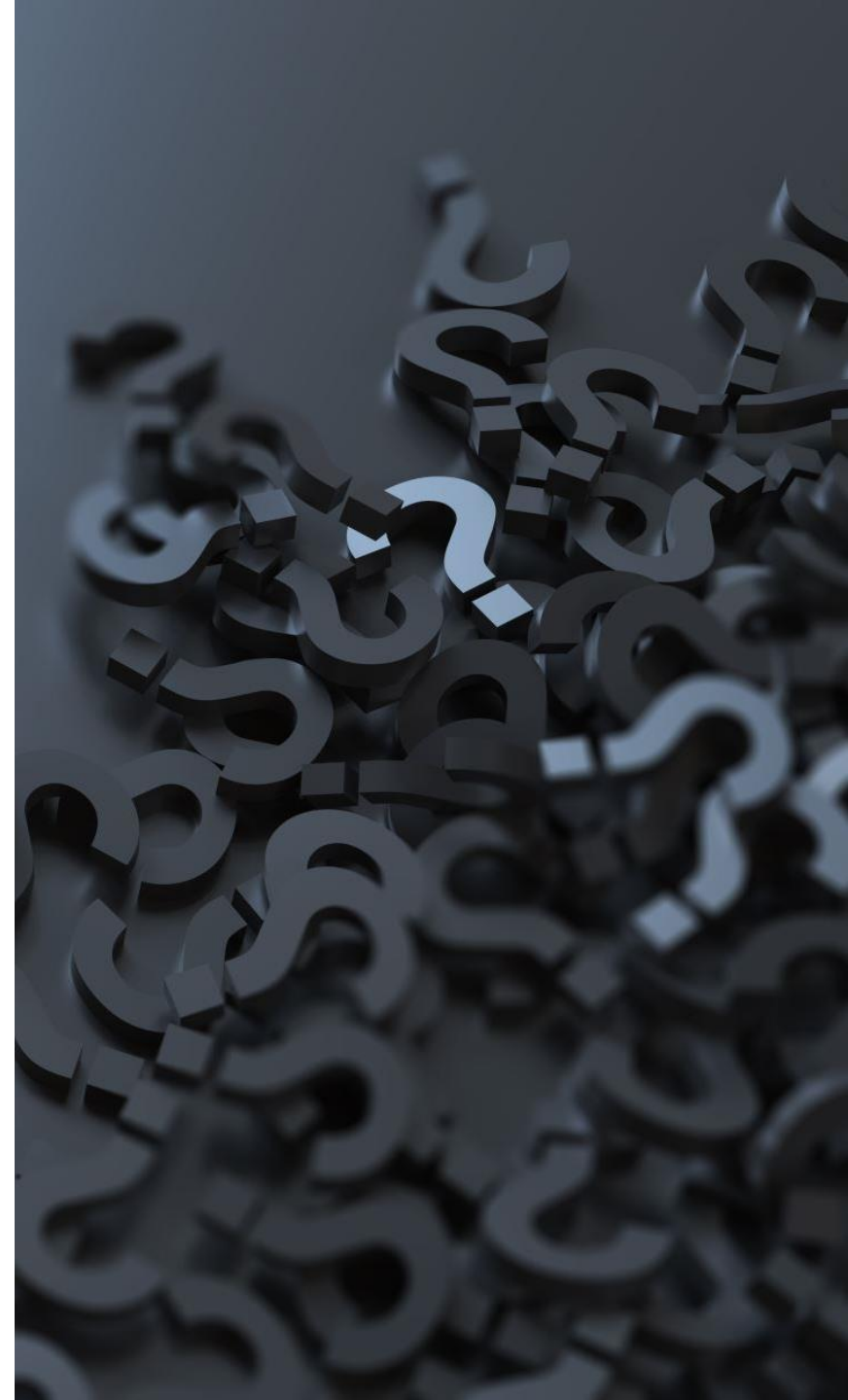
11 §

Lasirakenteet

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 törmäyesteellä.

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



Käyttöturvallisuus asetus

2 §

Rakennuksen käyttöturvallisuus

Pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on tehtävänsä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelusta siten, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää käyttöturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset.

Rakennusvalvonta tutkii hankkeen lainmukaisuutta ja ominaisuuksia yleisen edun kannalta. Vastuu toiminnallisesta, esteettisestä ja taloudellisesta laadusta jää rakennuttajalle ja suunnittelijalle.

Käyttöturvallisuus asetus

7 §

Kaide

Rakennuksessa tai sen lähiympäristössä on oltava kaide, kun putoamiskorkeus ylittää puoli metriä ja putoamisen tai harhaan astumisen vaara on olemassa. Kaiteen on oltava turvallinen ja kestävä siihen kohdistuvat kuormat.

8 §

Kaiteen ja portaan on kestävä tilan käyttötarkoituksen mukaiset kuormat koko rakenteen käyttöajan ajan.

Kaide

Luokka CC2

CC2 käytetään, kun lasi toimii putoamissuojana kohteessa, jossa siihen on törmäysriski. Asuinkäytössä aina CC2 (putoamissuojauksena toimivat kaiderakenteet kuuluvat asetuksen 477/2014 soveltamisalueeseen). Mikäli seuraamukset suurempia niin CC3 (katsomot).

Taipumaraja: L/100 ja maks. 25 mm (poikkeaa EN 16612)

Heiluritesti

- Kaiteen levymäisen osan kiinnitys on osoitettava (11§). Suositellaan heiluritestiä pudotuskorkeudelta 450 mm koko rakenteelle.
- Testaus suoritetaan testauslaitoksen valvonnassa standardin mukaisesti, esim. DIN 18008-4 tai tulevan kansallisen standardin.
- Isku kohdistetaan ainakin lasin / levymäisen osan reuna- (sauma-) -alueelle





Onko ikkuna
kaide?

Käyttöturvallisuus asetus

6 §

Tasanne

Oleskeluun ja kulkuun tarkoitetuilla rakennuksen tasanteilla sijaitsevien ikkunoiden, luukkujen ja muiden vastaavien aukkoja peittävien rakenteiden on kestettävä henkilökuorma, jos putoamisvaara on olemassa.



Onko ikkuna kaide?

Lain tulkintaa...

Rakennuksen ulkovaipan ikkunoita koskee Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017 11 §, jonka mukaan lasirakenteen on kestettävä siihen tavanomaisesti kohdistuva kuormitus (jos ei kiinteätä törmäysestettä) ja käytettävä turvalasia, kun vaara törmätä. Asetus 4/16 koskien kaiteita ja suojaseinäminä toimivia väliseiniä ei koske suoraan ikkunoita.

Rakennesuunnittelija tekee riskinarvion tapauskohtaisesti ja arvioi kuormankestävyyden tarpeen. Vaaran hyväksyttävyyden arviointi perustuu kohteen tavanomaiseen tai normaalisti ennakoitavaan käyttöön. Tällaiseen käyttöön ei kuulu käyttäjien tietoinen tai tahallinen riskinotto. Tilan käyttötarkoituksen mukaisia kuormia voivat olla esim. nojailu ja törmäys.

Onko ikkuna kaide?

Ravan tulkintaa...

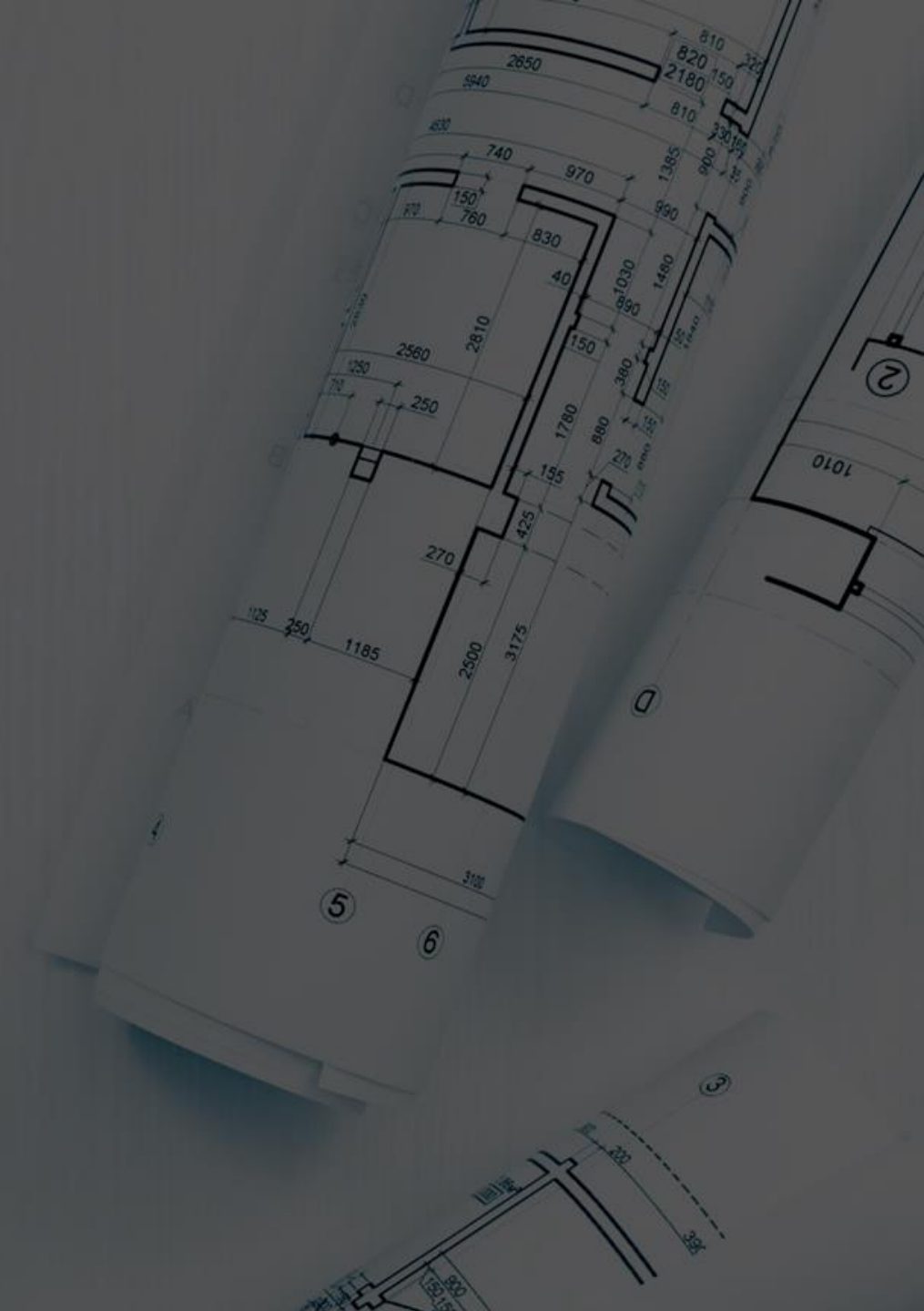
Topten ohjekortista Ravan tulkinta: Asunnon monilasisessa (vähintään 3 lasikerrosta) ulkoikkunassa suunnittelijan on yhdessä rakennushankkeeseen ryhtyvän kanssa harkittava putoamisriski ikkunan sijainti huomioiden. Laminoitua turvalasia on kuitenkin aina käytettävä, kun lasituksen alareunan korkeus lattiasta on alle 0,7 metriä ja tasojen välinen korkeusero on yli 2,2 metriä. Monilasisessa (vähintään 3 lasikerrosta) alle 0,25 m leveässä tai korkeassa lasiaukossa ei katsota olevan putoamisvaaraa.

YmA 4/16 8 §:ssä ja sitä täsmentävän ohjeen osan 1-1-kappaleessa 8. esitetyt kuormat ovat vähimmäiskuormia esim. kaiteille sekä ikkunoille, lasiseinille ja lasioville, jotka estävät putoamisen tai toimivat suojarakenteina.

Mitoitustaulukot

Turva- ja suojalasiat 2022

- Standardit
- Reunaehdot
- Piste- ja viivakuorma
- Miten luen taulukoita
- Uusi päivitetty versio 2024



Mitoitusstandardi SFS-EN 16612

Ensisijaisesti infill- eli täytepaneelleille.

Infill-sanalla tarkoitetaan rakennetta, johon kohdistuu tasainen painekuorma. Kun siirrytään kantaviin rakenteisiin, ei kyseessä enää ole infill-paneeli, jolloin pitää huomioida eurokoodien seuraamusluokkien mukaiset varmuuskertoimet. Muutoin voi kuitenkin käyttää SFS-EN 16612 laskentaperusteita. Mitään muutakaan ohjetta Suomessa ei ole. Lisäksi laskentatulokset ovat linjassa tulevien lasin eurokoodien kanssa.

Lasin eurokoodit 2026

Kolmen vuoden päästä lasin suunnitteluun tulee tarkemmat ohjeet (määräykset) ja kansalliset valinnat.

Lasirakenteiden suunnittelu

Osa 1 – Suunnittelun ja materiaalien perusteet

Osa 2 – Design of out of plane loaded glass components

Osa 3 - Design of in plane loaded glass components and their mechanical joints

Osa 4 –Ohje: Guidance for specification

Lasin eurokoodit 2026

Uutena:

- alle CC0 luokka eli infill
- LSS rajatilaskenaariot eli milloin lasin on murruttava turvallisesti ja milloin huomioitava murtumisen jälkeinen kuormaa kestävä tila (LSS-2 ja LSS-3)

LSS-luokat ja esimerkkilasit	
LSS-0	tuulikuorman kuormittamat ikkunaelementit/täytelasi/ <u>infil</u>
LSS-1	lasipilari
LSS-2	jäykistysseinä (paine kuorma ja tasonsuuntainen leikkausvoima), kattolasielementti, lasiporras, tuulikuorman ja vaakasuuntaisen törmäyskuorman kuormittama lasielementti, lasievä, käsijohteellinen kaidelasilaatta
LSS-3	lattialasilaatta, kantava kaidelasilaatta (ilman käsijohdetta)

Pistekuorma

Pistekuorma 0,3 kN vaatimus on vuodelta 1978, RakMK B1. Nykyisessä muodossa vaatimus (50x50mm) on ollut vuoden 2017 alusta lähtien. Aiemmin on ollut myös 25x25 mm ala käytössä.

Pistekuorma ylittyy 44.1 lasirakenteella noin kolminkertaisesti laskennallisesti mitoittaessa, kun kuorma sijoitetaan lasin reuna-alueelle ja lasit ovat float-lasia.

Viivakuorma

Käsijohde / vaakaviivakuorman vaikutuskorkeus: On huomioitava korkeus 0-1200 mm ja tarkasteltava laskennassa kohta, jossa saavutetaan epäedullisin vaikutus kaiteen levymäiselle osalle. Viivakuormaa ei siis voida ajatella vain käsijohteelle.

- ❖ 0,5 kN/m, luokat A ja B; asunto- ja majoitustilat sekä toimistotilat
- ❖ 1,0, luokat C1-C4 ja D, kokoontumistilat (ravintola, koulu, museo), myymälätilat sekä luokka E varasto- ja tuotantotilat
- ❖ 3,0 luokka C5, tungoskuorma yleisötilassa kuten konserttisali, urheiluhalli

Kaidelasin mitoitus

- Eurokoodit velvoittavia 1.1.2017 alkaen
- mitoitettava erikseen tuuli-, viiva- ja pistekuormalle
- käyttörajatila ja murtorajatilatarkastelut
- kaidekuorman vaikutusaika on 30 s., jolloin kaidekuormien mitoituslujuudeksi saadaan raakareunahiotulle lasille 17,8 Mpa ja kiiltoreunahiotulle 22,25 Mpa
- tuulikuorman vaikutusaika on 3 s, jolloin tuulikuorman mitoituslujuudeksi saadaan RRH lasille 20,0 Mpa ja KRH lasille 25 MPa

KAIDELASIN MITOITUS

- Ohje julkaistiin 1.6.2023
- tehty yhteistyössä laajan työryhmän kesken
- tukee erityisesti suunnittelijan mitoitusyötä

<https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/mitoitus/kaidelasin-mitoitus/>

Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen

Ohjeen mukainen laskenta (pvm 1.6.2023)

1. Tuuli, vaaka- ja pistekuormatarkastelut
2. Kaidarakenteen testaus

<https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/mitoitus/kaidelasin-mitoitus/>

Kaiderakenteen testaus

Valmisteilla kansallinen testistandardi.

Nyt voi käyttää soveltaen EN 12600, pudotuskorkeus 450 mm tai DIN 18008-4.

Periaatteet:

- ✓ rakenne sama kuin kohteen, mutta levyn koko saa vaihdella
- ✓ samaa näytettä isketään keskelle ja reunaan 3-4 krt
- ✓ heiluri ei saa läpäistä näytettä
- ✓ yli 50g painavia osia ei saa pudota
- ✓ näytteestä rikotaan lopuksi toinen lasi ja uusi isku

Koon vaihtelut

- ✓ 4 sivulta tuettu $\pm 20\%$
- ✓ ylhäältä ja alhaalta tuettu leveys +500 mm ja korkeus +100 mm tai
- ✓ minimi ja maksimi (kaikki väliltä ok)

Mitoitustaulukot

Neljältä sivulta tuettu kaide, jossa laminoitu turvalasi (LF).
Viivakuormat 0.5; 1.0 ja 3.0.

LF (0.5)	(0.3 kN/50x50 => kaikki min. 55.2)				
2600	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
2200	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1800	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1400	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1200	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
	800	1200	1600	2000	2400

LF 1.0	(03 kN/50x50 => kaikki min. 55.2)				
2600	55.2	55.2	55.2	55.2	66.2
2200	55.2	55.2	55.2	55.2	66.2
1800	55.2	55.2	55.2	66.2	66.2
1400	55.2	55.2	55.2	66.2	66.2
1200	55.2	55.2	55.2	66.2	66.2
1000	55.2	55.2	55.2	66.2	66.2
	800	1200	1600	2000	2400

Vaikutusaika -> kmod 0.77

LF 3.0					
2600	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1515.2
2200	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1515.2
1800	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1515.2
1400	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1212.2
1200	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1212.2
1000	88.2	1010.2	1212.2	1212.2	1212.2
	800	1200	1600	2000	2400

Pystyrivi korkeus
Vaakarivi leveys

Mitoitustaulukot

Neljältä sivulta tuettu kaide, jossa karkaistu-laminoitu turvalasi (KL). Viivakuormat 0.5; 1.0 ja 3.0.

KL 0.5						
2600	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
2200	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
1800	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
1400	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
1200	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
1000	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
	800	1200	1600	2000	2400	3000

KL 1.0						
2600	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
2200	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
1800	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
1400	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
1200	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
1000	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	44.2
	800	1200	1600	2000	2400	3000

Vaikutusaika -> kmod 0.77

KL 3.0						
2600	44.2	55.2	66.2	66.2	66.2	88.2
2200	44.2	55.2	66.2	66.2	66.2	88.2
1800	44.2	55.2	66.2	66.2	66.2	88.2
1400	44.2	55.2	66.2	66.2	66.2	88.2
1200	44.2	55.2	66.2	66.2	66.2	88.2
1000	44.2	55.2	55.2	66.2	66.2	88.2
	800	1200	1600	2000	2400	3000

Mitoitustaulukot

Pystyreunoilta tuettu lasikaide, jossa on laminoidut lasit (LF).

LF (0.5) (03 kN/50x50 => kaikki 88.2)					
1600	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1000	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
	800	1200	1600	2000	2400

LF 1.0 (03 kN/50x50 => kaikki > 88.2)					
1600	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	1010.2
1200	88.2	88.2	88.2	1010.2	1010.2
1000	88.2	88.2	1010.2	1010.2	1010.2
	800	1200	1600	2000	2400

LF 3.0					
1600	88.2	1010.2	1212.2	1515.2	1919.2
1400	1010.2	1212.2	1515.2	1919.2	1919.2
1200	1212.2	1515.2	1919.2	1919.2	-
1000	1212.2	1515.2	1919.2	1919.2	-
	800	1200	1600	2000	2400

Muutosta ei juuri ole 3.0 viivakuorman taulukossa, kun sitä verrataan vanhaan oppaaseen. Muissa mitoitus lähtee 88.2 rakenteesta.

Käytettäessä karkaistu-laminoitua lasirakennetta pystyreunoilta tuetussa lasikaiteessa, voidaan käyttää ohuempia rakenteita kuin mitä vanhassa oppaassa ilmoitettiin.

Mitoitustaulukot

Pystyreunoilta tuettu lasikaide, jossa on karkaistu-laminoidut lasit (KL).

KL 0.5					
1600	44.2	44.2	44.2	55.2	66.2
1400	44.2	44.2	55.2	66.2	66.2
1200	44.2	44.2	55.2	66.2	88.2
1000	44.2	55.2	55.2	66.2	88.2
	800	1200	1600	2000	2400

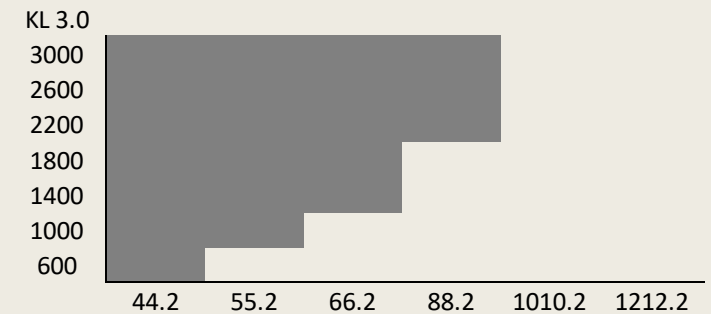
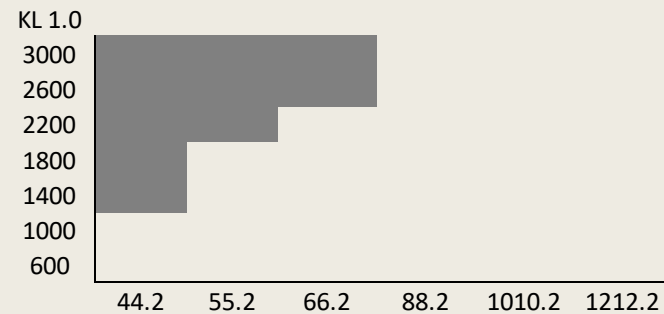
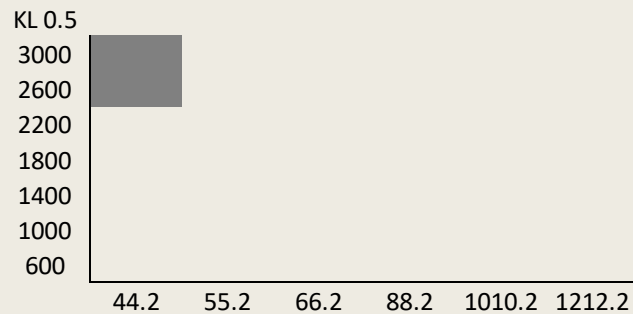
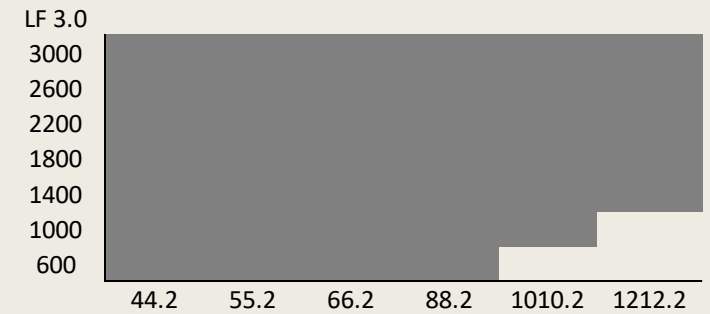
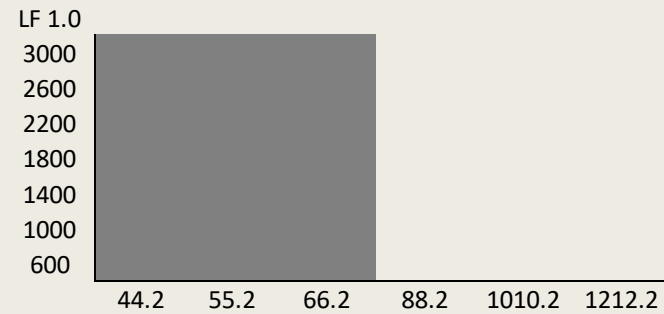
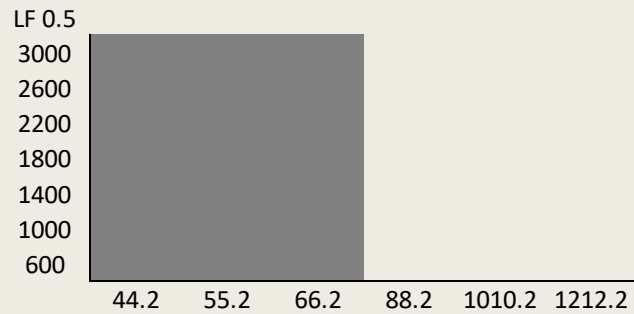
KL 1.0					
1600	44.2	44.2	66.2	88.2	88.2
1400	44.2	55.2	66.2	88.2	88.2
1200	55.2	66.2	66.2	88.2	1010.2
1000	55.2	66.2	88.2	88.2	1010.2
	800	1200	1600	2000	2400

KL 3.0					
1600	55.2	88.2	88.2	1010.2	1212.2
1400	66.2	88.2	1010.2	1212.2	1212.2
1200	88.2	1010.2	1010.2	1212.2	1515.2
1000	88.2	1010.2	1010.2	1212.2	1515.2
	800	1200	1600	2000	2400

Kuten taulukoista on nähtävissä FEM-laskentaohjelman tulosten mukaisesti 44.2 rakenne on vaatimukset täyttävä vain karkaistu-laminoituna turvalasina, kun viivakuorma on joko 0.5 tai 1.0. Vaadittu pistekuorma tarkastelu muuttaa näitä taulukoita huomattavasti. Lasirakenteista tulee entistä paksumpia tai sitten on käytettävä yhdistelmälasia. Vaatimukset kun koskevat yhtä lailla kaikkia kaidemateriaaleja, ei ainoastaan lasia.

Ylä- ja alareunasta tuettu

Rajoitetut lasikoot on ilmoitettu tummanharmaalla. Ensimmäisenä on laminoitu turvalasi (LF) ja alapuolella karkaistu-laminoitu turvalasi (KL).



Suunnittelun lähtötiedot

- Rakennuksen käyttötarkoitus
- Suunniteltu käyttöikä
- Kohteen maastoluokka
- Seuraamusluokka
- Mitat (detaljit) ja lasirakenteen muut tiedot (lasityyppi, rakenne, pinnoitteet, hionta)
- Kuormitukset
- Putoamisvaara – laminoitu turvalasi
- Törmäysvaara – turvalasi
- Lasien tuennat ja kiinnitykset runkoon, rungon liikkeet
- Sirpaleiden leviäminen
- Muita: lintuturvallisuus, lämpörikkoriski, heijastukset, polttopisteet