

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LASISTEN PARVEKEKAITEIDEN KESTÄVYYDEN SELVITYS

TEKIJÄ Roni Hytti

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Roni Hytti			
Työn nimi Lasisten parvekekaiteiden kestävyys selvitys			
Päiväys	21.3.2024	Sivumäärä/Liitteet	48/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Takoi Rakennesuunnittelu Oy			
Tiivistelmä <p>Parvekekaidejärjestelmällä on keskeinen rooli parvekkeiden käyttäjäturvallisuudessa kaiteiden toimiessa parvekkeella putoamisesteenä. Lasisen kaidejärjestelmän suunnittelussa huomioidaan voimassa oleva lainsäädäntö, asetukset ja ohjeet. Näiden perusteella tehdään mitoitusta lasirakenteiden standardien mukaan Eurokoodissa määrätyille kaidelasia rasittaville kuormille. Parvekekaidejärjestelmän lasiosien kestävyys on havaittu kuitenkin puutteita, jotka ilmenivät henkilön kuolemaan johtavassa tapaturmassa Vantaan Tikkurilassa, jossa henkilö putosi lasisen kaideosan läpi sen peittäessä. Tapaturman johdosta rakennusvalvonta on tiukentanut lasisten parvekekaiteiden suunnitteluprosessin tarkistuksia kestävyys osalta.</p> <p>Takoi Rakennesuunnittelu Oy:ssä koettiin lasiseen parvekekaidejärjestelmään painottuva työ hyvinkin ajankohtaisena. Tämän opinnäytetyön painopisteeksi asetettiin parvekekaidejärjestelmän lasiosiin liittyvät turvallisuustekijät ja niiden kestävyys. Tavoitteena tällä opinnäytetyöllä oli perehtyä laajalti lasisen parvekekaidejärjestelmän rakennesuunnitteluun ja turvallisuuteen sekä parvekekaidejärjestelmissä käytettyihin lasityyppeihin. Yhtenä keskeisempänä aiheena suunnitteluvaatimusten lisäksi oli kaidelasien mitoittamiseen perehtyminen. Osana tätä opinnäytetyötä tehtiin mitoituksen perusteella kaidelasien paksuuden valintaa ohjeistavat taulukot, joiden tavoitteena on tukea oikeanlaisen kaidelasin valintaa.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koottiin tutkimalla parvekekaidejärjestelmän suunnitteluun ja turvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä, asetuksia ja ohjeita. Lasin kestävyys testaukseen perehdyttiin parvekekaidelasille pakollisena olevaan standardin mukaiseen heiluritestausten menetelmään. Erilaisiin yleisesti kaidelasina käytettyihin lasityyppeihin perehdyttiin ammattikirjallisuuden ja erilaisten suomalaisten sekä myös kansainvälisten lasitoimittajien verkkolähteiden perusteella. Mitoitusta suoritettiin Eurokoodien ja lasirakenteiden mitoitusstandardien mukaisesti käyttäen apuna FEM-design rakenneanalysohjelmistoa, jonka avulla luotiin ohjetaulukot mitoitus tulosten mukaan. Mitoituksessa apuna hyödynnettiin myös tilaajan organisaation ammattitaitoa.</p> <p>Tuloksena valmistui parvekekaidejärjestelmän ja etenkin niiden lasiosien turvallisuuteen sekä kestävyys liittyvä kattava tietopohja. Kaidelasien mitoittaminen edesauttoi ymmärtämään konkreettisesti erilaisten lasityyppien ja tuentapausten vaikutusta kaidelasin kestävyys. Mitoitus tulosten perusteella saatiin luotua kattavat ohjetaulukot yleisille asuinkerrostalojen kuormitustapauksille. Mitoitus tulosten perusteella havaittiin myös lasikoon merkitys jännitysten jakautumiseen ja taipumien suuruuteen sekä havaittiin tuulikuorman lisääntyvä vaikutus lasikoon suurentuessa. Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, että Suomessa käytettyjä kaidelasin laskentatapoja on erilaisia, joten jatkotutkimuksena voisi olla kaidelasien erilaisten mitoitus tapojen mahdollisten eroavaisuuksien tutkiminen.</p>			
Avainsanat Parvekekaide, lasikaide, turvallisuus, kestävyys, lasirakenteet			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Roni Hytti	
Title of Thesis Investigation of the Durability of Glass Balcony Railings	
Date 21 March 2024	Pages/Appendices 48/1
Client Organisation /Partners Takoi Rakennesuunnittelu Oy	
<p>Abstract</p> <p>The balcony railing system plays a key role in the user safety of balconies as they function as a fall barrier on the balcony. The design of the glass railing system takes into account the current legislation, regulations and guidelines, on the basis of which the dimensioning standards of glass structures are made for the loads imposed on the railing by Eurocode. However, there have been deficiencies in the durability of the glass parts of the balcony railing system. For example, in Tikkurila, Vantaa, the failing glass railing led to a fatal accident when a person fell through the glass railing. As a result of the accident, the construction supervision has tightened the inspections on the design process of glass railing in terms of durability.</p> <p>The work focusing on the glass balcony railing system was considered very topical at Takoi Rakennesuunnittelu Oy. Safety factors and durability of the railing system's glass parts were set to be the focus of this thesis. The aim of this thesis was to learn about the structural design, safety and the used glass types of the railing system. In addition to the design requirements, one of the central topics was to get acquainted with the measurement of railing glass. As part of this thesis, tables were made based on the measurements to guide the choice of glass railing thickness. The aim of these tables is to support the choice of a right glass railing.</p> <p>The knowledge base for the thesis was compiled by studying the legislation, regulations and guidelines related to the design and safety of the balcony railing system. Glass durability testing was studied with the standard pendulum test that is mandatory for balcony glass railing. Different types of glass commonly used as railing glass were studied on the basis of professional literature and online sources from various Finnish and international glass suppliers. The measurement was carried out in accordance with Eurocodes and glass structure measurement standards using the FEM-Design structural analysis software, which was also used to create guide tables according to the measurement results. The expertise of the client's organization was also utilized in the measurement.</p> <p>As a result of this thesis, a comprehensive knowledge base was created about the safety and durability of the balcony railing system, focusing on glass parts. The measurements of the glass railing furthered the understanding how different kind of glass types and support systems affect the durability of the glass railing. Based on the measurement results, comprehensive guide tables for general stress cases of apartment buildings were made. The results showed that the glass size affects the distribution of tension and magnitude of deflections. The results also showed that when the glass size becomes larger the wind load has a greater impact on the glass. While making this thesis, it was noticed that there are different kinds of ways to measure the glass railing in Finland. One possible follow-up research would be to study the possible differences between different measuring ways.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Balcony railing, glass railing, safety, durability, glass structures</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	PARVEKEKAIDEJÄRJESTELMÄN TURVALLISUUS	7
2.1	Tikkurilan parveketurma	7
2.2	Kaiderakenteita koskevat vaatimukset	9
2.2.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)	9
2.2.2	Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista.....	10
2.2.3	Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta	11
2.3	Kaidelasien testaus ja luokitus	12
2.4	Kaidelasin mitoitus	14
2.4.1	Eurokoodit ja mitoitusstandardit	15
2.4.2	Kuormien määräytyminen	17
2.4.3	Taipuma	18
2.4.4	Taivutuslujuus	19
2.4.5	Limityskorkeus	20
3	LASITYYPIT	21
3.1	Float-lasinvalmistusmenetelmä	21
3.2	Float-lasi	22
3.3	Lankalasi	22
3.4	Lämpölujitettu	23
3.5	Kemiallisesti lujitettu lasi	24
3.6	Turvalasit	25
3.6.1	Lämpökarkaistu turvalasi.....	25
3.6.2	Heat Soak -testattu karkaistu lasi.....	26
3.6.3	Laminoitu turvalasi	26
3.6.4	Karkaistu-laminoitu turvalasi.....	28
3.7	Parvekekaiteen lasityypin valinta.....	28
4	PARVEKEKAIDELASIEN LUJUUSTARKASTELU	30
4.1	Kuormat	30
4.2	Lasin kestävyys.....	31
4.3	Laminoidun lasilaatan ja -turvalasilaatan laskenta	33
4.4	Kaidelasien mitoitus FEM-ohjelmalla	36

4.5	Ohjetaulukot.....	37
4.5.1	Kahdelta sivulta tuetut	38
4.5.2	Neljältä sivulta tuetut.....	39
5	YHTEENVETO.....	42
5.1	Johtopäätökset	42
5.2	Pohdinta.....	43
	LÄHTEET	46
	LIITE 1: KAIDELASIN LASKENTAESIMERKKI	49

2 PARVEKEKAIDEJÄRJESTELMÄN TURVALLISUUS

2.1 Tikkurilan parveketurma

Vantaan Tikkurilassa 2.3.2023 tapahtui onnettomuus, jossa nuori henkilö menehtyi pudottuaan parvekkeelta seitsemännestä kerroksesta parvekekaiteen lasiosan pettäessä. Poliisi epäilee henkilön kaatuneen parvekkeen lasikaidetta vasten, jonka takia kaiteen lasi on pettänyt ja henkilö pudonnut parvekkeelta. Tapauksesta aloitettiin poliisin toimesta kuoleman syy selvittäminen, poliisin omien selvitysten ja Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta saatujen tietojen perusteella, jossa poliisi etsii lasin pettämiseen johtavia syitä sekä vastuukysymyksiä mitä tapaturmaan liittyy. (Tukes 2023b; Kivinen & Palkoaho 2023.)

Tapaturman jälkeen Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) alkoi selvittämään parveketapaturmaan liittyvää kaiderakenteen ja etenkin lasisten kaideosien turvallisuutta. Selvityksissä tutkittiin kyseisen kaiderakenteen koskevien vaatimusten täyttymistä, jotka ovat määritelty lainsäädännössä ja standardeissa. Parvekekaiteesta teetettiin vertailulaskelma, jonka tarkoituksena oli selvittää tuotetta koskevien laskentamenetelmien ja ohjeiden mukainen suunnittelu. Kaiteesta tehdyn mallinnuksen avulla selvitettiin kaiderakenteen kestävyyttä ja lasin paksuuden vaatimusta, jotta se täyttäisi sille asetetut vaatimukset kohteessa. Lisäksi kohteen mukaiselle parvekekaiteelle tehtiin standardin EN12600 mukainen iskunkestävyyskoe. Iskunkestävyyskokeessa tarkastettiin lasiosien kestävyyttä ja lasin kiinnityksien kestävyyttä alumiinikaiderungossa. Rakennusvalvonta on asettanut tapaturmakohteen kaikki parvekkeet käyttökieltoon kaiderakenteiden selvitysten ajaksi. (Tukes 2023b.)

Tukes ilmoitti 28.3.2023 valmistuneista lasin kestävyden vertailulaskelmista. Laskennallisessa selvityksessä kävi ilmi, että kohteen kaiteen kahdelta sivulta tuettu 4+4 mm laminoitu lasi ei täyttänyt Eurokoodistandardien sekä kansallisten lainsäädäntöjen laskentaperiaatteita pistekuorman osalta. Poliisi aloitti omien - ja Tukesin selvityksien perusteella esitutinnan nimikkeellä kuolemantuottamus. Laskennallisen testauksen lisäksi Tukes teetätti vielä iskunkestävyyskokeen, jossa tarkasteltiin lasin ja kaiderungon yhteistoimivuutta. (Tukes 2023a.)

Tukes sai selvityksensä valmiiksi parvekekaiteen kestävydestä. Tutkimusraporttia selvityksistä ei julkaista yleiseen käyttöön. Tukes on kuitenkin tiedotteidensa lisäksi antanut lausuntoja merkittävistä tuloksista valtakunnan medialle, joten painotan, että tässä kappaleessa esitetyt tulokset perustuvat Tukesin ja kaidevalmistajan Riikku Group Oy:n antamiin tietoihin valtakunnan medialle. Tukesin tekemien selvityksien tuloksena Tikkurilan tapaturmakohteen parvekekaide ei läpäissyt siihen teetettyä heilurikoetta, jossa testataan lasien kestävyyttä ja pysymistä kiinnikkeissään iskun kohdistuessa lasiin. Tukesin teettämässä heiluritestissä kohteen mukainen 4+4 mm paksu laminoitu lasi ei kestänyt 450 mm heiluritestin pudotuskorkeutta ja lasi irtosi kiinnikkeistään alimmillaan 250 mm korkeudelta. Putoamissuojaukseen käytetyn lasin tulisi pysyä kiinnikkeissään 450 mm pudotuskorkeudelta, aiheuttamatta putoamisvaaraa. Kaidelasi ei heiluritestin perustella siis ollut turvallinen, eikä täyttänyt ympäristöministeriön asetusten vaatimuksia. (Kumpula 2023; Zaki 2023.) Heiluritestiä ennen Tukes teetätti parvekekaiteen lasin kestävydestä vertailulaskelman ja pyysi samaa kaidevalmistaja Riikku Group Oy:ltä. Tukesin ja Riikku Group Oy:n laskennan tuloksissa oli merkittävän suuria eroja. Tukesin laskuissa pistekuormalla rasiutettuna käyttöaste oli yli 200 prosenttia, kuin taas Riikun

laskelmissa kyseinen käyttöaste oli vain 95 prosenttia, joka vastaisi rakenteelle sallittua rajaa, kun käyttöaste tulisi olla alle 100 prosenttia. Tuloksien suuria eroa voi selittää mittaustapojen eroavaisuus toisistaan. Tukes selvitti kestävyyttä laskennallisesti, kuin taas Riikku kokeellisin mittauksin. Tukesin ja kaidevalmistajan mielipiteet kestävyuden mittaustavasta olivat eriäväisiä. Riikku pitää tulkinvaraisena laskennallisesta saatua tulosta, kuin taas Tukes ei pidä Riikkun tekemää kokeellista mittaustapaa luotettavana perustellen, että Riikku tekee itse kokeensa, eikä puolueeton kolmas osapuoli kuten Tukesilla. Tukes lausuu raportissaan, että Riikkun esitetyllä kokeella ei voida osoittaa kaidejärjestelmän kestävyuden luotettavuutta aiottuun käyttötarkoitukseen. Tukes myös mainitsee, että tapaturmakohteen lasikaidetta ei ollut laskennallisesti mitoitettu ollenkaan piste- ja viivakuormalle. (Lapinkangas 2023; Lumme 2023.)

Tukes on toimittanut 7.6.2023 Vantaan rakennusvalvonnalle parvekekaiteen testien ja vertailulaskelmien havainnoista yhteenedon, jossa Tukes on ilmoittanut teettämiensä vertailulaskelmien perusteella, että kaidelasi ei laskennallisesti täytä Ympäristöministeriön asetuksen 4/6 mukaisia pistekuormavaatimuksia. Lasin reuna-alueilla käyttöaste ylittyy, kun sitä tarkastellaan kohteen lähtötietojen ja kaidejärjestelmää koskevien kansallisten asetusten mukaisesti. (Vantaan rakennusvalvonta 2023.)

Tapaturman seurauksena Vantaan rakennusvalvonta edellyttää parvekelasien kestävyydestä ja etenkin pistekuorman huomioimisesta selvitystä kaikilta rakenteilla olevilta hankkeilta. Jos varmuutta kestävyydestä ei voida osoittaa, niin parvekkeet asetetaan käyttökieltoon siihen saakka, kun osoitetaan, että parvekkeet ovat määräysten mukaiset ja turvalliset. Vantaan rakennusvalvonta on 20.4.2023 lisännyt lupaehdoja rakennusluvan vaativiin hankkeisiin, jotka sisältävät lasirakenteisia parvekekaiteita. Lupaehdoissa määritetään Maankäyttö- ja rakennuslain §:n 150 c pohjautuen, että rakennusvalvontaan tulee toimittaa ennen rakennustöihin ryhtymistä parvekkeiden lasiratkaisujen rakennesuunnitelmat laskelmineen, jotka ulkopuolinen asiantuntija on tarkastanut. Rakennushankkeeseen ryhtyvä esittää rakennusvalvonnan tarkastusinsinöörille selvityksen ulkopuolisen asiantuntijan pätevyydestä, ennen tarkastuksen aloitusta. (Vantaan rakennusvalvonta 2023.) ”Lasirakenteisten parvekekaiteiden asennuksesta tulee esittää asiantuntijatarkastus ennen rakennuksen osittaista, käyttöön hyväksyvää loppukatselmusta (MRL 150 b §)” (Vantaan rakennusvalvonta 2023).

Parveketapaturman vaikutukset näkyvät Suomessa, mutta suurimmaksi osaksi pääkaupunkiseudulla. Suomessa on käyttökielossa tällä hetkellä ainakin yli kaksituhatta (2000) uudiskohteen parveketta Vantaan Tikkurilassa tapahtuneen parveketapaturman seurauksena. Suomen Tietotoimisto Oy (STT), selvitti Helsingin sanomien lokakuussa 2023 julkaisemassa uutisessaan eri kaupunkien rakennusvalvonnasta käyttökielossa olevien parvekkeiden lukumäärää. Kyselyn perusteella suurin osa käyttökielossa olevista parvekkeista sijaitsee Helsingissä, jossa noin kahdelletoihannelle (2000) parvekkeelle ei ole myönnetty käyttöönottolupaa. Vantaan kaupungilla asetetussa käyttökielossa on ainakin Tikkurilan tapaturmakohteen parvekkeet ja onnettomuuden jälkeen käyttöön hyväksytyt kerrostalohankkeita on kuusi (6), joissa parveketta ei ole kuitenkaan hyväksytty käyttöön tois- taiseksi. Espoon kaupungissa on joitakin kohteita, jossa parvekkeet ovat käyttökielossa. Espoon rakennusvalvonta ei kuitenkaan tarkempaa tietoa asiasta antanut. (Kallikari STT 2023.)

Tukes kertoo toukokuussa 2023 julkaisemassaan tiedotteessa markkinavalvontahankkeen käynnistämistä, liittyen parvekekaidejärjestelmien turvallisuuteen. Hankkeessa selvitetään valmistajien tuotteiden vaatimustenmukaisuutta. Tikkurilan onnettomuuskohteen parvekekaidejärjestelmän selvityksessä esiintyneiden huomioiden takia Tukes on päätenyt tulokseen, että lasien mitoitusta ja siihen annettua ohjeistusta tulee tarkastella laajemmin koko toimialan, sidosryhmien ja valmistajien kanssa. Tavoitteena hankkeella on luoda yhtenäinen mitoitus- ja testauskäytäntö toimialalle. Tällä hetkellä kokeellisten ja laskennallisten tuloksien erot menetelmien välillä voivat olla merkittävän suuria, jos lujuuslaskentaan liittyviä standardeja ei lueta oikein. (Tukes 2023c.)

2.2 Kaiderakenteita koskevat vaatimukset

Rakennuksen suunnittelua ohjaavat maankäyttö- ja rakennuslaki (1999/132). Suunnittelua lisäksi ohjaavat Maankäyttö- ja rakennuslakiin (1999/132) pohjautuvat ympäristöministeriön asetukset kantavista rakenteista ja rakennuksen käyttöturvallisuudesta sekä muut alaan liittyvät standardit. Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) § 117 määrittää rakentamiseen asetettuja vaatimuksia. Asetetut vaatimukset ohjaavat myös lasirakentamista ja näin ollen lasisten parvekekaideosien suunnittelua.

2.2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)

Vaatimukset koskevat uudis- ja korjauskohteiden suunnittelua ja rakentamista, korjaus- sekä muutostöitä ja rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta. Rakennuksessa on huomioitava aina yleisesti ennakoitavissa oleva kuormitus ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisten teknisten vaatimusten täytyminen. Korjaus- ja muutostöissä lisäksi otetaan huomioon rakennuksen erityispiirteet, ominaisuudet ja soveltuvuus aiottuun käyttöön. Muutoksista ei saa aiheutua vaaraa käyttäjien turvallisuuteen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117 §.)

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että parvekekaide rakenteet suunnitellaan ja rakennetaan niiden olevan lujia ja vakaita sekä soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin kestäen rakennukselle suunnitellun käyttöään. Rakennustuotteet tulevat olla rakennuksessa rakenteiden lujuuden ja vakauden kannalta soveltuvia. Rakentamisen ja käytön aikainen kuormitus ei saa aiheuttaa rakenteissa sortumista tai lujuuden ja vakauden heikentymistä. Suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava hyväksytyihin suunnitteluperusteisiin tai luotettaviin koetuloksiin. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117a §.)

Rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on huolehtia, että rakennuksen käyttäminen ja huoltaminen ovat turvallista, eikä se aiheuta tapaturman, onnettomuuden tai vahingon uhkaa, jota ei voida pitää hyväksyttävänä. Käyttöturvallisuuden tarkempia säännöksiä uudis- ja korjausrakentamisesta sekä muutostöitä varten saadaan ympäristöministeriön asetuksesta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117d §.)

Rakennusvalvontaviranomainen voi erityismenettelynä edellyttää erittäin vaativissa rakennushankkeissa laadunvarmistus selvitystä, asiantuntija- ja ulkopuolista tarkastusta. Rakennuskohteeseen liittyen erityinen turvallisuusriski tai rakennefysikaalisen toimimattomuus voivat edellyttää erityismenettelyä. Rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä erityismenettelystä rakennusluvassa tai aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 150d §.)

Rakennusvalvontaviranomainen voi vaatia rakennushankkeeseen ryhtyvältä lupahakemuksen käsittelyn tai rakennustyön aikana ulkopuolisen tarkastajan asiantuntijalausuntoa, jossa tarkastetaan suunnitellun ratkaisun tai rakentamisen vaatimuksien täyttyminen. Lausuntoa voidaan vaatia, jos rakentamisessa käytetään suunnittelu- ja toteutusmenetelmiä tai tuotteita, jotka vaikuttavat rakennuksen turvallisuuteen, terveellisyyteen tai käyttöikänsä merkittävästi sekä jos rakenteen toimivuudesta ei ole varmuutta tai aikaisempaa kokemusta. Tarkastusta myös voidaan vaatia, jos rakentamisessa havaitaan tai epäillään virhettä tai laiminlyöntiä, jossa ei voida vaikutuksien ja korjaamisen arviointia tehdä luotettavasti ilman ulkopuolista tarkastajaa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 150c §.)

2.2.2 Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista

Maankäyttö ja rakennuslain §:n 117 a nojalla on 1.9.2014 annettu ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista (477/2014). Asetusta sovelletaan kantavien ja jäykistävien rakenteiden uudis- ja korjaus- sekä muutostyökohteiden suunnitteluun ja toteutukseen. Asetusta myös sovelletaan rakennelmien ja merkittävästi käyttöturvallisuuteen vaikuttavien rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen, kun mahdollinen rakenteellinen vaurio voi vaarantaa henkilöturvallisuutta. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 1 §.)

Rakennus suunnitellaan ja toteutetaan säilyttäen riittävän lujuuden ja vakauden koko käyttöikänsä ajan. Kantavien ja jäykistävien rakenteiden tekniset vaatimukset täyttyvät, kun ne suunnitellaan ja toteutetaan eurokoodien ja niitä koskevien ympäristöministeriön kansallisten valintojen mukaan. Rakenteella on oltava luotettavuus haitallisten muodonmuutosten ja vaikutuksien syntymistä vastaan rakennuksen käytön aikana. Suunnittelijan on huomioitava rakennuksen käyttötarkoitus sekä rakennuspaikasta johtuvat olosuhteet. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 2014/477 2 ja 3 §.) Jos sovelletaan muuta suunnittelu- ja toteutusjärjestelmää, tulee rakennushankkeeseen ryhtyvän osoittaa rakentamisvalvontaviranomaiselle sen edellyttäessä, että suunnittelu ja toteutus täyttävät olennaiset tekniset vaatimukset (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 3 §.)

Suunnittelussa- ja toteutuksessa on huomioitava rakennuksen tai rakenteen riskialttius sekä vauriosta tai viasta aiheutuvat seuraamukset. Mahdollisen vian tai vaurion seuraamukset ovat vakavia, kun niistä voi aiheutua suuria henkilövahinkoja tai hyvin suuria yhteiskunnallisia vaikutuksia. Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 150 d §:n mukaiset erittäin vaativat rakenteet kuuluvat vakavien seuraamusten ryhmään. (YM asetus kantavista rakenteista 477/2014, 4 §.)

Rakennesuunnittelija huolehtii rakennesuunnitelmien laadunvarmistuksen tarkastuksesta ennen niiden toimittamista rakennusvalvontaviranomaiselle. Laadunvarmistusta tehdään laskelmiin, piirustuksiin ja tekstiasiakirjoihin, jotka rakennesuunnittelija on laatinut. Rakennesuunnitelmista tulee laatia laadunvarmistamiseksi tarkastussuunnitelma rakennuksen tai yksittäisen rakenneosan seuraamusten ollessa vakavia tai keskisuuria. Laadunvarmistuksen suorittaa ulkopuolinen tai hankkeelle vain laadunvarmistustyöhön erikseen nimetty suunnittelutehtävän vaatimusluokkaan kelpuutettu henkilö, kun seuraamukset ovat vakavia tai vaativuusluokka poikkeuksellisen- tai erittäin vaativa. Laadunvarmistuksen suorittaa vaativuusluokan mukaisen kelpoisuuden omaava henkilö, kun seuraamukset

ovat suuria tai vaativuusluokka on vaativa. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 7 §.)

2.2.3 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) nojalla on annettu vuonna 2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (1007/2017), joka astui voimaan 01.01.2018. Asetus nojautuu Maankäyttö- ja rakennuslain §:n 117 ja 117 d. Asetus sisältää tärkeimpiä turvallisuusmääräyksiä kaiderakenteelle ja rakennelasille. Asetus julkaistuaan se kumosi tätä ennen käytetyn vuonna 2001 julkaistun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan F2. Ympäristöministeriön asetuksen perustelumuistiossa käy ilmi, että asetuksen keskeinen sisältö säilytetään ennallaan, lukuun ottamatta portaisiin, kaiteisiin ja käsijohteisiin liittyviä määräyksiä. Lisäksi asetuksessa on muokattu törmäämiselle alttiiden lasirakenteiden vaatimuksia. (Lukkarinen 2017.) Asetus koskee uudisrakennuksia, joihin on haettu 1.1.2018 jälkeen rakennuslupaa (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022).

Asetus koskee uutta rakennusta, rakennuksen laajennusta ja rakennuksen kerrosalaa lisäävää tilaa sekä rakennuspaikan välitöntä ympäristöä. Asetusta sovelletaan korjaus- ja muutostöissä, mikäli alkuperäinen ratkaisu on turvallisuuden kannalta haitallinen. Muutoin korjaus- ja muutostyöt voidaan toteuttaa alkuperäisellä tavalla, heikentämättä kuitenkaan rakennuksen käyttöturvallisuutta. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 1 §.)

Pääsuunnittelija, rakennussuunnittelija ja erityissuunnittelija huolehtivat, että rakennus on suunniteltu täyttävän käyttöturvallisuudelle asetetut tekniset vaatimukset rakennuksen käyttötarkoitus huomioiden (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 2 §).

Korjauskohteisiin tulee suositella lasirakenteita, jotka ovat voimassa olevan käyttöturvallisuusasetuksen ja käyttöturvallisuusohjeen mukaisia. Asetuksen määräykset ovat velvoittavia korjauskohteissa, jos alkuperäinen ratkaisu on haitallinen. Putoamisvaara katsotaan haitalliseksi tilanteeksi. Asetusta myös suositellaan käytettäväksi, kun kyseessä on käyttötarkoituksen muutos. Muutostyö vaatii viranomaispäätöksen, jonka johdosta on noudatettava uusia määräyksiä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022.)

Oleskeluun ja kulkuun tarkoitetuilla tasanteilla, kuten parvekkeilla on ikkunoiden, luukkujen ja muiden aukkojen peittävien rakenteiden kestettävä henkilökuorma, mikäli tasanteella on putoamisvaara (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 6 §.)

Rakennuksessa on oltava kaide, kun putoamiskorkeus ylittää 0,5 metriä ja putoamisen tai harhaan astumisen vaara on olemassa tai käyttö ei edellytä kaiteettomuutta. Tiloihin joihin lapsilla on pääsy ja tasoero vähintään 0,7 metriä, on tila varustettava kaiteella. Kaiteen putoamisen estävä osa on ulotettava 0,7 metrin korkeudelle eikä siinä saa olla kiipeämiseen mahdollistavia rakenteita tai kuivoita. Putoamiskorkeuden ollessa enintään 6 metriä on kaiteen kokonaiskorkeuden oltava 1 metriä. Yli kuuden metrin putoamiskorkeuden ylitettyä kaiteen kokonaiskorkeus tulee olla 1,2 metriä. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 7 §.)

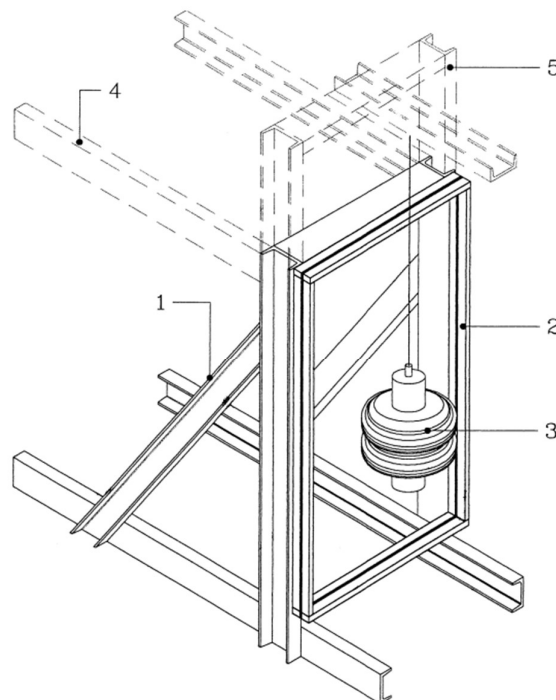
Enintään yhtä asuntoa palvelevalla parvekkeella riippumatta putoamiskorkeudesta riittää kaiteen kokonaiskorkeudeksi 1 metri (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 7 §).

Rakennuksen lasirakenteen rikkoutumisesta ei saa aiheutua putoamisvaaraa eikä sirpaleiden putoamisesta johtuvaa haavoittumisvaaraa. Lasirakenteen kiinnikkeiden on kestettävä siihen tavanomaisesti kohdistuva kuormitus, ellei rakennetta ole suojattu törmäyesteellä. Törmäysvaaran omaavat lasirakenteet ovat tehtävä turvalasista. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 11 §.)

2.3 Kaidelasien testaus ja luokitus

Turvalasit testataan eurooppalaisen testimenetelmästandardin SFS-EN 12600 mukaisella heiluritestillä. Standardin tarkoitus on luokitella rakennuksissa käytettäviä tasolasituotteita kolmeen turvallisuusluokkaan törmäyksen aiheuttaman iskunkestävyyden ja lasin rikkoutumistavan perusteella. (SFS-EN 12600, 2003, 5.)

Heiluritesti toteutetaan standardissa määritettyjen testilaitteiston vaatimuksien mukaisesti. Kuvassa 1 on esitettyä testaukseen käytettävä testilaitteisto. Testissä pudotetaan 50 kg painava heiluri standardissa määritettyjen pudotuskorkeuksien mukaisesti. Testi suoritetaan kaikilta pudotuskorkeusilta neljälle kappaleelle, jotka edustavat keskenään täysin samanlaista rakennetta ja materiaalia. Epäsymmetriselle rakenteelle testien kappalemäärä kaksinkertaistetaan, ellei niitä ole tarkoitettu vain asennustilanteisiin, jossa törmäysvaara on vain toiselta puolelta. Epäsymmetrisellä tarkoitetaan rakennetta, jossa kerrokset eroavat toisistaan paksuuden, viimeistelyn ja yleisten ominaisuuksien mukaan tai monoliittilasia, jossa on erilainen pintakäsittely. (SFS-EN 12600, 2003, 5–7.)



KUVA 1. Lasin testaukseen käytettävä testauskalusto (SFS-EN 12600, 12).

Testikappaleen on koostuttava yhdestä lasituotteesta ja testattavaksi lähetetty testikappale täytyy edustaa tuotteen normaalia tuotantoa. Testikappaleiden leveys tulee olla (876 ± 2) mm ja korkeus (1938 ± 2) mm, jotta ne ovat päteviä tuloksia lasituotteiden luokittelua varten. Kaidelasien testausta kuitenkin sovelletaan, siten että testit tehdään kaiderakennetta vastaavan rakenteen kiinnitetyle suojaavalle osalle, jolloin kiinnitykset tulevat myös koestetuksi (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023). Testattavista kappaleita säilytetään noin 12 tuntia ennen testausta (20 ± 5) °C lämpötilassa. Testaus myös tehdään kyseisessä lämpötilassa. (SFS-EN 12600, 2003, 8.)

Iskutestaus aloitetaan taulukossa 1 esitetyssä alimmasta pudotuskorkeudesta ja nostetaan materiaalin ominaisuuksien mukaisen luokan pudotuskorkeuteen asti. Iskutestaus toteutetaan standardin vaatimusten mukaisesti. (SFS-EN 12600, 2003, 8–9.)

TAULUKKO 1. Heiluritestin pudotuskorkeudet (mukaillen SFS-EN 12600, 12.)

Luokitus	Pudotuskorkeudet (mm)	Suojaustaso
3	190	Kohtalainen
2	450	Hyvä
1	1200	Erinomainen

Iskun jälkeen lasista tarkastetaan kunto ja sen käyttäytyminen rikkoutuneena. Jos lasi on iskun jälkeen rikkoutunut, niin siitä tarkastetaan, onko se rikkoutunut kappaleen neljä (4) vaatimusten mukaisesti vai vastaamatta vaatimuksia. Kappaleessa neljä (4) esitetyt vaatimukset vastaavat karkaitun ja laminoidun lasin turvallista rikkoutumista. Testaus lopetetaan, jos neljästä ensimmäisestä testikappaleesta ei vastaa rikkoutuessaan kappaleen neljä (4) vaatimuksia. Testikappaleen pysyessä ehjänä tai rikkoutuen vaatimusten mukaisesti, lisätään pudotuskorkeutta seuraavalle tasolle ja toistetaan testi saman materiaalin neljälle uudelle kappaleelle. Testikappaleen ollessa ehjä, voidaan testaus tehdä samoille kappaleille. (SFS-EN 12600, 2003, 9.)

SFS-EN 12600 mukaisille rakennuslaseille luokitellaan testauksen jälkeen pudotusluokka 3–1 ja rikkoutumistapa. Pudotusluokat määräytyvät seuraavasti:

- Luokka 3: materiaali, joka täyttää standardin kappaleen 4 vaatimukset, kun pudotuskorkeus on 190 mm.
- Luokka 2: materiaali, joka täyttää standardin kappaleen 4 vaatimukset, kun pudotuskorkeus on 190 mm ja 450 mm.
- Luokka 1: materiaali, joka täyttää standardin kappaleen 4 vaatimukset, kun pudotuskorkeus on 190 mm, 450 mm ja 1200 mm.

Turvallisuusluokka luokitellaan rikkoutumistavan A, B tai C kirjaimin seuraavasti:

- Luokka A: Lasissa esiintyy lukuisia halkeamia, jotka muodostavat erillisiä teräväreunaisia kappaleita. Tyypillinen rikkoutumistapa tavalliselle float-lasille. Lasi ei ole turvalasi.
- Luokka B: Lasissa esiintyy useita halkeamia, mutta kappaleet eivät irtoa toisistaan. Tyypillinen rikkoutumistapa laminoidulle lasille.

- Luokka C: Lasi rikkoutuu suureksi määräksi pieniä kappaleita, jotka ovat melko vaarattomia. Tyypillinen rikkoutumistapa karkaistulle lasille.

(SFS-EN 12600, 2003, 10.)

Lasien suorituskykyluokka ilmoitetaan kolmiosaisella koodilla α (β) ϕ . Koodin ensimmäinen osa (α) ilmoittaa pudotusluokan, jossa tuote ei rikkoudu tai rikkoutuu standardissa kappaleen neljä (4) määritysten mukaisesti. Koodin toinen osa (β) ilmoittaa lasituotteen rikkoutumistavan. Koodin kolmas osa (ϕ) ilmoittaa korkeimman pudotusluokan, jossa tuote ei rikkoudu tai rikkoutuu standardissa kappaleen 4a määritysten mukaisesti, eli kuten laminoitu lasi, johon ei muodostu aukkoja rikkoutuessa. Lasille, joka rikkoutuu pudotuskorkeudella 190 mm eikä rikkoutuminen ole kappaleen (4) määritysten mukainen, on koodin kolmannen arvon aina oltava 0. (SFS-EN 12600, 2003, 10.)

Esimerkkinä laminoitun testikappaleen suorituskykyluokka 2 (B) 2 määräytyy seuraavasti:

- 190 mm pudotuskorkeudessa 3 näytettä pysyi ehjänä ja yksi rikkoutui standardin kappaleen 4a mukaisesti.
- 450 mm pudotuskorkeudessa kaikki 4 näytettä rikkoutui standardin kohdan 4 a mukaisesti.
- 1200 mm pudotuskorkeudessa kaikki neljä näytettä rikkoutui, eivätkä rikkoutuessaan täyttäneet standardin kappaleen 4 vaatimuksia.

Esimerkkinä lämpökarkaistun testikappaleen suorituskykyluokka 1 C 3 määräytyy seuraavasti:

- 190 mm pudotuskorkeudessa 4 lasia pysyi ehjänä.
- 450 mm pudotuskorkeudessa kaikki 4 lasia rikkoutui standardin kohdan 4 b mukaisesti.
- 1200 mm pudotuskorkeudessa kaikki neljä lasia rikkoutui standardin kohdan 4 b mukaisesti.

(SFS-EN 12600, 2003, 10–11.)

Karkaistun lasin ensimmäinen arvo on aina 1, lasin rikkoutumistavan perusteella. Lasi rikkoutuu aina kuin karkaistulla lasilla on tapana rikkoutua (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022.)

Laminoitulla lasilla ei ole standardisoitua merkintätapaa. Laminoitun lasin merkinnässä esitetään lasien ja laminoitikalvojen paksuus. Yleisiä merkintätapoja esimerkiksi lasilaatalle, jossa 6 mm lasit ja 0,76 mm PVB kalvo ovat seuraavanlaisia:

- 4/ 0,76 /6
- 66.2
- 12,12L
- (6+6) pvb 0,76

PVB-kalvon paksuudet kerronnaisia 0,38 mm paksuja kalvoja ($n \cdot 0,38$ mm) ja paksuudet merkitään edellä mainituilla tavoilla. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.)

2.4 Kaidelasin mitoitus

Heikkilän (2020, 91) mukaan lasin mitoituksessa on käytetty aikaisemmin vuonna 1986 julkaistua RT-38-10316 *Lasilevyt, paksuuden mitoitus* -ohjetta ja RIL 198-2001 *Valoaläpäisevät rakenteet* -kirjaa. Näiden lisäksi on olemassa RIL 272-2019 *Parveke- ja terassilasitus rakennusosana* -kirja, joka

ohjaa parveke- ja terassilasituksen suunnittelua ja mitoitusta. Suomen Tasolasiyhdistys ry kuitenkin kaidelasin mitoitusohjeessaan huomauttaa, että RIL 198-2001 ja RIL 272-2019 pitävät päivittää, eikä ole sellaisenaan käytössä kaidelasin mitoituksessa (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023). Nykyisin lasielementtien mitoitukseen käytetään 25.10.2019 julkaistua SFS-EN 16612 *Rakennuslasit. Poikittaisen kuormankestävyuden laskennallinen määrittäminen* -standardia.

Suomen Tasolasiyhdistys ry on julkaissut 1.6.2023 kaidelasien mitoitusohjeen verkkosivuillaan yhteistyössä lasi- ja rakennusalan työryhmän kesken, jonka tarkoitus on yhdenmukaistaa kaidelasien laskentaa, jotta niiden tarkastus sekä hyväksyntä olisivat mahdollisia. Ohje perustuu nykyisesti lasielementtien laskennassa käytettyihin standardeihin. Ohjeeseen on mahdollista tulla vielä pieniä täydennyksiä työryhmän edistyessä, mutta tarkennukset eivät kuitenkaan tule vaikuttamaan merkittävästi laskentatuloksiin. Viimeisin täydennys on tehty 29.11.2023, jossa tuli esimerkiksi uutena ohjeena limityskorkeuden määrittäminen. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

2.4.1 Eurokoodit ja mitoitusstandardit

Kaidelasin mitoitukseen käytetään eurooppalaisia standardeja ja niihin liitettyjä kansallisia liitteitä. Mitoituksessa tarvitaan Eurokoodien 1990 ja 1991 osia sekä lasirakenteiden mitoitusstandardeja SFS-EN 16612 ja SFS-EN 16613. Vaihtoehtoisesti voidaan myös käyttää CEN TS 19100:2021 mukaista laskentamenetelmää epävirallisten kansallisten liitteiden kanssa, kun ne ovat julkaistu. Tässä opinnäytetyössä painopisteenä on standardien SFS-EN 16612 ja SFS-EN 16613 mukaiset laskentamenetelmät.

Kaidelasin mitoitukseen käytettäviä standardeja ja niiden osia:

- SFS-EN 1990 Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet ja sen kansallinen liite: ympäristöministeriön asetus 3/16
- SFS-EN 1991-1-1 Eurokoodi: Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat ja sen kansallinen liite: ympäristöministeriön asetus 4/16
- SFS-EN 1991-1-4. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–4: Yleiset kuormat, tuulikuormat ja sen kansallinen liite: ympäristöministeriön asetus 7/16
- SFS-EN 16612:2019. Rakennuslasit. Kuormankestävyuden määrittämisessä käytettävät laskelmat.
- SFS-EN 16613:2019. Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties.

(Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

Edellä mainittujen Eurokoodien lisäksi parhaillaan valmistetaan lasirakenteiden mitoitusstandardia Eurokoodi 11, SFS-EN 19100 *Design of glass structures*.

Lasirakenteiden Eurokoodien 1990 ja 1991 mukainen mitoittaminen, perustuu rajatilojen käyttöön. Mitoitusta tehdään murto- ja käyttörajatilassa. Murtorajatilassa tutkitaan lasin tasapainon menetystä, vaurioitumista, murtumista ja väsymisen aiheuttamaa vaurioitumista, jotka liittyvät parvekekaiteiden henkilöturvallisuuteen ja rakenteen varmuuteen. (RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja

rakenteiden kuormat 2017, 29.) Murtorajatilassa tehtäviin tarkasteluissa käytetään rakenteiden ominaiskuormista laskettuja mitoituskuormia ja lasin lujuutena sen ominaislujuuksista laskettuja mitoitustujuuksia sisältäen varmuuskertoimet. Laskennallisella tarkastuksella varmistetaan, että lasiin kohdistuvat mitoituskuormat eivät ylitä sen laskentalujuutta ja lasit kestävät vaaditun käytön riittäväällä varmuudella menettämättä stabiiliuttaan. (RIL 272-2019. Parveke- ja terassilasitus rakenneosana 2019, 51.) Käyttöraajatilassa tutkitaan lasin toimintaa normaalissa käytössä sekä tarkastetaan siirtymiä ja mahdollisia vaurioita, jotka voivat vaikuttaa mm. ulkonäköön, käyttäjämukavuuteen, rakenteen ja teknisten järjestelmien toimivuuteen ja säilyvyyteen (RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017, 30). Käyttöraajatilantarkastelut tehdään käyttäen kuormien ominaisarvoja ja lasin lujuutena sen ominaislujuutta. Käyttöraajatilatarkastelulla varmistetaan, että lasin taipuma on sallituissa rajoissa käytön aikana. Lähtökohtana mitoitukselle on, että valitun lasirakenteen on kestävä siihen kohdistuvat kuormitukset ja säilytettävä vakautensa eurokoodin määräytysten mukaisesti. (RIL 272-2019. Parveke- ja terassilasitus rakenneosana 2019, 51.) Kummankin rajatilan mitoitusehdon pitää täytyä.

Lasirakenteiden suunnitteluperusteet ovat kuvattu Eurokoodissa SFS-EN 1990 ja siihen liittyvässä kansallisessa liitteessä. Kaidelasia rasittavat kuormat määritetään eurokoodin SFS-EN 1991 ja siihen liittyvien kansallisten liitteiden mukaisesti. (EN1991-1-1: Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat, 2002.)

Lasielementtien mitoitusta ohjaa vuonna 2019 julkaistu SFS-EN 16612:2019 *Rakennuslasit. Poikittaisen kuormakestävyuden laskennallinen määrittäminen* -standardi. Standardissa on kuvattu tasaisesti kuormitetun ja sivuiltaan jatkuvasti tuetun lasielementin taiputuslujuuden mitoitusarvon laskentamenetelmä sekä laminoidun lasilaatan laskentaa. Kaidelasin poikittaisen kuormakestävyuden määrittämiseen käytetään standardin velvoittavaa osaa ja liitteen A kohtaa A.2 ja laskentaa opastavia liitteitä B ja D. Jos laskentaa suoritetaan Suomen Tasolasiyhdistyksen kaidelasin mitoitusohjeen mukaan, standardista ei käytetä velvoittavan osan kappaleita 7 ja 9.1.4. Laskentamenetelmää sovelletaan lasielementteihin, joissa lasiin kohdistuu kohtisuoria voimia. Standardin sovellusalueeseen kuuluvat laminoidut lasielementit, joita käytetään yleisesti lasiosina parvekekaiteissa. Standardissa annetaan suositeltavat kertoimien arvot materiaalien osavarmuusluvulle $Y_{M;A}$ ja $Y_{M;V}$, kuormitusaikakertoimelle k_{mod} sekä reunan lujuuskertoimelle k_e . Lisäksi standardissa määritetään selkeän mitoituskuorman puuttuessa, että lasin riittävän jäykkyyden ja lujuuden varmistukseksi sen tulisi kestää tasaisesti jakautunut $0,4\text{kN/m}^2$ suuruinen lyhytaikainen ominaiskuorma. (SFS-EN 16612:2019, 2019; Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

Standardi SFS-EN 16613:2019 määrittelee laminoidun lasielementin lasikerroksien yhteistoimintaa. Standardi määrittelee testimenetelmän laminoidun lasin tai -turvalasin välisten materiaalien mekaanisten viskoelastisten ominaisuuksien määrittelemiseksi. Kerrosten välisiä viskoelastisia ominaisuuksia käytetään laminoidun lasin jännitysten ja taipumien määrittämiseen. (SFS-EN 16613:2019, 2019.)

Rakenteen tekniset vaatimukset täyttyvät, kun ne suunnitellaan ja toteutetaan Eurokoodien ja niitä koskevien ympäristöministeriön kansallisten valintojen mukaan. Muitakin laskentatapoja voidaan soveltaa, jos osoitetaan riittävä varmuus rakenteen teknisten vaatimuksien täyttymiselle. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 2014/477, 3 §.)

2.4.2 Kuormien määräytyminen

Lasirakenteet mitoitetaan kuormituksille ja kuormitusyhdistelmille normien mukaan huomioiden laskentatilanne. Kaidelasia rasittavat kuormat määritetään Eurokoodin SFS-EN 1991 ja siihen liittyvien kansallisten liitteiden mukaisesti. Kaidelasiin kohdistuvia kuormia ovat tuuli-, viiva- ja pistekuorma. (SFS-EN1991-1-1: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat, 2002.) Lähtökohtana parvekkeen kaidelasin tulee kestää eurokoodin SFS-EN 1991-1-1 ja sen kansallisen liitteen mukaan määritellyn käyttötarkoituksen mukainen viiva- ja pistekuorma, kun kohteessa on putoamisvaara.

Kuormitustapaukset selvitetään Eurokoodissa määritettyjen kuormitusyhdistelmien avulla. Tarvittavat kuormitusyhdistelmät tehdään kuormista osavarmuuslukumenetelmällä ja tarkastetaan, että kuormitukset eivät ylitä lasin lujuutta missään kuormitustapauksessa (RIL 272-2019. Parveke- ja terassilasitus rakenneosana 2019, 51). Kaidelasi on kuitenkin mitoitettava erikseen tuuli-, viiva- ja pistekuormalle käyttäen osavarmuuslukua murtorajatilan tarkastelussa. Vaakaviivakuorma ja pistekuorma eivät vaikuta samanaikaisesti, eikä kyseisiä kuormia yhdistetä muiden muuttuvien kuormien kanssa, ellei toisin ole määrätty suunnitteluperusteissa. Lähtökohtana asuinkerrostalojen parvekekai- teiden mitoituksessa on käytettävä seuraamusluokkaa CC2, kun kaiteet toimivat putoamisesteenä. Parvekekai- teiden lasipaneelit ovat tyypillisesti täytepaneeleita, jotka kantavat vain itsensä. (RIL 272-2019. Parveke- ja terassilasitus rakenneosana 2019, 52; Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

Parvekekai- teen lasille kohdistuva tuulikuorma määritetään Eurokoodin SFS-EN 1999-1-4 mukaan. Tuulikuorma määritetään laskemalla kuormat pintapaineiden perusteella ja painekertoimia käyttäen ottaen huomioon ulko- ja sisäpuoliset tuulenpaineet. Sisäpuoliset paineet otetaan huomioon tapauskohtaisesti. Tuulikuorman määrittämisessä on tärkeää käyttää paineen pinta-ala kertoimina oikeita arvoja. Lasien pinta-ala on yleisesti parvekekai- teissa alle 1 m². (RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017, 138; Suomen Tasolasiyhdistys 2023.)

Vaakaviivakuorman suuruus määritetään Eurokoodissa SFS-EN 1999-1-1 esitetyn käyttöluokan perusteella. Asuntojen parvekekai- teen ja toimistotilojen vaakaviivakuorma on 0,5 kN/m, muissa tilan käytön mukaisesti 1,0 kN/m ja tungoskuorman omaavissa kohteissa 3 kN/m. (RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017, 89). Viivakuorman laskennallinen vaikutusaika on 30 sekuntia ja tungoskuormalle 5 minuuttia. Viivakuorma lasketetaan kai- teen yläreunassa ja korkeudeltaan kriittisimmässä kohdassa lasikai- teessa, kuitenkin korkeimmillaan 1,2 metrin korkeudella parvekkeen lattiapinnasta (Suomen tasolasiyhdistys 2023). Taulukossa 2 on esitettyinä viivakuorman suuruudet tilojen käyttöluokan perusteella.

TAULUKKO 2. Vaakaviivakuorman suuruus huomioiden tilan käyttöluokka (mukailien RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017, 89).

Tilan käyttöluokka	Käyttötarkoitus	Vaakakuorma
A	Asuin- ja majoitus	0,5 kN/m
B	Toimisto	0,5 kN/m
C1-C4 ja D	Kokoontuminen: kokous, ravintola, koulu yms. ja D myymälä	1,0 kN/m
C5	Tungos: konserttisali, urheiluhalli, katsomo, terassi	3,0 kN/m
E	Varasto- ja tuotanto	1,0 kN/m

Pistekuorma oletetaan olevan ihmisestä tai esineestä johtuva liikkuva hyötykuorma, joka vaikuttaa rakenteen kannalta epäedullisemmässä osassa. Nykyinen pistekuormavaatimus on astunut voimaan 1.1.2017. Pistekuormatarkastelu on tehtävä parvekekaiteen lasiosille heikommaksi arvioidussa mieli- valtaisessa kohdassa käyttäen 0,3 kN suuruista pistekuormaa. Pistekuorman kuormitusalueena käytetään 50 mm x 50 mm aluetta. Pistekuorman laskennallinen vaikutusaika on 30 sekuntia ja tungoskuormalle 5 minuuttia. (RIL 201-1-2017, 89; Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

TAULUKKO 3. Kuormitustilanteiden mukaiset laskennalliset kuormituksen vaikutusajat (SFS-EN 16612:2019. Rakennuslasit. Poikittaisen kuormankestävyyden laskennallinen määrittäminen 2019, 17).

Kuorma	Vaikutusaika
Tuulenpuuska	5 sekuntia
Voimistuva tuuli	10 minuuttia
Kaiteeseen kohdistuva kuorma: vaakaviiva- ja pistekuorma (esim. luokat A, B, C1 ja E)	30 sekuntia
Kaiteeseen kohdistuva kuorma: vaakaviiva- ja pistekuorma (tungoskuorma esim. luokka C)	30 minuuttia

2.4.3 Taipuma

Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee kaidelasin mitoitusohjeessaan käyttämään kahdelta- ja neljältä sivulta tuetuissa lasilaatoissa sallittuna taipumarajana L/100, jossa L on kahdelta sivulta tuetuissa jänteen mitta ja neljältä sivulta tuetuissa lyhyemmän sivun mitta. Maksimi taipumarajana on kuitenkin 25 mm. Suomen Tasolasiyhdistyksen taipuman ohje poikkeaa standardin SFS-EN 16612 kappaleen 9.1.4 mukaisista taipuman määrityksistä. Standardin mukaan kerrotaan, että voidaan harkita suurempia mitoitusarvoja, jos taipuma ei ole rakenteessa kriittinen. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 14; Suomen Tasolasiyhdistys 2023.)

SFS-EN 16612 -standardin mukainen taipumaraja määritetään valitsemalla pienempi arvoista L/65 tai L/50, jossa L kuvaa jännemitan pituutta seuraavissa tuentatapauksissa:

- kahdelta sivulta tuettu: lasin pidempi tukematon reuna
- kolmelta sivulta tuettu: lasin tukematon reuna

- neljältä sivulta tuettu: lasin lyhyin sivu

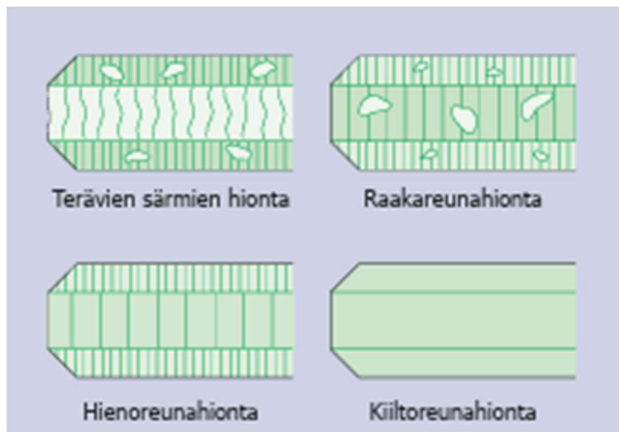
Jos taipuma ei ole kriittinen, voidaan harkita suurempia mitoitusarvoja. (SFS-EN 16612:2019. Rakennuslasit. Poikittaisen kuormankestävyyden laskennallinen määrittäminen 2019, 19)

Suomen Tasolasiyhdistyksen taipumarajan arvo perustuu oletetusti lasin paikallaan pysymiseen profiilissaan. Etenkin suuremmissa lasielementeissä standardissa esitetyt taipumat ovat suuria ja riskinä on taipuman aiheuttama lasin liukuminen ulos profiilistaan. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023.)

2.4.4 Taivutuslujuus

Mitoituksen kannalta määräävä ominaisuus on lasin taivutuslujuus. Taivutuslujuus määritetään standardin SFS-EN 16612 mukaan huomioiden myös laminoidun lasin välikerrosten vaikutukset SFS-EN 16613 -standardin mukaan. Lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kuormitus ja kuormitusaika, lämpötila, lasilevyn koko, mikrohalkeamat, reunojen työstö ja erilaiset lasin käsittelyt.

Reunojen käsittelyllä on vaikutusta taivutusvetolujuuden arvoihin eli lasin kestävyteen. Yleisimpiä reunahiontatyyppejä ovat terävsärmähionta (TSH), raakareunahionta (RRH), hienoreunahionta (HRH), ja kiiltoreunahionta (KHR). Kuvassa 2 on esitetty hionnan vaikutuksia lasin reunassa. Terävsärmähionta poistaa reunasta viiltävät särmät, mutta se on kuitenkin yhä raaka ja siinä esiintyy lovia. Raakareunahionnassa voi olla myös hiotussa pinnassa yhä pieniä lovia. Hienoreunahiotun pinta on sileä, mutta himmeä. Kiiltoreunahiotun pinta on sileä ja kiiltävä. Näistä reunahiontatyypeistä kiiltoreunahionnalla usein saavutetaan suurin taivutuslujuuden keskiarvo. Reunan hiontatyyppin mukaisesti määritetään reunan lujuuskerroin k_e . (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 110; Suomen Tasolasiyhdistys 2023.)



KUVA 2. Reunahiontatyyppit (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 110.)

Tuuli, viiva- ja pistekuorman vaikutusaika määräytyy standardissa määritettyjen käyttöluokkien kuormitustapausten mukaisesti. Kyseisille kuormille määritetään kohteen mukaisen vaikutusajan kuormitusaikakerroin k_{mod} .

Valitusta lasityypistä ja materiaalista lujuusmitoituksessa huomioidaan lasipinnan profiili vaikutuskerroin k_{sp} . Profiilit ovat määritelty eri lasimateriaaleille rakenteesta riippumatta ja luokiteltu normaalisti valmistettuun ja hiekkapuhallettuun lasiin. Lasipinnan profiilin lisäksi laskennassa otetaan huomioon

tarkasteltavan lasin mukainen taivutuslujuuden ominaisarvo $f_{g;k}$ ja esijännitetyissä laseissa $f_{b;k}$. Näiden lisäksi käytetään aineen osavarmuuslukua $Y_{M;A}$ päästetyille lasille, eli esimerkiksi float-lasille ja $Y_{M;V}$ lämpökarkaistulle ja -lujitetulle tai kemiallisesti lujitetulle. (SFS-EN 16612:2019, 2019, 14–18.)

2.4.5 Limityskorkeus

Tukipinnan olevan liian matala on vaarana etenkin suurilla ja ohuilla kaidelaseilla liukua ulos tuetaan lasiin kohdistuvan ulkoisen kuorman vaikutuksesta. Tukipinnan vaatimuksia määritetään ohjeessa CEN TS 19100-2. Limityskorkeuden eli lasin tukipinna profiilin sisällä neljältä sivulta tuetussa lasikaiteessa tulee olla vähintään 12 mm. Ohjeessa ei ole määritelty erikseen kahdelta sivulta tuettua tapausta, joten Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee käytettäväksi myös vähintään 12 mm limityskorkeutta. Ennen ohjeistuksessa on käytetty kahdelta sivulta tuetuissa limityskorkeuden vähimmäismittana 6–8 mm, joten tätä ei sovelleta vanhoihin eikä vastavalmistuneissa kohteissa. Vähimmäismittoja käytetään, kun laskennallisesti päädytään pienempiin limityskorkeuden arvoihin. (Suomen Tasolasi yhdistys ry 2023.)

Tukipinnan määrittämisen lähtökohtana on minimitukipinta-vaatimus, joka tulee olla vähintään 5 mm murto- ja onnettomuusrajatilassa lasin taipuma ja toleranssit huomioiden. Määrittämisessä huomioidaan myös laskennallisesti määritettävä lasin taipuman aiheuttama liukuma eli lyhenemä lasikyntteen sisällä murto- ja onnettomuusrajatila huomioiden. Näiden lisäksi otetaan vielä huomioon asennus- ja tuotantotoleranssi. Näissä eroavaisuuksia ja heittoja voi aiheuttaa lasileikkuu ja hionta. Tuotantotoleranssina käytetään ± 2 mm. Laskennassa otetaan huomioon kaikki edellä mainitut tekijät eli, minimitukipinta, lasin liukuma, asennustoleranssi ja tuotantotoleranssi, jotka summataan yhteen, jolloin saadaan vaadittu tukipinta. Nämä kaikki voivat tapahtua yhtä aikaa ja kohdistua vain yhteen kyntteeseen. Koko kyntteen korkeutta laskettaessa tulee näiden lisäksi vielä lisätä mahdollisten asennuspalojen korkeus. (Suomen Tasolasi yhdistys ry 2023.)

3 LASITYYPIT

Erilaisia lasityyppejä on olemassa lukemattomia määriä. Seuraavissa kappaleissa esitetään taulukon 4 mukaisia työn aiheeseen merkittävästi liittyviä lasityyppejä ja näiden ominaisuuksia sekä käyttökohteita.

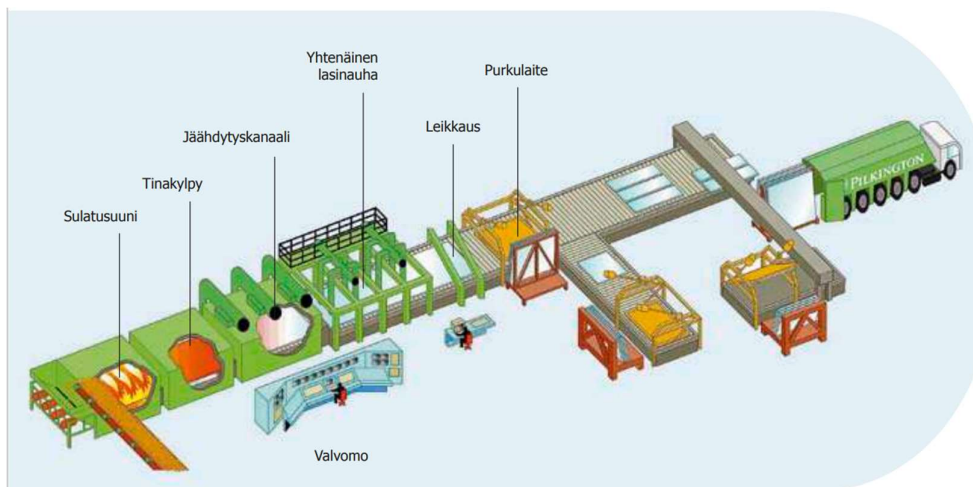
TAULUKKO 4. Lasityyppien lujuusominaisuuksia ja rikkoutumiskuviot (mukaillen Lasifakta 2021 2022).

Lasityyppi	Lujuus	Rikkoutumiskuvio
Tavallinen lasi	Suhteessa paksuuteen	Suuret palaset, terävät muodot (viiltovamma riski)
Lankalasi (valulasi)	Tavallista lasia heikompa	Suuret palaset, sirpaleet pysyvät verkossa
Lämpölujitettu lasi	Tavallista lasia n. 2x lujempi	Tavallista lasia pienemmät palaset, karkaistua lasia suuremmat palaset (viiltovamma riski)
Kemiallisesti lujitettu lasi	Tavallista lasia n. 15–20x lujempi	Suuret palaset, terävät muodot (viiltovamma riski)
Karkaistu lasi (turvalasi)	3–5x tavallista lasia lujempi	Pieniä murusia
Laminoitu lasi (turvalasi)	Hieman tavallista lasia heikompi	Pysyy koossa murtuneena
Karkaistu-laminoitu lasi (turvalasi)	Hieman karkaistua lasia heikompi	Murut pysyvät laminointikalvossa

3.1 Float-lasinvalmistusmenetelmä

1950- luvulla Sir Alastair Pilkington kehitti float-lasinvalmistusmenetelmän, joka on nyt maailmanlaajuisesti tasolasivalmistuksen standardi. Float-prosessi on lasinvalmistusmenetelmä, jossa sula lasi levitetään ja jäädytetään tasaiseksi kerrokseksi sulan tinakerroksen päälle. Tuotanto tapahtuu jatkuvana valmistusprosessina. Alussa raaka-aineet sulatetaan uunissa korkeassa lämpötilassa. Sulan lasin lämpötilan ollessa noin 1000 °C sitä kaadetaan matalan tinakerroksen päälle. Lasisula kelluu tinan päällä muodostuen tasomaiseksi pitkäksi lasilevyksi. Kerrospaksuus määräytyy, sen mukaan, kuinka nopeasti jähmettyvää lasia vedetään pois sulan tinan päältä. Sula lasi jäädytetään hallitusti ja jäähtynyt lasi leikataan haluttuihin mittoihin. Menetelmällä aluksi pystyttiin valmistamaan vain 6 mm paksuista lasilevyä, mutta nyt pystytään valmistamaan 0,4–25 mm paksuuksia. (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 13; Pilkington julkaisuaika tuntematon.)

Suomessa perustettiin vuonna 1922 Lahden lasitehdas, joka aloitti pohjoismaissa ensimmäisenä koneellisen tasolasin valmistuksen Fourcault-koneilla vuonna 1927. Lasitehtaalla käynnistyi vuonna 1987 Float-linja, jossa alettiin valmistamaan lasia edellä mainitun Float-lasinvalmistusmenetelmällä. (Siikanen 2001, 230.)



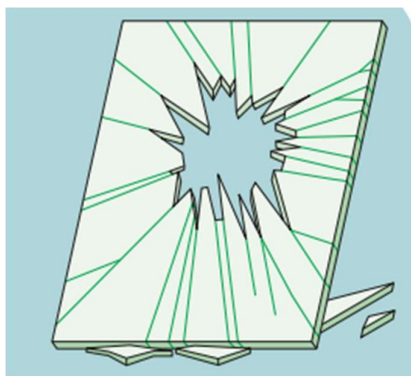
KUVA 3. Float-lasinvalmistusprosessi (Lasifakta 2021 2022, 14.)

3.2 Float-lasi

Yleisesti käytetty tavallinen rakennuslasi on pääosin valmistettu hiekasta, soodasta ja kalkkikivestä, johon on myös lisätty muita ainesosia pienemmissä määrin. Lasin tuotanto tapahtuu edellä mainitulla float-lasinvalmistusmenetelmällä. Float-lasi on vääristymätöntä, läpinäkyvää, kirkasta, sileäpin-taista ja tasapaksuista. (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 13.)

Float-lasi toimii perusmateriaalina kaikille jatkojalostetuille rakennuslasituotteille. Lasille yleisesti tehdään monia lisäkäsittelyjä ennen rakennukseen asennusta. Float-lasia voidaan jatkojalostaa esimerkiksi pinnoittaen, karkaisten, laminoiden tai koneistaen erilaisia reunahiontoja ja aukkoja. Jatkojalostetuiden lasituotteiden ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi turva- ja suojausominaisuudet, palnsuojaus, lämmöneristys sekä äänitekniset ominaisuudet. (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 13–14.)

Kuormituksen ylittäessä murtolujuuden tavallinen float-lasi rikkoutuu teräviksi kappaleiksi aiheuttaen ilmeisen riskin viiltovammoille (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50).



KUVA 4. Float-lasi rikkoutuu teräviksi kappaleiksi (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50).

3.3 Lankalasi

Lankalasi eli metalliverkkovahvisteinen valulasi valmistetaan valssausmenetelmällä, jossa lanka-verkko tai yhdensuuntaiset langat upotetaan pehmeään lasilevyyn tai valssataan kahden lasilevyyn

väliin, jonka jälkeen lasilevy jäädytetään. (Siikanen 2001, 234.) Lankalaseja voidaan tehdä kuviollisella pinnalla, jolloin läpinäkyvyys on heikompaa sekä lasi voi olla myös värillinen tai pinnat voivat olla hiottuja, jolloin läpinäkyvyys paranee (Suomen Lasiposti Oy 2024).

Lankalasin langat aiheuttavat lujuusteknisesti epäjatkuvuuskohtia, joka pienentävät lasin mekaanisia lujuusominaisuuksia, kuten taivutusvastusta ja lämpötilaerojen kestoja. Mekaaniset lujuusominaisuudet voivat olla jopa kolmanneksen pienempiä kuin tavallisella float-lasilla. (Hemmilä & Riikonen 2015, 13–14.)

Rikkoutuessaan metalliverkko estää sirpaleiden putoamisen pitäen ne toisissaan kiinni, eikä aiheuta välitöntä suurten sirpaleiden vaaraa (Siikanen 2001, 234). Vaikka lankalasiilla on kyseinen turvallisuutta parantava ominaisuus, sitä ei kuitenkaan voida yleisesti ottaen pitää turvalasina. Lankalasi-tyypeistä vain harva täyttää SFS-EN 12600 iskutestin vaatimukset. Lankalasia käyttäessä, on se mitoitettava ja testattava standardien mukaisesti. (Suomen Tasolasiyhdistys 2022, 6–11.) Lankalasin tyypillisiä käyttökohteita ovat väliseinät, palo-ovet ja ikkunat. Nykyään lankalasiin käyttö on kuitenkin uudiskohteissa harvinaisempaa, muiden palolasien korvattua ne. (Lasimyynti Tammela julkaisuaika tuntematon.) Lankalasiin käyttöä ei suositella kouluissa tai päiväkodeissa (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 11).

On mahdollista, että lankalasia on käytetty myös parvekkeiden lasikaiteissa, jotka on toteutettu ennen nykyistä ympäristöministeriön asetusta käyttöturvallisuudesta (1007/2017). Nykyisin kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman F2 mukaan lasirakenteessa, jonka rikkoutuminen johtaa henkilön suoranaiseen putoamisvaaraan on käytettävä lankalasia, laminoitua-, karkaistua-laminoitua lasia tai putoaminen on estettävä suojarakenteella (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 2001. F2 Suomen rakentamismääräyskokoelma.) Nykyisen ympäristöministeriön asetuksen (1007/2017) mukaan on käytettävä laminoitua- tai karkaistua-laminoitua turvalasia, kun kohteissa on putoamisvaara.

3.4 Lämpölujitettu

Lasin lämpökäsittelyllä parannetaan lasin mekaanisia- ja lämmönkestävyys ominaisuuksia. Lämpölujitettu lasi valmistetaan lämpökarkaistun lasin tapaan lämmittämällä noin. 650 °C:een. Lämpölujitetulla lasilla jäädytysprosessi on hitaampi, jonka seurauksena lasipinnan puristusjännitys ja sisäpuolinen vetojännitys jää pienemmiksi kuin lämpökarkaistussa lasissa. Tästä syystä lämpölujitettu lasi ei ole yhtä lujaa kuin lämpökarkaistua. (Chen 2021.) Lämpölujitetun lasin säädöksiä määritellään SFS-EN 1863-1-2 *Rakennuslasit. Lämpölujitettu soodakalkkisilikaattilasi* -standardissa.

Lämpölujitetulla lasilla on kaksinkertainen mekaaninen, lämpö- ja kuormanlujuus verrattuna tavalliseen float-lasiin, mikä mahdollistaa lämpölujitetun lasin käytön tavallista vaativammassa kohteissa ja olosuhteissa. Lämpölujitettua lasia voidaan käyttää, kun kohde ei vaadi turvalasiin käyttöä, mutta tarvitaan lisälujuutta tuulikuormaa ja lämpökuormaa vastaan. (Chen 2021; Finnglass Oy julkaisuaika tuntematon.)

Vaikka lämpölujitettu lasi on tavallista float-lasia lujempaa, se ei kuitenkaan ole turvalasi. Lämpölujitetun lasin rikkoutumistapa on samankaltainen kuin tavallisen float-lasin, joka muodostaa teräviä kappaleita rikkoutuessaan. Lasi rikkoutuu samalla periaatteella, kuitenkin niin että lasinsirpaleet ovat

pienempiä ja pyöreämpiä kuin tavallisen lasin, mutta suurempia kuin karkaistun lasin. Rikkoutuessaan sirpaleet pysyvät tavallista lasia paremmin kehyksessään. Lämpölujitettua lasia voidaan pitää float-lasin ja karkaistun lasin välimuotona. (Chen 2021; Finnglass Oy julkaisuaika tuntematon.)

Lämpölujitetusta lasista voidaan tehdä turvalasi laminoimalla, jolloin rikkoutuessaan sirpaleet jäävät kiinni laminointikalvoon. Lämpölujitetun lasin laminoinnilla mahdollistetaan paremmat ominaisuudet kuin tavallisen float-lasin laminoinnilla ja sitä voidaan käyttää, jos kohteessa ei tarvita käytettäväksi vielä lujempaa lämpökarkaistua lasia. Lämpölujitettu-laminoitua lasia käytetään usein kattoikkunoissa, katoissa, lasilaatoissa ja muotinäytösten lavoissa. (Chen 2021; Finnglass Oy julkaisuaika tuntematon.)

Lämpökarkaistuun lasiin verrattuna lämpölujitetun lasin nikkelisulfidi-hiukkasten muodonmuutoksesta aiheutuvaa spontaanin rikkoutumisen vaaraa ei juurikaan ole, joka lämpökarkaistussa lasissa varmistetaan Heat Soak-testillä (Chen 2021).

3.5 Kemiallisesti lujitettu lasi

Kemiallisesti lujitetun lasin valmistus Suomessa on harvinaista. Vantaalla toimiva Lasimyynti Tammela on tällä hetkellä ainut Suomessa kemiallisesti lujitettua lasia valmistava yhtiö (Tammela 2022, 2).

Kemiallisesti lujitetun lasin lujitusprosessi tehdään kuumassa 435 °C suolakylvyssä, jossa tapahtuu lujituksen aiheuttava ionivaihdos. Lasin pinnalle muodostuu puristusjännitys, kun lasipinnan natriumit korvautuvat suuremmilla kaliumioneilla ionivaihdon aikana. Lasin pinnassa vaikuttaa näin ollen puristusjännitys ja sisäpuolella kompensoi vetojännitys. (Heikkilä 2019, 1.) Jännityksen suuruuteen vaikuttavat käsittelyaika ja käytettävä lasilaatu. Parhaiten prosessiin sopii alumiinisilikaattilasi, joka mahdollistaa lasille suuremmat jännitykset ja nopeamman käsittelyajan. Prosessiin sopii todella hyvin myös tavallisesti käytetty soodakalkkisirikaattilasi, josta saadaan tavallista float-lasia merkittävästi kestävämpää lasia aikaiseksi. (Tammela 2022, 3–4.)

Kemiallinen lujitus tekee lasista kestäväen lämpötilan muutoksia vastaan ja mekaaniselta lujuudeltaan se on tavallista float-lasia ja karkaistua lasia kestävämpää, eikä se naarmuunnu yhtä herkästi. Kemiallisesti lujitettu lasi on karkeasti määriteltynä 15–20 kertaa lujempaa kuin normaali float-lasi. Kemiallisesti lujitettu lasi myös kestää karkaistua lasia paremmin lasille tyypillisesti hankalia lämpöshokkeja, jossa nopea epätasainen lämmönjako voi aiheuttaa sen rikkoutumisen. Kemiallista lasia voidaan lujituksen jälkeen käsitellä esimerkiksi leikkaamalla ja poraamalla, toisin kuin karkaistua lasia. Käsittelyssä täytyy huomioida, että lasin vahvuus palaa entiselle tasolle käsittelykohdan ympäriltä. (Heikkilä 2019, 1; Tammela 2022, 4–7.)

Hyvistä lujuusominaisuuksista huolimatta kemiallisesti lujitettu lasi ei ole itsessään turvalasi, sen rikkoutumistavan takia. Kemiallisesti lujitettu lasi rikkoutuu normaalin float-lasin tapaan isoiksi säröiksi. Laminoimalla lasia, voidaan sitä käyttää myös turvalasina. Kemiallisesti lujitettua lasia yleisesti käytetään vaativissa kohteissa ja olosuhteissa, joissa lämpötilan vaihtelut ovat suuria ja nopeita, happamissa ympäristöissä tai kovaa kulutusta vaativissa paikoissa. Tällaisia kohteita voivat olla kaivokset ja niissä käytettävät työkonet sekä teollisuudessa käytetyt mittaristojen ja näyttöjen suojanäytöt. Kuluttajatuotteista tunnetuimpina käyttökohteina voidaan pitää silmälasien linsejä ja elektroniikasta

puhelimien näyttölaseina. Kemiallisesti lujitettu-laminoitua lasia on käytetty lentokoneiden ohjaamon tuulilasissa sekä muissa lentokoneiden laseissa. (Heikkilä 2019, 1; Tammela 2022, 7–8.)

Kemiallisesti lujitetun lasin käyttökohteita on paljon. Tammela pohtii artikkelissaan käyttökohteita, joihin lasityyppi voisi soveltua, mutta sitä ei ole vielä osattu ottaa käyttöön. Tällaisia käyttökohteita voisivat olla lasikaiteet ja -seinät, jotka sijaitsevat julkisilla paikoilla ja niissä on mahdollisuus tungoskuormaun. Kaiteet- ja lasiseinät voisivat olla kannattavaa toteuttaa niin, että kovemman kulutuksen vaativa puoli laminoitua lasista tehtäisiin kemiallisesti lujitetusta lasista ja toinen puoli karkaistusta. Menetelmä parantaisiin kestävyyttä ja turvallisuutta etenkin kaidelaisessa, jotka ovat yleensä valmistettu kahdesta laminoitua karkaistusta lasista. Molempien lämpökarkaistujen lasien rikkoutuessa lasi menettää jäykkyytensä lähes kokonaan, koska lämpökarkaistulasi rikkoutuu pieniksi murusiksi. Kemiallisesti lujitettu lasi rikkoutuu suurempina palasina normaalin float-lasin tapaan. Jos kulutus puoli olisi tehty kemiallisesti lujitetusta lasista ja toinen puoli lämpökarkaistusta, niin molempien lasien rikkoutuessa, ne tarjoaisivat edes jonkin verran jäännöslujuuskapasiteettia. (Tammela 2022, 8.)

3.6 Turvalasit

Turvalasien tehtävä on estää törmäyksestä tai murtumasta aiheutuvaa onnettomuusriskiä ja suojata käyttäjiä viiltovammoilta. Tästä syystä turvalaseja tulee käyttää ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti rakennuksiin alueisiin, joihin käyttäjillä on törmäys- tai putoamisvaara. Käyttökohteina ovat esimerkiksi ovet, ikkunat, kaidelasit ja lasit, joiden alareunan korkeus lattiatasosta on vähemmän kuin 700 mm. Virallisia turvalaseja ovat karkaistu- ja laminoitu lasi sekä näiden yhdistelmä. (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 49; Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 6–9.)

Turva- ja suojalasi välillä on keskeinen ero, vaikka ne liittyvätkin läheisesti toisiinsa. Turvalasi koskee laseja, jotka suojaavat edellä mainitulta törmäykseltä tai murtuman aiheuttamaa onnettomuusriskiä. Suojalasi taas puolestaan on suunniteltu kestävämmän erilaisia hyökkäyksiä, kuten luodin, räjähdys- ja muulta hyökkäykseltä. Suunnittelijoiden ja asentajien on tärkeä ymmärtää näiden tuotteiden välisen eron, jotta kohteeseen suunnitellaan oikeanlainen ja turvallinen lasi. (Pilkington 2022.)

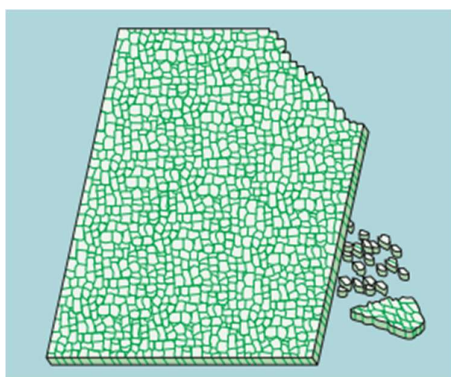
3.6.1 Lämpökarkaistu turvalasi

Lämpökarkaistun soodakalkkisirikaatti-turvalasin valmistuksessa ensin lämmitetään lasia noin 650 °C:n lämpötilassa, jonka jälkeen lasi jäädytetään nopeasti. Toimenpiteen seurauksena lasin pintaosaan syntyy pysyvä puristusjännitys ja sisäosaan vetojännitys. Lämpökarkaistu lasin lujuus kasvaa ja kestää kuormituksista aiheutuvia rasituksia paremmin tavalliseen float-lasiin verrattuna. Lämpökarkaistu lasi tyypillisesti täyttää standardin SFS-EN 12600 mukaisten luokkien 1(C)3–1(C)1 vaatimukset. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50.)

Lämpökarkaistu lasia on hyvä käyttää, kun sen täytyy kestää raskaiden, mutta ei terävien esineiden kuormituksia. Lasi kestää laajemmalla alueella tulevia iskuja, kuten ihmisen kaatumisen. Lämpökarkaistulla lasilla lämpöjännitysten aiheuttama rikkoutumisen riski pienenee ratkaisevasti, joka on hyödyksi etenkin kohteissa, joissa lasi sitoo paljon energiaa. Tyypillisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi parvekkeiden ja terassien liukulasit, ikkunat ja julkisivut, joissa kuormituksena on lämpökuorma ja

yhtenäinen kuorma, kuten tuuli- tai lumikuorma. Rakennuksen sisätiloissa lämpökarkaistua lasia käytetään omaavissa lasirakenteissa esimerkiksi lasiovissa, suihkuseinissä ja saunan lasiseinissä. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50.)

Lämpökarkaistulla lasilla on luonteenomainen ja turvallinen rikkoutumismekanismi. Lasi rikkoutessaan murenee pieniksi murusiksi, eikä murusissa ole tavalliselle lasille ominaista leikkaavan terävää reunaa. Lämpökarkaistu lasi määritellään turvalasiksi, kun sen rikkoutuminen tapahtuu standardissa SFS-EN 12150-1 esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Karkaistu lasin tyypillisiä rikkoutumisen syitä ovat lasin liiallinen kuormittaminen, jossa taipuma siirtää lasipinnan puristusjännityksen rikkoutumisen aiheuttavaksi vetojännitykseksi, terävien esineiden iskut, lasin särmää kohdistuva pistemäinen isku. Lasin pintakerroksen naarmut tai lohkeamat myös heikentävät lasin pintaa, joka voi mahdollistaa rikkoutumisen. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50.)



KUVA 5. Lämpökarkaistu lasi rikkoutuu pieniksi murusiksi (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50).

3.6.2 Heat Soak -testattu karkaistu lasi

Lämpökarkaistun turvalasin rikkoutumisriskiä voidaan pienentää huomattavasti ylimääräisellä lämpökäsittelyllä eli Heat Soak -testillä. Harvinaisissa tapauksissa karkaistu lasi voi rikkoutua itsestään, kun lasin mahdolliset nikkelisulfidi-hiukkaset voivat kiteen faasimuutoksen takia muuttaa tilavuuttaan. Heat soak -testissä lasin nikkelisulfidi-hiukkasia kiihdytetään lämpökäsittelyllä, jolloin hiukkasia sisältävä lasi hajoaa jo testauksessa lähes aina. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50.)

Spontaani rikkoutuminen karkaistussa lasissa voi johtua myös muista sulkeumista lasimassassa ja lasivirheistä, kuten reunalohkeamista ja kovista kontakteista viereisiin rakenteisiin. Kyseisiä spontaanin rikkoutumisen muotoja voidaan ehkäistä Heat Soak-testillä. Testiä suositellaan etenkin kohteissa, joissa lasin koossapysyvyydellä on vaikutusta käyttäjäturvallisuuteen. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50.)

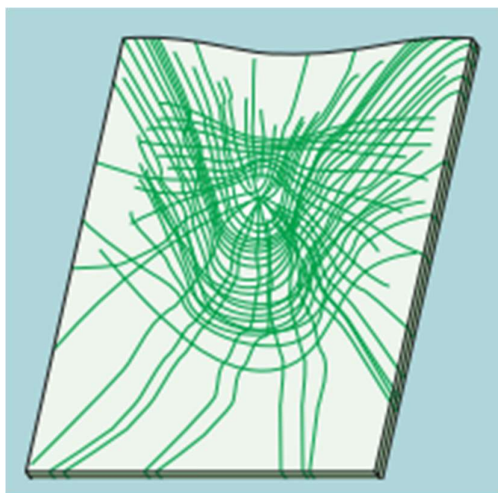
3.6.3 Laminoitu turvalasi

Laminoitu lasi koostuu yhdestä tai useammasta laminointikalvolla yhteen laminoituista lasilevyistä. Muovikerros, eli laminointikalvo tekee laminoidusta lasista sitkeän ja vaikeasti rikottavan, joka antaa

tuotteelle turvalasille vaaditut ominaisuudet. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.) Laminoitavina lasina voidaan myös käyttää monia lasityyppejä, kuten esimerkiksi karkaistua- ja lämpölujitettua lasia, jolla saadaan parannettua lasilaatan lujuusominaisuuksia.

Laminointikalvot ovat keskenään erilaisia ominaisuuksiltaan, joten kalvotyyppi tulee valita tapauskohtaisesti. Lasin laminoinnissa yleisimmät käytetyt kalvotyyppit ovat PVB (polyvinyylibutyaali) ja EVA (etyleeni-vinyyliaasettaatti). Lasien laminointiprosessi eroaa keskenään toisistaan valitun kalvotyyppin mukaisesti. PVB-kalvojen varastointi ja käsittely ovat monimutkaisempia verrattuna EVA-kalvoon, koska ne vaativat korkeampaa lämpötilan ja kosteuden hallintaa. PVB-laminointikalvolla laminoidulla lasilla on hyvät turvallisuus-, UV-kestävyys, ikääntymisvastus- ja iskunkestävyysominaisuudet. PVB-kalvolla on kuitenkin huono vedenkestävyys ja sillä on taipumusta delaminoitua ajan myötä kosteassa ympäristössä. Delamoituminen näkyy lasin reuna-alueilla haalistumisena ja pilkkuina, kun lasien välinen kalvo menettää kiinnittymiskykyään lasin pinnassa. EVA-kalvolla laminoitu lasi saavuttaa hyvät vedenkestävyys ominaisuudet, mutta kestää huonommin UV-säteilyä, kun PVB. EVA-kalvo ikääntyy ja kellastuu helposti auringonvalossa. EVA-kalvolla on alhaisempi sulamispiste (noin 100°C), joten korkeissa lämpötiloissa kalvo voi pehmentyä, jonka seurauksena kalvon viskositeetti ominaisuudet vähenevät. (BolayMac Technology Development 2022; Vsom Glass 2023.) Lisäksi edellä mainittujen yleisempien kalvojen lisäksi on näitä huomattavasti vahvempi ja jäykempi SentryGlas® laminointikalvo. Kalvoa suositellaan kohteisiin, joissa on haastavien julkisivujen rakenteellisten ratkaisujen toteuttamiseen ja avoreunaisiin kaiteisiin. SentryGlas® kalvo kestää muita laminointikalvoja paremmin kosteutta, joka estää delaminoitumista ja kalvolla on myös parempi UV-kestävyys, joka suojaaa sitä kellastumiselta. Käyttökohteita ovat julkisivujen lisäksi myös esimerkiksi kattolasit, kaiteet, ovet ja väliseinät. (Kuraray 2023a.) Laminoitun turvalasin kestävyysvaikutteet vaikuttavat laminointimateriaalin lisäksi välikerrosten tyyppi, välikerrosten lisämateriaalit ja lasityyppi sekä sen paksuus (Suomen Tasolasiyhdistys 2019b).

Vaikka laminointi tekee lasista sitkeän ja vaikeasti hajoavan, niin ylikuormittaessa se murtuu tavallisen lasin tavoin. Rikkoutuessa kuitenkin lasinsirpaleet pysyvät kiinni muovikalvossa, joka pitää levyn yhtenäisenä myös rikkoutuneena. Tämä turvaominaisuus estää lasin läpikäytymistä ja viiltovamojen riskit minimoituvat. Laminoitun lasin on täytettävä SFS-EN ISO 12543-2 *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Osa 2: Laminoitu turvalasi mukaiset vaatimukset* -standardin vaatimukset, jotta se voidaan luokitella turvalasiksi. Laminoitun turvalasin suojausluokka standardin SFS-EN 12600 mukaan täytyy olla vähintään 3(B)3. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b; Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50–60.)



KUVA 6. Laminoitun lasin hajotessa lasinsirpaleet jäävät laminointikalvoon kiinni (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022, 50).

Laminoitu turvalasi on etenkin tunnettu ajoneuvojen tuulilasiin käytöstä. Rakennusalalla laminoitua turvalasia käytetään etenkin kohteissa, joissa on putoamisvaara. Tyypillisiä kohteita ovat parvekkeiden-, terassien ja muiden erilaisten tilojen kaidelasit. Laminoitua turvalasia myös käytetään tiloissa, joissa ei välttämättä ole putoamisvaaraa, mutta voi syntyä tungosta tai valokatteiden alimpana lasina, joissa on esimerkiksi jään tai lumen putoamisvaara katteen päälle. Julkisten tilojen ja näyteikkunoiden lasit tulisivat olla tehty laminoitusta turvalasista, näissä kohteissa usein käytetään myös erilaisia suojalaseja murron estämiseksi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.)

3.6.4 Karkaistu-laminoitu turvalasi

Karkaistu-laminoitu turvalasi koostuu yhdestä tai useammasta laminointikalvolla yhteen laminoitua karkaistusta turvalasista. Yhdistelmä tekee laminoitusta lasista lujuutta ja turvallisempaa. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.)

Kyseistä turvalasia käytetään kohteissa, joissa lasiin voi kohdistua painetta ja iskuja, jolloin lasilta vaaditaan erityistä lujuutta hyviä mekaanisia ominaisuuksia tai lasissa, joihin tehdään erilaisia töitä, kuten sarana-, lovi ja reikätyöjä. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kaidelasitukset ja lasiset väliseinät. Pistekiinnityksellä kiinnitetyt lasikaiteet tulee aina tehdä karkaistu-laminoitulla turvalasilla. Muita tyypillisiä käyttökohteita rakennuskissa on julkisivut, portaat, lattiatasot, kattolasitukset ja hissit. Karkaistu-laminoitulle turvalasille on valittava huolellisesti olosuhteisiin sopiva laminointikalvo. Hyvin kosteutta kestäviä kalvoja ovat edellä mainittu SentryGlas sekä PVB-BG R20 kalvo ja EVA kalvo. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.)

Rikkoutuessaan karkaistu lasi murenee lasityypille ominaisella tavalla, mutta laminointikalvo pitää rakenteen yhtenäisenä pitäen lasimurut kiinni kalvossa. Karkaistu-laminoitu turvalasi estää laminoitun lasin tapaa putoamiselta ja muiden turvalasiin mukaisesti viiltovammoja. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c.)

3.7 Parvekekaiteen lasityypin valinta

Parvekkeen lasikaiteet suunnitellaan kuten kaiteet yleensä ja niissä käytetään laminoitua turvalasia (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 8).

Kaiteen suojaavan osan kestävyys testataan standardin SFS-EN 12600 menetelmien mukaisesti. Törnäyskestävyyden tulee olla luokan 2(B)2 mukainen, joka vastaa putoamisvaaran omaavissa kohteissa laminoidun turvalasin luokituksen vaatimusta. Testit suoritetaan kiinnitettynä rakenteeseen, joka vastaa kaidarakennetta, jolloin myös kiinnitykset tulee koetelluksi. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 9.)

Kaidelasin lasityyppi ja paksuus määräytyvät sen lujuusvaatimusten mukaisesti. Lujuusvaatimuksiin vaikuttavat lasien mitat, kiinnitystapa, käyttölämpötila-alue ja lasihin kohdistuvat kuormat sekä niiden vaikutusajat kohteen käyttöluokan mukaan. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 13.)

Kaidelasin kiinnitystapa vaikuttaa oleellisesti lasin valintaan. Kahdelta- ja neljältä sivulta tuetut lasilevyt toteutetaan laminoitavalla turvalasilla lujuusvaatimusten mukaisesti. Yhdeltä sivulta alareunaan tuetaan tuetut ja pistemäisesti kiinnitetyt lasilevyt tulee olla laminoituja, joissa molemmat lasikerrokset ovat karkaistua turvalasia lujuusvaatimukset huomioiden. Pistemäisestä kiinnitystavasta syntyy lasihin suuria keskittyneitä jännityksiä, mikä perustelee karkaistun lasin käytön. Pistemäisesti tuettujen lasilevyjen mitoitetaan kiinnitysjärjestelmän ja lasikonsulttien ohjeiden mukaisesti, koska pistemäiset kiinnitysjärjestelmät eroavat toisistaan hyvin paljon. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022, 13.)

4 PARVEKEKAIDELASIEN LUJUUSTARKASTELU

Parvekekaiteiden lasien lujuutta selvitetään laskennallisesti tyypillisille parvekekaiteissa käytetyille lasityypeille. Tarkastelua suoritettiin normaalikäytössä oleville asuinkerrostalojen parvekekaiteille. Tavoitteena laskennan ja kestävyys tarkastelujen perusteella oli koota ohjeellinen taulukko, jossa esitetään taulukon lasin ominaisuuksien ja kuormitustilanteen mukainen kaidelasin minimipaksuuden vaatimus lasin kokoluokan mukaan. Taulukon tarkoitus on toimia tukena tyypillisesti käytettävien parvekekaidelasien paksuuden valinnassa, jotka mahdollistavat kestävä ja turvallisen parvekekaiteen.

Tarkastelussa käytettiin symmetrisiä kaksikerroksisia laminoituja lasityyppejä, joissa eri lasikerrosten lasityypit ovat samanlaisia toistensa kanssa. Symmetriset lasityypit ovat yleisesti käytetty parvekekaiteissa. Tarkasteluun valittuja lasityyppejä olivat float-laminoitu (FL), karkaistu-laminoitu (KL) ja lämpölujitettu-laminoitu (HSL). Laminoitikalvoksi valittiin yleisesti lasikaiteissa käytetty PVB-laminoitikalvo. Tarkastelu suoritettiin jatkuvasti kahdelta- ja neljältä sivulta tuetuille parvekekaidelaseille, niin että kahdelta sivulta tarkastaessa kaidelasi oli tuettuna ylä- ja alareunastaan.

Taipuman raja-arvona käytettiin laskennassa Suomen Tasolasiyhdistyksen kaidelasin mitoitusohjeen mukaista taipumarajaa tuentatapaus huomioiden. Tässä laskennassa näin ollen ei käytetty SFS-EN 16612 velvoittavan osan kappaleessa 9.1.4 määriteltyä taipumarajan arvoja.

Lujuustarkastelut toteutettiin SFS-EN 1990, SFS-EN 1991, SFS-EN 16612 ja SFS-EN 16613 -Eurokoodien ja standardien mukaisesti.

4.1 Kuormat

Mitoituksessa kuormina käytettiin standardin SFS-EN 1991 mukaista tuuli-, viiva- ja pistekuormaa sekä rakenteen omapainoa, niin ettei ulkoiset kuormitukset vaikuta lasissa samanaikaisesti, vaan jokaisella kuormituksella tehtiin tarkastelut erikseen.

Tuulikuorma tulisi määrittää aina tapauskohtaisesti kaidelaseille. Tässä työssä kuitenkin tarkoituksena oli luoda edellä mainittuja ohjetaulukoita, joten tuulikuorman osalta määritettiin kaidelasin ulkopintaan vaikuttavan tuulen paineen raja-arvot, joiden puitteissa ohjetaulukoita voidaan hyödyntää. Laskennassa käytettiin vain ulkopintaan vaikuttavaa tuulen painetta, olettaen että parvekekaiteet ja -lasitukset eivät ole niin tiiviitä, että sisäpinnan vaikutusta pääsisi muodostumaan parvekkeelle. Kaidelasiin kohdistuva tuulikuorma mitoitettiin Eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 mukaan. Maastoluokiksi tuulikuorman määrittämiseen valittiin luokat 2 ja 0. Maastoluokan 2 oli tarkoitus kuvata tavanomaisempaa tilannetta tuulikuormalle, kuin taas maastoluokka 0, joka vastaa meren rannalla huomattavasti tuulisemmassa ympäristössä sijaitsevaa rakennusta. Maastoluokkia valittiin tarkasteluun kaksi perustuen taulukoiden monipuolistamiseen tuulikuorman osalta, kun etenkin maastoluokassa 0 voi tuulikuorma toimia mitoittavana kuormituksena kaidelaseille. Tuulikuorman pinta-alana käytettiin 1 m² aluetta, jonka arvioitiin olevan melko tyypillinen koko parvekkeen kaidelaseille ja se on myös hyvin lähellä ohjetaulukoissa esitettyjen lasien kokoluokkien keskiarvoa. Tuulikuorman rakenneosan pintapaineen raja-arvoiksi määritettiin laskennan perusteella maastoluokassa 2 arvoksi 1,1 kN/m² ja

maastoluokassa 0 arvoksi 1,8 kN/m². Tuulikuorman laskentaan käytettiin apuna mielivaltaisesti keksittyä 20 metriä korkeaa rakennusta, joiden sivu- ja pituusmitat olivat 40 metriä. Esimerkikohteen tarkoitus oli kuvata kokoluokaltaan tavanomaista kerrostaloa ja tämän kautta saada tuulikuormien arvoksi mahdollisimman lähelle todellista tilannetta vastaavaa kuormaa, jotta taulukoita pystyttäisiin hyödyntämään monipuolisesti kohteesta riippumatta. Esimerkkikohte ja tuotettavat ohjetaulukot eivät siis ole riippuvaisia toisistaan. Tuulikuorman laskentaa on esitetty liitteessä 1.

Kaidetta rasittavina hyötykuormina toimivat Eurokoodissa SFS-EN 1991 määritetyt viiva- ja piste-kuorma. Vaakaviivakuormana käytettiin asuinkerrostalojen luokan A mukaista 0,5 kN/m kuormitusta kohdistettuna lasilevyn keskikohtaan, jota voidaan pitää sen heikoimpana kohtana. Pistekuormana käytettiin taas 50x50 mm alueella rasittavaa 0,3 kN pistekuormitusta, joka kohdistettiin mielivaltaiseen heikoimmaksi arvioituun kohtaan kaidelasissa. Ylä- ja alareunasta, eli kahdelta sivulta tuetun lasilaatan heikoimmaksi kohdaksi pistekuormalle arvioitiin olevan tukemattoman sivun lasilaatan reunassa ja korkeudeltaan sen puolivälissä. Neljältä sivulta tuetussa lasilevyssä pistekuormalla vaikutettiin lasilevyn keskeltä.

Mitoitusta suoritettiin käyttörajatilassa, jossa tarkastettiin taipuma rakenteiden ominaiskuormien perusteella sekä murtorajatilassa, jossa lasin lujuutta tarkastettiin käyttäen rakenteiden ominaiskuormia, jotka kerrottiin kuormien osavarmuuskertoimilla. Osavarmuuskertoimet muuttuville kuormille määräytyivät Eurokoodin 1990 mukaan. Asuinkerrostalon parvekekaidetta tarkasteltiin seuraamusluokassa CC2, jolloin kuormakertoimen KFI arvoksi saatiin 1,0. Määrävä muuttuva kuorma Q_k kerrottiin 1,5*KFI, jolloin hyötykuormille saatiin osavarmuuskertoimen arvoksi 1,5. Omapainot tarkasteltiin epäedullista vaikutusta aiheuttavana kuormana, jolloin omapaino G_k kerrottiin 1,15*KFI, eli osavarmuuskertoimeksi saatiin 1,15. Kuormien yhdistelykerrointa Ψ ei ollut syytä käyttää kuormitusyhdistelyssä, koska tarkastelua suoritettiin hyötykuormille erikseen, jonka takia kaikki hyötykuormat toimivat määrävänä kuormana tarkastelun aikana.

Kuormitusyhdistelyt eri tapauksille toteutettiin kaavalla

$$1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_k \quad (1)$$

TAULUKKO 5. Tuuli- ja hyötykuormien määräytyminen käyttö- ja murtorajatilassa.

Kuorman tyyppi	Käyttörajatila	Murtorajatila
Tuulikuorma: maastoluokka 2	1,1 kN/m ²	1,65 kN/m ²
maastoluokka 0	1,8 kN/m ²	2,7 kN/m ²
Viivakuorma	0,5 kN/m	0,75 kN/m
Pistekuorma (A=50x50 mm)	0,3 kN	0,45 kN

4.2 Lasin kestävyys

Lasin kestävyys määritettiin mitoitusstandardin SFS-EN 16612 mukaan. Lasille määritettiin taiputuslujuuden mitoitusarvo.

Tavallisen float-lasin taivutuslujuuden mitoitusarvo laskettiin kaavalla

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} \quad (2)$$

missä,

k_e	Reunan lujuuskerroin
k_{mod}	Kuormitusaikakerroin
k_{sp}	Lasipinnan profiilin vaikutuskerroin
$f_{g;k}$	Tavallisen lasilevyn taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;A}$	Tavallisen lasin osavarmuusluku = 1,2

Lämpökäsitellyn lasin taivutuslujuuden mitoitusarvo laskettiin kaavalla

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} \quad (3)$$

missä,

k_v	lujituskerroin
$f_{b;k}$	Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;v}$	Esijännitetyn lasin osavarmuusluku = 1,8

Tavallisen float-lasin taivutuslujuuden mitoitusarvon laskenta edellytti tiedot lasin reunojen työstöstä, lasipinnan profiilista, materiaalin ominaislujuudesta ja sen osavarmuusluvusta. Reunan lujuuskertoimena käytettiin laskennassa tavalliselle float-lasille SFS-EN 16612 taulukon A.5 mukaisia arvoja. Tarkastelevia hiontatyyppinä olivat raakareuna- (RRH), hienoreuna- (HRH) ja teräväsärmähionta (TRH). Näiden kyseisten reunahiontatyyppien lujuuskertoimen k_e arvoksi saatiin 0,8, kun työstö tapahtuu poikkisuunnassa reunaan nähden. Vertailun vuoksi valittiin myös tarkasteluun paremman lujuuden mahdollista kiiltoreunahionta (KRH), jolloin k_e arvoksi saatiin 1,0. Tällä vertailulla voidaan havaita paremman reunakäsittelyn vaikutusta lasin taivutuslujuuteen. Lämpökarkaistulle- ja lämpölujitetulle lasille ei kyseistä lujuuskerrointa määritetä, koska näiden lasien puristusjäännitys on reunoissa suurempi kuin suurimmalla osalla lasin pinnasta eli, reunojen lujuus vastaa tämän tyyppisesti lujitetuilla lasilla pinnan lujuutta (SFS-EN 16612:2019, 2019, 25). Lasipinnan profiilin vaikutuskerroin valittiin SFS-EN 16612 taulukosta 4. Vaikutuskertoimen k_{sp} valintaa vaikutti lasityyppi ja sen valmistamistapa. Tavalliselle float-lasille profiilin vaikutuskertoimen kertoimen k_{sp} arvoksi valittiin 1,0, joka vastaa tavallisesti valmistettua float-lasipinnan profiilia. Taivutuslujuuden ominaisarvo $f_{g;k}$ tavalliselle float-lasille on 45 N/mm² (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023). Materiaalin osavarmuusluvun $\gamma_{M;A}$ arvo on 1,8, joka määritettiin SFS-EN 16612 taulukosta 1.

Kuormituksen vaikutusajat määritettiin standardin SFS-EN 16612 taulukon 5 mukaan, josta valittiin kuormitusaikakerroin K_{mod} erikseen tuuli- ja hyötykuormille. Tuulikuorman vaikutusajaksi valittiin tuulenpuuskaa vastaava 5 sekuntia, jolloin vaikutusaikakerroin K_{mod} on 1,0. Kaiteeseen kohdistuvalle kuormalle eli, viiva- sekä pistekuormalle valittiin kuormitusajaksi normaalin kuormitustilanteen mukainen 30 sekuntia, jolloin K_{mod} arvo on 0,89.

Esijännitetyjen, eli lämpökarkaistujen ja -lujitettujen lasien määritettäviä ominaisuuksia olivat lujituskerroin ja lasien taivutuslujuuden ominaisarvot lasityypeittäin. Nämä kyseiset esijännitetyjen lasien ominaisuudet lisättiin tavallisen float-lasin taivutuslujuuden arvoon, josta saatiin tulokseksi kaavan 3 mukaisesti esijännitetyn lasin taivutuslujuuden mitoitusarvo. Esijännitetulle lasille valitaan lujituskerroin k_v . Kertoimen arvoon vaikuttaa valmistusprosessin karkaisun suunta. Karkaisun mahdollisina suuntina toimivat vaaka- ja pystysuunta. Pystysuunnassa karkaistussa lasissa käytetään pihtejä, joista lasiin jäävät pihtijäljet heikentävät paikallisen esijännityksen vaikutusta verrattuna vaakatasossa karkaistuun lasiin (SFS-EN 16612:2019, 2019, 18). Tässä tarkastelussa valittiin vaakasuunnassa karkaistu lasi, jossa ei käytetä pihtejä valmistusprosessin aikana, joten k_v arvoksi määritettiin 1,0 SFS-EN 16612 taulukon 7 mukaisesti. Taivutuslujuuden ominaisarvot saatiin SFS-EN 16612 taulukosta 6, josta määritettiin lämpökarkaistulle lasille $f_{b;k}$ arvoksi 120 N/mm² ja lämpölujitetulle 70 N/mm².

Näiden reunaehtojen perusteella lasin taivutuslujuuden mitoitusarvot kullekin lasityypille laskettiin erikseen tuuli- ja hyötykuormille, koska kuormitusten vaikutusajat ovat erilaiset. Lasin taivutuslujuuden laskentaa on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 6. Taivutuslujuuden mitoitusarvot.

Lasityyppi	Taivutuslujuus, tuuli (N/mm ²)	Taivutuslujuus, hyöty (N/mm ²)
Float-lasi (RRH, HRH, TSH)	20,0	17,8
Float lasi (KRH)	25	22,3
Lämpökarkaistu	87,5	84,8
Lämpölujitettu	45,8	43,1

4.3 Laminoidun lasilaatan ja -turvalasilaatan laskenta

Laminoituihin lasilaattoihin syntyy laminointikalvon kanssa yhdensuuntainen leikkausjännitys, joka täytyy ottaa huomioon laskelmissa. Leikkausjännityksen takia voidaan katsoa, että laminointikalvolla on jonkin verran leikkauskestävyyttä. (SFS-EN 16612;2019, 2019, 20.)

Taivutuskestävyys on arvioitava käyttäen sopivaa laskentausekettä tai menetelmää. Laskennassa on huomioitava laminointikalvon plastiset ja viskoplastiset ominaisuudet ja niiden muuttuminen lämpötilan ja kuormitusajan mukaan. (SFS-EN 16612;2019, 2019, 20.)

Kaidelasien laskentaa suoritettiin SFS-EN 16612 liitteen d mukaisella yksinkertaistetulla laminoidun lasilaatan laskentamenetelmällä. Lasilaatalle laskettiin vastaava paksuus, eli tehollinen paksuus, jota tarvittiin taipumien ja jännitysten mitoitusta varten. Tehollisen paksuuden määrittämiseen tarvittiin

tiedot lasilevyjen paksuuksista, laminointikalvon materiaalista ja sen paksuudesta sekä kuormitusolosuhteista. Lasilevyille määritettiin tehollinen paksuus erikseen taipumien ja jännitysten laskentaa varten.

Taipuman laskentaan käytetty tehollinen paksuus laskettiin kaavalla

$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{\sum_k h_k^3 + 12\omega(\sum_i h_i h_{m,i}^2)} \quad (4)$$

missä,

$h_{m,i}$ Laminoidun lasilaatan kerroksen keskikohdan ja lasilaatan keskikohdan välinen etäisyys

h_k Laminoidun lasilaatan k-kerroksen nimellispaksuus

h_i Laminoidun lasilaatan i-kerroksen paksuus

ω laminointikalvon leikkauskerroin

ja jännitystä laskiessa lasikerroksessa nro. j tehollinen paksuus laskettiin kaavalla

$$h_{ef;\sigma;j} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_j + 2\omega h_{m;j})}} \quad (5)$$

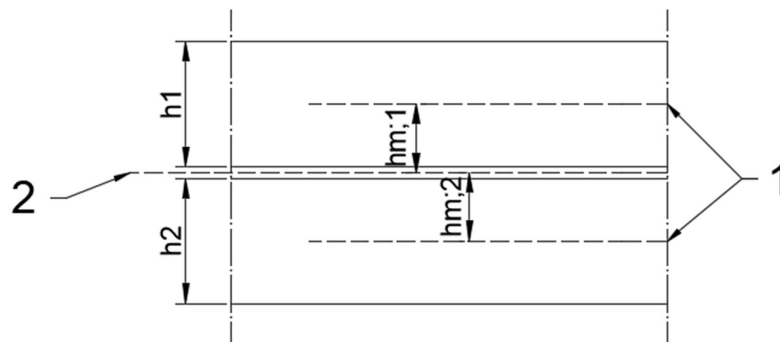
missä,

$h_{ef;w}$ Laminoidun lasilaatan taipuman laskennassa käytetty tehollinen paksuus

h_j Laminoidun lasilaatan j-kerroksen nimellispaksuus

$h_{m;j}$ Laminoidun lasilaatan j-kerroksen keskikohdan ja lasilaatan keskikohdan välinen etäisyys

ω laminointikalvon leikkauskerroin



KUVA 7. Esimerkki kaksikerroksisen laminoidun lasilaatan paksuusmitoista (mukaiillen SFS-EN 16613 2019).

Laminoidun lasilaatan tehollisen paksuuden määrittämisessä laskettiin ensimmäisenä taipumana lasikennassa käytettävä tehollinen paksuus, joka aloitettiin tarkasteltavana olleen laminoidun lasilaatan paksuusmittojen määrittämisestä. Paksuusmittoihin vaikuttavat lasinkerrosten- sekä laminointikerroksen paksuudet. Kuvassa 7 on havainnollistettu kaksikerroksisen lasilaatan paksuusmittojen määrittämisestä, josta h_1 ja h_2 mitat kuvastavat lasinkerrosten 1 ja 2 nimellispaksuuksia ja $h_{m,1}$ sekä $h_{m,2}$ laminoidun lasilaatan keskikohdan ja koko lasilevyn keskikohdan etäisyyttä toisiinsa nähden. Kuvassa 7 numerolla 1 osoitetut katkoviivat esittävät lasikerroksen keskikohtia ja numerolla 2 osoitetaan koko lasilevyn keskikohtaa.

Laminointikalvon ominaisuudet määritettiin SFS-EN 16613 mukaan, joiden perusteella arvioitiin laminointikalvon leikkauskerroin ω . Arviointia tehtiin viiva- ja pistekuormalle SFS-EN 16613 taulukon 1 mukaisesti 30 sekunnin kuormitusajalle 30 °C lämpötilassa, joka kuvastaa kaiteeseen kohdistuvaa kuormaa esimerkiksi käyttöluokissa A, B, C1 ja E. Tuulikuormalle käytettiin 3 sekunnin kuormitusajaa 20 °C lämpötilassa. Laminointikalvona mitoitettavissa lasilaatoissa käytettiin Trosifolin PVB laminointikalvo, jonka kimmokerroin on 1,5 MPa 30 °C lämpötilassa, kun kuormitusaika on 30 sekuntia (Kuraray 2023b, 6). Tuulikuormalle kyseisen laminointikalvon kimmokertoimen arvo on 20 MPa, kun kuormitusaikana on tuulenpuuskaa vastaava 3 sekuntia 20 °C lämpötilassa (Kuraray 2023b, 6). Laminointikalvojen kimmokertoimien määrittämisessä käytettiin valittujen kuormitusolosuhteiden lämpötila-alueiden korkeimpia sallittuja lämpötiloja, jolloin laminointikalvojen kimmokertoimet ovat arvoltaan pienempiä, joka kuvastaa vaarallisinta tilannetta laminointikerroksessa. Mikäli laskentaa suoritettaisiin myös esimerkiksi tungoskuormalle, jossa on pidempi vaikutusaika, tulisi se ottaa huomioon laminointikalvon ominaisuuksissa, koska kuormitusolosuhteet muuttuvat suurissakin määrin erialisilla kuormitustapauksilla. Tässä kuitenkin rajattiin tarkasteluja asuinkerrostalojen parvekekaiteille.

TAULUKKO 7, Kuormitusolosuhteiden mukaiset lämpötila-alueiden raja-arvot (mukailien SFS-EN 16612;2019, 43).

Kuormitusolosuhteet	Kuormitusaika	Laminointikalvon lämpötila-alue
Tuulenpuuska (muilla alueilla)	3 sekuntia	0 °C < θ < 20 °C
Kaiteeseen kohdistuva kuorma (esim. käyttöluokat A, B, C1 JA E)	30 sekuntia	0 °C < θ < 30 °C

Kuormitusolosuhteiden perusteella valituille laminointikalvoille määritettiin seuraavaksi SFS-EN 16613 taulukoiden 3 ja 6 mukaisesti jäykkyyksiryhmät. Jäykkyyksiryhmät ovat esitetty luokissa 0–2, joista ryhmä 2 kuvaa ominaisuuksiltaan parasta ryhmää ja 0 taas huonointa. Tuulikuormalle jäykkyyksiryhmäksi valittiin SFS-EN 16613 taulukon 3 mukaan ryhmä 1, jonka ehtona laminointikalvon kimmokertoimen tulee olla suurempi kuin 10 MPa, mutta pienempi kuin 100 MPa. Kaiteeseen kohdistuville hyötykuormille jäykkyyksiryhmäksi valittiin SFS-EN 16613 taulukon 6 mukaan myös ryhmä 1, jonka ehtona laminointikalvon kimmokertoimen tulee olla suurempi kuin 1 MPa, mutta pienempi kuin 20 MPa. Näin ollen valituilla jäykkyyksiryhmillä laminointikalvon kimmokertoimien ominaisuudet täyttivät niille asetetut vaatimukset korkeimmassa sallitussa lämpötilassa.

Arvioidun jäykkyyksiryhmien perusteella pystyttiin määrittämään laminointikalvon leikkauskerroin ω SFS-EN 16612 taulukon D3 mukaan. Tuulikuorman tehollisen paksuuden laskentaan varten valittiin

taulukosta leikkauskertoimen ω arvoksi 0,3 ja kaiteeseen kohdistuvan hyötykuorman laskentaan kertoimen ω arvoksi 0,1, jotka vastaavat kuormitusolosuhteiden mukaan arvioitujen jäykköysryhmän 1 kertoimia.

Leikkauskertoimien määrittämisen jälkeen laskettiin laminoituille lasilaatalle taipuman laskentaan käytettävä tehollinen paksuus tuuli ja hyötykuormalle kaavan 4 mukaisesti. Tämän laskennan jälkeen voitiin laskea jännityksien mitoittamiseen käytettävät teholliset paksuudet. Jännitysten tehollinen paksuus laskettiin samoin periaattein tuuli ja hyötykuormalle kaavan 5 mukaisesti.

Tehollisen paksuuden laskentaa laminoituille lasilaatalle on esitetty liitteessä 1.

4.4 Kaidelasien mitoitus FEM-ohjelmalla

Parvekekaiteiden lasilevyt mitoittettiin käyttäen apuna FEM-desing rakenneanalyysiohjelmistoa. Ohjelmalla suoritettiin käyttö- ja murtorajatilatarkastelua aikaisemmin laskettujen tehollisten paksuuksien sekä lasin kestävyden ehtojen mukaisesti. Laskelmien lähtötiedot määritettiin kaikille kuormitustapauksille erikseen. Lasilevyt mitoittettiin ylä- alareunasta sekä neljältä sivulta vapaasti tuettuina nivellellisinä rakenteina.

Käyttörajatilassa tarkastettiin lasilevyn taipuma käyttäen rakenteiden ominaiskuormia. Taipumaraja täytyi määrittää aina tapauskohtaisesti tarkasteltavalle lasilevyille sen koon ja tuentatapauksen mukaan. Kahdella sivulla tuetuissa laseissa käytettiin tukemattoman sivun jännemitan sadasosaa ($L/100$) ja neljältä sivulta tuetussa lyhyemmän sivun sadasosa ($L/100$). Taipuman reunaehtona on, että lasilevyn epäedullisemmassa kohdassa laskettu maksimitaipuma ei saa ylittää tarkasteltavan tapauksen taipuman mitoitusarvoa minkään kuormituksen osalta. Taipuman mitoitusehto on esitetty kaavassa 6.

$$w_{max} \leq w_d \quad (6)$$

Taulukossa 9 on esitetty esimerkin omaisesti suositus taipuman tuloksien esittämiseksi. Taulukon 9 arvot ovat liitteessä 1 esitetyn mitoitus-esimerkin 1200 x 800 mm 55.2 kaidelasin taipumasta. Tässä taulukon 9 esimerkin tapauksessa ei olisi siis hyväksyttävää käyttää kyseistä lasilaattaa, vaan tilalle pitäisi valita paksuudeltaan sellainen, joka täyttää kaikilta osin sallitun taipuman raja-arvon.

TAULUKKO 8. Esimerkki mitoitus-tuloksien esittämisestä, jossa taipuman käyttöaste ylittyy.

Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos FEM (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma MAX	12	15,6	130 %	EI
Viivakuorma	12	9	75 %	OK
Pistekuorma	12	11,2	93 %	OK

Murtorajatilassa tarkastettiin lasilaatassa vaikuttavat maksimi taivutusjännitykset (σ_{max}). Lasilevyn jännitysten reunaehdot määntyivät tarkasteltavana olleen lasityypin taivutuslujuuden mukaan. FEM-ohjelmalla tarkastettu maksimi taivutusjännitys ei saa ylittää minkään kuormituksen osalta tai-

vutuslujuuden mitoitusarvoa ($f_{g,d}$). Jos jännitys ylittää taivutuslujuuden, niin lasi rikkoutuu ja tapauksessa olisi käytettävä sellaista lasilevyä, joka kestää kaikkien kuormien aiheuttamat rasitukset. Jännityksien mitoitusehto on esitetty kaavassa 7.

$$\sigma_{max} \leq f_{g,d} \quad (7)$$

Taulukossa 10 on esitetty suositus jännitysten tulosten esittämiseksi. Taulukossa on esitetty liitteen 1 esimerkkilaskelman mukaisia tuloksia 1200 x 800 mm 55.2 karkaistu-laminoidulle turvalasille. Taulukossa 10 esitettyssä esimerkissä mitoitus ehdot täyttyvät, eli kyseistä lasilaatan paksuutta voitaisiin käyttää taivutusjännitysten osalta.

TAULUKKO 9. Esimerkki karkaistu-laminoidun lasilaatan jännityksen mitoitus tulosten esittämisestä.

Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitus arvo (MPa)	Laskelman tulos FEM (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma MAX	87,50	36,60	42 %	OK
Viivakuorma	84,75	22,00	26 %	OK
Pistekuorma	84,75	39,00	46 %	OK

Seuraavassa kappaleessa esitettyjä ohjetaulukoita tehdessä lasilaatan paksuudelle täytyi optimoida tapauskohtaisesti lasilaatan minimi paksuuden vaatimus. Lasilaattojen minimi paksuuden optimointia suoritettiin taipuman ja jännityksen mitoitus tulosten perusteella. Tarkoituksena oli, että lasilaatalle haettiin tapauskohtaisesti ohuin mahdollinen lasilevy, joka kestää kaikki sitä rasittavat kuormitukset taipuman ja jännityksen osalta ylittämättä niiden mitoitus ehdon mukaista käyttöasteen 100 % rajaa. Lasilaattojen optimointia tehtiin samoin mitoitusperiaattein kaikille ohjetaulukoissa esitetyille laminoiduille lasilaatoille ottaen huomioon niiden erilaiset kuormitus – ja tuentatapaukset, lasien koot ja -tyypit sekä niiden käsittelyt. Liitteessä 1 on esitetty laskentaesimerkki 1200x800 mm kaidelasin mitoitus ja minimipaksuuden optimointia.

4.5 Ohjetaulukot

Ohjetaulukoissa esitetyt paksuudet ovat kaidelasin minimipaksuuden ohjeellisia raja-arvoja. Taulukot soveltuvat vain tässä opinnäytetyössä esitetyille lasityypeille ja määritetyille kuormituksille ja näiden reunaehdoille. Kaidelasit suositellaan mitoittavaksi aina tapauskohtaisesti, jonka perusteella painotetaan vielä, että nämä taulukot toimivat vain ohjeellisina arvoina. Kaidelasin paksuus valitaan taulukoissa esitettyjen kokoluokkien mukaan. Ohjetaulukon vasemmassa reunassa on kuvattu kaidelasin korkeus ja alareunassa leveys. Näiden arvojen ylityessä on valittava taulukosta seuraava kokoluokka ja käytettävä sen kokoluokan mukaista kaidelasin paksuutta.

4.5.1 Kahdelta sivulta tuetut

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (RRH, HRH ,TSH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	1010.2	1010.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	1010.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1000	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
700	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (RRH, HRH ,TSH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,8 kN/m²</i>						
1400	1010.2	1010.2	1010.2	1010.2	1010.2	1010.2
1200	1010.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1000	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
700	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (KRH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1000	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
700	88.2	88.2	66.2	66.2	66.2	66.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (KRH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,8 kN/m²</i>						
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1000	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
700	88.2	88.2	66.2	66.2	66.2	66.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Karkaistu-laminoitu, PVB</i>						KL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viivakuorma: 0,5 kN/m & pistekuorma 0,3 kN A 50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2
1200	66.2	66.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Karkaistu-laminoitu, PVB</i>						KL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viivakuorma: 0,5 kN/m & pistekuorma 0,3 kN A 50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine $\leq 1,8$ kN/m²</i>						
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Lämpölujitettu-laminoitu, PVB</i>						HSL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viivakuorma: 0,5 kN/m & pistekuorma 0,3 kN A 50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine $\leq 1,1$ kN/m²</i>						
1400	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2
1200	66.2	66.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Lämpölujitettu-laminoitu, PVB</i>						HSL
Tuenta: <i>Ylä- ja alareunasta</i>						
Kuormitus: <i>Viivakuorma: 0,5 kN/m & pistekuorma 0,3 kN A 50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine $\leq 1,8$ kN/m²</i>						
1400	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
1200	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2	66.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

4.5.2 Neljältä sivulta tuetut

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu, (RRH, HRH, TSH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste: 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine $\leq 1,1$ kN/m²</i>						
1400	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1200	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu, (RRH, HRH, TSH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste: 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine $\leq 1,8$ kN/m²</i>						
1400	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	66.2
1200	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
700	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (KRH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	44.2	44.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1200	44.2	44.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	44.2	44.2	44.2	44.2	55.2	55.2
700	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Float-laminoitu , (KRH), PVB</i>						FL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,8 kN/m²</i>						
1400	44.2	44.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1200	44.2	44.2	55.2	55.2	55.2	55.2
1000	44.2	44.2	44.2	44.2	55.2	55.2
700	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Karkaistu-laminoitu, PVB</i>						KL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
1200	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
1000	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
700	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Karkaistu-laminoitu, PVB</i>						KL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,8 kN/m²</i>						
1400	33.2	33.2	44.2	44.2	55.2	55.2
1200	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	55.2
1000	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
700	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Lämpölujitettu-laminoitu, PVB</i>						HSL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,1 kN/m²</i>						
1400	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
1200	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
1000	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
700	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

Lasityyppi: <i>Lämpölujitettu-laminoitu, PVB</i>						HSL
Tuenta: <i>Neljältä sivulta</i>						
Kuormitus: <i>Viiva: 0,5 kN/m & piste 0,3 kN A=50x50mm</i>						
<i>Tuuli: suurin sallittu osapaine ≤ 1,8 kN/m²</i>						
1400	33.2	33.2	44.2	44.2	55.2	55.2
1200	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2	55.2
1000	33.2	33.2	33.2	33.2	44.2	44.2
700	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
mm	400	600	800	1000	1300	1600

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä parvekekaiteiden turvallisuuteen ja etenkin niiden putoamisuojana toimivien lasisten kaideosien kestävyteen ja toteuttaa Eurokoodien sekä standardien mukaista kaidelasien mitoitusta, jonka tulosten perusteella luoda ohjeellinen taulukko kaidelasien paksuuden vaatimuksista eri tapauksille. Ohjetaulukoiden luomisessa huomioitiin lasin- ja sen erilaisten käsittelyjen ominaisuuksia sekä kuormitusten aiheuttamien rasituksien vaikutusta. Kaidelaseille suoritettiin standardien mukaista laskentaa käsin sekä FEM-design ohjelmalla. Ohjetaulukoihin koottiin tyypillisesti käytettyjen lasityyppien kokoluokan mukaiset minimipaksuudet. Tämän opinnäytetyön tarkoitus kokonaisuudessaan on toimia kattavana tietopohjana parvekekaiteiden turvallisuudesta ja tietopohjan perusteella luotujen ohjetaulukon tarkoitus on toimia kaidelasin valinnan apuvälineenä.

5.1 Johtopäätökset

Parvekekaiteiden sekä lasirakenteiden suunnittelua ja käyttäjäturvallisuutta ohjataan rakentamista koskevissa voimassa olevissa lainsäädännöissä ja standardeissa, joita noudattaen parvekekaiteet tulee toteuttaa kohteen mukaisesti. Lasiset parvekekaiteet suunnitellaan samoin periaattein, kun kaiteet yleensä. Käyttäjäturvallisuusvaatimukset vaikuttavat myös oleellisesti lasin kestävyteen. Parvekkeen kaidelasin tulee noudattaa käyttöturvallisuusmääräyksiä, joiden mukaan parvekkeen kaidelasit tulee olla aina laminoitua turvalasia, koska parvekkeilla on lasin rikkoutuessa putoamisvaara. Lasi on materiaalina hauras, mutta oikeanlainen rakennesuunnittelu takaa hyvinkin turvalliset ja kestävät parvekkeen kaidelasit.

Parvekekaiteiden lasiosien kestävyden määrittää monen tekijän summa. Kaidelasit on mitoitettava käyttäen nykyaikaisia menetelmiä. Mitoituksessa on huomioitava aina tapauskohtaisesti olosuhteiden mukaiset standardeissa määritetyt kuormitukset. Suomessa virallisilla kansallisilla liitteillä varustettuja mitoitustandardeja lasirakenteille ovat tällä hetkellä SFS-EN 16612 ja SFS-EN 16613. Mitoituksessa voidaan myös käyttää vaihtoehtona CEN/TS 19199:2021 mukaisia laskentamenetelmiä, mutta tämän kansalliset liitteet ovat vielä toistaiseksi epävirallisia. Standardien mukaisella kaidelasin mitoituksella, voidaan todentaa niiden vaatimuksenmukaisuuden täyttyminen.

Kaidelasin kestävyteen vaikuttaa oleellisesti myös lasityyppi ja lasin kokoluokka. Lasityypillä on merkittävä vaikutus siihen, mikä mitoitustekijä kaidelasissa on vaarallisin. Lämpökarkaistu-laminoidulla lasityypillä mitoitettava tekijä kestävyden suhteen on yleisesti taipuma. Tämän lasityypin vaadittu lasin paksuus on sen hyvän lujuuden salliessa ohuehkoa ja ohuempi lasi taas aiheuttaa suurempia taipumia kaidelasissa, jonka johdosta taivutusjännitysten käyttöasteet jäävät melko alhaisiksi ja taipuman näin ollen suuriksi, eli taipuma muodostuu näin vaarallisemmaksi tekijäksi lämpökarkaistu-laminoidulle lasilaatalle. Float-laminoidulla lasilla taas tilanne on vastakohtainen ja mitoitavaksi tekijäksi osoittautuu yleisesti taivutusjännitys. Float-laminoitu lasi on mitoituslujuudeltaan esijännitettyjä laseja heikompi, joten tästä syystä joudutaan kuormista aiheutuvien jännitysten takia käyttämään paksumpaa lasilaattaa, jonka takia taipumat jäävät pienemmiksi yleensä float-lasilla. Näiden lasityyppien välimuotona voidaan pitää lämpölujitettu-laminoitua lasia, jonka mitoitavana tekijänä oli tapauskohtaisesti taipuma tai maksimi taivutusjännitys. Tällä lasityypillä yleisesti jännitys

on mitoittava tekijä kooltaan pienemmillä kaidelaseilla ja taipuma suuremmilla. Kokoluokan vaikutukset näkyvät kaidelasin kasvaessa suuremmaksi. Suuremmissa lasilaatoissa yleisesti kuormitukset aiheuttavat lasille isompia taipumia sekä taivutusjännitykset kasvavat. Mitoituksessa ei voida kuitenkaan olettaa mitään tuloksia vaan jokaisen kuorman aiheuttamat taipumat ja jännitykset on tarkasteltava tapauskohtaisesti.

Vaarallisempana kaidelaseja rasittavana kuormana suurimmissa osissa tapauksia on pistekuorma. Pistekuorman vaikutukset näkyvät oikeastaan kokoluokastaan riippumatta niin taipuman kuin taivutusjännitysten suhteen. Lasikoon kasvaessa kuitenkin tuulikuorma toimii myös mitoittavana kuormana kaidelaseissa, etenkin kun tapauksessa käytetään maksimi tuulikuorman arvoa. Täytyy kuitenkin muistaa, että ohjetaulukoissa käytetty maksimi tuulikuorma kuvastaa meren rannassa sijaitsevan parvekekaiteen tuulikuormaa ja näin ollen poikkeaa normaalitilanteesta. Normaaliempaa tilannetta vastaava tuulikuorma aiheuttaa laseissa huomattavasti pienempiä taipumia ja jännityksiä. Tuulikuorma tulee määrittää aina kaidelaseille tapauskohtaisesti, jotta voidaan varmistaa niiden kestävyys tuulikuormaa vastaan. Näin ollen suurimmilla laseilla vaarallisempana kuormana voidaan pitää tapauskohtaisesti myös tuulikuormaa, mutta yleisesti hyötykuormista suurimmassa osassa tapauksia toimii mitoittavana kuormana pistekuorma. Lasin kestävyyttä pistekuormaa vastaan voidaan myös pitää hyvin merkittävänä tekijänä käyttäjäturvallisuuden suhteen, koska pistekuorma kuvaa esimerkiksi ihmisen kaatumisesta johtuvaa äkillistä kuormitusta lasissa. On muistettava kuitenkin, että kaikkien kuormitusten kestävyys on yhtä tärkeässä roolissa käyttäjäturvallisuudelle. Kuormitusten aiheuttamat vaikutukset kaidelasissa vaihtelevat merkittävästi myös tuentatapauksen mukaan.

Tuentatapaus on yksi merkittävimmistä tekijöistä kaidelasin kestävyydelle. Tuentatapauksista parhaana mitoitus tulosten perusteella voidaan pitää neljältä sivulta tuettua lasilaattaa. Kuormien aiheuttamat rasitukset jakautuvat tasaisemmin neljältä sivulta tuetuissa kaidelaseissa. Rasituksesta aiheutuvat taipumat sekä taivutusjännitykset ovat tapauskohtaisesti jopa kaksikertaa pienempiä kuin kahdelta sivulta tuetulla, jonka takia neljältä sivulta tuettu kaidelasi voidaan toteuttaa merkittävästi ohuemmalla kaidelasilla kahdelta sivulta tuettuun verrattuna. Tuentatapauksille määritetään tapauskohtainen taipumaraja, joka määritellään standardissa tai voidaan käyttää samoten kuin tässä työssä Suomen Tasolasiyhdistyksen taipumarajan suositusta. Näiden välillä voitaisiin varmasti havaita suuriakin eroja mitoitus tuloksissa, koska näiden kahden määritetyn taipumarajan ero on melko suuri. Suomen Tasolasiyhdistyksen taipumaraja on kuitenkin tiukempi, joten sen käyttäminen takaa ainakin kestävä ja turvallisen rakenteen.

Lasin reunan hiontatapoja opinnäytetyön mukaisesti verratessa tuloksena saatiin, että kiiltoreunahionnalla mahdollistettiin osassa tapauksissa ohuemman float-laminoidun lasin käyttö verrattuna muihin hiontatyyppeihin. Erot näkyivät etenkin korkeissa sekä matalissa ja leveissä laseissa, joissa kiiltoreunahionta mahdollista muita hiontatyyppejä ohuemman kaidelasin käytön.

5.2 Pohdinta

Parvekekaiteiden kestävyys on käyttäjäturvallisuuden kannalta merkittävin asia parvekkeella, koska parvekkeethan on luotu etenkin parantamaan käyttäjien viihtyvyyttä toimiessaan varsinaisen asun-

non ulkopuolisena oleskelutilana. Tikkurilassa tapahtuneen tapaturman jälkeen on kuitenkin parvekkeiden käyttäjillä herännyt suuri huoli lasisten parvekekaiteiden kestävydestä. Nyt tapaturman vaikutukset näkyvät etenkin pääkaupunkiseudulla, jossa parvekkeita on suuressa määrin käyttökielossa. Käyttökiellot voivat mahdollisesti lisätä rakennuksista poismuuttamisen halua tai heikentää uusien kerrostaloasuntojen ostoja käyttökieltojen venyessä pitkiksi aikajaksoiksi. Varmasti ainakin osassa kerrostalojen asukkaista käyttökiellot vaikuttavat negatiivisesti heidän päivittäiseen elämäänsä. Tilannetta voi vielä hidastaa lasirakenteiden mitoituksen osaaminen sen ollessa harvinaisempi materiaali rakennesuunnittelussa. Epätietoisuus lasirakenteista ja niiden kestävydestä aiheuttaa tällä hetkellä paljonkin pohdintaa niin suunnittelijoissa kuin myös parvekkeiden käyttäjissä.

Huoli parvekekaiteiden kestävydestä on ainakin osittain oikea määritelmä tilanteesta. Huolta herättää etenkin kaidelasien pistekuorman kestävyys, joka kuvaa nimenomaan esimerkiksi kaatumisesta kaidelasia vasten aiheutuvaa kuormaa. Pistekuormaa voidaan yleisesti pitää myös vaarallisempana tekijänä kaidelasille, kuten Suomen Tasolasiyhdistys mainitsee kaidelasin mitoitusohjeessaan ja myös tässä opinnäytetyössä tehtyjen mitoitusten perusteella. Pistekuorman mitoituksen vaatimus on astunut voimaan kuitenkin vasta 1.1.2017. Tästä syystä painotetaan sanaa huoli, koska nykyään pidettyä vaarallisinta mitoituskuormaa ei ole ennen tätä huomioitu kaidelasien kestävyden mitoituksessa. Ennen 2017 suunnitellut kaidelasit on varmasti suunniteltu sen aikaisen määräyksien ja laskentatapojen mukaisesti, joten en osaa sanoa voiko tulevaisuudessa myös nykyaikaiset vaatimukset tulla voimaan näissä parvekekaiteissa, koska se vaikuttaa oleellisesti käyttäjäturvallisuuteen. Uskon että ei ainakaan täysin, jos ne ovat laissa määrättyllä tavalla toteutettu, mutta ainakin nykyvaatimukset astuvat voimaan parvekekaiteiden uusimisen yhteydessä.

Rakennesuunnittelun merkitys kasvaa kaidelasien toteutuksessa. Nykyään vaaditaan rakennusvalvonnan toimesta kolmannen osapuolen selvitystä lasisten parvekekaiteiden kestävydestä käynnissä oleviin – ja uusiin rakennusluvittaviin hankkeisiin. Tämä on erittäin aiheellinen päivitys lasisten parvekekaiteiden toteutusprosessiin. Tällä pystytään ehkäisemään suunnitteluvirheitä, jota kautta parantamaan käyttäjäturvallisuutta ja suunnittelun luotettavuutta. Ennen kolmannen osapuolen selvityksen vaatimusta on ollut vahva luottamus parvekekaide valmistajiin ja heidän ammattitaidoilansa laatiin kestävyys mitoituksiin sekä iskutestauksiin. Nyt tilanne on kuitenkin erilainen, kun tapaturma on päässyt syntymään ja sen johdosta kolmannen osapuolen tarkastuksilla reagointi on Rakennusvalvonnan puolesta enemmän kuin aiheellista. Luulen että tämän tyyppisen rakennusvalvonnan reagoinnin takia myös kaidevalmistajat aktivoituvat ja päivittävät heidän laskentamenetelmiään, jos havaitsevat niissä virheitä tai laskentamenetelmien vanhentumista. Tukes on myös aloittanut markkinavalvontahankkeen parvekekaidejärjestelmien turvallisuudesta, jossa tutkitaan niiden vaatimuksenmukaisuutta. Tämä kyseinen Tukesin hanke viimeistään herättää reagointia kaidevalmistajissa ja tulevia suunnitteluvirheitä ehkäistään.

Laskentamenetelmiä on kaidelaseilla ainakin muutamia ja huomiota herättää, että jotkin niistä voivat olla erilaisia keskenään mahdollistaen erilaisia tuloksia samoilla lähtötiedoilla. Mielestäni olisi hyvä yhdenmukaistaa laskentaa eri toimijoiden avulla. Tällä hetkellä laskennan yhdenmukaistamiseen pyrkii Suomen Tasolasiyhdistys ry heidän kaidelasin mitoitusohjeellaan. Kaidelasin mitoitusohjeen julkai-

seminen varmasti tulee yhdenmukaistamaan laskentaa suurissa määrin, sillä se vähentää standardien väärin lukemista. Kehitteillä on myös uusi lasirakenteet kattava mitoitusstandardi, joka myös jatkossa tulee varmasti yhdenmukaistamaan merkittävästi laskentaa. Olisi varmasti helpointa mitoituksen ja tarkistuksien kannalta, jos mitoitustapoja olisi Suomessa käytössä vain yksi tai muutamia virallisia tapoja. Laskennan yhdenmukaisuus vähentäisi varmasti mitoituksen epäkohtia ja sitä kautta suunnitteluvirheitä. Laskentaohjelmia on myös paljon erilaisia, joista olisi myös hyvä selvittää mihin standardeihin ohjelmat perustuvat ja että, antavatko ohjelmat vertailukelpoisia tuloksia keskenään. Tämän opinnäytetyön mitoitustulosten perusteella myös todennettiin, että Tikkurilan tapaturmakohteen parvekekaide kahdelta sivulta tuetulla 4+4 laminoidulla lasilla ei kestä kuormituksia missään ohjetaulukoissa esitetyissä kokoluokissa. Kyseessä siis parvekekaide, joka kaidevalmistajan mukaan olisi kestävä, mutta Tukesin mukaan ei vastaa vaatimuksia.

Niin kuin monessa asiassa, niin tässäkin kävi jo klassiseksiin muodostunut tapa reagoida ja havaita asioita liian myöhään, eli vasta kun jotakin tämän kaltaista radikaalia pääsee tapahtumaan. Tällä reagoinnilla on kuitenkin positiivinen vaikutus rakennesuunnitteluun lasisten kaidejärjestelmien tulevaisuuden osalta. Uskon että tämä kokonaisuudessaan vähentää nyt ja tulevaisuudessa rakennettavien kaidejärjestelmien samankaltaisten onnettomuuksien syntymistä ja parantaa käyttäjäturvallisuutta sekä luotettavuutta rakennettavissa- ja korjattavissa asuinkerrostaloissa.

Kaiken kaikkiaan tämän opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin. Aiheeseen perehdyttiin laajasti ja onnistuttiin luomaan kattava tietopohja tulevaisuuden työnkuvaa ajatellen. Aihe oli täysin vieras, mutta se herätti erityistä mielenkiintoa ajankohtaisuuden vuoksi ja jatkotutkimuksien aiheita myös ilmaantui työtä tehdessä. Jatkotutkimuksena kiinnostusta herätti laskentatavat ja niiden eroavaisuus toisistaan. Laskentatavoista voitaisiin tutkia juuri sitä, miten ne eroavat toisistaan ja onko eroavaisuudella suurta merkitystä lasin kestävyuden mitoitukseen ja sitä kautta tuloksiin. Myös olisi hyvä tutkia erilaisten laskentaohjelmien eroavaisuuksia toisistaan. Toisena aiheena voitaisiin tutkia kokonaisuudessaan toteutusprosessia kaidelasin tilaajalta aina lupapisteeseen saakka. Toteutusprosessista voitaisiin tutkia epäselvyyksiä nykyiseen menetelmään liittyen ja sitä, kuinka ennen tämä prosessi on toteutettu, kun parvekekaiteiden suunnittelun vaatimukset eivät ole täyttyneet. Tässä opinnäytetyössä luotua tietopohjaa voidaan mahdollisesti käyttää ja soveltaa sekä tutustua tarkemmin jatkotutkimuksien aiheeseen rakennesuunnittelun työnkuvassa tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- BolayMac Technology Development 2022. What is different between PVB and EVA?. Verkkajulkaisu. <https://www.bolaymac.com/what-is-the-difference-between-pvb-and-eva/>. Viitattu 19.1.2024.
- Chen, Peter, Elite Safety Glass Co., Ltd 2021. Heat-Stengthened Glass Wiki. Verkkajulkaisu. <https://www.elitesafetyglass.com/heat-strengthened-glass-wiki/>. Viitattu 22.1.2024.
- Finnglass Oy julkaisuaika tuntematon. Lämpölujitettu lasi. Verkkajulkaisu. <https://www.finnglass.com/fi/tuotteet/lampokasitely-lasi#lasiamme>. Viitattu 22.1.2024.
- Heikkilä, Jenni, Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019. Kemiallisesti lujitettulasi. Pdf-tiedosto. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasin-maailma/artikkelipankki/>. Viitattu 24.1.2024.
- Heikkilä, Jenni 2020. Rakennuslasin määräykset, ohjeet ja mitoitus. Opinnäytetyö. Tekniikan YAMK. Turun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020060517375>. Viitattu 10.1.2024
- Hemmilä, Kari & Riikonen, Mauri 2015. Lasien rikkoutuminen ja sen syyt. Lasin maailma 15 (2), 1–5. <https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/zEPaY9FwKc4nCRR6xeFz0TiJOU/LM%20201502%20Lasien%20rikkoutuminen.pdf>. Viitattu 24.1.2024.
- Kallikari, Merja 2023. Yli 2 000 uudiskohteiden parveketta käyttö-kiellossa kevään parveke-turman jälkeen – Tukes kritisoi valmistajien toimintaa. Helsingin Sanomat -verkkolehti 28.10.2023. <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000009953864.html>. Viitattu 16.1.2023.
- Kivinen, Lasse & Palkoaho, Milla 2023. Poliisi epäilee: Nainen putosi ja kuoli parvekelasin petettyä hänen altansa. Helsingin sanomat -verkkolehti 8.3.2023. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009439818.html>. Viitattu 15.1.2023.
- Kumpula, Jonna 2023. Vantaan turmaparvekkeen lasi oli vaadittua heikompi – nämä asiat Tukesin kokeet paljastivat. MTV uutiset -verkkolehti 31.12.2023. Viitattu 15.1.2023.
- Kuraray Co., Ltd 2023a. SentryGlas®. Pdf-tiedosto. <https://www.trosifol.com/tools-resources/downloads>. Viitattu 19.1.2024.
- Kuraray Co., Ltd 2023b. Elastic properties. Pdf-tiedosto. https://www.trosifol.com/fileadmin/user_upload/tools/downloads/technical_information/kuraray-Elastic-Properties.pdf.
- Lapinkangas, Pasi 2023. Tukes testasi Tikkurilan turma-parvekkeen – lopputulos oli koruton. Iltasanomat -verkkolehti 28.12.2023. <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000009974336.html>. Viitattu 15.1.2023.
- Lasimyynti Tammela julkaisuaika tuntematon. Lasityypit. Verkkajulkaisu. <https://lasimyynti.fi/lasityypit/>. Viitattu 24.1.2024.
- Lumme, Marika 2023. Tukes: Parveke ei täyttänyt turvallisuusvaatimuksia – "Lasit eivät kestä". Vantaan Sanomat -verkkolehti 7.10.2023. <https://www.vantaansanomat.fi/paikalliset/6262132>. Viitattu 15.1.2023.
- Lukkarinen, Pekka 2017. Muistio 20.12.2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/YMA-Rakennuksen-kayttoturvallisuudesta-Perustelumuistio-15.12.2017-\(003\)-4346D32A_EBB4_4EA9_B20B_EFED9738B268-133774.pdf/eba9e80e-e94e-80cc-a914-d4559c575bed/YMA-Rakennuksen-kayttoturvallisuudesta-Perustelumuistio-15.12.2017-\(003\)-4346D32A_EBB4_4EA9_B20B_EFED9738B268-133774.pdf?t=1603260111710](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/YMA-Rakennuksen-kayttoturvallisuudesta-Perustelumuistio-15.12.2017-(003)-4346D32A_EBB4_4EA9_B20B_EFED9738B268-133774.pdf/eba9e80e-e94e-80cc-a914-d4559c575bed/YMA-Rakennuksen-kayttoturvallisuudesta-Perustelumuistio-15.12.2017-(003)-4346D32A_EBB4_4EA9_B20B_EFED9738B268-133774.pdf?t=1603260111710). Viitattu 25.2.2023.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. Viitattu 3.1.2024.

- Pilkington Lahden Lasitehdas Oy 2022. Lasifakta 2021. Pdf-tiedosto. Julkaistu 02/2022. <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/arkkitehdit-suunnittelijat/lasifakta-2021>. Viitattu 18.1.2024.
- Pilkington 2022. Turvallisuutta ja mukavuutta lasin avulla. Verkkojulkaisu. <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/news-insights/latest/asiaa-laminoidusta-lasista>. Viitattu 24.1.2024
- Pilkington julkaisuaika tuntematon. Floatprosessi. Verkkojulkaisu. <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/tietoa-yhtiosta/mita-lasi-on/floatprosessi>. Viitattu 17.1.2023.
- RIL 198-2001. Valoaläpäisevät rakenteet 2001. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.
- RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. Viitattu 12.1.2024
- RIL 272-2019. Parveke- ja terassilasitus rakennusosana 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. Viitattu 13.1.2024
- SFS-EN 12600. 2003. Glass in building. Pendulum test. Impact test method and classification for flat glass. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 5.1.2024
- SFS-EN 16612:2019. 2019. Rakennuslasit. Kuormankestävyyden määrittämisessä käytettävät laskelmat. Helsinki: Suomen Standardisoitumislaitos SFS. Viitattu 9.2.2024
- SFS-EN 16613:2019. 2019. Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer vis-coelastic properties. Helsinki: Suomen Standardisoitumislaitos SFS.
- SFS-EN 12150-1:2015 + A1:2019. 2019. Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 1: Määritelmä ja kuvaus. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoitumislaitos SFS.
- SFS-EN 12543-1:2021. 2021. Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Osa 1: Komponenttien määritelmät ja kuvaukset. Helsinki: Suomen Standardisoitumislaitos SFS.
- Siikanen, Unto 2001. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 24.1.2024.
- Suomen Lasiposti Oy 2024. Erikoislaseja. Verkkojulkaisu. <https://www.lasiposti.fi/rakentajan-lasiopas/erikoislaseja/>. Viitattu 24.1.2024.
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019a. Ohjekortti No. 1, karkaistu turvalasi. Pdf-tiedosto. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>. Viitattu 17.1.2024.
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b. Ohjekortti No. 2, laminoitu turvalasi. Pdf-tiedosto. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>. Viitattu 18.1.2024.
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019c. Ohjekortti No. 3, karkaistu-laminoitu turvalasi. Pdf-tiedosto. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>. Viitattu 19.1.2024
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2022. Turva- ja suojalasit 2022 opas. Pdf-tiedosto. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>. Viitattu 18.1.2024.
- Suomen Tasolasiyhdistys ry 2023. Kaidelasin mitoitus. Verkkojulkaisu. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/mitoitus/kaidelasin-mitoitus/>. Viitattu 10.1.2024.
- Suomen Tasolasiyhdistys ry julkaisuaika tuntematon. Mitoitus. Verkkojulkaisu. Päivitetty 29.22.2023. <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/mitoitus/>. Viitattu 11.1.2024.
- Tammela, Karo, Lasimyynti Tammela 2022. Lasin kemiallinen karkaisu (lujittaminen). Pdf-tiedosto. https://lasimyynti.fi/wp-content/uploads/Lasin-kemiallinen-karkaisu_Tammela_2022.pdf. Viitattu 23.1.2024.

Tukes 2023a. Vantaalla kuolemaan johtaneesta onnettomuudesta aloitettu esitutkinta. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/vantaalla-kuolemaan-johtaneesta-onnettomuudesta-aloitettu-esitutkinta#3627e0f3>. Viitattu 15.1.2023.

Tukes 2023b. Tukes selvittää Tikkurilan onnettomuuteen liittyvän parvekkeen kaiderakenteen turvallisuutta. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/tukes-selvittaa-tikkurilan-onnettomuuteen-liittyvan-parvekkeen-kaiderakenteen-turvallisuutta#3627e0f3>. Viitattu 15.1.2023.

Tukes 2023c. Tukes on aloittanut laajan selvityksen parvekekaidejärjestelmien turvallisuudesta – syynä Tikkurilan parvekeonnettomuus. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/tukes-on-aloittanut-laajan-selvityksen-parvekekaidejarjestelmien-turvallisuudesta-syyna-tikkurilan-parvekeonnettomuus#3627e0f3>. Viitattu 16.1.2023.

Tukes 2023a. Vantaalla kuolemaan johtaneesta onnettomuudesta aloitettu esitutkinta. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/vantaalla-kuolemaan-johtaneesta-onnettomuudesta-aloitettu-esitutkinta#3627e0f3>. Viitattu 15.1.2023.

Tukes 2023b. Tukes selvittää Tikkurilan onnettomuuteen liittyvän parvekkeen kaiderakenteen turvallisuutta. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/tukes-selvittaa-tikkurilan-onnettomuuteen-liittyvan-parvekkeen-kaiderakenteen-turvallisuutta#3627e0f3>. Viitattu 15.1.2023.

Tukes 2023c. Tukes on aloittanut laajan selvityksen parvekekaidejärjestelmien turvallisuudesta – syynä Tikkurilan parvekeonnettomuus. Mediatiedote. <https://tukes.fi/-/tukes-on-aloittanut-laajan-selvityksen-parvekekaidejarjestelmien-turvallisuudesta-syyna-tikkurilan-parvekeonnettomuus#3627e0f3>. Viitattu 16.1.2023.

Vantaan rakennusvalvonta 2023. Vantaan rakennusvalvonnan ohjeet hankkeisiin, joissa on lasirakenteisia parvekekaiteita. <https://www.vantaa.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen-ja-tontit/rakennusvalvonta>. Viitattu 25.1.2025.

Vsom Glass, Shenzhen Vsom Co., Ltd 2023. The Pros and Cons of PVB, EVA, and SGP Laminated Glass for Safe and Aesthetic Modern Architecture. Verkkajulkaisu. <https://www.vsomglass.com/the-pros-and-cons-of-pvb-eva-and-sgp-laminated-glass-for-safe-and-aesthetic-modern-architecture/>. Viitattu 19.1.2024.

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>. Viitattu 4.1.2024.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171007>. Viitattu 5.1.2024.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. F2 Suomen rakentamismääräyskoelma 2001. https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/rqTPy-amkjO29vnAn8E3V0_VJno/F2%20K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuus.pdf. Viitattu 25.1.2024

Zaki, Sonia 2023. Tukes ei julkaise tietoja onnettomuus-parvekkeen testauksesta. Helsingin Sanomat -verkkolehti 31.5.2023. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009623006.html>. Viitattu 15.1.2023.

Tuulikuorman laskenta

Maastoluokka II

h	20 m	Korkeus
b	40 m	Leveys
d	40 m	Pituus
cprob	1	Suunnittelukäyttöikä 50v
cscd	1	Rakennekerroin
Co(z)	1	pinnan muottokerroin, tasainen maasto
Ze	20	Nopeuspainekorkeus
qp(ze)	0,77 kN/m ²	Puuskanopeuspaine
Aref	1 m ²	Kuormitusala
Cpe	1,4	ulkoinen paine kerroin (vyöhyke A=pahin tilanne)
Cpi	0	Sisäinen paine kerroin

Ulkopintoihin vaikuttava tuulen paine (suurin mahdollinen)

$$W_e = 1,078 \text{ kN/m}^2$$

Ulkopuolinen kuorma

$$F_{we} = 1,1 \text{ kN/m}^2$$

Maastoluokka 0

h	20 m	Korkeus
b	40 m	Leveys
d	40 m	Pituus
cprob	1	Suunnittelukäyttöikä 50v
cscd	1	Rakennekerroin
Co(z)	1	pinnan muottokerroin, tasainen maasto
Ze	20	Nopeuspainekorkeus
qp(ze)	1,24 kN/m ²	Puuskanopeuspaine
Aref	1 m ²	Kuormitusala
Cpe	1,4	ulkoinen paine kerroin (vyöhyke A=pahin tilanne)
Cpi	0	Sisäinen paine kerroin

Ulkopintoihin vaikuttava tuulen paine (suurin mahdollinen)

$$W_e = 1,736 \text{ kN/m}^2$$

Ulkopuolinen kuorma

$$F_{we} = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

Taivutuslujuuden mitoitusarvot

Laminoidut float lasit (viiva- ja pistekuorma)

ke=	0,8		Reunan lujuuskerroin
kmod=	0,89		Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1		Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45	N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8		on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
fg,d=	17,8	N/mm2	$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}}$

Laminoidut float lasit (tuulikuorma)

ke=	0,8		Reunan lujuuskerroin
kmod=	1		Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1		Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45	N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8		on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
fg,d=	20	N/mm2	$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}}$

Laminoidut float lasit (viiva- ja pistekuorma)

ke=	1	(KHR)	Reunan lujuuskerroin (kiiltoreunahinota)
kmod=	0,89		Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1		Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45	N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8		on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
fg,d=	22,25	N/mm2	$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}}$

Laminoidut float lasit (tuulikuorma)

ke=	1	KRH	Reunan lujuuskerroin (kiiltoreunahinota)
kmod=	1		Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1		Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45	N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8		on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
fg,d=	25	N/mm2	$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}}$

Lämpökarkaistu lasi (viiva- ja pistekuorma)

kv=	1	Lujituskerroin, (vaakatasossa lämpökäsitelty)
kmod=	0,89	Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1	Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45 N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
fb,k=	120 N/mm2	Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8	on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
$\gamma_{M;v}$ =	1,2	$\gamma_{M;v}$ on materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi

$$f_{g;d} = 84,8 \text{ N/mm}^2 \quad f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}}$$

Lämpökarkaistu lasi (tuuli)

kv=	1	Lujituskerroin, (vaakatasossa lämpökäsitelty)
kmod=	1	Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1	Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45 N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8	on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi

$$f_{g;d} = 87,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}}$$

Lämpölujitettu lasi (viiva- ja pistekuorma)

kv=	1	Lujituskerroin, (vaakatasossa lämpökäsitelty)
kmod=	0,89	Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1	Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45 N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
fb,k=	70 N/mm2	Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8	on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
$\gamma_{M;v}$ =	1,2	$\gamma_{M;v}$ on materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi

$$f_{g;d} = 43,1 \text{ N/mm}^2 \quad f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}}$$

Lämpölujitettu lasi (tuuli)

kv=	1	Lujituskerroin, (vaakatasossa lämpökäsitelty)
kmod=	1	Kuormitusajan huomioiva kerroin
ksp=	1	Pintaprofiilin huomioiva kerroin
fg,k=	45 N/mm2	Tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
fb,k=	70 N/mm2	Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo
$\gamma_{M;A}$ =	1,8	on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi
$\gamma_{M;v}$ =	1,2	$\gamma_{M;v}$ on materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi

$$f_{g;d} = 45,8 \text{ N/mm}^2 \quad f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}}$$

Tehollinen paksuus

Tehollinen paksuus, lasikerrokset

6+0,76 PVB+6

lasi 1, h1=	6 mm	hm;1=	3,38 mm
kalvo	0,76 mm		
lasi 2, h2=	6 mm	hm;2=	3,38 mm
yht.	12,76 mm		
ω =	0,3	tuuli	Jäykkyyssryhmä 1
ω =	0,1	hyöty	Jäykkyyssryhmä 1

Taipuma

$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{\sum_k h_k^3 + 12\omega(\sum_i h_i h_{m,i}^2)}$$

hef;w=	9,74535 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	8,41795 mm	hyöty	taipuma

Jännitys

$$h_{ef;\sigma;j} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_j + 2\omega h_{m,j})}}$$

hef; σ ;1=	10,73724 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef; σ ;2=	10,73724 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef; σ ;1=	9,45260 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin
hef; σ ;2=	9,45260 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

Samoin periaattein laskettu seuraavat työssä käytetyt teholliset paksuudet:

3+0,76 PVB+3

hef;w=	5,07025 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	4,29893 mm	hyöty	taipuma
hef; σ ;1=	5,61920 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef; σ ;2=	4,85109 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

4+0,76 PVB+4

hef;w=	6,62773 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	5,67097 mm	hyöty	taipuma
hef; σ ;1=	7,32364 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef; σ ;2=	6,38324 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

5+0,76 PVB+5

hef;w=	8,18625 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	7,04416 mm	hyöty	taipuma
hef;σ;1=	9,02993 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef;σ;2=	7,91740 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

8+0,76 PVB+8

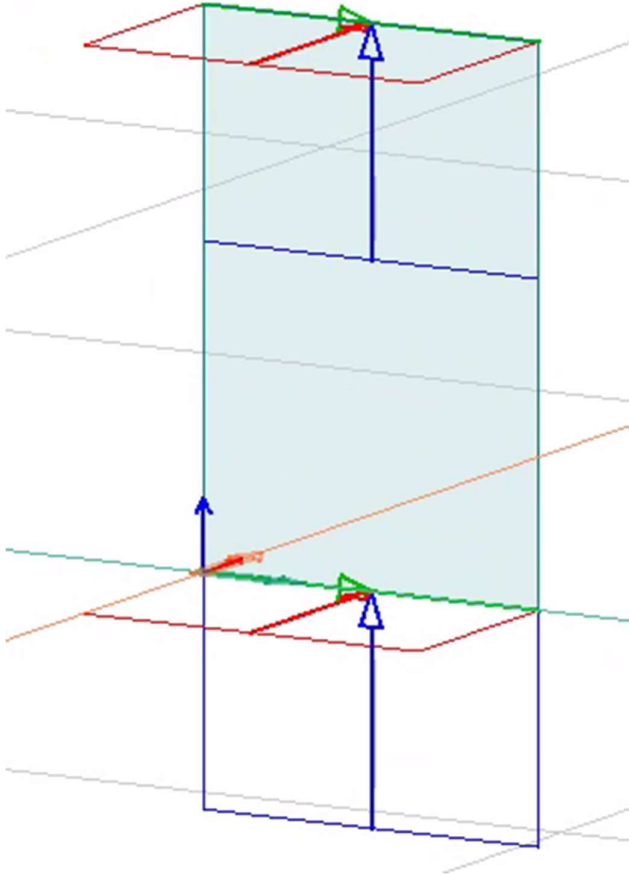
hef;w=	12,86451 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	11,16645 mm	hyöty	taipuma
hef;σ;1=	14,15351 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef;σ;2=	12,52461 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

10+0,76 PVB+10

hef;w=	15,98436 mm	tuuli	taipuma
hef;w=	13,91559 mm	hyöty	taipuma
hef;σ;1=	17,57097 mm	tuuli	lujuuslaskelmiin
hef;σ;2=	15,59771 mm	hyöty	lujuuslaskelmiin

FEM LASKENTA: 1200x800mm kaidelasi (kahdelta- ja neljältä sivulta tuettuna)

1. Ylä- ja alareunasta tuettu kaidelasi



Kuva 1, 1200x800 ylä- ja alareunasta tuettu lasilaatta

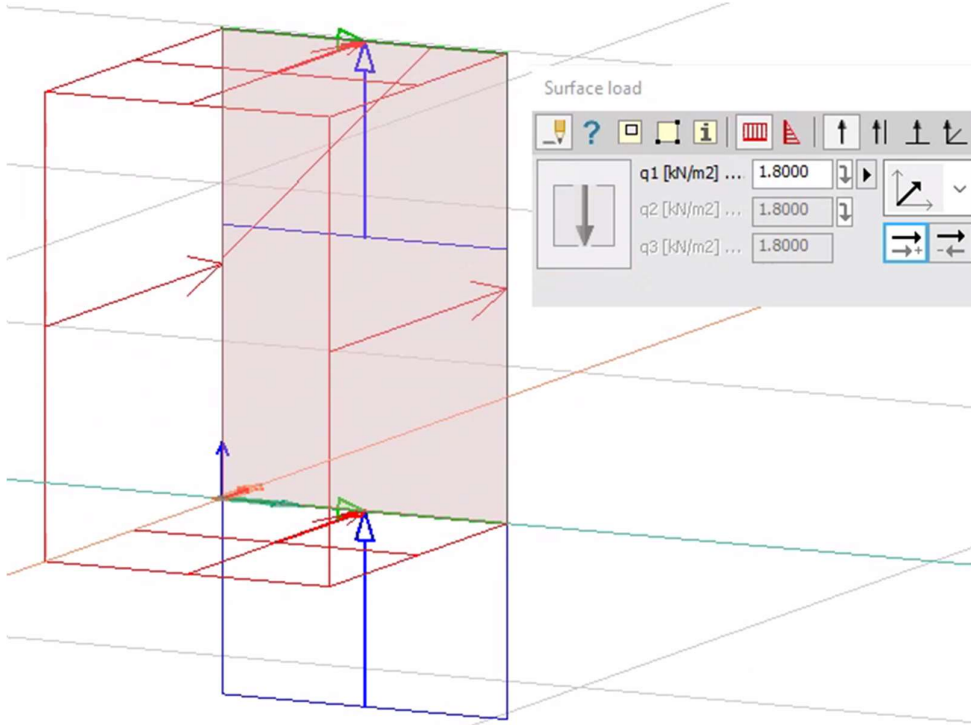
Kuormat:

Tuuli: 1,1 kN/m² & 1,8 kN/m²

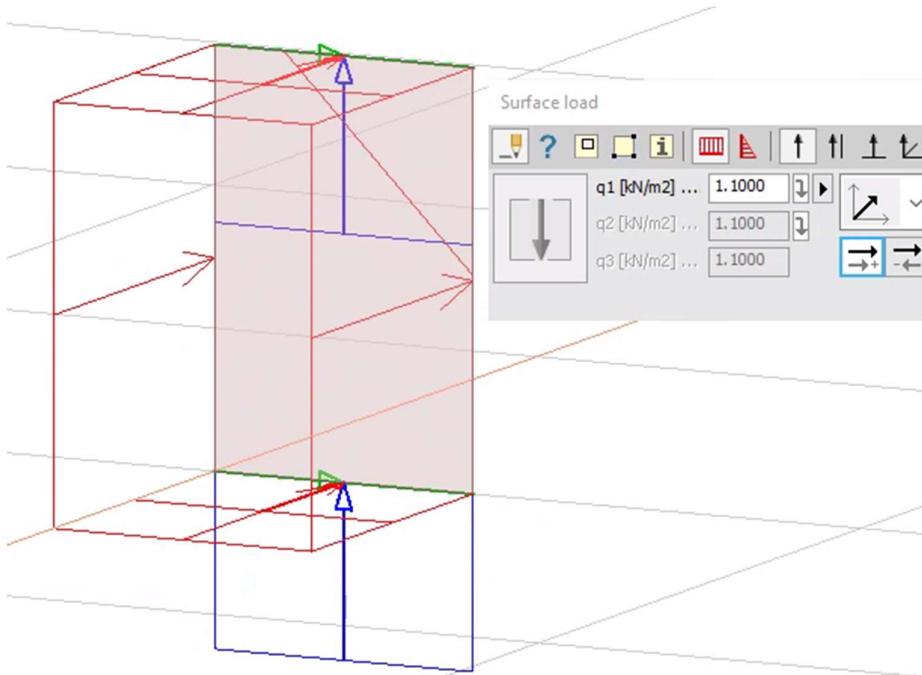
Viiva: 0,5 kN/m

Piste: 0,3 kN

Tuulikuorma

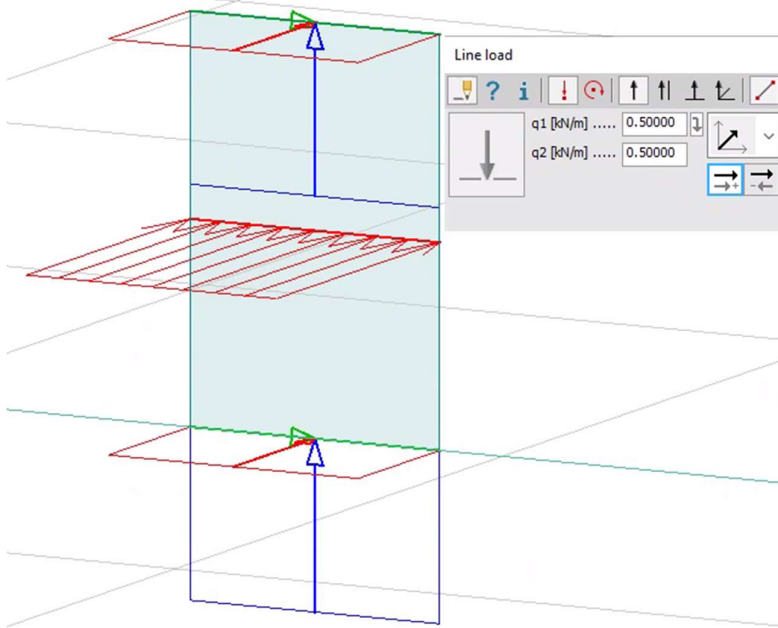


Kuva 2, maastoluokka 0, maksimi tuulikuorma.



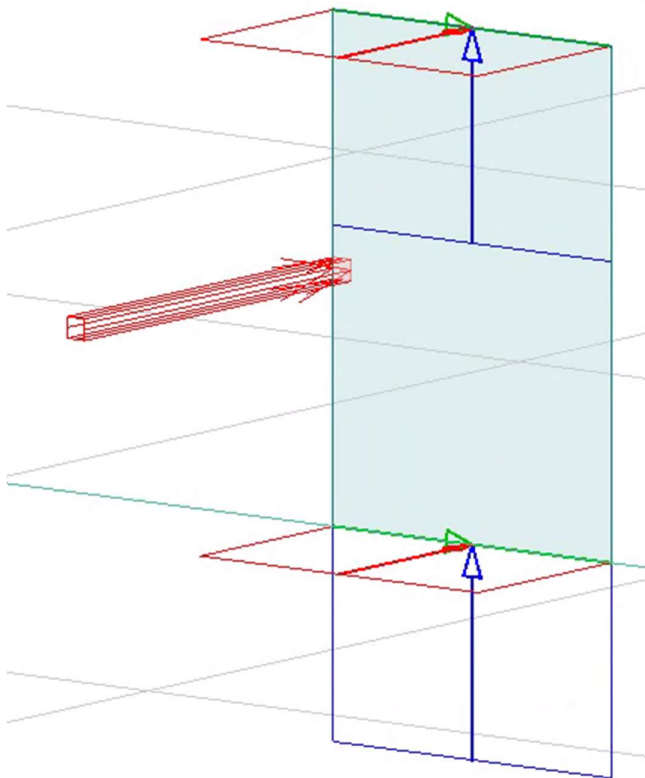
Kuva 3, maastoluokka 2, maksimi tuulikuorma

Vaakaviivakuorma

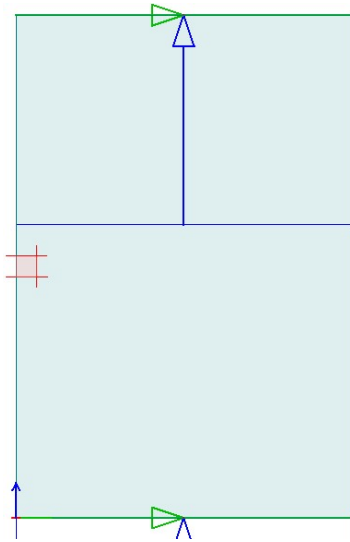


Kuva 4, vaakaviivakuorma lasilevyn keskellä 0,5 kN/m.

Pistekuorma



Kuva 5, pistekuorma 0,3 kN, A 50x50 mm

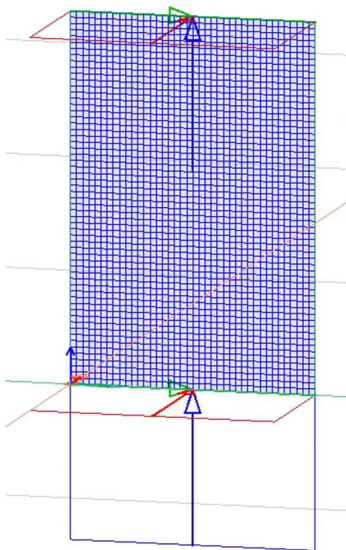


Kuva 6, vaarallisin tilanne lasilevyn reunassa korkeussuunnaltaan lasilevyn keskellä.

Kuormitusyhdistelmät

Load combinations

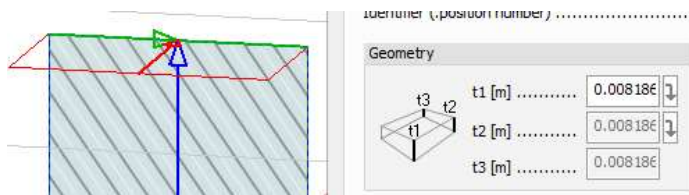
No.	Name	Type	Factor	Included load cases
1	Tuulikuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Tuulikuorma
			1.15	Omapaino
2	Viivakuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Viivakuorma
			1.15	Omapaino
3	Pistekuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Pistekuorma
			1.15	Omapaino
4	Tuulikuorma KRT	Sc	1.00	Tuulikuorma
			1.00	Omapaino
5	Viivakuorma KRT	Sc	1.00	Viivakuorma
			1.00	Omapaino
6	Pistekuorma KRT	Sc	1.00	Pistekuorma
			1.00	Omapaino



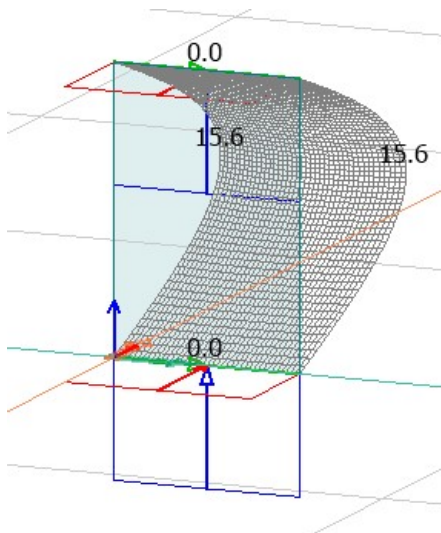
Kuva 7, laskentaverkko 20x20 mm.

Taipuma- ja lujuustarkastelut

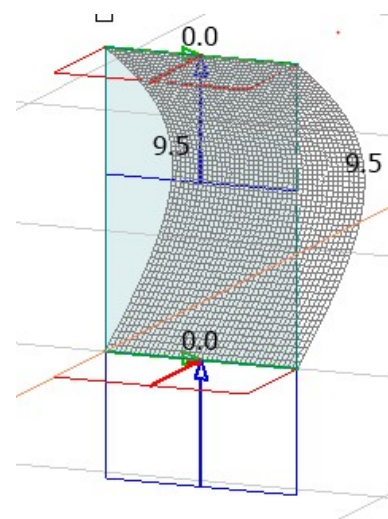
Taipuma 55.2 laminoidulla lasilevyllä



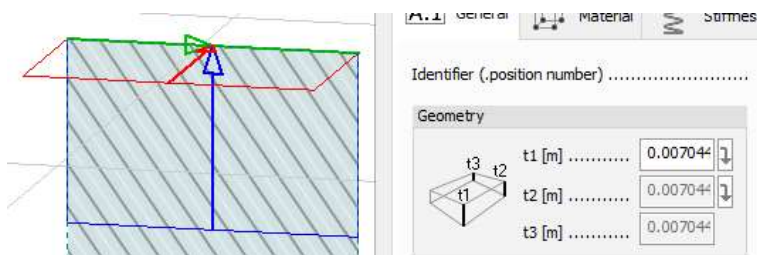
Kuva 8, 55.2 tehollinen paksuus, tuulikuorman taipuman mitoituksessa.



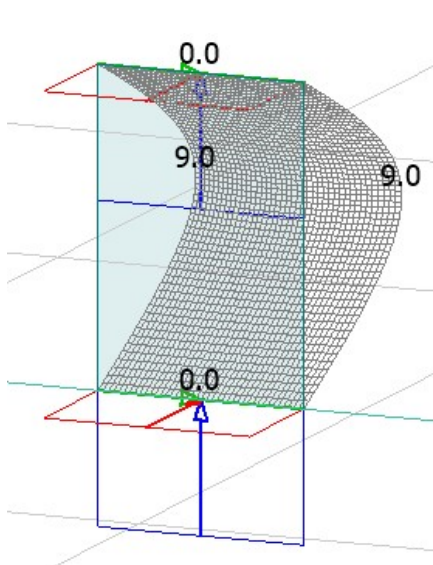
Kuva 9, taipuma 15,6 cm kun tuuli = 1,8 kN/m²



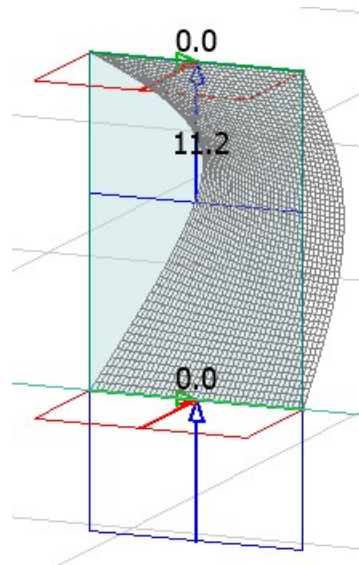
Kuva 10, taipuma 9,5 mm, kun tuuli = 1,1 kN/m².



Kuva 11, 55.2 tehollinen paksuus hyötykuorman taipuman mitoituksessa.



Kuva 12, viivakuorman taipuma 9 mm



Kuva 13, pistekuorman taipuma 11,2 mm.

Käyttöraajatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	12	15,60	130 %	EI
Viivakuorma	12	9,00	75 %	OK
Pistekuorma	12	11,20	93 %	OK

Kuva 14, tuulikuorman taipuman käyttöaste ylittyy, kun tuuli = 1,8 kN/m²

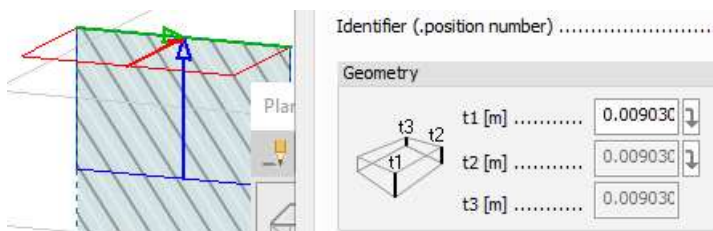
➔ taipumaraja ylittyy, valitaan seuraava lasipaksuus

Käyttöraajatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma ≤ 1,1	12	9,50	79 %	OK
Viivakuorma	12	9,00	75 %	OK
Pistekuorma	12	11,20	93 %	OK

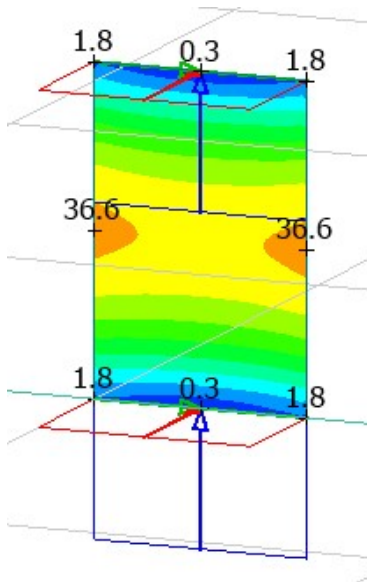
Kuva 15, taipumat ok, kun tuuli = 1,1 kN/m².

➔ taipumat ok, voidaan valita 55.2 lasilevy taipumien osalta, kun tuuli on 1,1 kN/m²

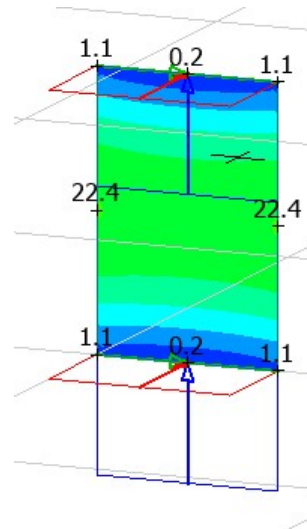
Jännitys 55.2 laminoitulla lasilevyllä



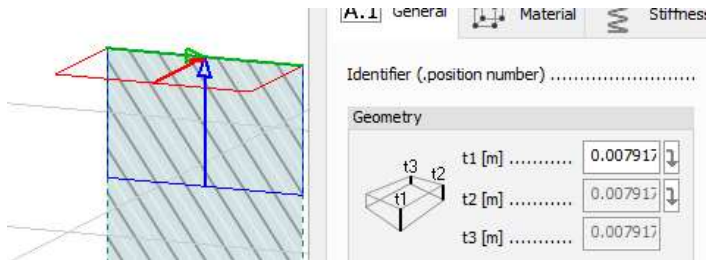
Kuva 16, tehollinen paksuus tuulikuorman jännitykselle.



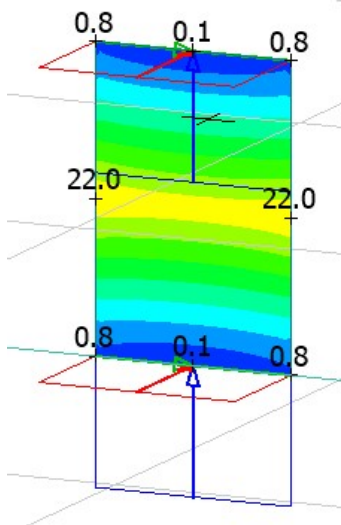
Kuva 17, tuuli max. jännitys, kun tuuli = 1,8kN/m²



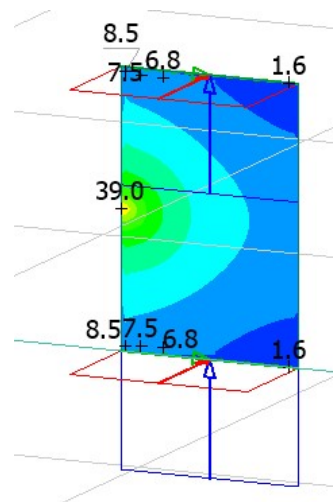
Kuva 18, tuuli max. jännitys, kun tuuli = 1,1kN/m²



Kuva 19, tehollinen paksuus hyötykuormien jännitykselle.



Kuva 20, viivakuorman MAX jännitys.



Kuva21, pistekuorman MAX jännitys

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	tuuslujuuden mitoitusarvo	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	36,60	183 %	EI
Viivakuorma	17,80	22,00	124 %	EI
Pistekuorma	17,80	39,00	219 %	EI

Kuva 22, float-lasin jännitykset.

→ ei kestä, tehdään mitoitus paksummalla lasilla.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	tuuslujuuden mitoitusarvo	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	36,60	146 %	EI
Viivakuorma	22,25	22,00	99 %	OK
Pistekuorma	22,25	39,00	175 %	EI

Kuva 23, kiiltoreunahiotun (KRH) float-lasin jännitykset.

→ ei kestä, tehdään mitoitus paksummalla lasilla.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	tuuslujuuden mitoitusarvo	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	87,50	36,60	42 %	OK
Viivakuorma	84,75	22,00	26 %	OK
Pistekuorma	84,75	39,00	46 %	OK

Kuva 24, lämpökarkaistun lasin jännitykset.

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 55.2 laminoitu lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	tuuslujuuden mitoitusarvo	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	45,83	36,60	80 %	OK
Viivakuorma	43,08	22,00	51 %	OK
Pistekuorma	43,08	39,00	91 %	OK

Kuva 25, lämpölujitetun lasin jännitykset.

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 55.2 laminoitu lasi.

Tulokset:

- Valitaan 55.2 karkaistu-laminoitu (KL) ja lämpölujitettu-laminoitu (HSL) lasilevy, kun tuulen osapaine $\leq 1,1$ kN/m².
- 55.2 lämpökarkaistu-laminoitu ja lämpölujitettu-laminoitu taipuma ylittyy, kun tuulen osapaine = 1,8 kN/m² → tarkastetaan seuraavalla lasipaksuudella.
- Float-laminoitu ei kestä, missään kuormitustapauksessa.

Mitoitusta jatketaan samalla periaatteella. Tehollinen paksuus määritellään aina valitun lasilevyn mukaisesti. Seuraavaksi tehdään tarkastelu 66.2 laminoitulla lasilevyllä.

Taipuma 66.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, taipuma 9,745351 mm
- Hyötykuorma, taipuma 8,417948 mm

Käyttörajatilatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	12	9,20	77 %	OK
Viivakuorma	12	5,30	44 %	OK
Pistekuorma	12	6,60	55 %	OK

Kuva 26, taipumat ok, kun tuuli = 1,8 kN/m²

→ taipumat ok 66.2 MAX tuulikuormalla.

Jännitys 66.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, jännitys 10,737237 mm
- Hyötykuorma, jännitys 9,452598 mm

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	25,90	130 %	EI
Viivakuorma	17,80	15,50	87 %	OK
Pistekuorma	17,80	27,40	154 %	EI

Kuva 27, float-lasin jännitykset.

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	25,90	104 %	EI
Viivakuorma	22,25	15,50	70 %	OK
Pistekuorma	22,25	27,40	123 %	EI

Kuva 28, kiiltoreunahiotun (KRH) float-lasin jännitykset.

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	87,50	25,90	30 %	OK
Viivakuorma	84,75	15,50	18 %	OK
Pistekuorma	84,75	27,40	32 %	OK

Kuva 29, lämpökarkaistun lasin jännitykset.

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 66.2 laminoitu lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	45,83	25,90	57 %	OK
Viivakuorma	43,08	15,50	36 %	OK
Pistekuorma	43,08	27,40	64 %	OK

Kuva 30, lämpölujitetun lasin jännitykset.

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 66.2 laminoitu lasi.

Tulokset:

- Valitaan 66.2 karkaistu-laminoitu (KL) ja lämpölujitettu-laminoitu (HSL), kun tuuli = 1,8 kN/m²
- Float-laminoitu ei kestä → seuraava lasipaksuus.

Tehdään tarkastelu 88.2 lasilevyllä.

Taipuma 88.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, taipuma 12,8645 mm
- Hyötykuorma, taipuma 11,1665 mm

Käyttöraajatilatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	12	4,00	33 %	OK
Viivakuorma	12	2,30	19 %	OK
Pistekuorma	12	2,80	23 %	OK

Kuva 31, taipumat ok

→ taipumat ok 88.2 MAX tuulikuormalla.

Jännitys 88.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, jännitys 14,1535 mm
- Hyötykuorma, jännitys 12,5246 mm

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	14,90	75 %	OK
Viivakuorma	17,80	8,80	49 %	OK
Pistekuorma	17,80	15,60	88 %	OK

Kuva 32, float-lasin jännitykset.

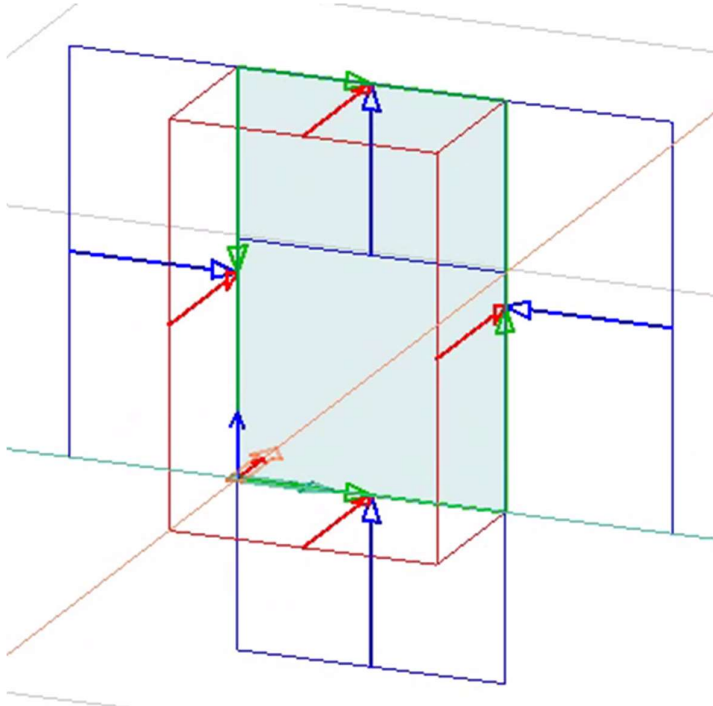
→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 88.2 laminoitu lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	14,90	60 %	OK
Viivakuorma	22,25	8,80	40 %	OK
Pistekuorma	22,25	15,60	70 %	OK

Kuva 12, kiiltoreunahiotun (KRH) float-lasin jännitykset.

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 88.2 laminoitu lasi.

2. Neljältä sivulta tuettu kaidelasi



Kuva 13, neljältä sivulta tuettu 1200x800mm kaidelasi

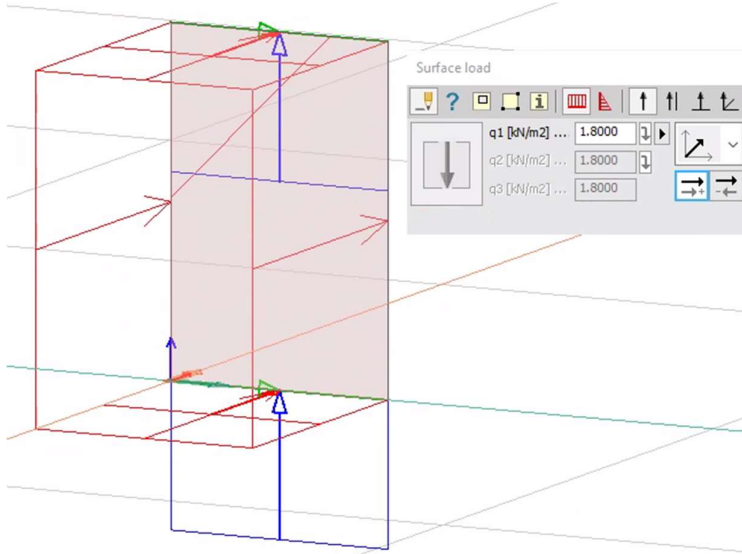
Kuormat:

Tuuli: 1,1 kN/m² & 1,8 kN/m²

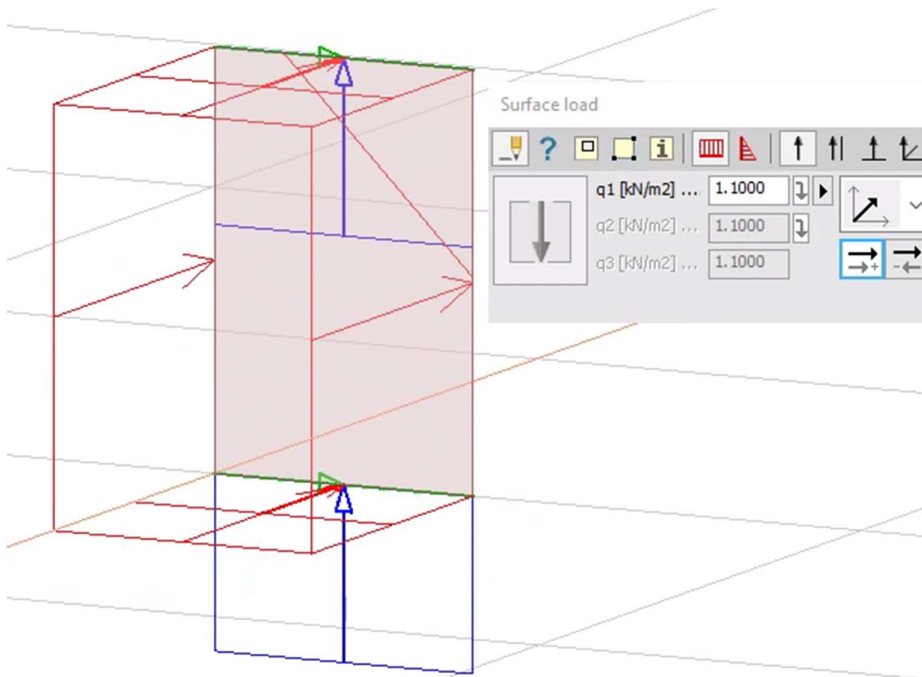
Viiva: 0,5 kN/m

Piste: 0,3 kN

Tuulikuorma

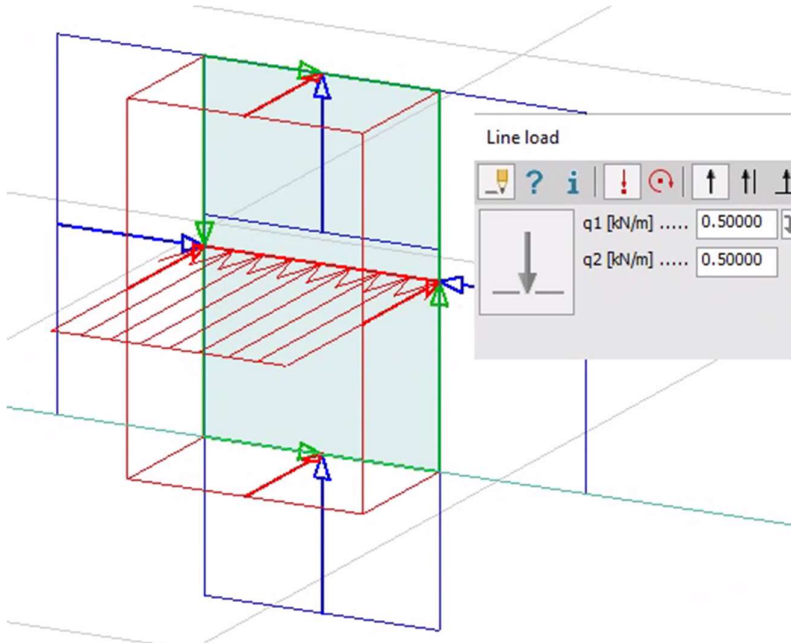


Kuva 14, maastoluokka 0, maksimi tuulikuorma.



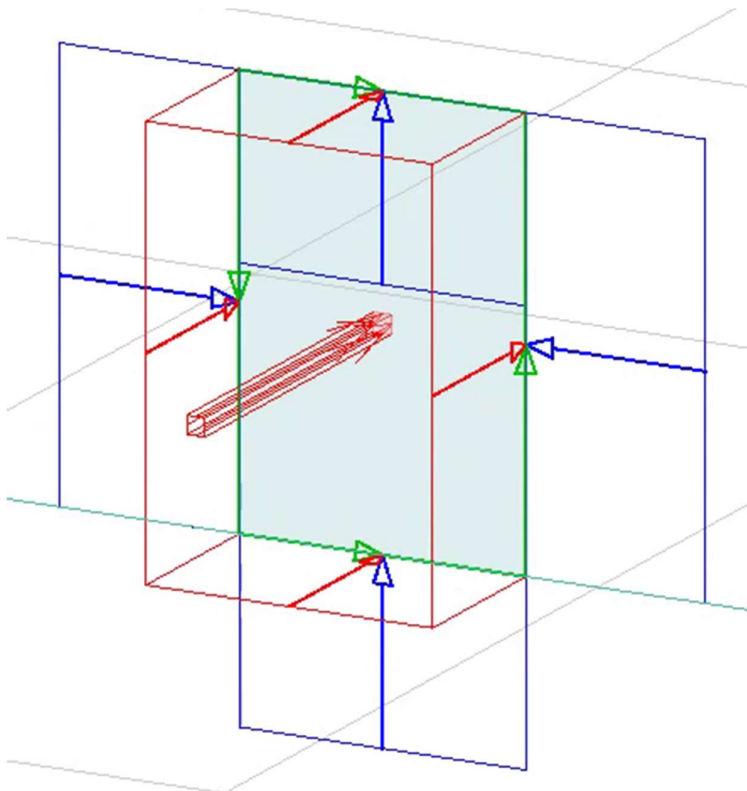
Kuva 15, maastoluokka 2, maksimi tuulikuorma

Vaakaviivakuorma

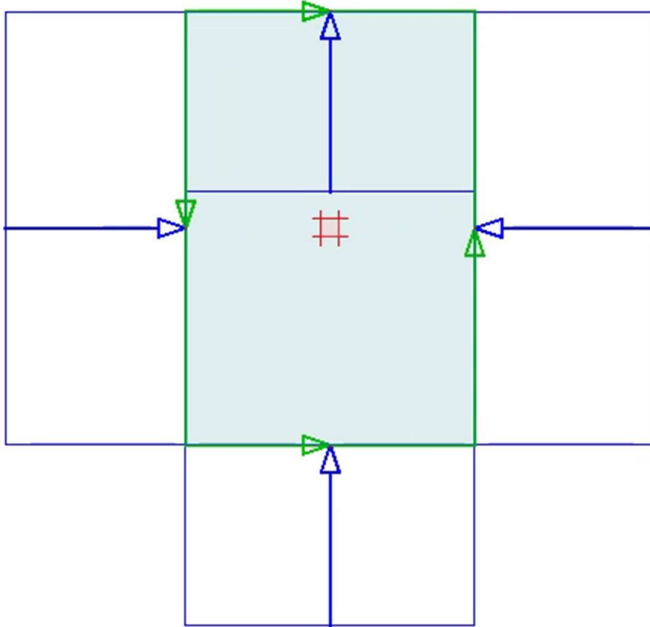


Kuva 16, vaakaviivakuorma lasilevyn keskellä 0,5 kN/m.

Pistekuorma



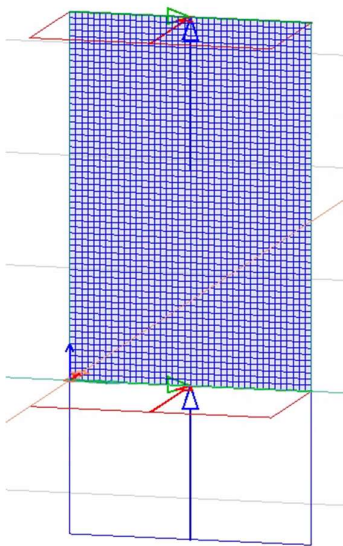
Kuva 17, pistekuorma 0,3 kN, A 50x50 mm sijoitettuna lasilevyn keskellä



Kuva 18, vaarallisin oletettu kuormitus tilanne lasilevyn keskellä.

Kuormitusyhdistelmät

No.	Name	Type	Factor	Included load cases
1	Tuulikuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Tuulikuorma 1.15 Omapaino
2	Viivakuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Viivakuorma 1.15 Omapaino
3	Pistekuorma x 1,5 MRT	U	1.50	Pistekuorma 1.15 Omapaino
4	Tuulikuorma KRT	Sc	1.00	Tuulikuorma 1.00 Omapaino
5	Viivakuorma KRT	Sc	1.00	Viivakuorma 1.00 Omapaino
6	Pistekuorma KRT	Sc	1.00	Pistekuorma 1.00 Omapaino



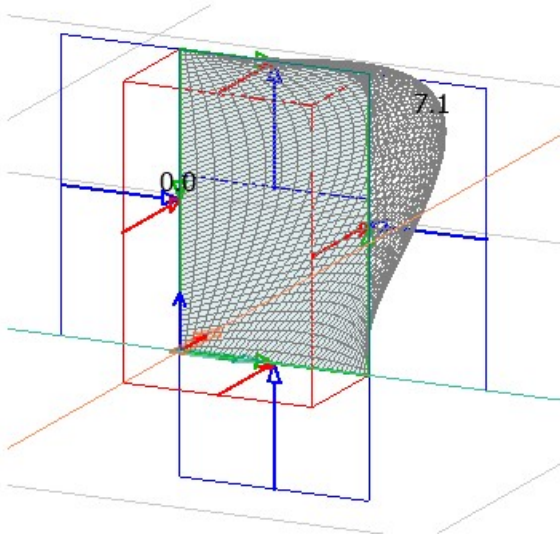
Kuva 19, laskentaverkko 20x20 mm.

Taipuma- ja lujuustarkastelut 33.2 kaidelasille

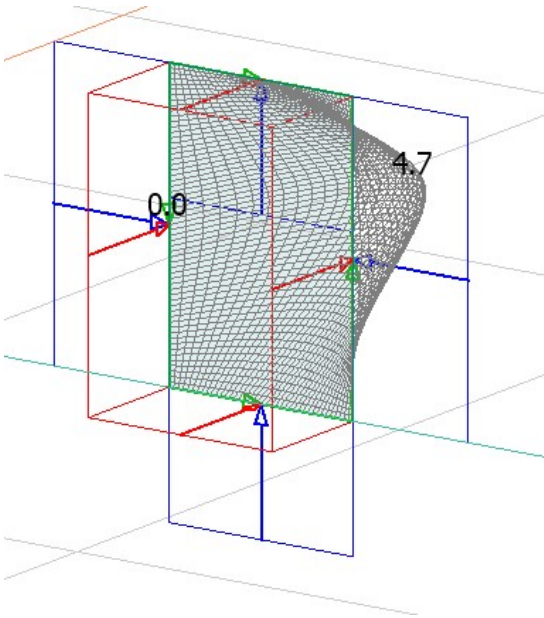
Taipuma 33.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

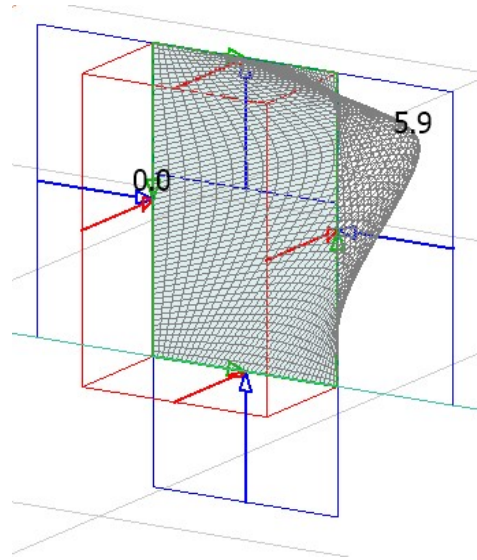
- Tuulikuorma, taipuma 5,07025 mm
- Hyötykuorma, taipuma 4,29893 mm



Kuva 20, taipuma 7,1 cm kun tuuli = 1,8 kN/m²



Kuva 21, Viivakuorma taipuma 4,7 cm



Kuva 22, pistekuorma taipuma 5,9 cm

Käyttörajoitilatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	8	7,10	89 %	OK
Viivakuorma	8	4,70	59 %	OK
Pistekuorma	8	5,90	74 %	OK

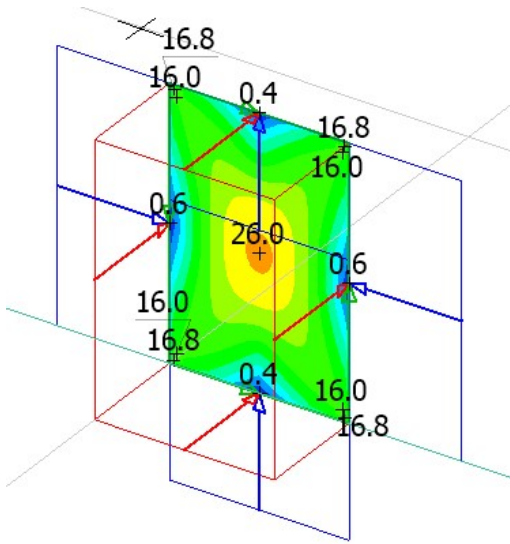
Kuva 23, taipumat ok, kun tuuli MAX

→ taipumat ok 33.2 lasilla MAX tuulikuormalla.

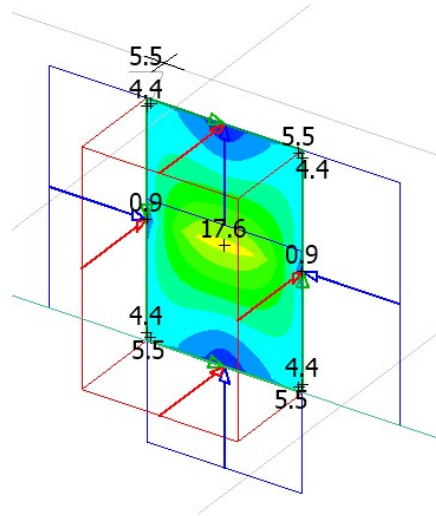
Jännitys 33.2 laminoitulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

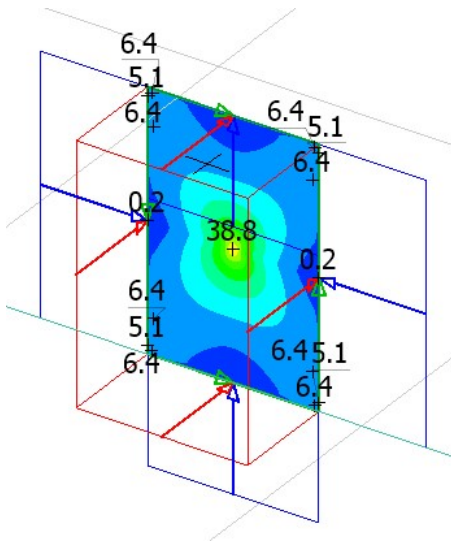
- Tuulikuorma, jännitys 5,61920 mm
- Hyötykuorma, jännitys 4,85109 mm



Kuva 24, tuulikuorman jännitykset, kun tuuli kuorma MAX



Kuva 25, Viivakuorman jännitykset



Kuva 26, pistekuorman jännitykset

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	26,00	130 %	EI
Viivakuorma	17,80	17,60	99 %	OK
Pistekuorma	17,80	38,80	218 %	EI

Kuva 27, float-lasin jännitykset

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	26,00	104 %	EI
Viivakuorma	22,25	17,60	79 %	OK
Pistekuorma	22,25	38,80	174 %	EI

Kuva 28, kiiltoreunahiotun (KRH) float-lasin jännitykset

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	87,50	26,00	30 %	OK
Viivakuorma	84,75	17,60	21 %	OK
Pistekuorma	84,75	38,80	46 %	OK

Kuva 29, lämpökarkaistun lasin jännitykset

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 33.2 laminoitu lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	45,83	26,00	57 %	OK
Viivakuorma	43,08	17,60	41 %	OK
Pistekuorma	43,08	38,80	90 %	OK

Kuva 30, lämpölujitetun lasin jännitykset

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 33.2 laminoitu lasi.

Tulokset:

- Valitaan 33.2 kaidelasi → Karkaistu-laminoitu (KL) ja lämpölujitettu-laminoitu (HSL) lasilevyille
- float-laminoidut lasit ei kestä → tarkastetaan seuraavalla lasipaksuudella.

Mitoitusta jatketaan samalla periaatteella. Tehollinen paksuus määritellään aina valitun lasilevyn mukaisesti. Seuraavaksi tehdään tarkastelu 44.2 laminoidulla lasilevyllä.

Taipuma- ja lujuustarkastelut 44.2 kaidelasille

Taipuma 44.2 laminoidulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, taipuma 6,62773 mm
- Hyötykuorma, taipuma 5,67097 mm

Käyttörajoitilatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	8	3,2	40 %	OK
Viivakuorma	8	2,1	26 %	OK
Pistekuorma	8	2,6	33 %	OK

Kuva 31, taipumat

→ taipumat ok 44.2 lasilla

Jännitys 44.2 laminoitulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, jännitys 7,32364 mm
- Hyötykuorma, jännitys 6,38324 mm

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	15,30	77 %	OK
Viivakuorma	17,80	10,30	58 %	OK
Pistekuorma	17,80	22,60	127 %	EI

Kuva 32, float-lasin jännitykset

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	15,30	61 %	OK
Viivakuorma	22,25	10,30	46 %	OK
Pistekuorma	22,25	22,60	102 %	EI

Kuva 33, kiiltoreunahiotun float-lasin jännitykset

→ ei kestä, valitaan paksumpi lasi.

Tulokset:

- Float-lasit eivät kestä → tarkastetaan seuraavalla lasikoolla

Taipuma- ja lujuustarkastelut 55.2 kaidelasille

Taipuma 55.2 laminoitulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, taipuma 8,18625 mm
- Hyötykuorma, taipuma 7,04416 mm

Käyttörajoitilatarkastelu, taipuma				
Kuorman tyyppi	Sallittu taipuma (mm)	Laskelman tulos (mm)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	8	1,7	21 %	OK
Viivakuorma	8	1,1	14 %	OK
Pistekuorma	8	1,4	18 %	OK

Kuva 34, taipumat

→ taipumat ok 55.2 lasilla

Jännitys 55.2 laminoitulla lasilevyllä

Teholliset paksuudet:

- Tuulikuorma, jännitys 9,0299 mm
- Hyötykuorma, jännitys 7,9174 mm

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	20,00	10,10	51 %	OK
Viivakuorma	17,80	6,70	38 %	OK
Pistekuorma	17,80	14,80	83 %	OK

Kuva 35, float-lasin jännitykset

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 55.2 laminoitu lasi.

Murtorajatilatarkastelu, jännitys				
Kuorman tyyppi	Taivutuslujuuden mitoitusarvo (MPa)	Laskelman tulos (MPa)	Ka. %	OK/EI
Tuulikuorma (max)	25,00	10,10	40 %	OK
Viivakuorma	22,25	6,70	30 %	OK
Pistekuorma	22,25	14,80	67 %	OK

Kuva 36, kiiltoreunahiottu float-lasin jännitykset

→ jännitykset ok, voidaan valita lasin jännitysten osalta 55.2 laminoitu lasi.

Yhteenveto

1200x800 mm kaidelasi:

YLÄ- JA ALAREUNASTA TUETUT

Karkaistu-laminoitu	(KL)	55.2	tuuli $\leq 1,1$ kN/m ²
		66.2	tuuli MAX
Lämpölujitettu-laminoitu	(HSL)	55.2	tuuli $\leq 1,1$ kN/m ²
		66.2	tuuli MAX
Float-laminoitu, (Kiiltoreunahiottu)	(FL)	88.2	molemmissa tapauksissa
Float-laminoitu	(FL)	88.2	molemmissa tapauksissa

NELJÄLTÄ SIVULTA TUETUT

Karkaistu-laminoitu	(KL)	33.2	Kaikki kuormitustapaukset
Lämpölujitettu-laminoitu	(HSL)	33.2	Kaikki kuormitustapaukset
Float-laminoitu (Kiiltoreunahiottu)	(FL)	55.2	Kaikki kuormitustapaukset
Float-laminoitu	(FL)	55.2	Kaikki kuormitustapaukset

Kaikki ohjetaulukoiden lasin paksuudet ovat optimoitu tämän laskentaesimerkin mukaisella menetelmällä.