



Emmi Tuohimaa

Lasiväliseinien mitoitus ja hyväksyntäaineisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

27.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Emmi Tuohimaa
Otsikko: Lasiväliseinien mitoitus ja hyväksyntäaineisto
Sivumäärä: 42 sivua + 3 liitettä
Aika: 28.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaajat: Asiantuntija Andreas Limnell, DI
Lehtori Joni Pirhonen, DI

Insinööriyön tarkoituksena oli koota yhteen lasiväliseinien suunnittelussa huomioitavat asiat ja ohjeistaa suunnittelijaa mitoituksessa. Tavoitteena oli tuoda selkeästi esiin suunnitteluun ja mitoitukseen vaikuttavat asiat, kuten oikean lasityypin valinta käyttöturvallisuus huomioiden, eri tilanteissa lasiväliseiniin kohdistuvat vaakakuormat sekä tarpeeksi kattavan laskentaraportin luominen hyväksyntää varten. Työ toteutettiin keräämällä tietoa lasirakenteisiin liittyvästä kirjallisuudesta, asetuksista, standardeista ja lasialan asiantuntijoiden ohjeistuksista. Työn tilaajana oli Sweco Finland Oy.

Työ aloitettiin tarkastelemalla lasirakenteiden suunnittelumääräyksiä ja ohjeita sekä lasin materiaali- ja lujuusominaisuuksia. Työssä esiteltiin turvalasivaatimukset ja eri turvalasit. Mitoituksen osalta esiteltiin eri tilanteissa lasiväliseiniin kohdistuvat vaakakuormat ja käytiin läpi lasirakenteiden mitoitusstandardin SFS-EN 16612:2019 mukainen lasin taivutuslujuuden laskentamenetelmä.

Lasiväliseinän mitoituksesta laadittiin kaksi esimerkkilaskentaraporttia. Esimerkkiraporteissa havainnollistuu hyvin mitoituksessa huomioitavat asiat, lasin taivutuslujuuteen vaikuttavat tekijät sekä kattavan hyväksyntäaineiston sisältö. Työn pohjalta luotiin tarkistuslista asioista, joita lasiväliseinän hyväksyntäaineiston tulee sisältää, jotta lasiväliseinän kelpoisuus voidaan luotettavasti todeta.

Avainsanat: lasiseinä, lasiväliseinä, turvalasi

Abstract

Author: Emmi Tuohimaa
Title: Design and Approval Material of Glass Partition Walls
Number of Pages: 42 pages + 3 appendices
Date: 28 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Andreas Limnell, Specialist, M.Sc.
Joni Pirhonen, Senior Lecturer, M.Sc.

The purpose of this final year project was to compile the important elements to consider when designing glass partitions and provide guidance to the designer in the process. The aim was to clearly present the factors that affect the designing process, such as choosing the appropriate glass type with safety considerations, the horizontal loads on the glass walls in various situations and creating a comprehensive calculation report for approval. The study was carried out by collecting information from literature, regulations, standards, and expert guidance from the field of glass structures. The study was commissioned by Sweco Finland Oy.

The project began by examining the design regulations and guidelines for glass structures, as well as the material and the strength properties of the glass. The safety glass requirements and different types of safety glass were presented.

Two sample calculation reports were conducted for glass partition wall designing. The sample reports demonstrate the factors to consider in designing, the factors that affect the bending strength of glass and the comprehensive approval document. Based on the study, a checklist was created from the findings of the study to ensure that the approval documentation for glass partition wall contains all the necessary information for reliable assessment of its eligibility.

Keywords: glass wall, glass partition wall, safety glass

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet ja toteutus	1
1.2	Työn rajaukset	2
2	Määräykset, standardit ja ohjeet	2
2.1	Lait ja asetukset	2
2.2	Standardit	3
2.2.1	Mitoitusstandardit	4
2.3	Muut ohjeet	5
3	Lasi materiaalina	5
3.1	Lasin lujuus	6
3.2	Ääneneristävyys	7
4	Turvalasi	8
4.1	Turvalasin määritelmä	8
4.2	Turvalasin käyttö	9
4.3	Lämpökarkaistu turvalasi	13
4.4	Laminoitu turvalasi	14
5	Lasiväliseinien tuenta	15
6	Lasiväliseinän kuormitukset	18
6.1	Tuulikuormat	19
6.1.1	Toteuttamisen aikaiset tuulikuormat	20
6.2	Kaidekuormat	20
6.2.1	Tungoskuorma	21
7	Lasin mitoitus	22
7.1	Mitoituksen periaatteet	22
7.2	Lämpökäsittämättömän ja esijännittämättömän lasin taivutuslujuus	26
7.3	Esijännitetyn lasin taivutuslujuus	29
7.4	Taipumarajat	30

7.5	Laminoitu lasi	31
7.6	Esimerkkilaskelma, laminoitu lasi	33
7.7	Esimerkkilaskelma, lämpökarkaistu lasi	35
8	Hyväksyntäprosessi	36
8.1	Ulkopuolinen tarkastus	36
9	Johtopäätökset ja yhteenveto	38
	Lähteet	40

Liitteet

Liite 1: Laskentaraaportti, neljältä sivulta tuettu kaiteena toimiva lasiväliseinä

Liite 2: Laskentaraaportti, ylä- ja alareunasta tuettu lasiväliseinä

Liite 3: Sisäläasiseinän hyväksyntäaineiston sisältö

Lyhenteet ja määritelmät

2K	Kaksilasinen eristyslaselementti
FEM	Elementtimenetelmä
Esijännitetty lasi	Lasi, jonka pinnalle on muodostettu pysyvä puristusjännitys, esimerkiksi lämpökarkaistu lasi, lämpölujitettu lasi ja kemiallisesti lujitettu lasi.
Monoliittinen lasi	Lasi, joka koostuu yhdestä lasikerroksesta.
Turvalasi	Laminoitua tai karkaistua lasia, jonka määrittely tapahtuu EN 12600 mukaisesti.

1 Johdanto

Lasin käyttö rakentamisessa on lisääntynyt viime vuosina ja sitä käytetään entistä monipuolisemmin. Lasi on ainutlaatuinen materiaali, joka päästää valoa lävitseen ja tarjoaa näkymän tilasta toiseen, mahdollistaen silti äänenvaimennuksen ja yksityisyyden. Lasiväliseinät mahdollistavat luonnonvalon pääsyn ikkunattomiin tiloihin ja luovat avoimen tilan tunteen. Lasiväliseinät ovat yleisiä varsinkin toimistorakennuksissa ja liiketiloissa. Niiden käyttö on lisääntynyt myös kouluissa ja päiväkodeissa.

Lasi eroaa merkittävästi muista yleisistä rakennusmateriaaleista. Lasirakenteiden suunnittelu edellyttää ymmärrystä lasin ominaisuuksista sekä sen käyttäytymisestä erilaisten kuormien rasittamana erilaisissa olosuhteissa. Lasin hauras ja yhtäkkinen rikkoutuminen asettaa lasirakenteelle tiettyjä vaatimuksia. Lasit on suunniteltava siten, että ne kiinnikkeineen kestävät niihin kohdistuvat kuormat, niiden rikkoutuminen ei aiheuta putoamis- tai haavoittumisvaaraa ja rikkoutuneet lasit on oltava helposti vaihdettavissa.

1.1 Työn tavoitteet ja toteutus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota selkeästi yhteen lasiväliseinien suunnittelussa huomioitavat seikat ja ohjeistaa suunnittelijaa lasiväliseinien mitoituksessa. Työ sisältää kaksi lasiväliseinän esimerkkimitoituslaskelmaa, jotka ovat toteutettu tällä hetkellä käytössä olevan mitoitusstandardin SFS-EN 16612:2019 mukaisesti.

Toisena tavoitteena on antaa ohjeistusta oikeanlaisen ja riittävän kattavan lasiväliseinän hyväksyntäaineiston luomiseen. Hyväksyntäaineiston perusteella rakenteen kelpoisuus tarkastetaan ja voidaan todeta hyväksytyksi sekä toimivaksi, joten on tärkeää, että hyväksyntäaineistoon sisällytetään kaikki mitoitukseseen ja lasin valintaan vaikuttavat oleelliset tiedot. Lopputuloksena luodaan lisätausta asioista, joiden tulee ilmetä lasiväliseinien hyväksyntäaineistosta.

Opinnäytetyö toteutetaan pääasiassa tutkimalla lasirakentamiseen liittyvää kirjallisuutta, ohjeistusta, asetuksia ja standardeja. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Sweco Finland Oy, joka on kansainvälinen rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntijayritys.

1.2 Työn rajaukset

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan vain sisätiloissa olevia lasiväliseiniä, joihin kohdistuu pelkästään vaakasuuntaisia kuormia. Työssä käsitellään ainoastaan lasiväliseiniin tavanomaisesti kohdistuvia kuormia, joten tarkastelun ulkopuolelle on jätetty lämpö- ja kosteusrasitukset. Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu myös suojalaseit sekä palonkestävät lasit. Työssä käsitellään ainoastaan 1K-laseja, eli yksilasisia laseja. Jos lasiväliseinältä vaaditaan tiettyä ääneneristävyyttä, on käytettävä 2K-laseja.

2 Määräykset, standardit ja ohjeet

2.1 Lait ja asetukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki (1999/132) säätelee alueiden ja rakennusten rakentamista, suunnittelua ja käyttöä [Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132: § 2]. Näin ollen se toimii perustana myös lasirakenteiden suunnittelulle.

Ympäristöministeriön asetus 1007/2017 rakennuksen käyttöturvallisuudesta astui voimaan 1.12.2018. Asetus koskee uusia rakennuksia ja on sovellettavissa korjaus- ja muutostöihin. Asetuksen pykälässä 11 määrätään lasirakenteita koskevista turvallisuusvaatimuksista. Asetuksen tulkinnan avuksi rakennusvalvonnan työryhmä ja lasialan asiantuntijat ovat tehneet ohjekortin, jossa selostetaan säännösten sisältöä ja annetaan niitä koskevia hyvän käyttötavan mukaisia soveltamisohjeita. Myös Suomen Tasolasiyhdistys on julkaissut oman hieman laajemman asetustulkinnan. [Suomen Tasolasiyhdistys 2020.]

2.2 Standardit

Eurooppalainen standardisointijärjestä CEN (Comité Européen de Normalisation) on julkaissut useita rakentamiseen ja suunnitteluun liittyviä eurooppalaisia standardeja. Erilaisia standardeja ovat esimerkiksi suunnittelustandardit, tuotestandardit sekä toteutusstandardit. Melkein jokaiselle rakennuslasituotteelle on julkaistu oma harmonisoitu tuotestandardi. CE-merkintää varten rakennuslasituotteen on täytettävä sitä koskevan harmonisoidun tuotestandardin mukaiset vaatimukset. Standardit edellyttävät maakohtaista kansallista liitettä, jossa voidaan määrittää kansallisia arvoja, jotka huomioivat kansallisen varmuustason ja paikalliset olosuhteet. Suomessa standardien kansallisista liitteistä talonrakentamisen osalta vastaa ympäristöministeriö. [Lastunen A. 2021.]

Eurokoodit ovat kokoelma kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja [Lastunen A. 2021]. Lasirakenteiden mitoituksessa tarvitaan Eurokoodeja 1990 ja 1991. Eurokoodissa 1990 esitetään rakenteiden varmuuteen, käyttökelpoisuuteen ja säilyvyyteen liittyvät periaatteet ja vaatimukset sekä suunnittelun ja vaatimuksenmukaisuuden osoittamisen perusteet. Eurokoodissa 1991 ja sen osissa esitetään mitoitusohjeita ja -kuormia. Betoni-, teräs-, liitto-, puu- ja alumiinirakenteille sekä muuratuille rakenteille on julkaistu omat Eurokoodit, jotka sisältävät yksityiskohtaiset ohjeet kyseisestä materiaalista koostuvan rakenteen suunnitteluun. Lasirakenteille ei löydy vielä tällä hetkellä Eurokoodien tasoista mitoitusstandardia, mutta se on valmisteilla ja julkaistaan arvion mukaan vuonna 2026. CEN julkaisi vuonna 2021 teknisen ohjeen (technical specification document) CEN/TS 19100 *Design of glass structures*, jonka pohjalta rakennuslasin Eurokoodi laaditaan. CEN/TS 19100 on jaettu kolmeen osaan [Fieldman, M. 2023]:

- CEN/TS 19100-1:2021 Design of glass structures. Part 1: Basis of design and material
- CEN/TS 19100-2:2021 Design of glass structures. Part 2: Design of out-of-plane loaded glass components
- CEN/TS 19100-3:2021 Design of glass structures. Part 3: Design of in-plane loaded glass components and their mechanical joint

Valmisteltavana on myös neljäs osa CEN/TS 19100-4 *Glass selection relating to the risk of human injury – Guidance for specification*, jonka tarkoituksena on ohjeistaa luomaan tai täydentämään kansallinen standardi, dokumentti tai ohjeistus oikean lasityypin valinnasta käyttöturvallisuus huomioiden [Fieldman M. 2023.] Suomessa käyttöturvallisen lasityypin valinnassa ohjeistavat tällä hetkellä esimerkiksi Suomen Tasolasiyhdistyksen ohjekortit, jotka pohjautuvat Ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen käyttöturvallisuudesta.

2.2.1 Mitoitusstandardit

Suomessa lasin mitoitukseen käytetään tällä hetkellä vuonna 2019 julkaistuja standardeja EN 16612:2019. *Rakennuslasit. Kuormankestävyuden määrittämisessä käytettävät laskelmat* ja EN 16613:2019. *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Välikerrosten mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen*. Standardi EN 16612:2019 sisältää laskentamenetelmän lasin taivutuslujuuden määrittämiseksi. Laskentamenetelmä perustuu rajatilamitoitukseen ja osavarmuuslukumenettelyyn. Laskentamenetelmä soveltuu lasilevyille, jotka ovat lineaarisesti tuettuja ja niihin kohdistuu vaakasuuntaisia kuormia, kuten tuuli- tai lumi-kuormia, kaltevan lasin omaa painoa tai eristyslaselementtien sisäistä paineen vaihtelua. Standardissa annetaan tyypilliset arvot [SFS-EN 16612:2019]:

- lasin osavarmuuslujuille $\gamma_{M;A}$ ja $\gamma_{M;v}$
- kuormitusajasta riippuvalle kertoimelle k_{mod}
- lasin pintaprofiilista riippuvalle kertoimelle k_{sp}
- reunojen lujuuden varmuuskertoimelle k_e
- kuorman osavarmuuslujuille γ_G ja γ_Q , kun seuraamusluokka on alhaisempi kuin CC1.

Suunnittelukuormat lasketaan murto- ja käyttörajatilassa EN 1990 ja EN 1991 osien mukaisesti. Huomioitavaa on, että kaiteina tai suojaseinäminä toimiviin lasiin kohdistuva kaidekuorma tulee laskea erikseen yhdistelemättä sitä muihin kuormiin. Jos lasiin ei kohdistu ilmeistä kuormaa, on se mitoittettava kestävämmän vähintään kertoimetonta $0,4 \text{ kN/m}^2$ lyhytaikaista tasaisesti jakautunutta

kuormaa. [SFS-EN 16612:2019.] EN-16612:2019 mukainen mitoitus esitellään tarkemmin tämän työn luvussa 6.

2.3 Muut ohjeet

Suomessa on ollut yleisesti käytössä Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisu RIL 198-2001 Valoläpäisevät rakenteet, mutta sen sisältämät tiedot ovat osin vanhentuneet ja siinä esitetty mitoitus perustuu standardia EN 16612:2019 edeltäneeseen standardiluonnokseen prEN 13474 [RIL 198-2001, s. 43]. Rakennuslasiin liittyviä ohjeita löytyy esimerkiksi Suomen Tasolasiyhdistykseltä, RT-korteista sekä lasivalmistajien sivuilta.

3 Lasi materiaalina

Lasin läpinäkyvyys on sen merkittävin ominaisuus, joka erottaa sen muista rakennusmateriaaleista. Läpinäkyvyys johtuu lasin homogeenisesti järjestäytymättömästä molekyylirakenteesta. Kirkas float-lasi läpäisee valoa 91 % ja aurinkoenergiaa 88 % asti. Monet tutkimukset osoittavat, että luonnonvalon saaminen vaikuttaa positiivisesti ihmisen psyykkiseen ja fyysiseen terveyteen. Lasi on myös ympäristöystävällinen, taloudellinen ja helposti huollettava materiaali. [Lasifakta 2021: 102.]

Float-lasi toimii perustana kaikille jatkojalostetuille lasituotteille. Float-lasi eli soodakalkkisilikaattilasi valmistetaan pääasiassa kvartsihiekkasta, soodasta, dolomiitista, kalkista, alumiinioksidista ja muista raaka-aineista. Seos sulatetaan uunissa noin 1600 °C:ssa, jonka jälkeen se levitetään nestemäisen tinan päälle, jossa se jäähtyy ja kovettuu tasaiseksi lasilevyksi. Tämän jälkeen lasi on valmiista leikattavaksi haluttuihin mittoihin ja jatkokäsiteltäväksi, kuten esimerkiksi pinnoitettavaksi tai karkaistavaksi. Ikkunoissa, ovissa, julkisivuissa ja katoissa käytettävän float-lasin paksuus on normaalisti 3-12 mm. [Lasifakta 2021: 13.] Float-lasin suositeltu minimipaksuus on 4 mm [Lasifakta 2021, s. 49]. Soodakalkkisilikaattilasin yleiset mekaaniset ja fysikaaliset arvot ovat esitetty taulukossa 1. Kyseisiä arvoja voidaan käyttää, kun täysin tarkkojen arvojen käyttö ei

ole tarpeellista. Tarkat arvot eri lasituotteille löytyvät niihin liittyvistä tuotestandardeista. [EN 16612:2019: 14.]

Taulukko 1. Soodakalkkisilikaattilasien ominaisuuksien arvoja [SFS-EN 16612:2019: 14].

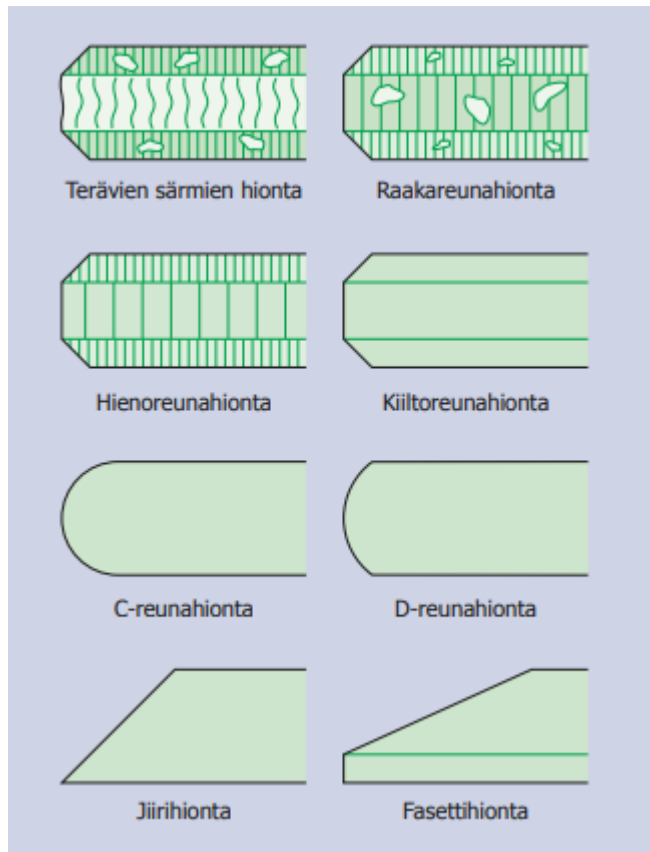
Tiheys	ρ	2 500 kg/m ³
Kimmokerroin	E	70 000 MPa
Poissonin luku	μ	0,23

3.1 Lasin lujuus

Lasia pidetään hauraana materiaalina, vaikka se on teoriassa hyvin lujaa. Lasin lujuuden määrittely on kuitenkin haastavaa, koska lasin rikkoutuminen ei johdu ainoastaan siinä vaikuttavista jännityksistä, vaan myös lasipinnalla ja leikatuilla reunoilla vaihtelevasti esiintyvistä mikrohalkeamista, jotka aiheuttavat rikkoutumislähtöjä kuormitusstilassa. Lasi taipuu täysin elastisesti ja taivutuslujuuden ylityksessä lasi rikkoutuu ilman plastista venymää. [Lasifakta 2021: 103.]

Lasilaatan puristuslujuus on moninkertainen sen taivutusvetolujuuteen verrattuna, ja yleensä mitoituksessa voidaan keskittyä tarkastelemaan ainoastaan lasilaatan vedetyn pinnan suurinta pääjännitystä. Tavallisen rakennuslasin karakteristinen taivutuslujuus on 45 MPa [SFS-EN 572-1: 6] ja lämpökarkaistun turvalasin 120 MPa [SFS-EN 16612:2019: 17]. Kemiallisesti käsitellyn lasin taivutuslujuus on jopa 150 MPa [SFS-EN 16612:2019: 17], mutta sitä ei voida käyttää turvalasina, sillä sen rikkoutumismuoto on samankaltainen kuin tavallisella rakennuslasilla [Heikkilä, J. a]. Eri lasityyppien rikkoutumismuotoja esitetään luvussa 4. Lasien karakteristiset taivutuslujuuden arvot perustuvat tilastollisesti määriteltyyn lujuustasoon, joka on saatu kuormittamalla riittävä määrä koekappaleita rikki. Taivutuslujuuden karakteristisiin arvoihin liittyy 5 % rikkoutumisriski 95 % mahdollisuudella alarajan kohdalla. [SFS-EN 572-1:2012: 6.]

Lasin mitoituslujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kuormituksen kesto, lasin tuentatapa ja lasin reuna-, pinta- ja lämpökäsittelyt. Lasi kestää huomattavasti paremmin lyhytaikaista kuin pitkäaikaista kuormaa ja paremmin tasaista kuin pistemäistä kuormaa. Kuvassa 1 on esitetty joitakin reunakäsittelytapoja. [Lasifakta 2021: 103.]



Kuva 1. Lasin reunakäsittelytapoja [Lasifakta 2021, s.110].

Paras reunakäsittelytapa lasin taivutuslujuuden kannalta on kiiltoreunahionta, kun taas terävien särmien hionta ja raakareunahionta pienentävät laskennallista lujuutta [Kunnari N. 2015: 7.]

3.2 Ääneneristävyys

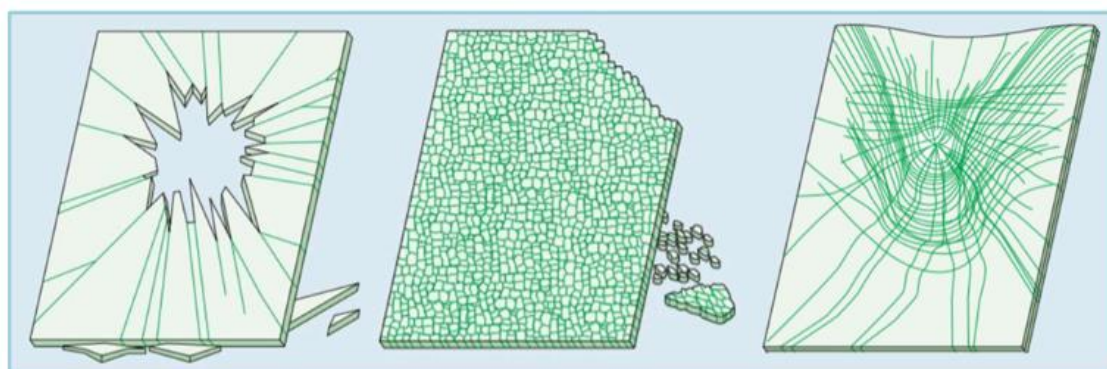
Lasin ääneneristävyteen vaikuttaa lasin paksuus, laminoidun lasin käyttö sekä 2K- ja 3K-laseilla lasien välinen etäisyys ja lasien eri paksuudet. Myös

ilmatiiveydellä on suuri vaikutus ääneneristävyyteen. Täyslasiseinien kohdalla tuleekin huomioida, että pystysaumojen tiivistys tuo rakenteelle huomattavasti paremman ääneneristävyyden. Laminoidut lasit vaimentavat ääntä perustuen lasilevyjen ja laminointikalvojen yhteiseen joustavuuteen ja massavaikutukseen. Laminoiduissa laseissa voidaan käyttää myös erityisesti äänenvaimentamiseen tarkoitettuja laminointikalvoja. Laminoidulla lasilla voidaan saavuttaa noin 40 dB ääneneristävyyssarvo. Sitä suurempia ääneneristävyyssarvoja tavoiteltaessa on käytettävä 2K-laseja. [Lasifakta 2021: 47.]

4 Turvalasi

4.1 Turvalasin määritelmä

Oikean lasityypin valintaan vaikuttaa lujuuden lisäksi merkittävästi myös lasin rikkoutumistapa. Rikkoutuessaan tavallinen tasolasi hajoaa teräväreunaisiksi sirpaleiksi, jotka voivat aiheuttaa viiltohaavoja. Turvalasien rikkoutumismuoto on käyttöturvallisempi ja niiden käyttö minimoi riskin henkilövahinkojen aiheutumiselle. Eri lasityyppien rikkoutumismuodot ovat esitetty kuvassa 2. Turvalaseja ovat standardin SFS-EN 12600 vaatimusten mukaiset lämpökarkaistut lasit, laminoidut lasit ja niiden yhdistelmät. [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 6.]



Tavallinen lasi

Lämpökarkaistu turvalasi

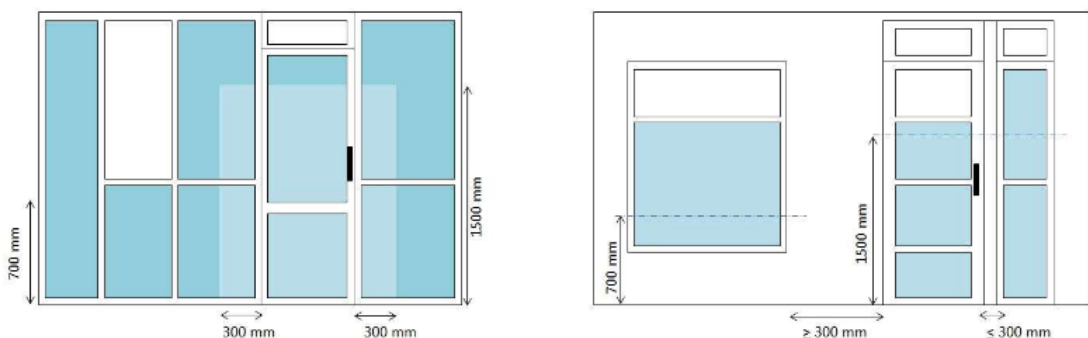
Laminoitu turvalasi

Kuva 2. Eri lasien rikkoutumismuotoja [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 6].

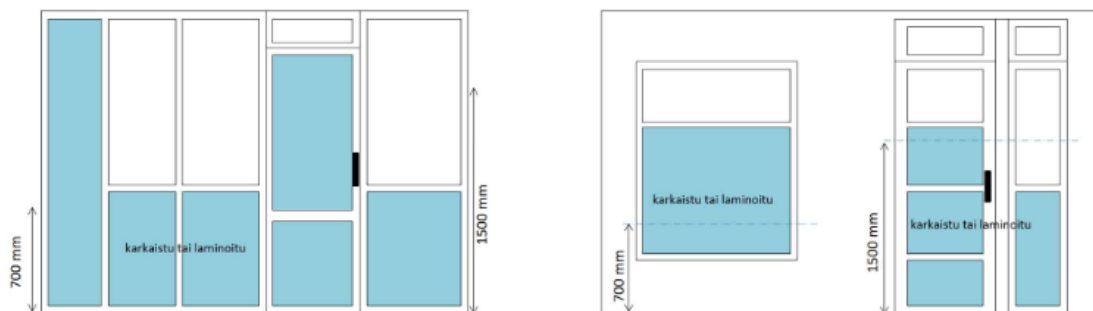
Kaikki turvalaseiksi määritellyt lasit testataan standardin SFS-EN 12600 mukaisella heiluritestimenetelmällä. Myös lasin kiinnikkeiden tulee kestää heilurin kuormat. Menetelmässä 50 kg painava heiluripyörä pudotetaan 876 x 1938 mm kokoiselle testilasille kolmesta eri korkeudesta, jotka ovat jaettu luokkiin 1 (1200 mm), 2 (450 mm) ja 3 (190 mm). Lisäksi lasi luokitellaan rikkoutumistavan perusteella luokkaan A (tavallinen lasi, ei siis turvalasi), luokkaan B (laminoitu lasi) tai luokkaan C (karkaistu lasi). Näin lasille saadaan turvaluokka, esimerkiksi 2(B)2, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa sitä, että lasi rikkoutuu turvallisesti heilurin pudotessa 450 mm korkeudesta ja kirjain B sitä, että rikkoutumistapa on kuin laminoidulla lasilla. Viimeinen numero tarkoittaa korkeinta tasoa, jolta lasi ei rikkoudu tai rikkoutuu kuin laminoitu lasi. [Lasifakta 2021: 51.] Luokitukset perustuvat aina valmistaja- ja tuotekohtaisiin testeihin [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 12.]

4.2 Turvalasin käyttö

Ympäristöministeriön asetuksessa 1007/2017 rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 11 määrää, että ikkunat, lasiseinät ja lasiovet, joihin on vaara törmätä, on tehtävä turvalasista ja on merkittävä siten, että ne havaitaan helposti. Törmäykselle alttiit lasipinnat ovat määritelty erikseen julkisissa tiloissa (kuva 3) ja asunnoissa (kuva 4, s.10). [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 5.]



Kuva 3. Törmäykselle alttiit lasipinnat julkisissa tiloissa [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 5.]



Kuva 4. Törmäykselle alttiit lasipinnat asunnoissa [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 5.]

Ikkunalasit ja lasiseinät ovat törmäykselle alttiita, jos niiden alareuna on alle 0,7 metrin korkeudella lattiatasosta. Lasiovet ovat törmäykselle alttiita 1,5 metrin korkeuteen asti. Julkisissa tiloissa riskialuetta ovat myös alle 0,3 metrin päässä kulkuaukoista ja ovista olevat lasit. Suomen Tasolasiyhdistys kuitenkin suosittelee, että myös asunnoissa käytettäisiin turvalasia ovien viereisissä laseissa. 0,3 metriä mitataan oven kulkuaukon reunasta lasin reunaan. Porrassyöksyssä on törmäysvaara, kun laskeutumissuuntaa vastaan oleva lasi on alle 1,5 metrin korkeudella portaasta tai lepotasosta. Porrassalueen voidaan katsoa loppuneeksi 1,5 metrin päässä alimmasta portaasta, mutta Suomen Tasolasiyhdistyksen määritelmän mukaan välimatkana tulee käyttää 2 metriä. Jos lasitus suojataan vaatimukset täyttävällä suojakaiderakenteella, joka kestää siihen kohdistuvat kuormat, turvalasia ei tarvitse käyttää. Suojakaiteen vaatimukset annetaan Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 7. [Suomen Tasolasiyhdistys 2020: 1-2.]

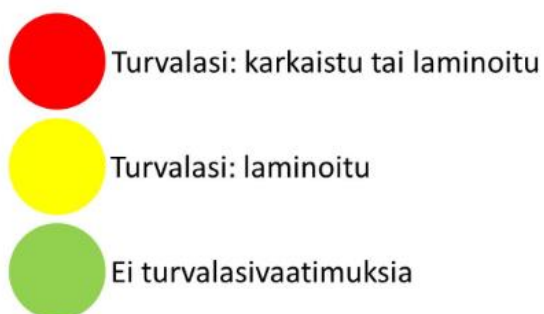
Törmäykselle alttiit lasit voivat olla lämpökarkaistuja turvalaseja, laminoituja turvalaseja tai näiden yhdistelmiä. Törmäykselle alttiit lasit on merkittävä kaksiosaisella 0,8–1 metrin ja 1,4–1,6 metrin korkeudelle sijoitettavalla huomiomerkinnällä. Merkintä voi olla esimerkiksi liimatarra, silkkipainettu merkintä tai hiekkapuhallettu merkintä. [Suomen Tasolasiyhdistys 2020: 4.]

Ympäristöministeriön asetuksessa 1007/2017 rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 11 määrää myös, että lasirakenteen rikkoutuminen ei saa aiheuttaa putoamisvaaraa eikä sirpaleiden putoaminen alle jäävän haavoittumisvaaraa.

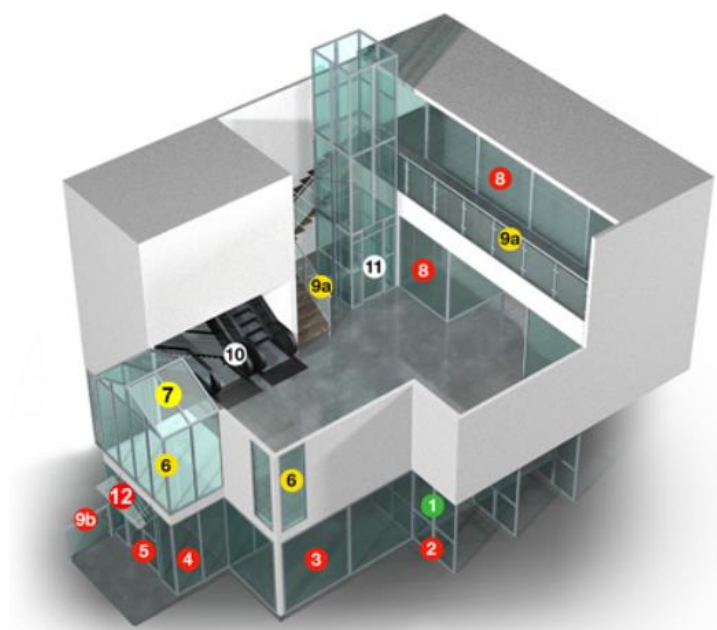
Putoamisvaara täytyy ottaa huomioon silloin, kun lasin alareuna on alle 0,7 metrin päässä lattiatasosta ja tasojen välinen korkeusero on yli yhden metrin. Lasin on oltava tällöin laminoitua turvalasia. Laminoinnin ansiosta sirpaleet pysyvät kehyksessään paikoillaan, jolloin lasiin ei muodostu suurta aukkoa. Myöskään alemmalla tasolla mahdollisesti oleskeleva henkilö ei jää putoavien lasinsirpaleiden alle. Rikkoutunut lämpökarkaistu turvalasi voi aiheuttaa pudotessaan alemmalla tasolla olevalle henkilölle haavoittumisvaaran, jos palaset jäävät yhteen isommiksi laatoiksi. [Suomen Tasolasiyhdistys ry 2020: 1-2.] Tarkempaa ohjeistusta siitä, minkälaisissa tilanteissa alle jäävän haavoittumisvaara pitäisi huomioida, ei Suomessa oikeastaan ole ja tilanne täytyy arvioida aina tapauskohtaisesti. Suomen Tasolasiyhdistys on maininnut joitakin riskikohteita, joissa tulisi käyttää laminoitua turvalasia, kuten esimerkiksi koulurakennuksien julkisivut, silloin kun niiden välittömässä läheisyydessä on urheilukenttä ja rakennuksen sivulla on kulkuväylä, kulkuaukkojen yläpuoliset lasit korkeissa lasijulkisivuissa ja julkisivulasit, joiden välittömässä läheisyydessä on oleskelualueita. [Heikkilä J. b.]

Suomen Tasolasiyhdistyksen nettisivuilta www.tasolasiyhdistys.fi löytyy havainnollistavat kuvaohjeet (kuva 5) käyttöturvallisen lasin valintaan eri lasirakenteille tilan käyttötarkoituksen mukaan [Suomen Tasolasiyhdistys ry a].

Julkiset rakennukset



Näet tarkemman ohjeistuksen klikkaamalla kuvan kohteita.



Kuva 5. Esimerkkikuva Suomen Tasolasiyhdistyksen nettisivuilta, julkisten rakennusten turvalasivaatimukset [Suomen Tasolasiyhdistys ry b].

4.3 Lämpökarkaistu turvalasi

Lämpökarkaistua turvalasia käytetään laseissa, joihin on mahdollista törmätä, mutta joiden rikkoutuminen ei aiheuta putoamisvaaraa. Rikkoutuessaan lämpökarkaistu turvalasi hajoaa pieniksi pyöreäköiksi murusiksi, jotka eivät aiheuta viiltohaavoja samalla tavalla kuin tavallisen lasin teräväreunaiset sirpaleet. Lasi-murut voivat jäädä kuitenkin isommiksi klustereiksi, ja niiden putoaminen korkealta voi aiheuttaa alle jäävän haavoittumisvaaran. Lämpökarkaistua lasia tulee myös käyttää laseissa, joissa on työstöjä, esimerkiksi pistekiinnityksiä tai sarnoita varten. [Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.]

CE-merkintä on lämpökarkaistulle turvalasille pakollinen ja se määräytyy tuotestandardin SFS-EN 12150-2 *Rakennuslasit. Lämpökarkaistu soodakalkkisilikaattiturvalasi. Osa 2: Vaatimustenmukaisuuden arviointi/Tuotestandardi* mukaisesti. Lämpökarkaistuun lasiin on tehtävä pysyvä merkintä, jossa on mainittava valmistajan nimi tai tavaramerkki sekä standardi SFS-EN 12150-1. [Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.]

Lämpökarkaistun turvalasin valmistus tapahtuu kuumentamalla tavallinen lasi yli 600°C lämpötilaan ja jäähdyttämällä se nopeasti, jolloin lasin pintaosaan jää pysyvä puristusjännitys ja sisäosaan vetojännitys. Kaikki työstöt on tehtävä lasiin ennen karkaisuprosessia, sillä karkaisun jälkeen lasin rikkoutumisriski kohoaa. Lämpökarkaistun turvalasin taivutuslujuus on parempi kuin tavallisella tasolasiilla ja se kestää jopa 200°C lämpötilaeroja, kovia potkuja ja ihmisen kaatumisen. Lämpökarkaistu lasi ei kestä hyvin terävien esineiden iskuja. [Suomen Tasolasiyhdistys ry 2019b.]

Lasimassassa voi esiintyä epäpuhtauksia, kuten nikkelisulfidia. Nikkelisulfidisulkeumat voivat aiheuttaa karkaistussa lasissa yhtäkkisen lasin rikkoutumisen ilman kuormitusta tai lämpörasitusta. Nikkelisulfidin kiderakenne muuttuu 380 °C lämpötilassa ja kiteen tilavuus pienenee. Lämpökarkaisuprosessissa lasin jäähdytys tapahtuu niin nopeasti, ettei kiderakenne ehdi muuttua yhtä nopeasti, jonka seurauksena nikkelisulfidi jää epästabiliin tilaan. Karkaisun jälkeen kiteen

tilavuus alkaa kasvaa hitaasti, ja voi aiheuttaa lasin spontaanin rikkoutumisen. [Rainamo R. 1999: 62]. Kyseinen ilmiö on harvinainen, mutta sitä voidaan ennaltaehkäistä Heat Soak -testillä, jossa kiteen tilavuuden kasvua kiihdytetään, jolloin useimmat nikkelisulfidia sisältävät lasit hajoavat. [Lasifakta 2021: 50.]

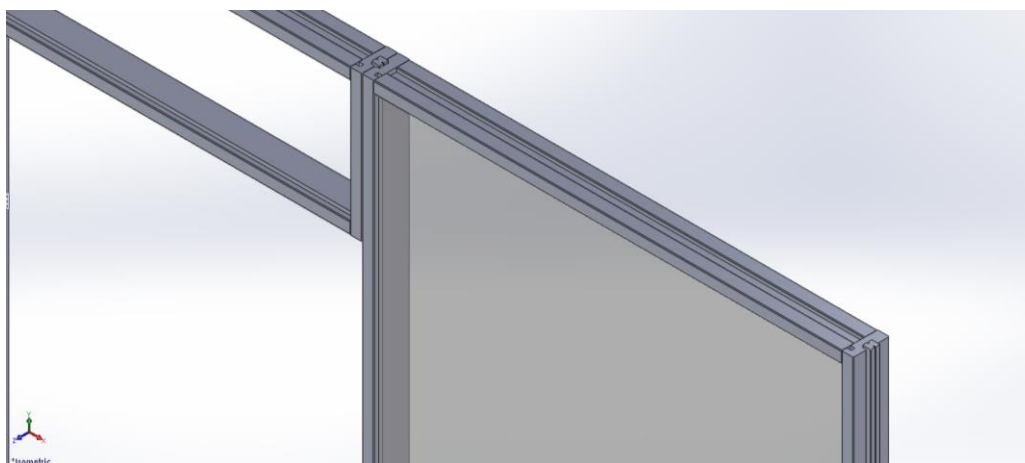
4.4 Laminoitu turvalasi

Laminoitu turvalasi muodostuu kahdesta tai useammasta lasilevystä, jotka ovat liitetty yhteen laminointikalvolla. Laminoitun turvalasin rikkoutuessa lasilevyjen välinen kalvo pitää sirpaleita paikoillaan, jolloin rakenne pysyy koossa ja rikkoutuneen aukon koko ei kasva. Laminoitua turvalasia tulee käyttää rakenteissa, joiden rikkoutuminen aiheuttaa putoamisvaaran. Se on myös turvallisin valinta julkisiin tiloihin, kuten päiväkoteihin ja kouluihin, joissa on loukkaantumisvaaran riski. [Suomen Tasolasiyhdistys 2019a.]

Laminointikalvojen materiaalit ja lasien paksuudet vaihtelevat käyttötarkoituksen ja haluttujen ominaisuuksien mukaan. Lasilevyinä voidaan käyttää tavallista, karkaistua tai lujitettua lasia. Yleisimpiä laminointikalvoja ovat PVB- ja EVA-kalvot. Laminointikalvon ominaisuudet, lasiin vaikuttavien kuormien kestoajat ja lämpötila vaikuttavat laminoitun lasin lujuuteen. Lujuus ei ole yhtä hyvä kuin yhtä paksulla monoliittisella float-lasilla, mutta kuorman keston ollessa lyhyt ja lämpötilan matala, päästään lähes yhtä hyvään taivutuslujuuteen. Kaikkia laminoituja laseja ei voida pitää turvalaseina, vaan luokitus tapahtuu SFS-EN 12600 mukaisella heiluritestillä. Laminoitun lasin rakenne ilmoitetaan merkinnällä, josta selviää lasilevyjen ja laminointikerrosten määrä sekä niiden paksuudet. Esimerkiksi laminoitun lasin merkintä, joka koostuu kahdesta 4 mm lasikerroksesta, joiden välissä on 0,76 mm paksuinen laminointikalvo, on 4/0,76/4 tai vaihtoehtoisesti 44.2. Laminointikerroksen paksuus ilmoitetaan aina 0,38 mm kerrannaisina, joten jälkimmäisessä merkintätavassa numero kaksi tarkoittaa paksuutta 2 x 0,38 mm. Laminoitun turvalasin CE-merkintä määritetään tuotestandardin SFS-EN 14449+AC *Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Vaatimustenmukaisuuden arviointi/Tuotestandardi* mukaisesti. [Suomen Tasolasiyhdistys 2019a.]

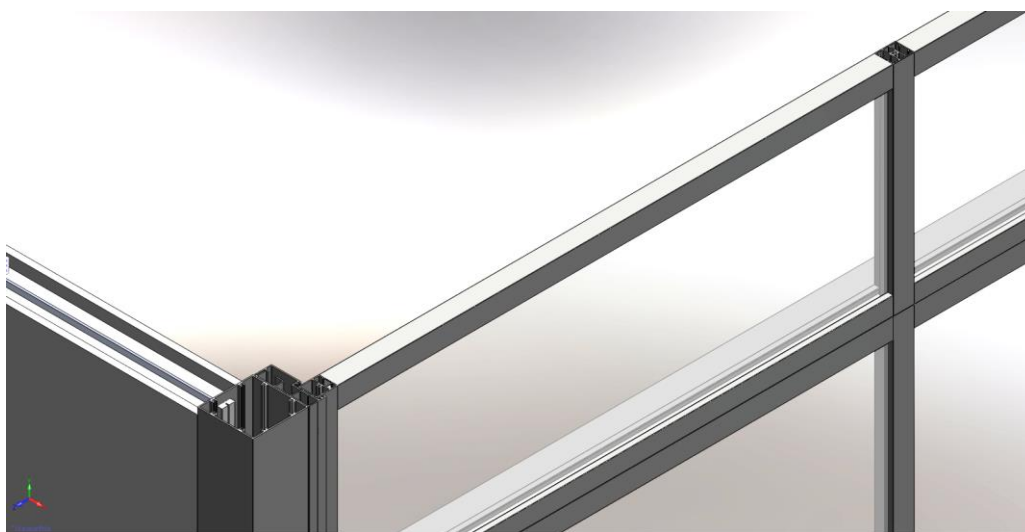
5 Lasiväliseinien tuenta

Lasiväliseinien suunnittelussa on otettava huomioon myös niitä tukevien profiilien ja kiinnikkeiden kestävyys. Profiilit ja niiden kiinnitykset on mitoitettava kestämään lasiseinään kohdistuvat kuormat. Lasilevyn tuenta voi tapahtua lasin kaikilta sivuilta, vain ylä- ja alareunasta tai pistekiinnikkein. Profiilit voivat olla esimerkiksi puuta (kuva 6). [HSL Group Oy.]



Kuva 6. Havainnekuva lasiseinän puuprofiilista [HSL Group Oy].

Toinen yleisesti käytetty profiilimateriaali on alumiini (kuva 7) [HSL Group Oy].



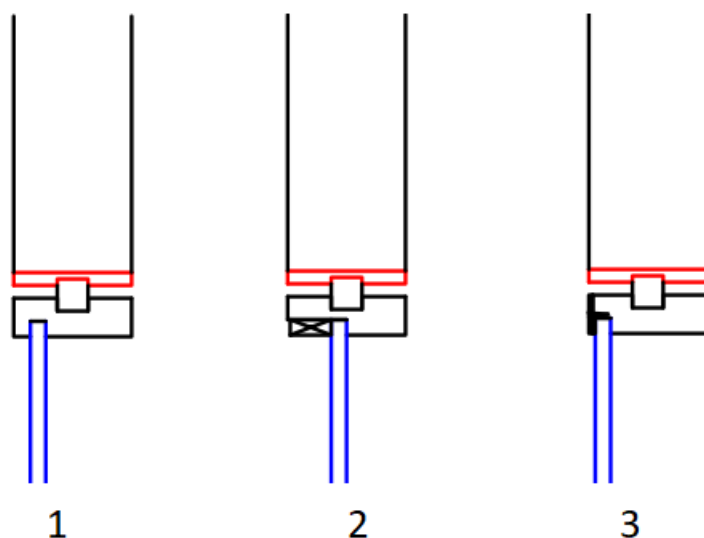
Kuva 7. Havainnekuva lasiseinän alumiiniprofiilista [HSL Group Oy].

Täyslasiseinissä profiilit menevät vain lasin ylä- ja alareunassa (kuva 8). Tällöin lasilevyjen väliset saumat voidaan jättää avoimeksi tai täyttää silikonilla, jolloin saadaan paljon yhtenäistä lasipintaa ilman pystyprofiileja. [HSL Group Oy.]



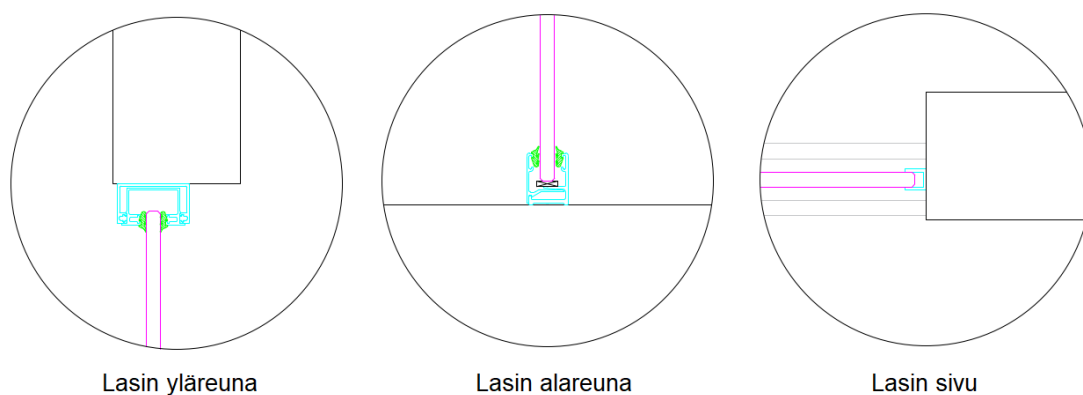
Kuva 8. Täyslasiseinä, joka on tuettu ala- ja yläreunasta [HSL Group Oy].

Kuvassa 9 on esitetty erilaisia menetelmiä lasin yläreunan tuennasta puukarmiin. Ensimmäisessä vaihtoehdossa lasi on asetettu puukarmissa olevaan uraan, toisessa vaihtoehdossa lasitus pysyy paikoillaan naulattavan puulistan avulla ja kolmannessa ruuvattavalla alumiinilistalla. [HSL Group Oy.]



Kuva 9. Lasin tuenta puukarmiin [HSL Group Oy].

Kuvassa 10 on esitetty lasin eri sivujen tuenta alumiiniprofiiliin. Alumiiniprofiilin ja lasin välissä käytetään joustavaa tiivistettä ja lasin yläreunaan jätetään liikevaraa, jotta lasin lämpöliikkeet ja rungon siirtymät eivät pääse aiheuttamaan lasin rikkoutumista. [HSL Group Oy.]



Kuva 10. Lasin tuenta alumiiniprofiililla [HSL Group Oy].

6 Lasiväliseinän kuormitukset

Ympäristöministeriön asetuksessa 1002/2017 rakennuksen käyttöturvallisuudesta § 11 *Lasirakenteet* sanotaan:

”Lasirakenteen ja muun valoa läpäisevän rakenteen on kiinnikkeineen kestävä siihen tavanomaisesti kohdistuva kuormitus, jollei rakennetta ole suojattu kiinteällä törmäyesteellä” [Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1002/2017: § 11].

Suunnittelijan on määriteltävä tapauskohtaisesti lasiseiniin kohdistuva kuormitus standardin EN 1991 ja sen osien mukaisesti. Tässä kappaleessa kerrotaan sisälaseiniin tavanomaisesti kohdistuvista kuormista. Toisin kuin muille väliseinärakenteille, lasiväliseinille on annettu vaakasuuntaiset vähimmäiskuormat, jotka ovat huomioitava mitoituksessa. Jos lasiin ei kohdistu ilmeisiä kuormia, on se mitoittava kestävä vähintään lyhytkestoinen tasainen $0,4 \text{ kN/m}^2$ kuorma. Tämän kuorman voisi ajatella aiheutuvan sisätilojen ilmanpaineen vaihteluista, joita aiheuttavat tuuli, ilmanvaihto sekä ikkunoiden ja ovien avaus. [SFS-EN 16612:2019: 18.]

Suunnittelussa on huomioitava myös se, ettei lasiseinään saa kohdistua muita kuormia, kuin ne mitkä on otettu mitoituksessa huomioon. Esimerkiksi yläpuolisten rakenteiden taipumat eivät saa aiheuttaa lasiväliseiniin kohdistuvia pystykuormia.

6.1 Tuulikuormat

Tuuli aiheuttaa painetta rakenteiden ulkopintoihin sekä ulkopinnan huokoisuuden takia myös rakenteiden sisäpintoihin [RIL 201-1-2017: 127.] Sisäpuolinen tuulenpaine lasketaan kaavalla [RIL-1-2017: 138]:

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi} \quad (1)$$

$q_p(z_i)$ on tuulen puuskanopeuspaine
 c_{pi} on sisäisen paineen painekerroin
 z_i sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus (= z_e)

Puuskanopeuspaineeseen vaikuttaa rakennuksen korkeus sekä maaston pinnan muoto. Puuskanopeuspaineen määrittäminen käydään läpi esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n kirjassa RIL 201-1-2017 osan 1.4 luvussa 4.5. Sisäpuolisen paineen kertoimeen c_{pi} vaikuttaa rakennuksen vaipassa olevien aukkojen määrä. Aukkojen määrän ja koon perusteella voidaan laskea rakennuksen aukkosuhde μ [RIL 201-1-2017: 161–162]:

$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0,0}{\sum \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}} \quad (2)$$

Jos aukkosuhdetta ei voida tarkkaan määrittää, voidaan kertoimelle c_{pi} käyttää vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoa -0,3 tai +0,2 [RIL 201-1-2017: 163.]

Selvityksen mukaan sisäläiseseiniin kohdistuvan tuulen painekuorman määrittämiseen on käytetty erinäisiä käytäntöjä, joille ei ole löytynyt perusteita. Monissa tapauksissa painekuormalle on käytetty arvoa 0,3 kN/m². [Henkilökohtainen tiedoksi.] Tuulen aiheuttamat sisäiset painekuormat tulee ottaa huomioon sisäläiseseiniä mitoittaessa lyhytkestoisena (alle 5 sekuntia) kuormana [SFS-EN 16612:2019: 16.]

6.1.1 Toteuttamisen aikaiset tuulikuormat

Keskeneräisessä rakennuksessa voi syntyä tilanne, jolloin tuuli pääsee puhaltamaan vapaasti sisään. Esimerkiksi ikkuna-asennuksen aikana rakennuksen sisään vapaasti pääsevä tuuli voi aiheuttaa merkittävää tuulikuormaa myös väliseiniin, jolloin niihin kohdistuvaa tuulenpainetta laskettaessa täytyy käyttää ulkopuolisen paineen kerrointa c_{pe} . Toteuttamisen aikaisena puuskanopeuspaineena käytetään 75 % normaalisti vallitsevan mitoitustilanteen puuskanopeuspaineesta, jos rakennustyön kesto on alle kolme kuukautta. [RIL 201-2-2017: 87.] Lasiväliseinät asennetaan pääsääntöisesti vasta rakennuksen ulkovaipan asennuksen jälkeen, joten edellä mainittu tilanne on harvinainen, mutta se on hyvä kuitenkin huomioida tilapäisenä mitoitustilanteena.

Jos suunnitelmissa rakennuksen ikkunoiden ja ovien oletetaan olevan kiinni hyvin tuulisella tai myrskyisellä säällä, pidetään tilannetta, jolloin ne ovat auki, onnettomuusmitoitustilanteena [RIL 201-1-2017: 126]. Onnettomuusmitoitustilanteessa kuormille ei käytetä osavarmuuskertoimia [RIL 201-1-2017: 41]. Yleensä kuitenkin tällaista tilannetta ei oteta huomioon mitoituksessa.

6.2 Kaidekuormat

Kaidekuormat kohdistuvat lasikaiteisiin sekä putoamisen estäviin tai suojarakenteina toimiviin lasioviin, lasi-ikkunoihin ja lasiseiniin. Asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistorakennuksien tilat jaetaan käyttötarkoituksen mukaisiin käyttöluokkiin [SFS-EN 1991-1-1: 31]. Suomessa käytettävät kaiteisiin ja suoja-seinämiin kohdistuvat vaakasuuntaiset kuormat käyttöluokan mukaan (taulukko 2, s.21) ovat esitetty Ympäristöministeriön asetuksessa 4/16.

Taulukko 2. Kaiteiden ja suojaseinäminä toimivien väliseinien vaakakuormat [Ympäristöministeriö 2019: 9].

Käyttöluokka	Käyttötarkoitus	q_k
Luokka A	Asuin- ja majoitustilat	0,5 kN/m
Luokka B	Toimistotilat	0,5 kN/m
Luokka C1...C4	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua, pois lukien luokkiin A, B ja D kuuluvat tilat	1,0 kN/m
Luokka C5	Tilat, joihin voi syntyä tungosta	3,0 kN/m
Luokka D	Myymälätilat	1,0 kN/m
Luokka E	Varasto- ja tuotantotilat	1,0 kN/m*
*vähimmäisvaatimus		

Kaidekuorma vaikuttaa kaiteen tai kaiteena toimivan seinän korkeudella, enintään kuitenkin 1,2 m korkeudella. Luokissa A-E kaiteet tai kaiteina toimivat seinät ja niiden kiinnitys on mitoitettava myös mielivaltaisessa kohdassa vaikuttavalle 50 mm x 50 mm pistekuormalle $Q_k = 0,3$ kN. Pistekuorma Q_k ja viivakuorma q_k eivät vaikuta samanaikaisesti. [Ympäristöministeriö 2019: 9]. Neljältä sivulta tuetun lasin pistekuorma tulee sijoittaa jännitys- ja taipumatarkasteluissa lasin keskelle. Kahdelta sivulta tuetun lasin pistekuorma sijoitetaan lasin tuke mattomaan reunaan keskelle. [Sutela, T. 2022: 31.]

Yllä esitetyt kuormat koskevat ainoastaan kaiteita ja suojaseinämiä, mutta Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee käyttämään käyttöluokan mukaista viivakuormaa myös lasirakenteille, jotka ovat alttiita törmäykselle. [Suomen Tasolasiyhdistys ry a.]

6.2.1 Tungoskuorma

Käyttöluokan C5 vaakakuorma 3,0 kN/m koskee tiloja, joihin voi syntyä tungosta, kuten esimerkiksi urheiluhallit, konserttitalit ja rautatielaiturit sekä niiden eteistilat, katsomot ja terassit. [Suomen Tasolasiyhdistys 2022: 13]. Tiloista, joissa tungoskuorma tulisi ottaa huomioon, ei ole tarkempaa ohjeistusta, joten

suunnittelijan tulee arvioida tungoskuorman mahdollisuus aina tapauskohtaisesti. Tungosta voi syntyä varsinkin hätäpoistumisreiteillä olevien ovien läheisyyteen.

7 Lasin mitoitus

Tässä luvussa esitetään mitoitusstandardin SFS-EN 16612:2019 mukainen mitoitusmenetelmä. Laskentamenetelmä on soveltuva lineaarisesti tuetulle lasilaa- talle, johon kohdistuu ainoastaan tasoa vastaan kohtisuoria kuormia [SFS-EN 16612:2019: 5]. Lasityypin ja lasin paksuuden valinta voidaan toteuttaa iteraatioprosessina, jossa tarkastellaan useaa eri lasityyppiä ja paksuutta. Tulosten perusteella saadaan valittua vaatimukset täyttävä, turvallinen ja edullinen vaihtoehto.

7.1 Mitoituksen periaatteet

Laskentamenetelmä perustuu rajatilamitoitukseen ja osavarmuuslukumenette- lyyn. Rakenteeseen kohdistuvia ominaiskuormia suurennetaan osavarmuuslu- vuilla, jolloin saadaan laskettua mitoituksessa käytettävä kuorman suunnittelu- arvo. Kuormien suunnitteluarvot ja niiden yhdistelmät lasketaan murto- ja käyt- törajatilassa eurokoodien EN 1990 ja 1991 mukaisesti (kaavat 3, 4 ja 5). [SFS- EN 16612:2019: 16.]

Murtorajatilan suunnittelukuorma:

$$F_d = \gamma_G * K_{FI} * G + \gamma_Q * K_{FI} * Q_{k,1} + \gamma_Q * K_{FI} \sum_i \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

Palautumattoman käyttörajatilan suunnittelukuormat:

$$F_d = G + Q_{k,1} + \sum_i \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

Palautuvan käyttörajatilan suunnittelukuorma:

$$F_d = G + \psi_1 * Q_{k,1} + \sum_i \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

G on pysyvät kuormat

Q on muuttuvat kuormat

K_{FI} on seuraamusluokan mukainen kuormakerroin

γ_G ja γ_Q ovat kuorman osavarmuuslukuja

ψ_0, ψ_1 ja ψ_2 ovat kuormien yhdistelykertoimia

Kuormakerroin K_{FI} (taulukko 3) määräytyy rakenteen seuraamusluokan mukaan ja se täytyy ottaa huomioon laskettaessa normaalisti vallitsevien ja tilapäisten mitoitustilanteiden murtorajatilan kuormitusyhdistelmiä. Kerrointa ei käytetä onnettomuustilanteiden tai käyttörajatilan kuormitusyhdistelmissä. [RIL 201-1-2017: 39.]

Taulukko 3. Kuormakerroimen K_{FI} arvot [RIL 201-1-2017: 39].

Kuormakerroin K_{FI}	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1,0	CC2
0,9	CC1

Rakenteen seuraamusluokka valitaan mahdollisen vaurion aiheuttamien seuraamusten perusteella. Seuraamusluokkia ovat CC1 (vähäiset tai pienet seuraamukset), CC2 (keskisuuret seuraamukset) ja CC3 (suuret seuraamukset). Seuraamusluokkien tarkemmat kuvaukset löytyvät SFS-EN 1990 liitteestä B. [SFS-EN 1990: 136]. Yleisesti lasiväliseinien lasit ovat täytepaneeleja (infill panel), jotka kantavat vain itsenä eivätkä edistä kuormitetun rakenteen vakautta [RIL 272-2019: 52]. SFS-EN 16612:2019 antaa kuormien osavarmuusluvut lasseille, joiden seuraamusluokka on alhaisempi kuin CC1 (taulukko 4, s. 24).

Taulukko 4. Kuorman osavarmuuslukujen arvot laselle, joiden seuraamusluokka on alhaisempi kuin CC1 [SFS-EN 16612:2019: 24].

	Y_Q		Y_G	
	Edulliset	Epäedulliset	Edulliset	Epäedulliset
Täytepaneelit, jotka kuuluvat alhaisempaan seuraamusluokkaan kuin CC1	0	1,1	1,0	1,1
Huom! Alempaa arvoa käytetään, kun kuormalla on edullinen vaikutus kuormitusyhdistelmässä muiden kuormien kanssa. Korkeampaa arvoa käytetään, kun kuorma vaikuttaa ilman muita kuormia tai sillä on epäedullinen vaikutus yhdistelmässä muiden kuormien kanssa.				

Jos lasiseinät toimivat putoamissuojana, luokitellaan rikkoutumisesta aiheutuneet vauriot keskisuuriksi ja lasit kuuluvat seuraamusluokkaan CC2, jolloin kuorman osavarmuusluvut ja yhdistelykertoimet määräytyvät SFS-EN 1990 mukaisesti (taulukko 5, s. 25) [RIL 272-2019: 52]. Seuraamusluokka CC1 koskee esimerkiksi sellaisia väliseiniä ja ikkunoita, joihin kohdistuu pääasiassa ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana [RIL 201-1-2017: 56]. Edellä mainitun kuvauksen perusteella jää hieman tulkinnanvaraiseksi, mitkä rakenteet kuuluvat alhaisempaan seuraamusluokkaan kuin CC1.

Taulukko 5. SFS-EN 1990 mukaiset osavarmuusluvut rakenteiden kestävyyttä tarkasteltaessa [SFS-EN 1990: 90].

	γ_Q		γ_G	
	Edulliset	Epäedulliset	Edulliset	Epäedulliset
Seuraamusluokat CC1-CC3	0	1,5	1,0	1,15 (1,35 tarkasteltaessa ainoastaan pysyvää kuormaa)

Materiaalin lujuuden suunnitteluarvo määritetään pienentämällä sen ominaista lujuutta varmuuskertoimilla. Lasin taivutuslujuuden suunnitteluarvoa laskettaessa ominaislujuuteen vaikuttaa myös muita kertoimia, jotka esitellään seuraavissa alaluvuissa. Mitoitusehdon mukaan murtorajatilän kuormista aiheutuva jännitys ei saa ylittää taivutuslujuuden suunnitteluarvoa (kaava 6) eikä käyttörajatilän kuormista aiheutuva taipuma saa ylittää rakenteen sallittua taipumaa (kaava 7). [SFS-EN 16612:2019: 19.]

$$\sigma_d \leq f_{g;d} \quad (6)$$

σ_d on murtorajatilän kuormista aiheutuva jännitys

$f_{g;d}$ on taivutuslujuuden suunnitteluarvo

$$w_{max} \leq w_d \quad (7)$$

w_{max} on käyttörajatilän kuormista aiheutuva taipuma

w_d on sallittu taipuma

7.2 Lämpökäsittelemättömän ja esijännittämättömän lasin taivutuslujuus

Lämpökäsittelemättömän ja esijännittämättömän lasin taivutuslujuuden suunnitteluarvo lasketaan kaavalla:

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} \quad (8)$$

k_e on reunan lujuuden varmuuskerroin

k_{mod} on kuormitusajan huomioiva kerroin

k_{sp} on pintaprofiilin huomioiva kerroin

$f_{g;k}$ on float-lasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo, 45 N/mm² [SFS-EN 572-1, s. 6]

$\gamma_{M;A}$ on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi

Lasin reunan lujuus on pienempi kuin sen pinnan lujuus, sillä reuna on altistunut mekaaniselle rasitukselle sitä leikattaessa ja käsiteltäessä, jonka seurauksena reunoihin on saattanut syntyä mikrohalkeamia. Kerroin k_e (taulukko 6) ottaa huomioon reunojen mahdollisesti alentuneen lujuuden pienentämällä lasin taivutuslujuuden suunnitteluarvoa, kuitenkin enintään 20 prosentilla. Taivutus aiheuttaa jännityksiä kahdelta vastakkaiselta sivulta tai kolmelta sivulta tuetun lasin reunoihin, jolloin k_e kertoimelle käytetään taulukon 6 mukaisia arvoja. Lasille, joka on tuettu kaikilta sivuiltaan k_e kertoimen arvo on 1,0, koska siinä taivutuksesta aiheutuvat reunajännitykset ovat vähäisempiä. Lämpökarkaistun tai lämpölujitetun lasin reunojen lujuus on yhteneväinen pinnan lujuuden kanssa, joten niiden lujuuden määrittämisessä ei huomioida k_e kerrointa. [SFS-EN 16612:2019: 15, 25.]

Taulukko 6. Reunan lujuuden varmuuskertoimen k_e arvot float-lasille reunakäsittelyn mukaan [SFS-EN 16612:2019: 25].

Lasityyppi	Reunan lujuuden varmuuskerroin k_e		
	Leikatut, särmätyt tai hiotut reunat ^a	Saumattut reunat ^b	Pintahiotut reunat
Float-lasi	0,8	0,9	1,0
Kuviolasi	0,8	0,8	0,8
Pintahiottu lankalasi	0,8	0,8	0,8
Kuviolankalasi	0,8	0,8	0,8

^a Koneellisesti tai manuaalisesti työstetyt tai hiotut reunat, jossa työstö tapahtuu poikkisuunnassa reunan suhteen.

^b Koneellisesti tai manuaalisesti työstetyt tai hiotut reunat, jossa työstö tapahtuu reunan suuntaisesti.

Lasi kestää huomattavasti paremmin hetkellisiä kuormia kuin pitkäaikaisia kuormia. Kuormituksen kesto aika otetaan huomioon k_{mod} kertoimella, jonka arvo vaihtelee 0,25–1,0 välillä. Arvo voidaan määrittää kaavalla [SFS-EN 16612:2019: 16]:

$$k_{mod} = 0,663t^{-\frac{1}{16}} \quad (9)$$

t on kuorman kesto tunneissa

Standardissa SFS EN-16612:2019 on esitetty tyypillisiä kuormien kestoajoja ja niiden perusteella laskettuja k_{mod} arvoja (taulukko 7, s. 28). Kaidekuormien kestoajaa arvioitaessa on otettava huomioon rakennuksen käyttötarkoitus ja sitä käyttävien henkilöiden määrä. Mitä pidempi kuormankesto aika on, sitä pienemmän arvon k_{mod} kerroin saa. Kuormitusyhdistelmiä tarkasteltaessa käytetään sen kuorman k_{mod} kerrointa, jonka arvo on suurin. [SFS-EN 16612:2019: 16.]

Taulukko 7. Tyypillisiä arvoja k_{mod} kertoimelle [SFS-EN 16612:2019: 16].

Kuorma	Kuorman kesto	k_{mod}
Tuulenpuuska	5 s (tai vähemmän)	1,0
Kaidekuormat	30 s	0,89
Kaidekuormat, tungos	5 min	0,77

Lasin pintakäsittelyllä on vaikutus lasin lujuuteen ja pintakäsittely huomioidaan kertoimella k_{sp} (taulukko 8) [SFS-EN 16612:2019, s. 16]. Hiekkapuhallus alentaa lasin laskennallista lujuutta. Hiekkapuhallus tehdään alumiinioksidipulverilla ja se tekee lasin pinnasta himmeän. Happokäsittelyllä saadaan aikaan samanlainen pinta, mutta lasin lujuus ei heikkene. [Tenhunen, O. 2023: 57.]

Taulukko 8. Lasin pintaprofiilin kerroin k_{sp} [SFS-EN 16612:2019: 16].

Lasilaatu	k_{sp} kertoimen arvo	
	Pintakäsittelemätön*	Hiekkapuhallettu*
Float-lasi	1,0	0,6
Konelasi	1,0	0,6
Emaloitu float- tai kone-lasi	1,0	0,6
Kuvioitu lasi	0,75	0,45
Emaloitu kuviolasi	0,75	0,45
Pintahiottu lankalasi	0,75	0,45
Kuvioitu lankalasi	0,6	0,36
*happokäsitellyille lasille käytetään pintakäsittelemättömän lasin arvoa		

Materiaalin osavarmuusluvulla (taulukko 9) otetaan huomioon materiaaliominaisuuksien mahdolliset epäedulliset poikkeamat. Osavarmuusluku pienentää lasin laskennallista lujuutta. [SFS-EN 1990: 74.]

Taulukko 9. Materiaalin osavarmuuslukujen arvot [SFS-EN 16612:2019: 13].

	Murtorajatila
Tavallinen tasolasi	$\gamma_{M;A} = 1,8$
Lämpökarkaistu tai lämpölujitettu lasi	$\gamma_{M;v} = 1,2$
Kemiallisesti lujitettu lasi	$\gamma_{M;v} = 1,2$

7.3 Esijännitetyn lasin taivutuslujuus

Esijännitetyn lasin, kuten esimerkiksi lämpökarkaistun lasin, taivutuslujuuden suunnitteluarvo lasketaan kaavalla [SFS-EN 16612:2019: 17]:

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod}k_{sp}f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v(f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} \quad (10)$$

k_{mod} on kuormitusajan huomioiva kerroin

k_{sp} on pintaprofiilin huomioiva kerroin

k_v on lujituskerroin (1,0 jos lämpökäsittely on tehty vaakatasossa ja 0,6 jos lämpökäsittely on tehty pystyasennossa)

$f_{g;k}$ on tavallisen tasolasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo

$f_{b;k}$ on esijännitetyn lasin taivutuslujuuden karakteristinen arvo

$\gamma_{M;A}$ on materiaalin osavarmuusluku, tavallinen tasolasi

$\gamma_{M;v}$ on materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi

Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden karakteristiset arvot (taulukko 10) perustuvat standardin julkaisuhetkellä (2019) voimassa olleisiin kyseisten lasityyppien tuotestandardeihin. Karakteristinen taivutuslujuus olisikin hyvä tarkistaa aina lasityypin uusimmasta tuotestandardista, jotta käytössä olisivat varmasti ajantasaaiset arvot. [SFS EN-16612:2019: 18.]

Taulukko 10. Esijännitetyn lasin karakteristisen taivutuslujuuden arvot. [SFS EN-16612:2019: 17]

Käytetty materiaali	Karakteristisen taivutuslujuuden arvot $f_{b,k}$ esijännitetyille lasille		
	Lämpökarkaistu turvalasi	Lämpölujitettu lasi	Kemiallisesti lujitettu lasi
Float- tai konelasi	120 N/mm ²	70 N/mm ²	150 N/mm ²
Kuvioitu lasi	90 N/mm ²	55 N/mm ²	100 N/mm ²
Pinnoitettu float- tai konelasi	75 N/mm ²	45 N/mm ²	

7.4 Taipumarajat

Standardin SFS-EN 16612:2019 mukaan lasilevyn maksimitaipumarajaksi valitaan pienempi arvoista L/65 tai 50 mm, jos taipumarajalle ei ole annettu muita vaatimuksia. L on kahdelta sivulta tuetulle lasille pidemmän tukemattoman sivun pituus, kolmelta sivulta tuetulle lasille tukemattoman sivun pituus ja neljältä sivulta tuetulle lasille lyhyimmän sivun pituus. Lasin taipuma ei saa kuitenkaan olla niin suuri, että vaarana olisi lasilevyn irtoaminen profiileistaan tai putoaminen pois tuelta. [EN 16612 s.19.]

Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee tiukempia taipumarajoja. Neljältä sivulta tuetulle lasilevylle taipumarajaksi valitaan pienempi arvoista L/100 tai 25 mm ja kaikissa tapauksissa enintään 25 mm. L on lyhyimmän sivun mitta ja taipumat lasketaan käyttäen käyttörajatilan kuormitusyhdistelmiä. SFS-EN 16612:2019

mukaiset taipumarajat ovat niin suuria, että ainakin putoamissuojana toimiville laselle tulisi käyttää Suomen Tasolasiyhdistyksen tiukempia taipumaroja. [Suomen Tasolasiyhdistys 2020: 4.]

7.5 Laminoitu lasi

Laminoidun lasin jännitysten ja taipuman määrittäminen on monimutkaisempaa kuin monoliittisen lasin. Laminoitikerrosten leikkausvoimien siirtokyky voidaan ottaa huomioon mitoituksessa, mutta on huomioitava, että laminoitimateriaalien ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti riippuen lämpötilasta ja kuormituksen kestoajasta. Näin ollen tarkan laskennan suorittamiseksi rakenteeseen kohdistuvien lämpötilojen ja kuormien täytyy olla tiedossa. Laskenta voidaan suorittaa sopivalla FEM-mallilla. Laminoitikerrosten ominaisuudet määräytyvät standardin *EN 16613:2019 Rakennuslasit. Laminoitu lasi ja laminoitu turvalasi. Välikerrosten mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen*. mukaisesti. [SFS-EN 16612:2019, s. 20.] Liitteessä 1 laminoidun lasin jännitykset ja taipumat ovat laskettu käyttäen SJ Meplaa, joka on lasilaskentaan tarkoitettu FEM-ohjelma.

Standardin SFS-EN 16612:2019 liitteessä D on esitetty yksinkertaisempi käsinlaskentamenetelmä laminoidun lasilevyn jännitysten ja taipuman määrittämiseksi, jota voidaan käyttää lineaarisesti tuetuille ja tasaisesti kuormitetuille lasilevyille. Menetelmässä leikkausvoimien siirtyminen laminoitikerroksien kautta otetaan huomioon leikkausvoimien siirtokertoimen ω avulla. Jos siirtokertoimen arvo on 0, laminoitikerros ei välitä leikkausta ja jos arvo on 1, se välittää leikkauksen täysin. Menetelmä ei ole tarkka, mutta sillä päästään mitoituksessa turvallisuudelle puolelle. Menetelmässä määritetään laminoidun lasilevyn tehollinen paksuus taipumatarkastelua varten sekä jokaiselle lasikerrokselle erikseen tehollinen paksuus jännitystarkastelua varten. Jokaisen kerroksen murtorajatilassa laskettua tehollista jännitystä verrataan kyseisen kerroksen mitoituskestävyyteen. [SFS-EN 16612:2019: 42.]

Laminoidun lasilevyn tehollinen paksuus taipumatarkastelua varten [SFS-EN 16612:2019: 42]:

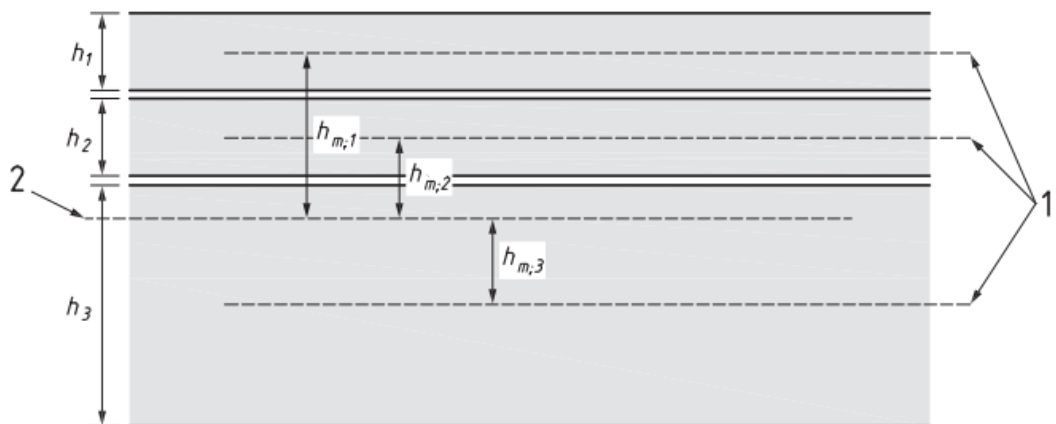
$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{\sum_k h_k^3 + 12\omega (\sum_i h_i h_{m,i}^2)} \quad (11)$$

Laminoidun lasilevyn yhden lasikerroksen j tehollinen paksuus jännitystarkastelua varten [SFS-EN 16612:2019: 42]:

$$h_{ef;\sigma;j} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_j + 2\omega h_{m;j})}} \quad (12)$$

ω on leikkausvoimien siirtokerroin

$h_k, h_j, h_{m;k}$ ja $h_{m;j}$ ovat mittoja, jotka näkyvät kuvassa 11



Kuva 1. Laminoidun lasin tehollisen paksuuden määrittämiseen tarvittavat mitat [EN 16612:2019: 42].

Siirtokerroin ω arvoon vaikuttavat lasiin kohdistuvat kuormitukset sekä lamiointimateriaalin lämpötila ja jäykkyys (taulukko 11, s. 33). Jäykkyysryhmän valinta eri kuormille esitetään standardissa SFS-EN 16613:2019.

Laminointimateriaalin jäykkyysryhmä vaihtelee riippuen kuormitushetken lämpötilasta, joten jokaiselle kuormitustapaukselle täytyy määrittää jäykkyysryhmä erikseen. [SFS-EN 16612:2019: 43.]

Taulukko 11. Siirtokertoimen ω arvot riippuen välikerrosten jäykkyysryhmästä ja kuormitustapauksesta [SFS-EN 16612:2019: 44].

Kuormitustapaus	Jäykkyysryhmä 0	Jäykkyysryhmä 1	Jäykkyysryhmä 2
Tuuli (Välimeren alue)	0	0,1	0,5
Tuuli (muut alueet)	0	0,3	0,7
Myrsky (Välimeren alue)	0	0	0,1
Myrsky (muut alueet)	0	0,1	0,5
Kaidekuormat	0	0,1	0,5
Kaidekuormat, tungos	0	0,1	0,3
Pysyvät kuormat	0	0	0

7.6 Esimerkkilaskelma, laminoitu lasi

Tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 1) on esimerkkinä laskentaraaportti, jossa tarkastellaan kuvitteellista lasiväliseinää. Lasiväliseinän kooksi valittiin 1800 x 3000 mm ja sen ajateltiin sijaitsevan liiketilassa. Lasi on tuettu kaikilta sivuiltaan. Lasiin on mahdollista törmätä ja se toimii putoamissuojana, sillä se erottaa kaksi eri tasoilla olevaa tilaa toisistaan. Lasityypiksi täytyi siis valita laminoitu turvalasi ja se kuuluu seuraamusluokkaan CC2.

Lasiin kohdistuvia kuormia olivat sen oma paino, 0,4 kN/m² painekuorma, 1 kN/m kaidekuorma sekä 0,3 kN pistekuorma. Kuormitusyhdistelmät ovat esitetty raportissa. Lasin lujuus laskettiin EN 16612:2019 mukaisesti ja lasin jännitykset ja taipumat laskettiin SJ Meplalla. SJ Mepla on FEM-ohjelmisto, joka on

kehitetty nimenomaan lasilaskentaa varten. Laskentaverkon koko oli 80 mm, paitsi pistekuormaa laskettaessa se pienennettiin 25 mm:n kokoiseksi. Vertailun vuoksi pistekuorman laskentaverkolle kokeiltiin myös 40 mm kokoa, jolloin pistekuorman aiheuttama jännitys oli 4,6 % pienempi, joten pitäydettiin 25 mm verkkokoossa.

Ensimmäiseen iteraatioon lasityypiksi valittiin laminoitu turvalasi 66.2. Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty laskennan tulokset. Tuloksista huomattiin, että kaidekuorma aiheuttamat jännitykset antoivat suurimman käyttöasteen 77,4 %. Seuraavassa iteraatiossa vaihdettiin 6 mm paksuiset lasit 4 mm paksuisiin lasihin, mutta silloin kaidekuorman aiheuttamat jännitykset ylittivät lasin lujuuden, joten lasityypiksi valittiin alkuperäinen laminoitu turvalasi 66.2.

Taulukko 12. Laskelmassa 1 tarkastellun lasin lujuudet ja laskennalliset jännitykset murtorajatilan kuormitusyhdistelmillä.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät	Lasin lujuus [MPa]	Lasin jännitykset [MPa]	Käyttöaste [%]
$1,5 * G_k + 1,5 * Q_{k,paine}$	25	6,91	27,6
$1,5 * Q_{k,kaide}$	22,25	17,22	77,4
$1,5 * Q_{k,piste}$	22,25	12,70	57,1

Taulukko 13. Laskelmassa 1 tarkastellun lasin sallitut ja laskennalliset taipumat käyttörajatilan kuormitusyhdistelmillä.

Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät	Sallittu taipuma [mm]	Lasin taipuma [mm]	Käyttöaste [%]
$G_k + Q_{k,paine}$	18	3,42	19,0
$Q_{k,kaide}$	18	7,11	25,7
$Q_{k,piste}$	18	2,15	7,8

Jos edellä esitetty lasi mitoitettaisiin kestävänsä 3 kN/m tungoskuormaa, ei valittu laminoitu turvalasi 66.2 riittäisi, vaan olisi valittava 1010.2.

7.7 Esimerkkilaskelma, lämpökarkaistu lasi

Toisessa liitteenä (liite 2) olevassa esimerkkilaskelmassa tarkasteltiin kuvitteellista ylä- ja alareunasta tuettua 1000 x 2400 mm kokoista lasiväliseinää. Lasin ajateltiin sijaitsevan toimistorakennuksessa niin, että siihen on mahdollista törmätä, mutta lasin rikkoutuminen ei aiheuta putoamisvaaraa, joten lasityypiksi valittiin lämpökarkaistu turvalasi. Lasin seuraamusluokka oli alempi kuin CC1, jolloin kuormille käytettiin SFS-EN 16612:2019 mukaisia osavarmuuslukuja. Lasiin kohdistuvia kuormia olivat 0,4 kN/m² painekuorma sekä 0,5 kN/m viivakuorma. Kyseisen lasin mitoitus viivakuormalle ei olisi ollut välttämätöntä, sillä lasi ei toimi putoamissuojana, mutta Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee sitä käytettävän myös törmäysriskillisille laseille. Tuloksista (taulukot 14 ja 15, s. 36) kuitenkin huomattiin, että viivakuormasta aiheutuvat rasitukset eivät tulleet määrääväksi, vaan suurimman käyttöasteen antoi painekuorman aiheuttama taipuma. Lasin paksuudeksi valikoitui iteraatioiden perusteella 10 mm, sillä sitä ohuempien lasien taipumat ylittivät taipumarajan.

Taulukko 14. Laskelmassa 2 tarkastellun lasin lujuudet ja laskennalliset jännitykset murtorajatilan kuormitusyhdistelmillä.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät	Lasin lujuus [MPa]	Lasin jännitykset [MPa]	Käyttöaste [%]
1,1 * G _k + 1,1 * Q _{k,paine}	87,5	19,25	22,0
1,1 * Q _{k,kaide}	84,75	20,02	23,6

Taulukko 15. Laskelmassa 2 tarkastellun lasin sallitut ja laskennalliset taipumat käyttörajatilan kuormitusyhdistelmillä.

Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät	Sallittu taipuma [mm]	Lasin taipuma [mm]	Käyttöaste [%]
$G_k + Q_{k,paine}$	36,92	30,09	81,5
$Q_{k,kaide}$	36,92	25,09	68,0

8 Hyväksyntäprosessi

Jos lasiväliseinät eivät toimi putoamissuojana, jää niiden kelpoisuuden tarkastelu usein tekemättä. Jos lasiseinä toimii putoamissuojana tai kaiteena, tulee siihen liittyvät suunnitelmat esittää rakennusvalvontaan toimitettavissa rakennesuunnitteluasiakirjoissa. Muista käyttöturvallisuuteen liittyvistä rakenteista rakennesuunnitteluasiakirjat tulee esittää tarvittaessa, eli jos rakennusvalvontaviranomainen niin määrää. Rakennesuunnitteluasiakirjoja ovat suunnitelmat, laskelmat sekä selvitykset. [Espoon kaupungin rakennusvalvontakeskus, 2017.] Tilanteita, joissa rakennusvalvonta on edellyttänyt lasirakenteiden kelpoisuuden tarkastusta, on tullut viime aikoina esiin enenevässä määrin. Usein kelpoisuuden tarkastuksella halutaan erityisesti varmistaa, että lasirakenne on käyttöturvallinen. [Henkilökohtainen tiedoksianto].

8.1 Ulkopuolinen tarkastus

Rakennesuunnitelman ulkopuolisen tarkastuksen tarkoitus on virheiden minimointi sekä rakenteellisen laadun ja turvallisuuden varmistaminen. Tarkastus voi olla rakennusvalvontaviranomaisen määräämä tai rakennesuunnittelun tilaajan omaehtoisesti tilaama laadunvarmistus- ja riskienhallintatoimenpide. Rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä ulkopuolisen tarkastuksen esimerkiksi

tilanteessa, jossa käytetään turvallisuuteen, terveellisyyteen tai kestävyysmerkkittävästi vaikuttavia suunnittelu- tai toteutusmenetelmiä, joiden toimivuudesta ei ole yleisesti varmuutta tai aikaisempaa kokemusta. Myös tilanteissa, joissa epäillään virhettä tai laiminlyöntiä, voidaan vaatia ulkopuolista tarkastusta. [Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 150.]

Tarkastuksen laajuus määräytyy rakennesuunnittelutehtävän tai viranomaisen määräysten mukaisesti. Onnistuneen tarkastuksen edellytyksenä on, että suunnittelija toimittaa tarkastajalle suunnitelman lisäksi olennaiset laskelmat, joiden perusteella suunnitelma on laadittu. Tarkastaja arvioi laskelmien kattavuutta, havainnollisuutta sekä vastaavuutta tarkastettaviin rakennesuunnitelmiin. Laskelmien tulee olla selkeitä ja kohteen vaativuudesta riippuen riittävän kattavia ja laadukkaita. [RT 103088: 1–2]. Tarkastaja raportoi mahdollisista suunnitteluvirheistä sekä puutteista ja tuo esiin mahdolliset toteutuskelpoisuuteen, asennettavuuteen, turvallisuuteen ja käyttöön liittyvät riskit ja ongelmat. Tulokset esitetään tarkastusraportissa. Tarkastustyö olisi tärkeää suorittaa riittävän varhaisessa vaiheessa, jotta mahdolliset puutteet saadaan korjattua ajoissa. [RT 103089: 1–2.]

Rakennesuunnitelman ulkopuolisen tarkastuksen voi suorittaa henkilö, jonka kelpoisuus arvioidaan soveltamalla maankäyttö- ja rakennuslain 120 e §:ssa annettuja kelpoisuusvaatimuksia. Rakennusvalvontaviranomaisen määrätessä rakennesuunnitelman ulkopuolisen tarkastuksen, tulee viranomaisen arvioida tarkastajan kelpoisuus. Tarkastus katsotaan suunnittelua vaativammaksi tehtäväksi ja tämä on huomioitava tarkastajan kelpoisuutta arvioitaessa. Tärkeää on, että tarkastuksen suorittaa henkilö, joka on riippumaton kohteen rakennesuunnittelusta. Tarkastajan tehtävä ei ole laatia rakennesuunnitelmaa, vaikka usein suunnitelmien tarkastus vaatiikin omien vertailulaskelmien tekoa. [RT 103089: 1–2.]

9 Johtopäätökset ja yhteenveto

Lasi on ainutlaatuinen ja monipuolinen materiaali, jonka käytön lisääntymisen myötä myös osaavan suunnittelun kysyntä kasvaa. Lasirakenteiden suunnittelijalta vaaditaan lasin ominaisuuksien sekä lasin mitoitusvaikuttavien seikkojen tuntemusta. Lasirakenteiden suunnitteluun liittyvän ohjeistuksen määrä Suomessa ei ole kovin laaja, ja osa saatavilla olevista ohjeista kaipaa päivitystä. Tällä hetkellä lasirakenteet mitoitetaan mitoitusstandardin SFS-EN 16612:2019 mukaisesti. Tarve laajemmalle eurokoodien tasoiselle lasirakenteiden standardille on jo huomioitu, ja tuleva lasirakenteiden eurokoodi varmasti selkeyttää lasirakenteiden suunnittelukäytäntöjä. Tätä opinnäytetyötä tehdessä vastaan on tullut tilanteita, joissa lasirakenteiden suunnitteluun liittyvää ohjeistusta on ollut joissain määrin vaikea tulkita ja eri tahot ovat saattaneet tehdä ohjeistuksesta erilaisia tulkintoja.

Tätä opinnäytetyötä voi hyödyntää oppaana lasiväliseinien suunnitteluun perehtymisessä. Työssä käytiin läpi lasiväliseinien suunnittelussa huomioitavat seikat sekä niiden mitoitus tavanomaisille kuormille. Työssä käytiin läpi lasiväliseinän mitoituksessa tavanomaisesti käytettävät kuormat ja niistä muodostuvat kuormitusyhdistelmät. Kuormat määräytyvät tapauskohtaisesti, ja lasiväliseinän täytyy kestää vähintään lyhytaikainen $0,4 \text{ kN/m}^2$ kuorma. Suojaseinäminä toimivien lasien kohdalla on noudatettava käyttöluokan mukaisia kaidekuormavaatimuksia, joita ovat viivakuorma ja pistekuorma. Myös lasiseinän profiilien on kiinnikkeineen kestettävä kyseiset kuormat.

Turvalasivaatimukset vaikuttavat oleellisesti oikean lasityypin valintaan, ja ne esiteltiin tämän työn luvussa 4. Lasiväliseinät ovat sijoiteltu lähes aina niin, että niissä on määräysten mukaan käytettävä turvalasia. Turvalasien on oltava aina standardin SFS-EN 12600 mukaisesti testattuja.

Lasin lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lasin reunakäsittely, pintakäsittely ja kuormituksen kestoaika. Esijännitetyn lasin lujuuteen vaikuttavaa lisäksi se, onko lasin lämpökäsittely tehty pysty- vai vaaka-asennossa. Laminoituneen lasin

lujuuteen vaikuttaa edellä mainittujen lisäksi laminointikalvon ominaisuudet sekä lämpötila. Mitoituksessa tulee muistaa, että kuorman keston mukaan määräytyvä k_{mod} kerroin on määritettävä erikseen jokaiselle kuormitusyhdistelmälle.

Koska lasin lujuuteen vaikuttavia tekijöitä on niin monia, korostuu hyväksyntäaineiston selkeyden ja kattavuuden tärkeys. Tämän työn liitteenä on listaus hyväksyntäaineiston tarvittavasta sisällöstä. Ilman riittäviä tietoja ja laskelmia lasin kelpoisuuden tarkastusta ei voida suorittaa. Myös ennen lasirakenteiden mitoitusta saatavilla on oltava riittävät lähtötiedot, joiden perusteella lasirakenne voidaan suunnitella niin, että se täyttää sitä koskevat vaatimukset ja on turvallinen. Vaikka lasiväliseinät eivät ole kantavia rakenteita eivätkä osallistu rakennuksen jäykistykseen, on niiden suunnitelmien kelpoisuuden tarkastukseen mielestäni kiinnitettävä huomioita, varsinkin käyttöturvallisuuden näkökulmasta.

Lähteet

Fieldman, Marcus ym. 2023. The new CEN/TS 19100: Design of glass structures. Artikkel. Viitattu 30.3.2023. Saatavilla <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40940-023-00219-y>>

Espoon kaupungin rakennusvalvontakeskus. 2017. Rakennesuunnitelmat. Rakennusvalvonnan ohje. Saatavilla <<https://static.es-poo.fi/cdn/ff/dXFdUv0nX2x0am-QPB6D8JH6LKh0S7A4AFcA3pxr47jo/1630561286/public/2021-09/Rakennesuunnitelmat2017.pdf>>

Heikkilä, Jenni a. Kemiallisesti lujitettu lasi. Artikkel. Viitattu 20.3.2023. Saatavilla <<https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/ZNrSMrW4JskPALVvZhcb0TiJfq/Kemiallisesti%20lujitettu%20lasi%20LM%202.pdf>>

Heikkilä, Jenni b. Alle jäävän haavoittumisvaara. Artikkel. Viitattu 25.4.2023. Saatavilla <https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/qD5ZC4Xpy9ZxHS12AKq20Y2_LY/Ohje%20korkea%20rakentaminen.pdf>

HSL Group. Tuotteet. Viitattu 5.4.2023. <<https://hslgroup.fi/tuotteet/>>

Kunnari, Niila. 2015. Lasirakenteiden mitoitusohje. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavilla <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89402/INSTYO_NiilaKunnari_Theseus.pdf?sequence=1>

Lasifakta 2021. 2022. Pilkington Lahden Lasitehdas Oy. Saatavilla <https://www.pilkington.com/-/media/pilkington/site-content/finland/architects/1991_glasfakta2022_web_fi.pdf>

Lastunen, Auli. 2021. Eurokoodit – tarkoitus. Artikkel. Saatavilla <<https://www.eurocodes.fi/eurokoodit-tarkoitus/>>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

RIL 198-2001. 2001. Valoaläpäisevät rakenteet. Yleisjäljennös Oy: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 201-2-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Grano Oy: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RT 103089. 2019. Rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkastus. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

SFS-EN 16612:2019. 2019. Rakennuslasit. Kuormankestävyyden määrittämisessä käytettävät laskelmat. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1990. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1991. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 572-1:2012 + A1:2016. 2016. Rakennuslasit. Soodakalkkisilikaattilasi. Osa 1: Määritelmät ja yleiset fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto.

Suomen Tasolasiyhdistys ry a. Käyttöturvallisuus. Viitattu 9.2.2023. Saatavilla <<https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/kayttoturvallisuus/>>

Suomen Tasolasiyhdistys ry b. Mitoitus. Viitattu 25.4.2023. Saatavilla <<https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/mitoitus/>>

Suomen Tasolasiyhdistys ry. 2019a. Laminoitu turvalasi. Ohjekortti. Viitattu 9.2.2023. Saatavilla <<https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/U8KtpP1a4WaAdX3fyMN90Tid-K/Ohjekortti%20No%20%20Laminoitu%20turvalasi%2020190228.pdf>>

Suomen Tasolasiyhdistys ry. 2019b. Lämpökarkaistu turvalasi. Ohjekortti. Viitattu 9.2.2023. Saatavilla <<https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/aiZ-QZA85xgRtKV6qA0on0Ticz7/Ohjekortti%20No%201%20Kar-kaistu%20lasi%2020190117.pdf>>

Suomen Tasolasiyhdistys ry. 2020. Lasirakenteet. Ohje koskien ympäristöministeriön asetusta rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Viitattu 14.2.2023. Saatavilla <<https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/0MIT6dCYrTh0cSjxbnFQ0UP-Rem/Ohje%20K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuus%20lasirakenteet%20jv4%2020200922-LT-JENNIH-W10.pdf>>

Suomen Tasolasiyhdistys ry. 2022. Turva- ja suojalasit. Opas. Viitattu 27.1.2023. Saatavilla <<https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>>

Sutela, Tahvo. 2022. Uudet lasinmitoitustaulukot. Lasiseminaari 2022 esitysmateriaali. Viitattu 24.4.2023. Saatavilla <https://puutuoteteollisuus.fi/images/lasiseminaari-2022/TS_Uudet_taulukot.pdf>

Tenhunen, Olavi. 2003. Metallilasirakenteisen kaksoisjulkisivun materiaalien soveltamiskriteerit. Teknillisen korkeakoulun teräsrakennetekniikan laboratorion julkaisuja 28. Viitattu 28.4.2023. Saatavilla

<<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/38/isbn9512268132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

Ympäristöministeriö. 2019. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Viitattu 10.2.2023. Saatavilla <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf/4194d6a0-63c4-3965-34bb-4b2f159cd372/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf?t=1603260658544>

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

Laskentaraaportti

Neljältä sivulta tuettu kaiteena toimiva lasiseinä

Esimerkkilaskenta

Sisältö

Tässä raportissa tarkastellaan kuvitteellisessa kohteessa sijaitsevaa lasiväliseinää, joka toimii myös kaiteena. Lasi on laminoitua turvalasia ja tuettu kaikilta sivuiltaan teräskehykseen.

Sisällys

1	YLEISET TIEDOT	5
1.1	Normit ja standardit	5
1.2	Laskentaohjelmisto	5
2	KOHTEEN TIEDOT	5
3	LASIN LÄHTÖTIEDOT	5
3.1	Sijainti kohteessa	5
3.2	Seuraamusluokka	6
3.3	Käyttöturvallisuus	6
3.4	Lämpötilat	6
3.5	Mitat	6
3.6	Lasin kokoonpano	6
3.7	Pintakäsittely	6
3.8	Reunakäsittely	6
3.9	Tuenta ja profiilit	6
4	KUORMAT JA KUORMITUSYHDISTELMÄT	7
4.1	Kuormat	7
4.1.1	Omapaino	7
4.1.2	Tuulenpaine	7
4.1.3	Kaidekuorma (viivakuorma)	7
4.1.4	Pistekuorma	7
4.2	Kuormitusyhdistelmät	7
5	Materiaalitiedot	8
5.1	Lasin materiaaliominaisuudet	8
5.2	Laminointikalvon ominaisuudet	8
6	Lasin lujuus	9
7	Laskelmat ja laskentatulokset	10
7.1	Jännitykset, murtorajatila	10

	Liite 1
	4 (35)
7.2 Taipuma, käyttörajatila	11
7.3 Kaidekuormat	12
7.3.1 Viivakuorma	12
7.3.2 Pistekuorma:	14
8 Yhteenveto	15

1 YLEISET TIEDOT

1.1 Normit ja standardit

SFS-EN 1990

SFS-EN 1991

SFS-EN 16612:2019 *Glass in building. Determination of the lateral load resistance of glass panel by calculation.*

1.2 Laskentaohjelmisto

SJ Mepla 5.0.10, joka on lasilaskentaan tarkoitettu FEM-ohjelmisto.

Laskentaverkon koko 80 mm, paitsi pistekuorman tarkastelussa 25 mm.

2 KOHTEEN TIEDOT

Kohde: Kauppakeskus

Osoite: Esimerkkitie 2

Asiakas: Kauppakeskus Oy

Rakennuksen käyttötarkoitus: Liikerakennus

3 LASIN LÄHTÖTIEDOT

3.1 Sijainti kohteessa

Sijainnin havainnollistaminen kuvalla.

3.2 Seuraamusluokka

CC2

3.3 Käyttöturvallisuus

Lasi toimii putoamissuojana ja siihen on mahdollista törmätä, joten on käytettävä laminoitua turvalasia.

3.4 Lämpötilat

Käyttölämpötila 20 °C ja lasin maksimi lämpötila 25 °C.

3.5 Mitat

Korkeus: 3000 mm

Leveys: 1800 mm

Etäisyys lattiatasosta: 100 mm

3.6 Lasin kokoonpano

Laminoitu turvalasi 66.2

3.7 Pintakäsittely

Pintakäsittelemätön

3.8 Reunakäsittely

Kiiltoreunahionta

3.9 Tuenta ja profiilit

Lasi on tuettu neljältä sivulta teräsprofiileihin.

4 KUORMAT JA KUORMITUSYHDISTELMÄT

4.1 Kuormat

4.1.1 Omapaino

Ohjelma laskee automaattisesti lasin oman painon mukaan

4.1.2 Tuulenpaine

$q_{k,paine} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ (SFS-EN 16612:2019 mukainen vähimmäiskuorma)

4.1.3 Kaidekuorma (viivakuorma)

$q_{k,kaide} = 1 \text{ kN/m}$ (vaikuttaa 1,2 m korkeudella)

4.1.4 Pistekuorma

$Q_{k,piste} = 0,3 \text{ kN}$ (kuormitusalue 50 x 50 mm, vaikutuskohta vapaavalintainen)

4.2 Kuormitusyhdistelmät

1. Murtorajatila (ULS):

$$E_d = 1,15 * G_k + 1,5 * Q_{k,paine}$$

2. Käyttörajatila (SLS):

$$E_d = G_k + Q_{k,paine}$$

3. Kaidekuorma ilman muita kuormia (ULS & SLS):

$$E_d = 1,5 * q_{k,kaide}$$

$$E_d = 1,5 * Q_{k,piste}$$

$$E_d = q_{k,kaide}$$

$$E_d = Q_{k,piste}$$

5 Materiaalitiedot

5.1 Lasin materiaaliominaisuudet

Tiheys $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

Kimmokerroin $E = 70\,000 \text{ MPa}$

Suppeumaluku $\mu = 0,23$

5.2 Laminointikalvon ominaisuudet

PVB-laminointikalvo:

Lämpötila $T = 25 \text{ °C}$ (lasin maksimilämpötila)

Kuormituksen kesto = 3 s painekuormalla, 30 s kaidekuormalla

Tiheys $\rho = 1070 \text{ kg/m}^3$

Kimmokerroin $E = 13 \text{ MPa}$ kun kesto 3 s, 3 MPa kun kesto 30 s

Suppeumaluku $\mu = 0,5$

6 Lasin lujuus

Lämpökäsittelemätön lasi, tuulenpaine:

$k_e = 1,0$	reunan lujuuskerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko A.5)
$k_{sp} = 1,0$	pintaprofiilin kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 4)
$f_{g;k} = 45 \text{ MPa}$	lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;A} = 1,8$	materiaalin osavarmuusluku (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)
$k_{mod} = 1,0$	kuormitusajan huomioiva kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 5)

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} = \frac{1,0 * 1,0 * 1,0 * 45 \text{ MPa}}{1,8} = \mathbf{25 \text{ MPa}}$$

Lämpökäsittelemätön lasi, kaidekuormat:

$k_e = 1,0$	reunan lujuuskerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko A.5)
$k_{sp} = 1,0$	pintaprofiilin kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 4)
$f_{g;k} = 45 \text{ MPa}$	lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;A} = 1,8$	materiaalin osavarmuusluku (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)
$k_{mod} = 0,89$	kuormitusajan huomioiva kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 5)

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} = \frac{1,0 * 0,89 * 1,0 * 45 \text{ MPa}}{1,8} = \mathbf{22,25 \text{ MPa}}$$

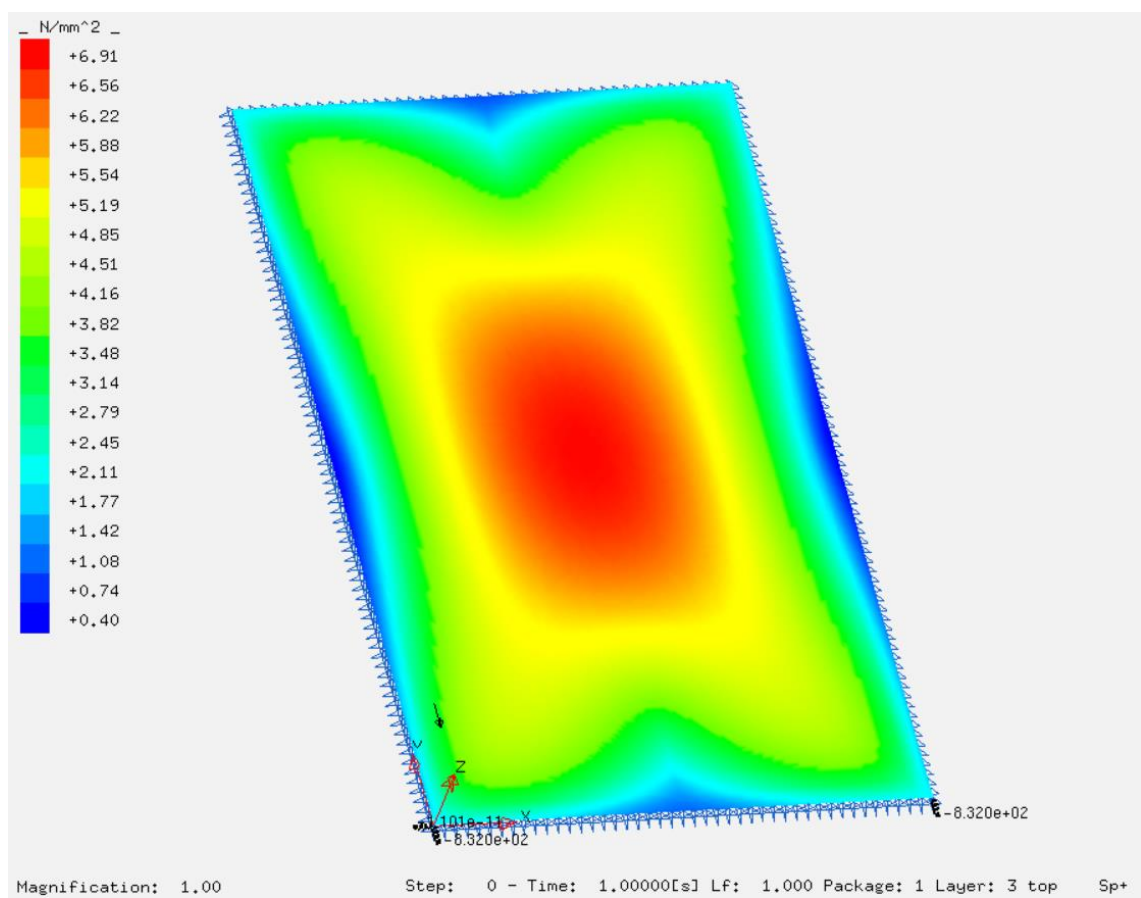
7 Laskelmat ja laskentatulokset

7.1 Jännitykset, murtorajatila

Sallittu jännitys: 25 MPa

Laskennallinen jännitys: 6,91 MPa

Käyttöaste: 27,6 % **OK**



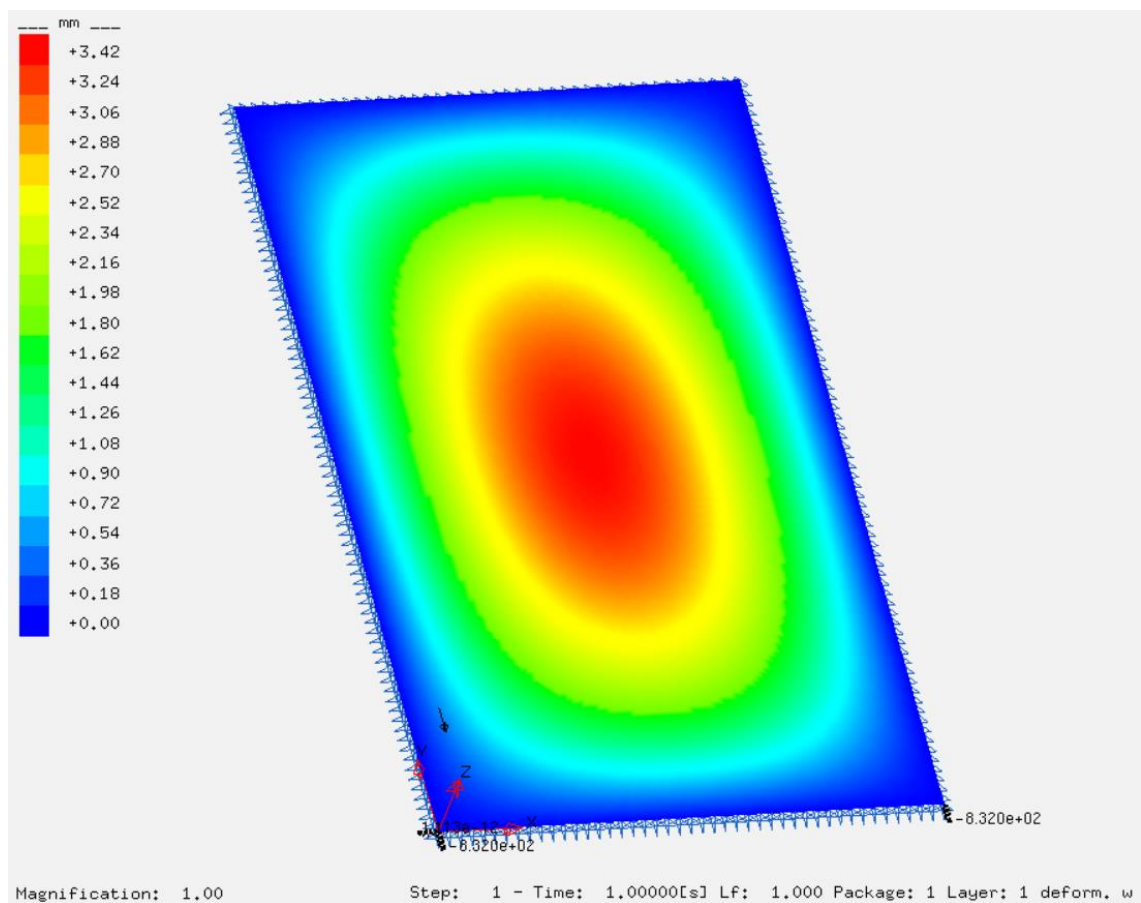
7.2 Taipuma, käyttörajatila

Taipumaraja on pienempi arvoista $L/100$ tai 25 mm, missä L on lyhyemmän sivun mitta (Suomen Tasolasiyhdistyksen suositus taipumarajalle, tiukempi kuin EN 16612:2019 mukainen $L/65$ tai 50 mm).

Taipumaraja: $1800 \text{ mm}/100 = 18 \text{ mm}$

Maksimitaipuma: 3,42 mm

Käyttöaste: 19 % **OK**



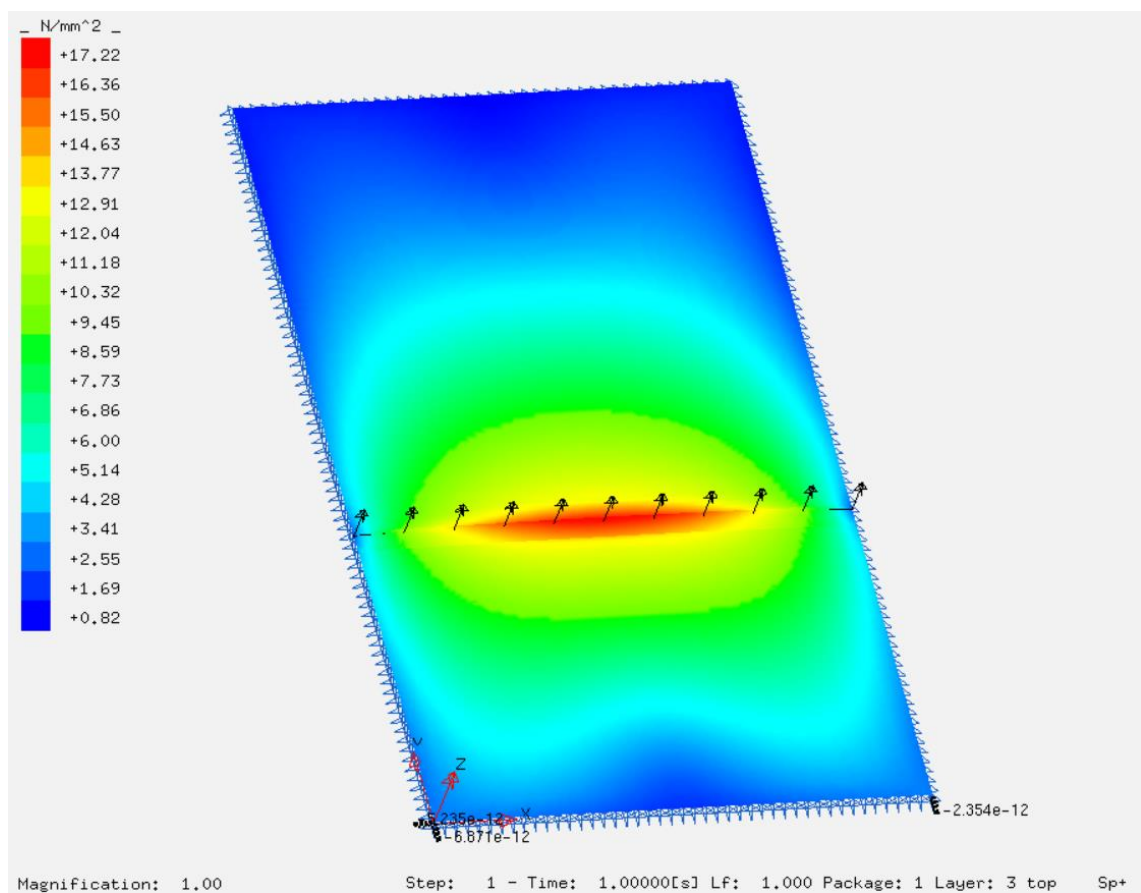
7.3 Kaidekuormat

7.3.1 Viivakuorma

Sallittu jännitys: 22,25 MPa

Laskettu jännitys: 17,22 MPa

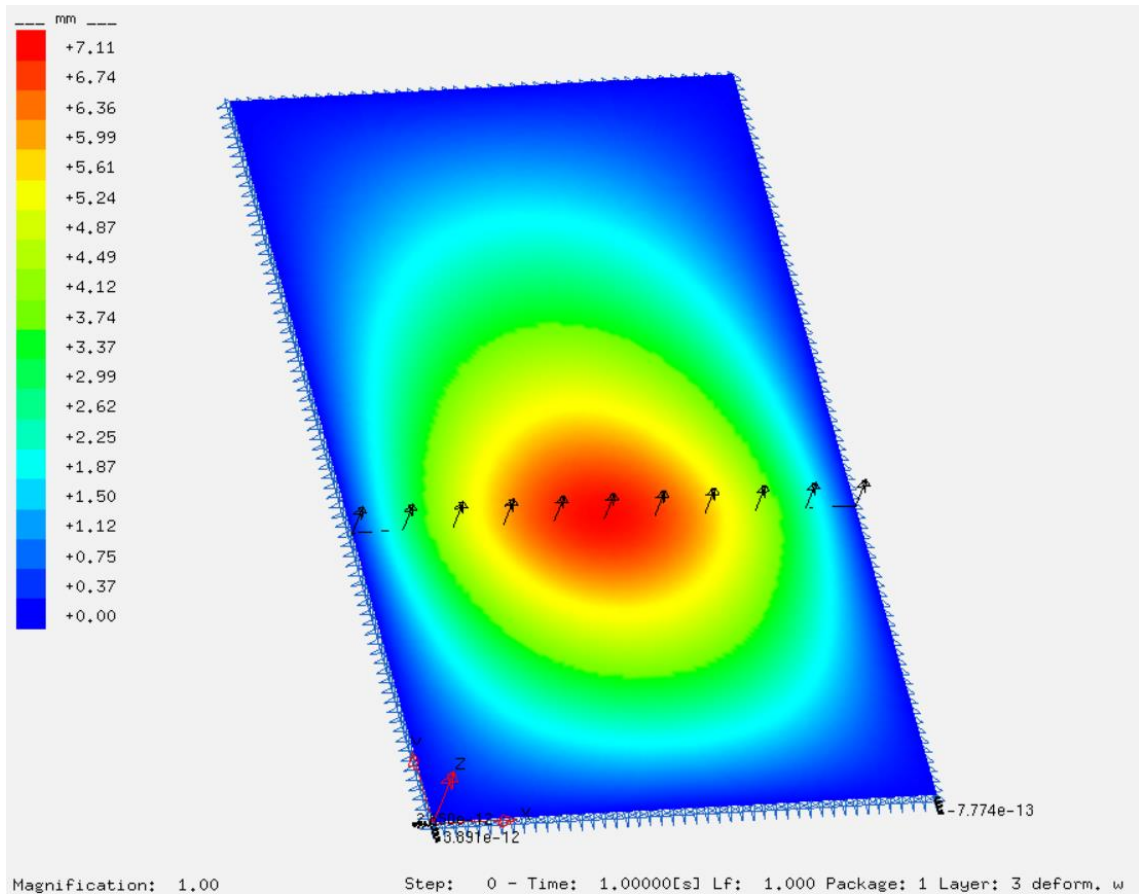
Käyttöaste: 77,4 % **OK**



Sallittu taipuma: $1800 \text{ mm}/100 = 18 \text{ mm}$

Laskettu taipuma: 7,11 mm

Käyttöaste: 40 % **OK**

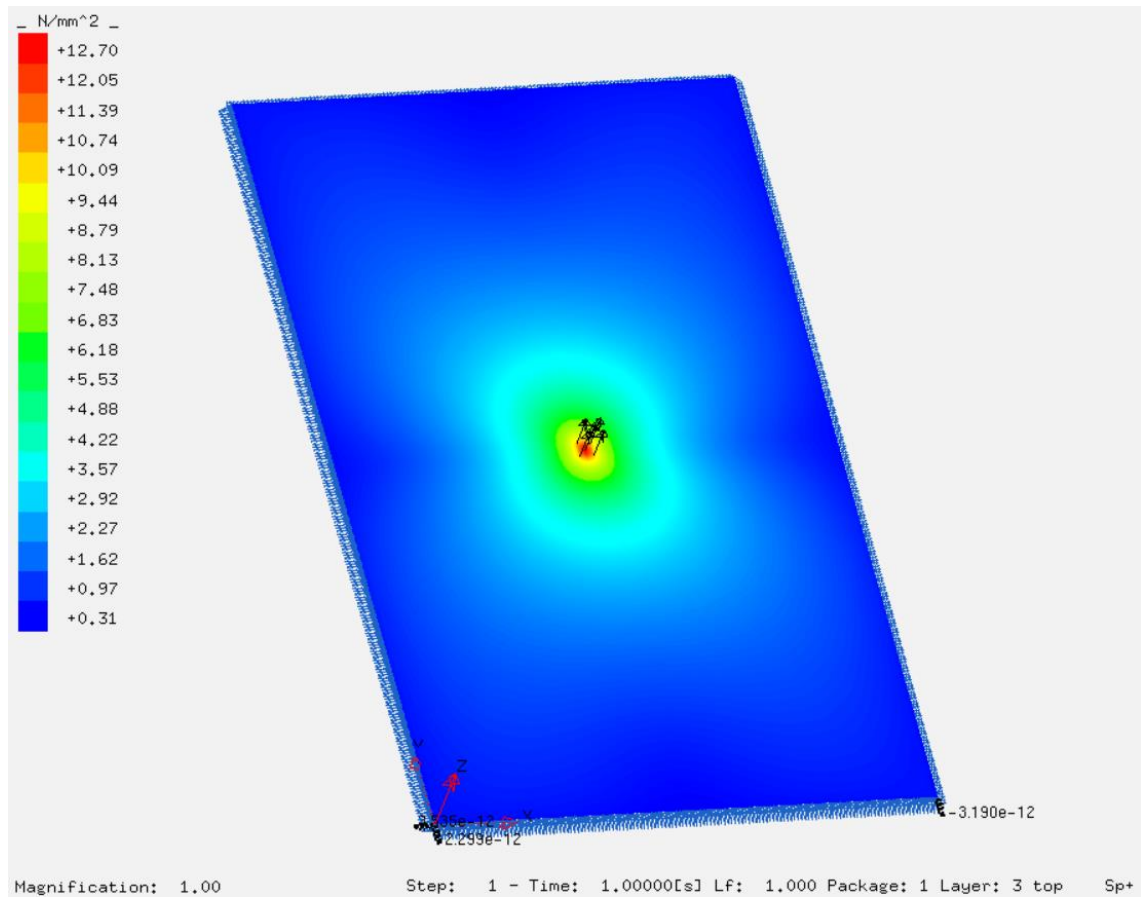


7.3.2 Pistekuorma:

Sallittu jännitys: 22,25 MPa

Laskettu jännitys: 12,70 MPa

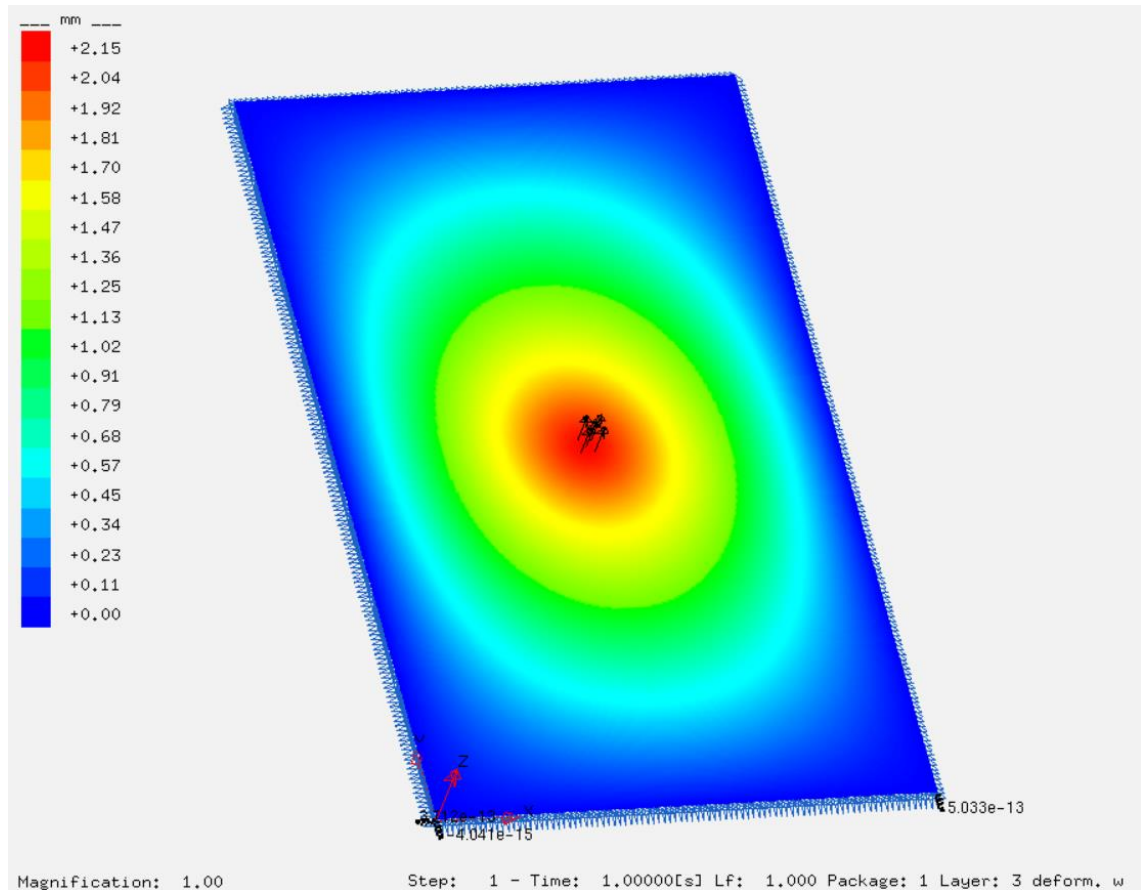
Käyttöaste: 57,1 % - **OK**



Sallittu taipuma: $1800 \text{ mm}/100 = 18 \text{ mm}$

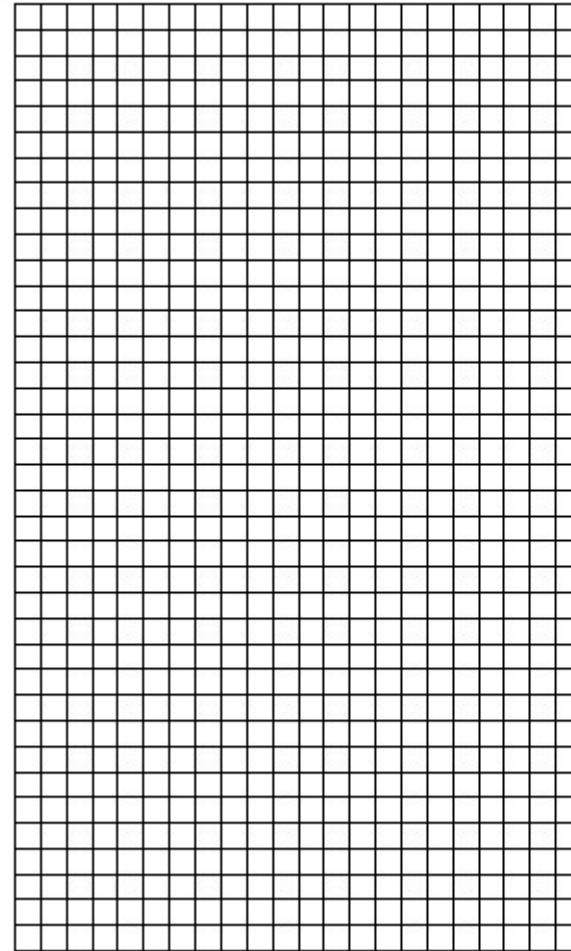
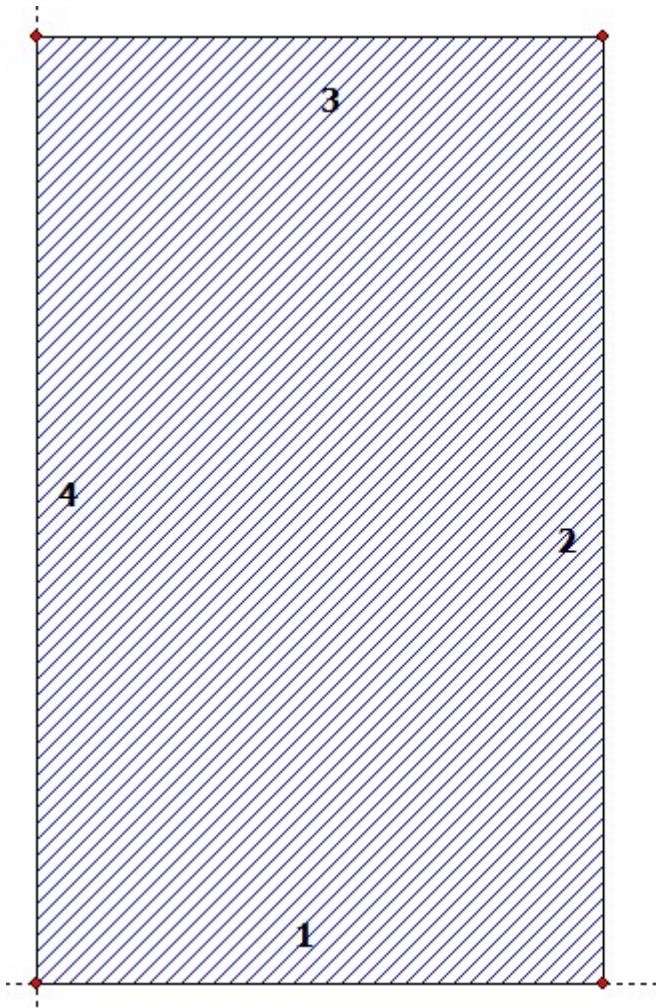
Laskettu taipuma: 2,15 mm

Käyttöaste: 11,9 % **OK**



8 Yhteenveto

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että valittu lasi täyttää kohteen mukaiset vaatimukset ja kestää siihen kohdistuvat kuormat.

SJ MEPLA Calculation protocol:**Geometry:**

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

Project: Laminoitu 66.2 - ULS painekuorma

27.4.2023

Page: 2

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25 °C loading until 3 sec, wind
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	13.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Face loads:**

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	6.00000e-04

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [g = 9.81 m/s²]:

<u> </u> ex <u> </u>	<u> </u> ey <u> </u>	<u> </u> ez <u> </u>
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size : 80.0 mm
Number of elements : 814
Number of nodes : 3375 (per package)
Number of unknown : 30139

Calculation results:

Minimum and maximum displacements w:

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	<u> </u> mm	<u> </u> mm	<u> </u> mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1500.00	5.12 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		<u> </u> mm	<u> </u> mm	<u> </u> N/mm ²	<u> </u> N/mm ²
1	3 (top)	890.78	1500.00	6.91	6.91
	(bottom)	9.22	9.14	2.04	
1	1 (top)	1759.09	9.14	4.52	5.29
	(bottom)	1727.40	9.14	5.29	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M_φ	M_θ
(x / y)		<u> </u> mm	<u> </u> mm	<u> </u> mm	<u> </u> rad	<u> </u> rad	<u> </u> N	<u> </u> N	<u> </u> N	<u> </u> Nmm	<u> </u> Nmm
(0.00 / 0.00)											
1 1		-0.00	-0.08	0.00	-0.0000	-0.0000	-0.00	-832.04	0.00	-0.00	-0.00
(1800.00 / 0.00)											

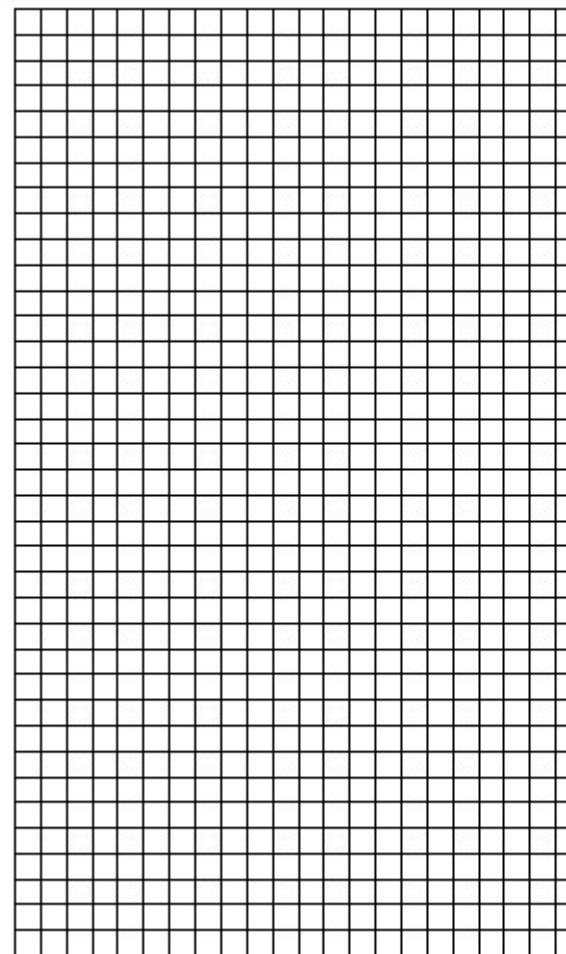
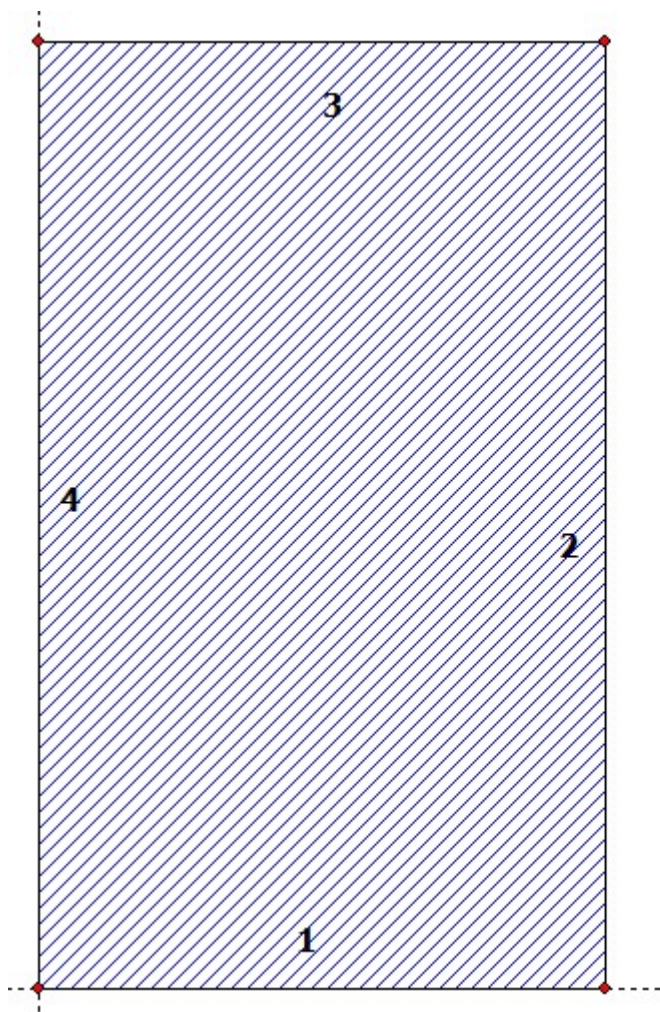
Project: Laminoitu 66.2 - ULS painekuorma

27.4.2023

Page: 4

1	1	0.01	-0.08	0.00	0.0000	-0.0000	0.00	-832.04	0.00	0.00	-0.00
---	---	------	-------	------	--------	---------	------	---------	------	------	-------

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type	Type of supports
1	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25 °C loading until 3 sec, wind
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	13.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Face loads:**

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	4.00000e-04

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]:

<u> </u> ex <u> </u>	<u> </u> ey <u> </u>	<u> </u> ez <u> </u>
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear

static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	:	80.0 mm
Number of elements	:	814
Number of nodes	:	3375 (per package)
Number of unknown	:	30139

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1500.00	3.42 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer		x	y	σ	σ (max)
			mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	3	(top)	890.78	1500.00	4.60	4.60
		(bottom)	1759.09	9.14	1.37	
1	1	(top)	1759.09	9.14	3.82	4.49
		(bottom)	1727.40	9.14	4.49	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(	0.00 /	0.00)									
1	1	0.00	-0.08	0.00	-0.0000	-0.0000	0.00	-832.04	0.00	-0.00	-0.00
(	1800.00 /	0.00)									

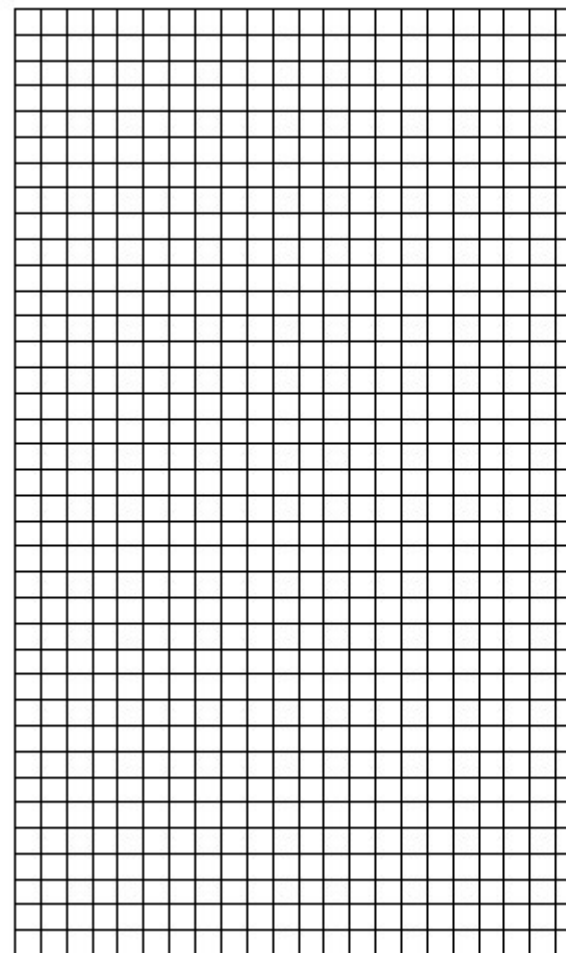
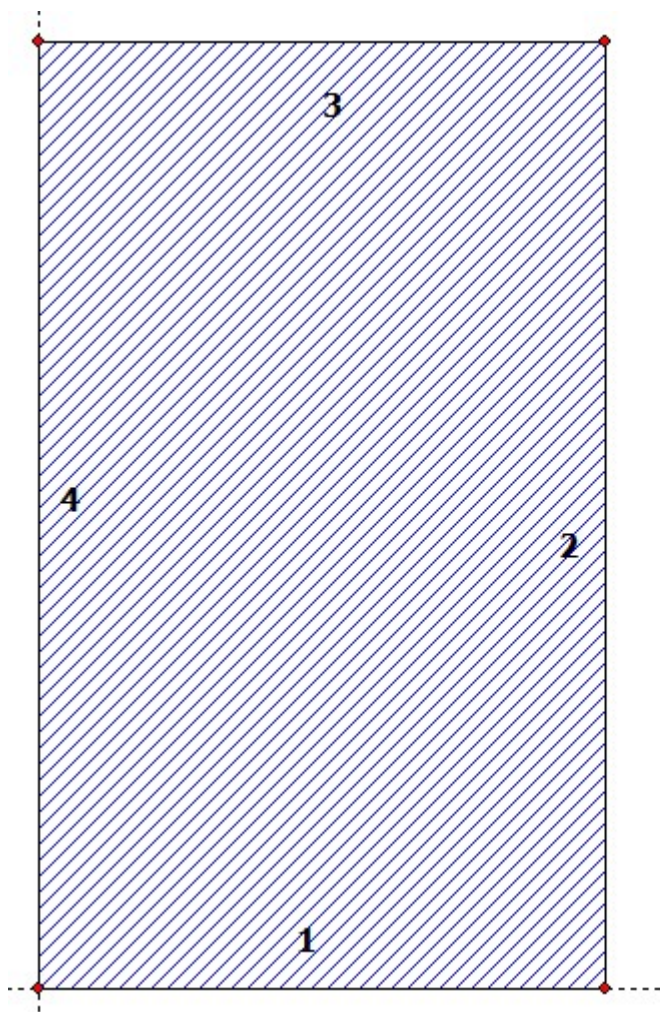
Project: Laminoitu 66.2 - SLS painekuorma

27.4.2023

Page: 4

1	1	0.01	-0.08	0.00	0.0000	-0.0000	0.00	-832.04	0.00	0.00	-0.00
---	---	------	-------	------	--------	---------	------	---------	------	------	-------

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25°C loading until 1 min
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Line loads:**

Package	-- from --	--- to ---	qx	qy	qz
	x	y	x	y	N/mm
1	0.00	1200.00	1800.00	1200.00	0.00
					0.00
					1.50

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure	N/mm ²
1	0.00000e+00	

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 80.0 mm
Number of elements	: 814
Number of nodes	: 3375 (per package)
Number of unknown	: 30139

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1216.22	10.67 (max)

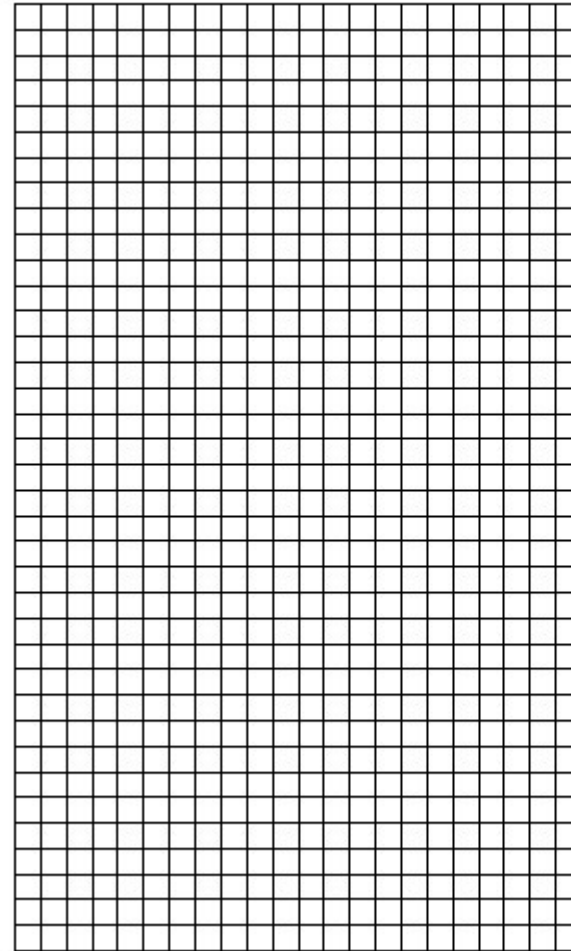
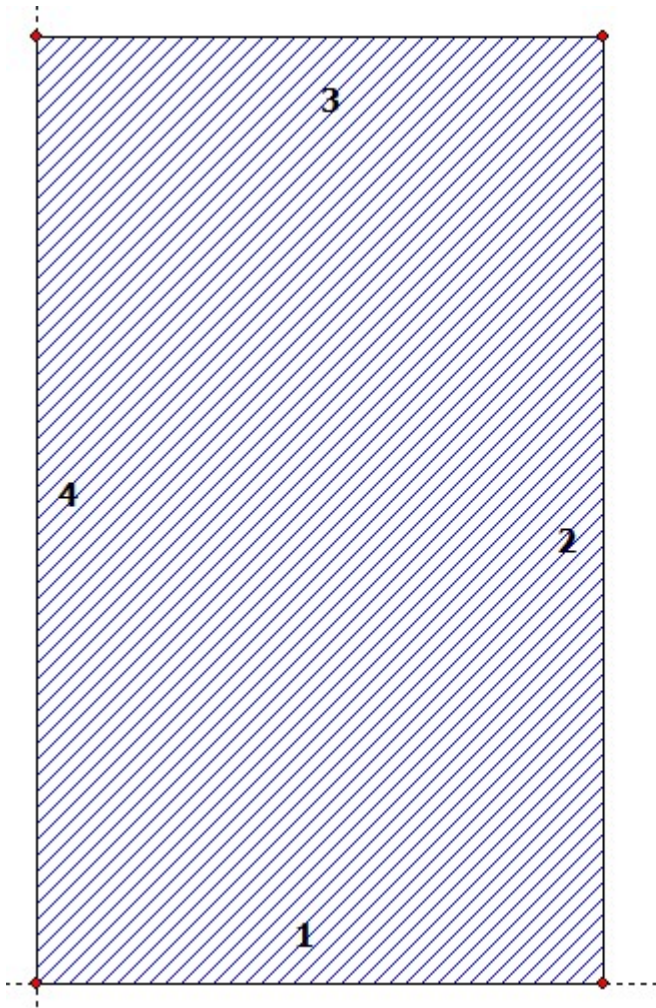
Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	3 (top)	909.22	1207.08	17.22	17.22
	(bottom)	1790.78	982.11	4.09	
1	1 (top)	890.78	1207.08	8.84	8.84
	(bottom)	1727.40	234.11	3.37	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(	0.00 /	0.00)									
1	1	-0.00	-0.00	0.00	-0.0000	-0.0000	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00
(	1800.00 /	0.00)									
1	1	-0.02	0.00	0.00	0.0000	-0.0000	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

Project: Laminoitu 66.2 - SLS kaidekuorma

27.4.2023

Page: 2

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25°C loading until 1 min
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Line loads:**

Package	-- from --	--- to ---	qx	qy	qz		
	x	y	x	y			
			N/mm	N/mm	N/mm		
1	0.00	1200.00	1800.00	1200.00	0.00	0.00	1.00

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure	N/mm ²
1	0.00000e+00	

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 80.0 mm
Number of elements	: 814
Number of nodes	: 3375 (per package)
Number of unknown	: 30139

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

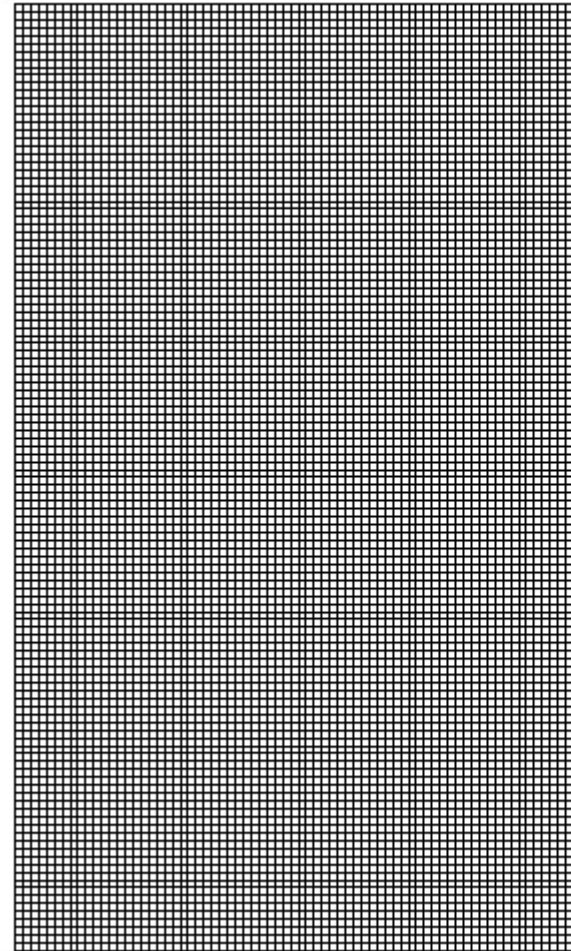
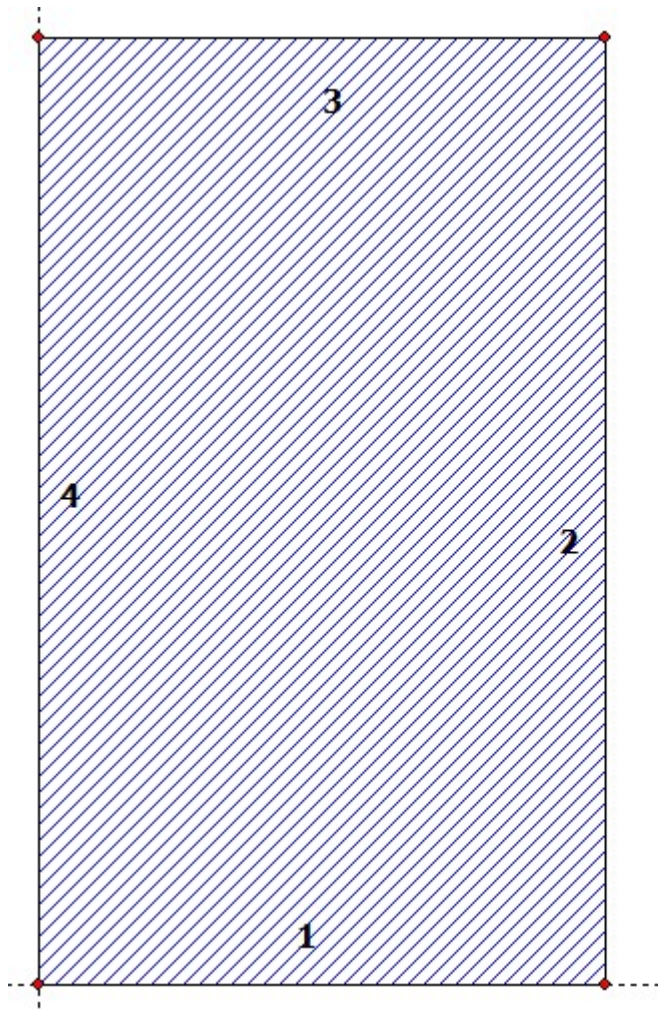
Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1216.22	7.11 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	3 (top)	909.22	1207.08	11.48	11.48
	(bottom)	1790.78	982.11	2.73	
1	1 (top)	909.22	1207.08	5.90	5.90
	(bottom)	1727.40	234.11	2.25	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(	0.00 /	0.00)									
1	1	0.00	0.00	0.00	-0.0000	-0.0000	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00
(	1800.00 /	0.00)									
1	1	-0.01	-0.00	0.00	0.0000	-0.0000	-0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:**Geometry:**

Edge	Borderpoint		Arccenter		Direction of rotation
	mm	mm	mm	mm	+/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25°C loading until 1 min
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	α_t	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Concentrated loads:**

Package	x	y	Fx	Fy	Fz	lx	ly
	mm	mm	N	N	N	mm	mm
1	900.00	1500.00	0.00	0.00	450.00	50.00	50.00

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure	N/mm ²
1	0.00000e+00	

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 25.0 mm
Number of elements	: 8640
Number of nodes	: 34945 (per package)
Number of unknown	: 313737

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1500.00	3.23 (max)

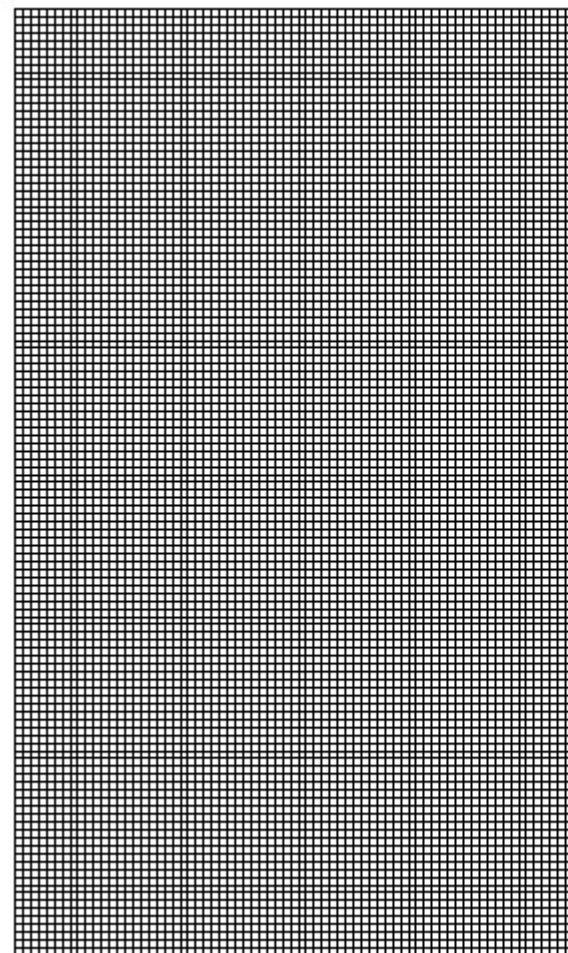
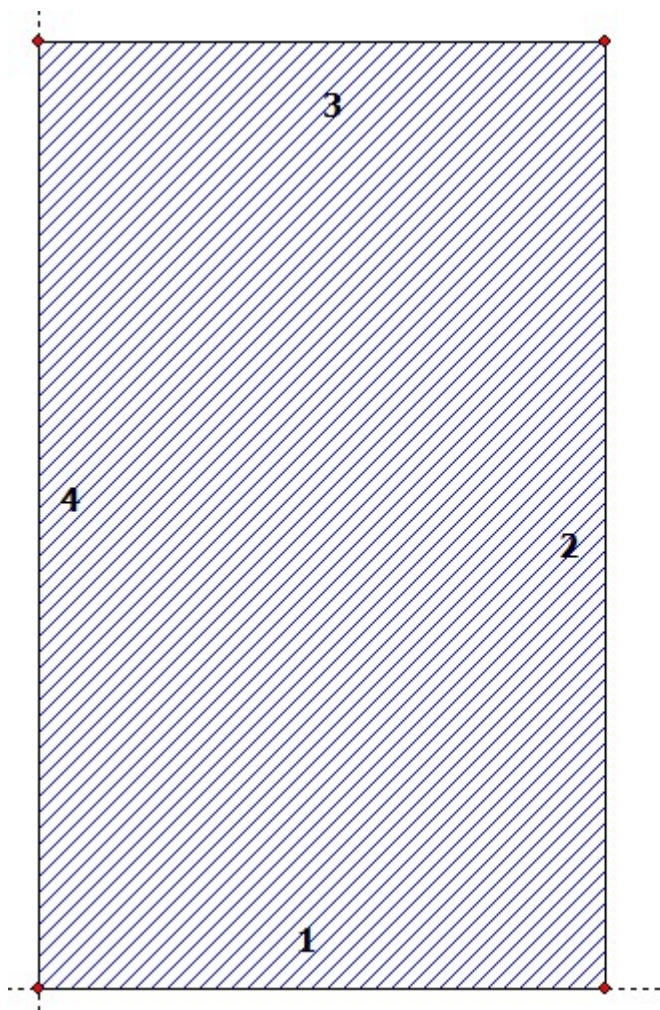
Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	3 (top)	897.18	1502.82	12.70	12.70
	(bottom)	22.18	2037.50	0.67	
1	1 (top)	902.82	1497.18	9.20	9.20
	(bottom)	1777.82	2702.82	0.64	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(	0.00 /	0.00)									
1	1	-0.00	-0.00	0.00	-0.0000	-0.0000	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00
(	1800.00 /	0.00)									
1	1	-0.00	0.00	0.00	0.0000	-0.0000	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1800.00	0.00			

Project: Laminoitu 66.2 - SLS pistekuorma

27.4.2023

Page: 2

3	1800.00	3000.00
4	0.00	3000.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
2	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
4	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1800.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	3	Float glass
1	2	PVB 25°C loading until 1 min
1	1	Float glass

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	3	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00
1	2	3.00	0.50	0.76	1070.00	8.0000e-05	0.00
1	1	70000.00	0.23	6.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Concentrated loads:**

Package	x	y	Fx	Fy	Fz	lx	ly
	mm	mm	N	N	N	mm	mm
1	900.00	1500.00	0.00	0.00	300.00	50.00	50.00

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure	N/mm ²
1	0.00000e+00	

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 25.0 mm
Number of elements	: 8640
Number of nodes	: 34945 (per package)
Number of unknown	: 313737

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	900.00	1500.00	2.15 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	3 (top)	902.82	1497.18	8.46	8.46
	(bottom)	22.18	2037.50	0.45	
1	1 (top)	897.18	1502.82	6.14	6.14
	(bottom)	1777.82	2702.82	0.43	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(	0.00 /	0.00)									
1	1	0.00	0.00	0.00	-0.0000	-0.0000	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00
(	1800.00 /	0.00)									
1	1	-0.00	-0.00	0.00	0.0000	-0.0000	-0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00

Laskentaraportti

Ylä- ja alareunasta tuettu lasiseinä

Esimerkkilaskenta

25.4.2023

Emmi Tuohimaa

Sisältö

Tässä raportissa tarkastellaan kuvitteellisessa kohteessa sijaitsevaa lasiväliseinää.

Lasi on lämpökarkaistua turvalasia ja tuettu ala- ja yläreunastaan alumiiniprofiiliin.

Sisällys

1	YLEISET TIEDOT	5
1.1	Normit ja standardit	5
1.2	Laskentaohjelmisto	5
2	KOHTEEN TIEDOT	5
3	LASIN LÄHTÖTIEDOT	5
3.1	Sijainti kohteessa	5
3.2	Seuraamusluokka	6
3.3	Käyttöturvallisuus	6
3.4	Käyttölämpötilat ja lasin maksimilämpötila	6
3.5	Mitat	6
3.6	Lasin kokoonpano	6
3.7	Pintakäsittely	6
3.8	Reunakäsittely	6
3.9	Tuenta ja profiilit	7
4	KUORMAT JA KUORMITUSYHDISTELMÄT	7
4.1	Kuormat	7
4.1.1	Omapaino	7
4.1.2	Tuulenpaine	7
4.1.3	Kaidekuorma (viivakuorma)	7
4.2	Kuormitusyhdistelmät	7
5	MATERIAALITIEDOT	8
5.1	Lasin materiaaliominaisuudet	8
6	LASIN LUJUUS	8
7	LASKELMAT JA LASKENTATULOKSET	10
7.1	Jännitykset, murtorajatila	10

7.2	Taipuma, käyttörajatila	11
7.3	Kaidekuormat	12
7.3.1	Viivakuorma	12
8	YHTEENVETO	14

1 YLEISET TIEDOT

1.1 Normit ja standardit

SFS-EN 1990

SFS-EN 1991

SFS-EN 16612:2019 *Glass in building. Determination of the lateral load resistance of glass panel by calculation.*

1.2 Laskentaohjelmisto

SJ Mepla 5.0.10, joka on lasilaskentaan tarkoitettu FEM-ohjelmisto.

Laskentaverkon koko 80 mm.

2 KOHTEEN TIEDOT

Kohde: Toimistotalo

Osoite: Esimerkkitie 3

Asiakas: Toimisto Oy

Rakennuksen käyttötarkoitus: Toimistorakennus

3 LASIN LÄHTÖTIEDOT

3.1 Sijainti kohteessa

Sijainnin havainnollistaminen kuvalla.

3.2 Seuraamusluokka

Alempi kuin CC1

3.3 Käyttöturvallisuus

Lasiin on mahdollista törmätä, mutta sen rikkoutuminen ei aiheuta putoamisvaaraa. Lasin korkeus ei ole niin suuri, että sen rikkoutumisen katsottaisiin aiheuttavan sirpaleiden alle jäävän haavoittumisvaaraa.

3.4 Käyttölämpötilat ja lasin maksimilämpötila

Käyttölämpötila 22 °C ja lasin maksimilämpötila 25 °C

3.5 Mitat

Korkeus: 2400 mm

Leveys: 1000 mm

Etäisyys lattiatasosta: 0 mm

3.6 Lasin kokoonpano

Lämpökarkaistu turvalasi 10 mm

3.7 Pintakäsittely

Pintakäsittelemätön

3.8 Reunakäsittely

Kiiltoreunahionta

3.9 Tuenta ja profiilit

Lasi on tuettu ala- ja yläreunastaan alumiiniprofiiliin.

4 KUORMAT JA KUORMITUSYHDISTELMÄT

4.1 Kuormat

4.1.1 Omapaino

Ohjelma laskee automaattisesti lasin oman painon mukaan

4.1.2 Tuulenpaine

$q_{k,paine} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ (SFS-EN 16612:2019 mukainen vähimmäiskuorma)

4.1.3 Kaidekuorma (viivakuorma)

Huom! Kaidekuorman huomiointi ei ole välttämätöntä, koska lasi ei toimi suojaseinämänä, mutta Suomen Tasolasiyhdistys suosittelee mitoittamaan myös törmäysriskilliset lasit viivakuormalle.

$q_{k,kaide} = 0,5 \text{ kN/m}$ (vaikuttaa 1,2 m korkeudella)

4.2 Kuormitusyhdistelmät

1. Murtorajatila (ULS):

$$E_d = 1,1 * G_k + 1,1 * Q_{k,paine}$$

2. Käyttörajatila (SLS):

$$E_k = G_k + Q_{k,paine}$$

3. Kaidekuorma ilman muita kuormia (ULS & SLS):

$$E_d = 1,1 * q_{k,kaide}$$

$$E_d = q_{k,kaide}$$

5 MATERIAALITIEDOT

5.1 Lasin materiaaliominaisuudet

Tiheys $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

Kimmo kerroin $E = 70\,000 \text{ MPa}$

Suppeusmaluku $\mu = 0,23$

6 LASIN LUJUUS

Lämpökäsittelemätön lasi, tuulenpaine:

$k_{mod} = 1,0$	kuormitusajan huomioiva kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 5)
$k_{sp} = 1,0$	pintaprofiilin kerroin (SFS EN-16612:2019 Table 4)
$f_{g;k} = 45 \text{ MPa}$	float-lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;A} = 1,8$	materiaalin osavarmuusluku, käsittelemätön lasi (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)
$k_v = 1,0$	lujituskerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 7)
$f_{b;k} = 120 \text{ MPa}$	lämpökarkaistun lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;v} = 1,2$	materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)

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

$$= \frac{1,0 * 1,0 * 45 \text{ MPa}}{1,8} + \frac{1,0 (120 \text{ MPa} - 45 \text{ MPa})}{1,2} = 87,5 \text{ MPa}$$

Lämpökäsittelemätön lasi, kaidekuormat:

$k_{mod} = 0,89$	kuormitusajan huomioiva kerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 5)
$k_{sp} = 1,0$	pintaprofiilin kerroin (SFS EN-16612:2019 Table 4)
$f_{g;k} = 45 \text{ MPa}$	float-lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;A} = 1,8$	materiaalin osavarmuusluku, käsittelemätön lasi (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)
$k_v = 1,0$	lujituskerroin (SFS EN-16612:2019 taulukko 7)
$f_{b;k} = 120 \text{ MPa}$	lämpökarkaistun lasin karakteristinen lujuus
$\gamma_{M;v} = 1,2$	materiaalin osavarmuusluku, esijännitetty lasi (SFS EN-16612:2019 taulukko 1)

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

$$= \frac{0,89 * 1,0 * 45 \text{ MPa}}{1,8} + \frac{1,0 (120 \text{ MPa} - 45 \text{ MPa})}{1,2} = 84,75 \text{ MPa}$$

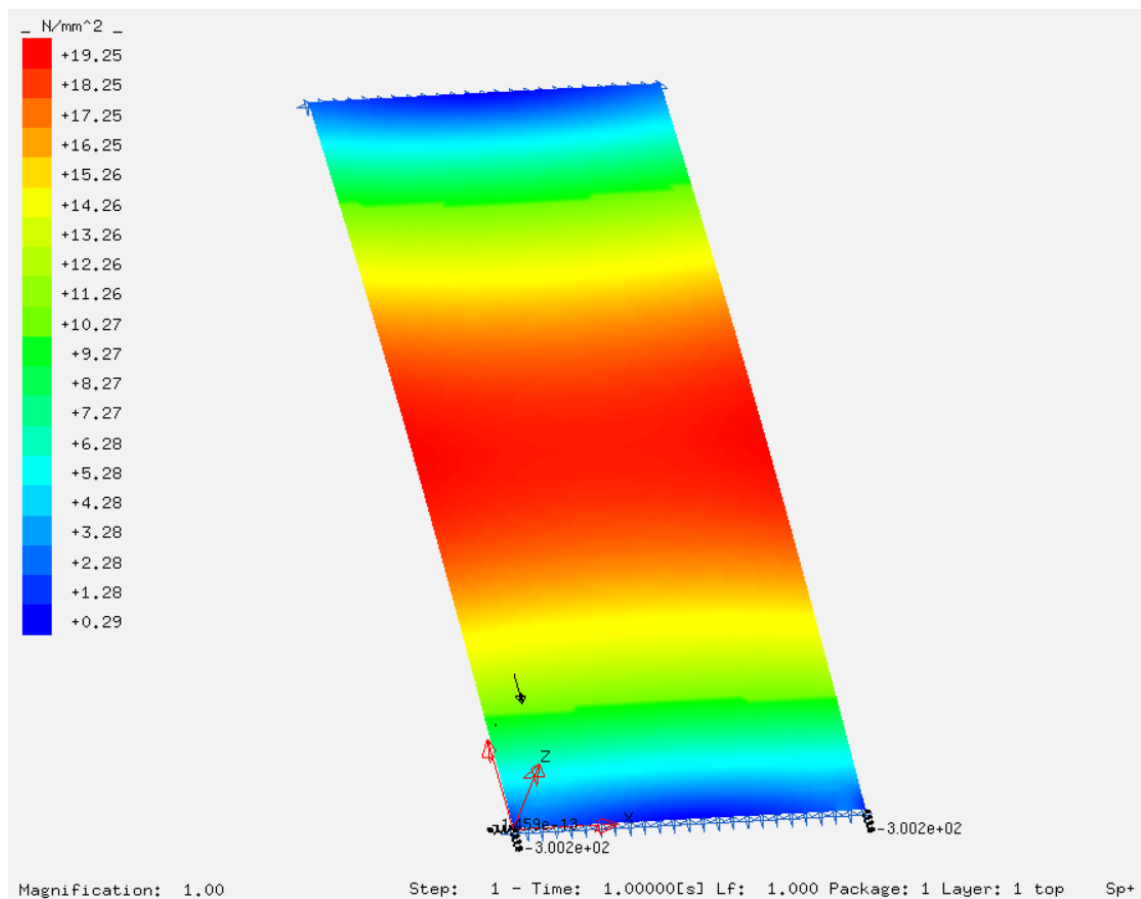
7 LASKELMAT JA LASKENTATULOKSET

7.1 Jännitykset, murtorajatila

Sallittu jännitys: 87,5 MPa

Laskennallinen jännitys: 19,25 MPa

Käyttöaste: 22 % **OK**



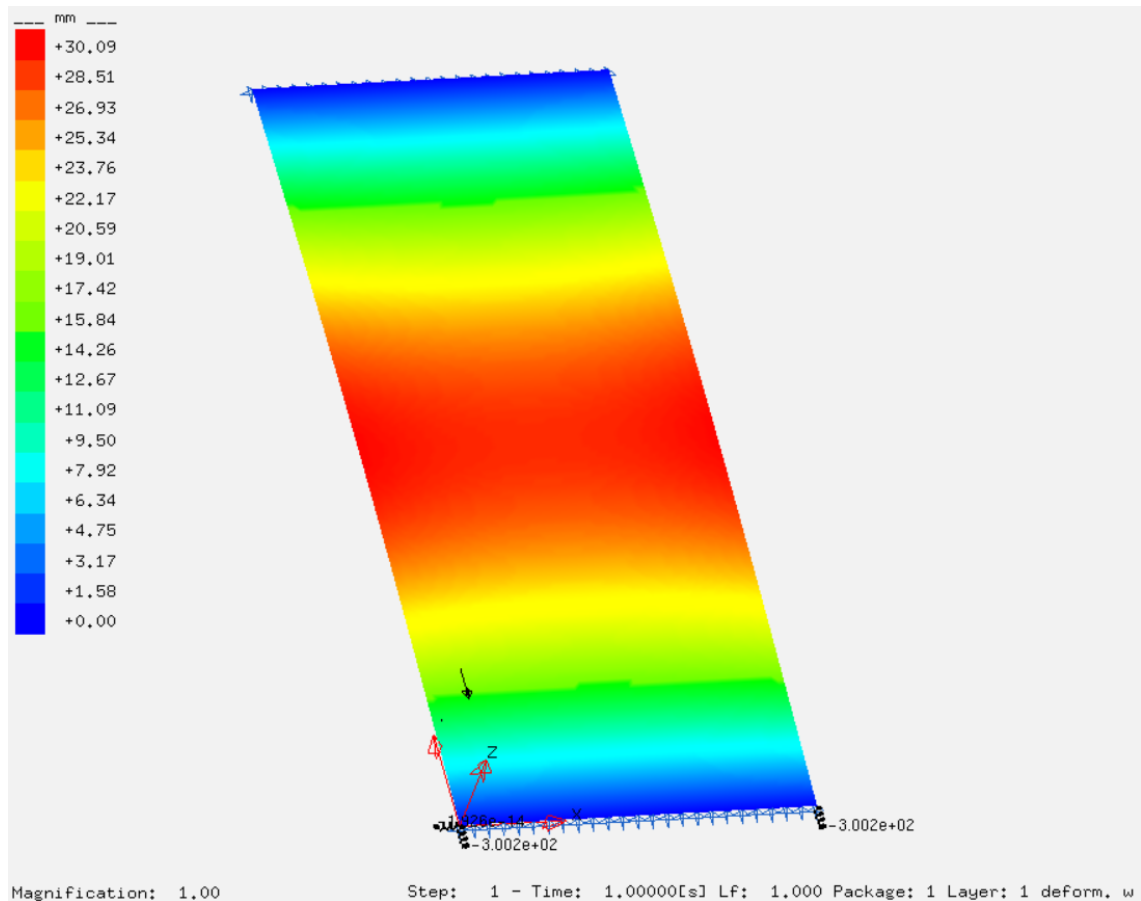
7.2 Taipuma, käyttörajatila

Taipumaraja on pienempi arvoista $L/65$ tai 50 mm, missä L on tukemattoman sivun mitta (tässä käytetään EN 16612:2019 mukaista taipumarajaa, eikä Suomen Tasolasiyhdistyksen tiukempaa $L/100$ tai 25 mm).

Taipumaraja: $2400 \text{ mm}/65 = 36,92 \text{ mm}$

Maksimitaipuma: 30,09 mm

Käyttöaste: 81,5 % **OK**



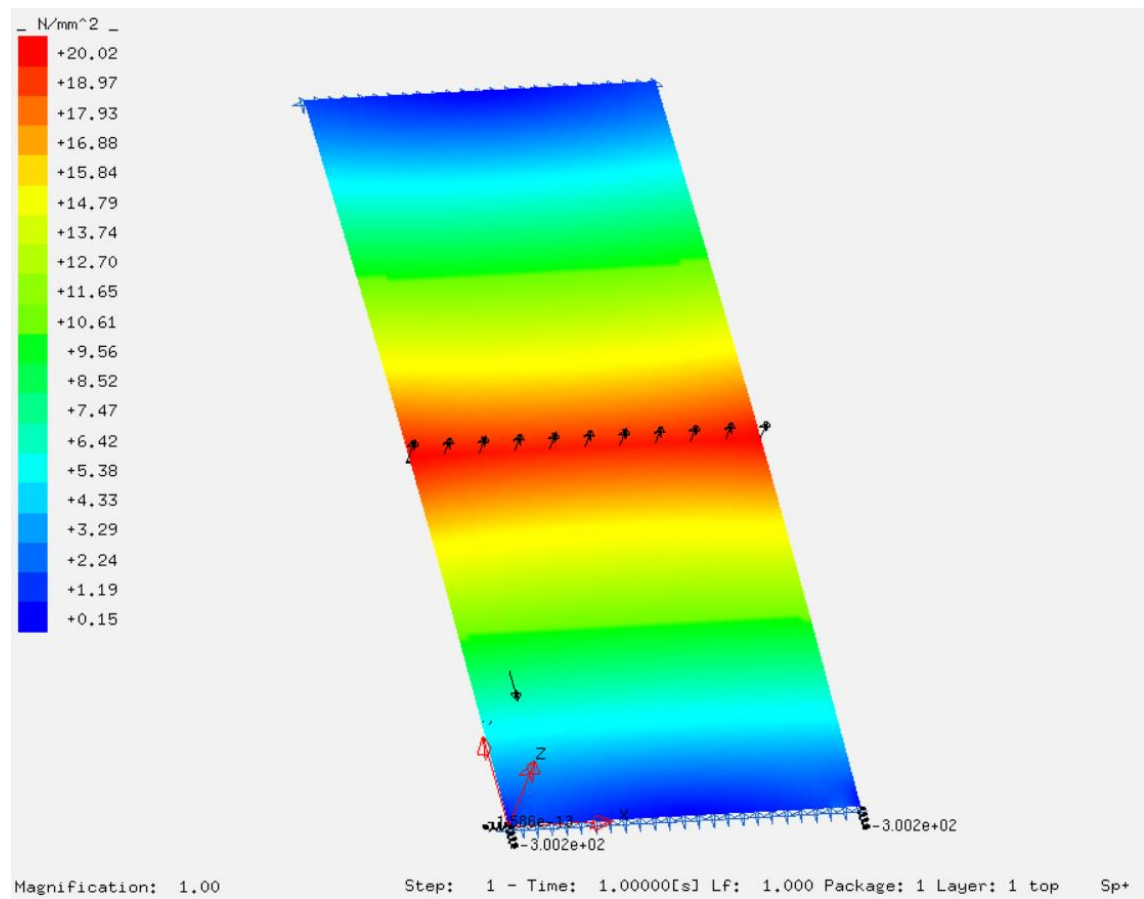
7.3 Kaidekuormat

7.3.1 Viivakuorma

Sallittu jännitys: 84,75 MPa

Laskettu jännitys: 20,02 MPa

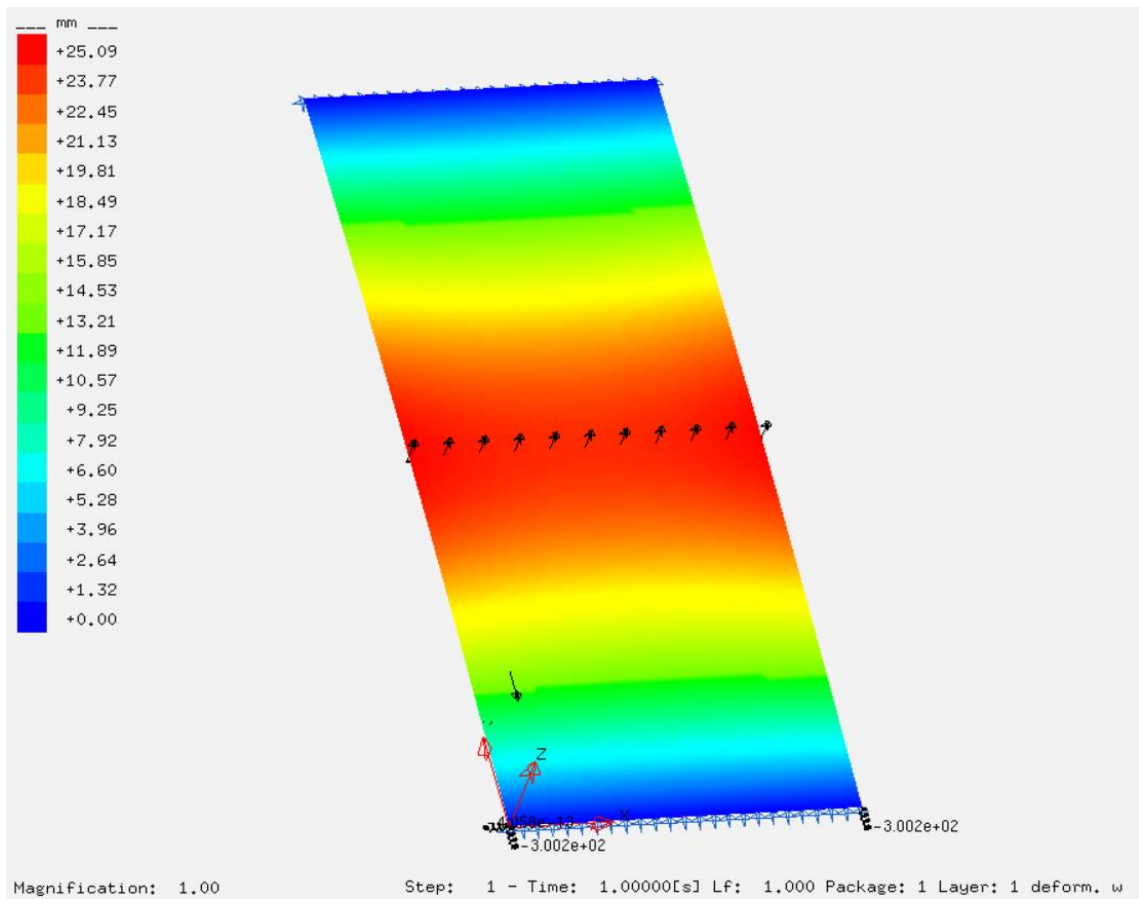
Käyttöaste: 23,6 % **OK**



Sallittu taipuma: $2400 \text{ mm}/65 = 36,92 \text{ mm}$

Laskettu taipuma: 25,09 mm

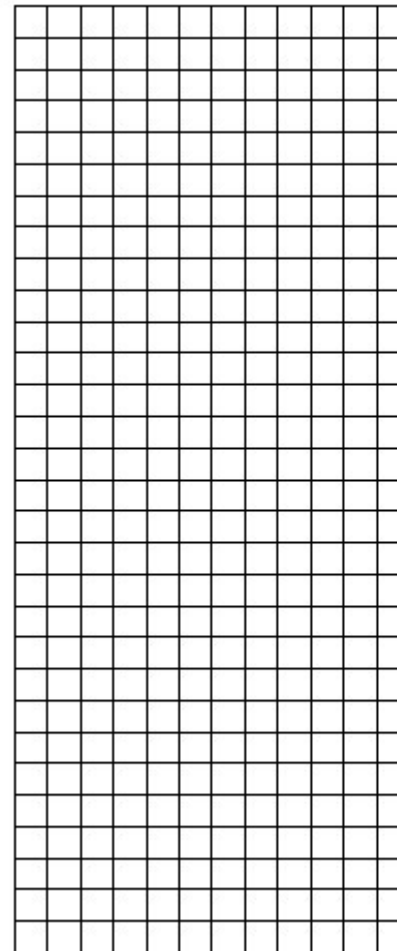
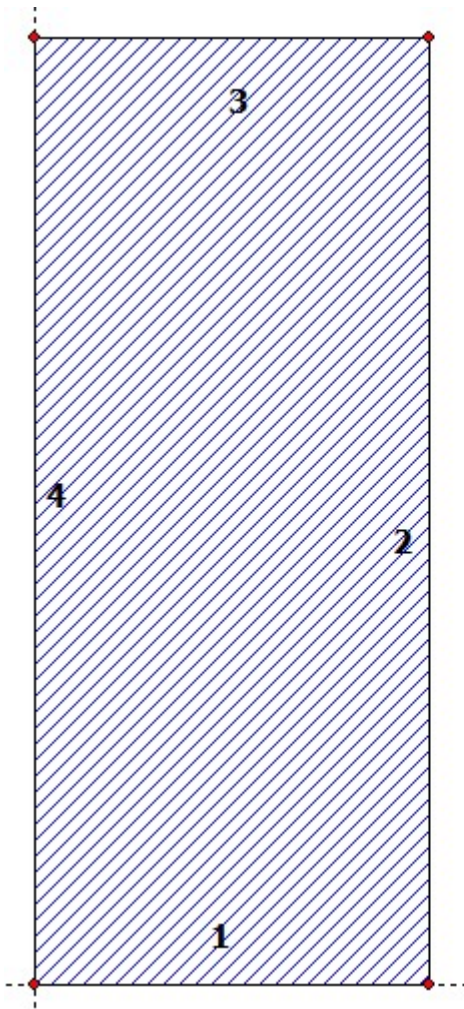
Käyttöaste: 68,0 % **OK**



8 YHTEENVETO

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että valittu lasi täyttää kohteen mukaiset vaatimukset ja kestää siihen kohdistuvat kuormat.

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1000.00	0.00			

3	1000.00	2400.00
4	0.00	2400.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type	Type of supports
1	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1000.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	1	Glass, fully toughened

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Face loads:**

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	4.40000e-04

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [g = 9.81 m/s²):

ex	ey	ez
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size : 80.0 mm
Number of elements : 360
Number of nodes : 1525 (per package)
Number of unknown : 7575

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	1000.00	1200.00	33.10 (max)

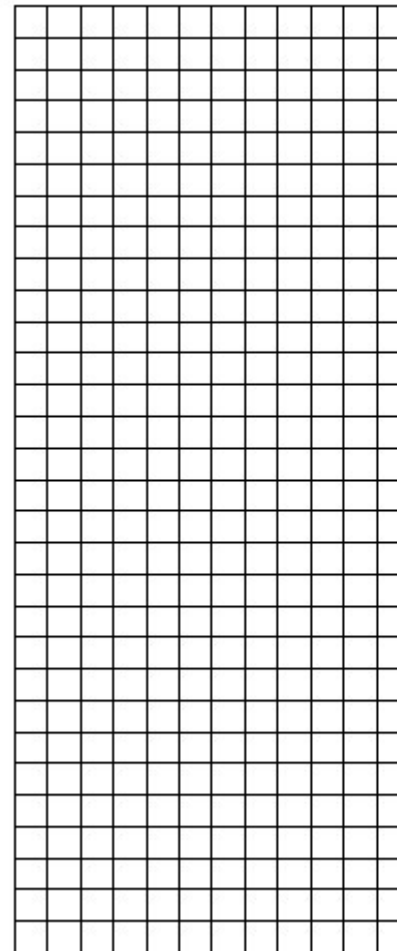
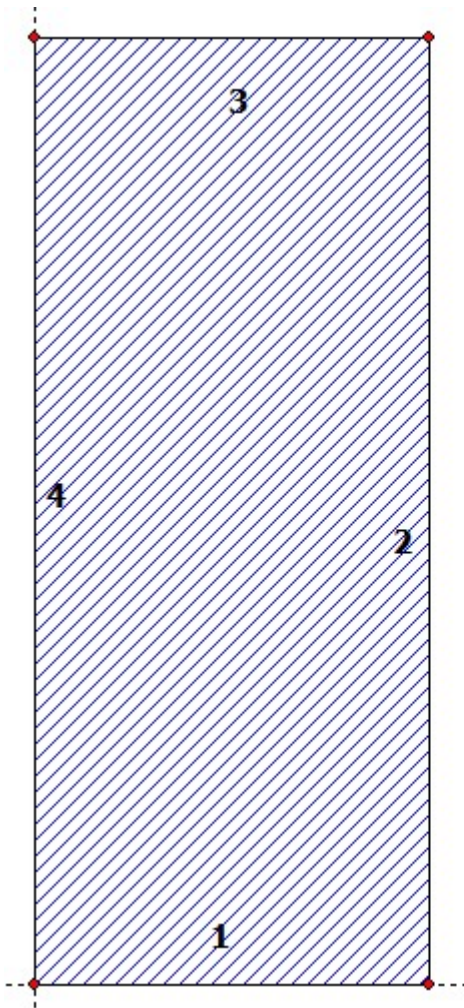
Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	1 (top)	990.61	1209.02	19.25	19.25
	(bottom)	958.33	9.02	2.15	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1	1	-0.00	-0.03	0.00	0.0000	-0.0442	-0.00	-300.19	0.00	0.00	-0.00
(1000.00 / 0.00)											
1	1	0.00	-0.03	0.00	-0.0000	-0.0442	0.00	-300.19	0.00	-0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1000.00	0.00			

3	1000.00	2400.00
4	0.00	2400.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type	Type of supports
1	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v,φ,θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1000.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	1	Glass, fully toughened

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Face loads:**

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	4.00000e-04

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [g = 9.81 m/s²):

ex	ey	ez
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size : 80.0 mm
Number of elements : 360
Number of nodes : 1525 (per package)
Number of unknown : 7575

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	1000.00	1200.00	30.09 (max)

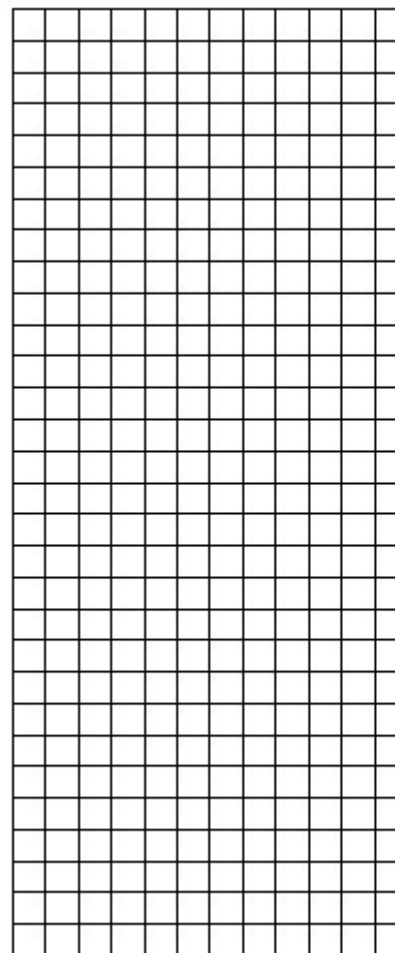
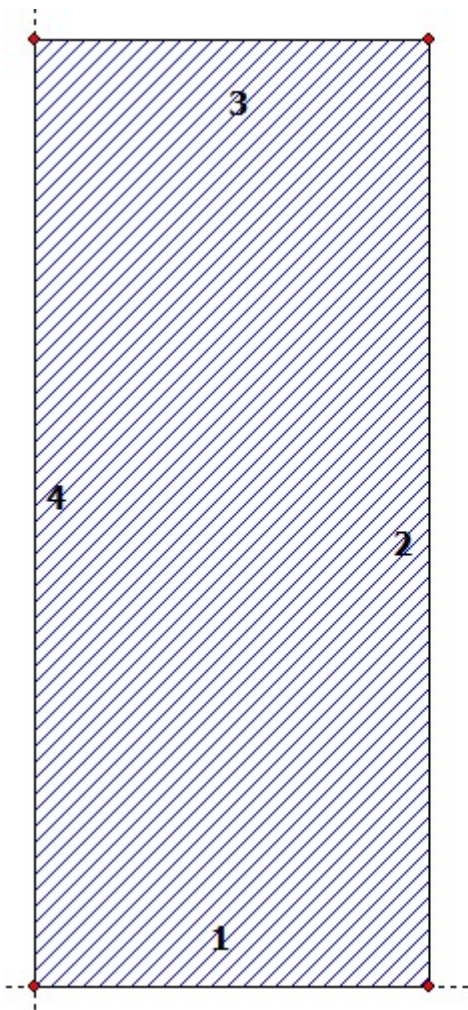
Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	1 (top)	990.61	1209.02	17.50	17.50
	(bottom)	958.33	9.02	1.99	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1	1	-0.00	-0.03	0.00	0.0000	-0.0401	-0.00	-300.19	0.00	0.00	-0.00
(1000.00 / 0.00)											
1	1	0.00	-0.03	0.00	-0.0000	-0.0401	0.00	-300.19	0.00	-0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1000.00	0.00			

3	1000.00	2400.00
4	0.00	2400.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1000.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	1	Glass, fully toughened

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Line loads:**

Package	-- from --	--- to ---	qx	qy	qz
	x	y	x	y	N/mm
1	0.00	1200.00	1000.00	1200.00	0.00
					0.00
					0.55

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	0.00000e+00

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]:

<u>ex</u>	<u>ey</u>	<u>ez</u>
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 80.0 mm
Number of elements	: 360
Number of nodes	: 1525 (per package)
Number of unknown	: 7575

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	1000.00	1200.00	27.60 (max)

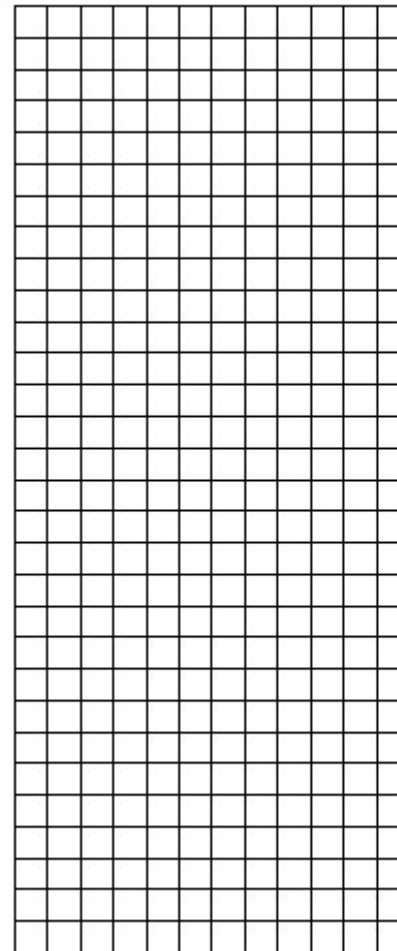
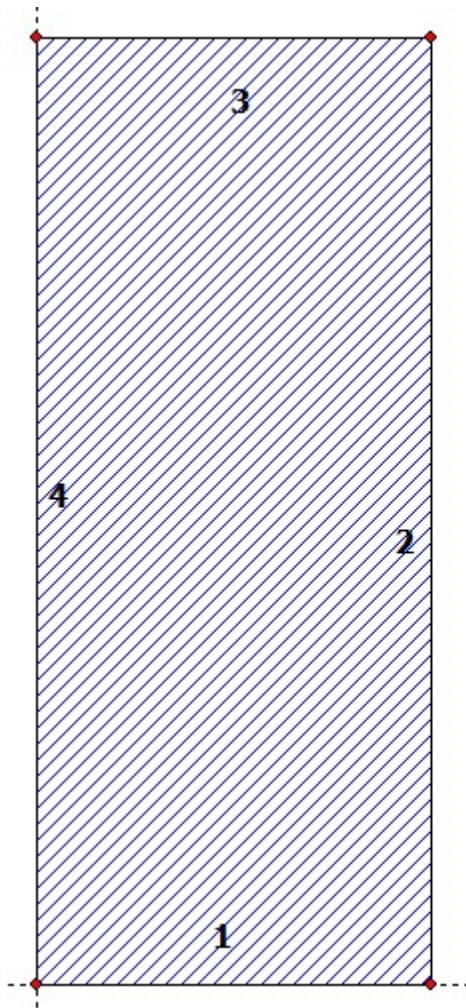
Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	1 (top)	9.39	1209.02	20.02	20.02
	(bottom)	958.33	9.02	1.65	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1	1	-0.00	-0.03	0.00	0.0000	-0.0345	-0.00	-300.19	0.00	0.00	-0.00
(1000.00 / 0.00)											
1	1	0.00	-0.03	0.00	-0.0000	-0.0345	0.00	-300.19	0.00	-0.00	-0.00

SJ MEPLA Calculation protocol:



Geometry:

Edge	Borderpoint mm	mm	Arccenter mm	mm	Direction of rotation +/-
1	0.00	0.00			
2	1000.00	0.00			

3	1000.00	2400.00
4	0.00	2400.00

Supports:**Edge supports:**

Edge	Type of supports	
1	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)
3	w	: fixed - u,v, ϕ , θ : free (simply supported)

Spring supports:

Package	Layer	x	y	z	C_x	C_y	C_z	C_φ	C_θ
		mm	mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	Nmm	Nmm
1	1	0.0	0.0	0.0	1.000e+04	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00
1	1	1000.0	0.0	0.0	0.000e+00	1.000e+04	0.000e+00	0.00e+00	0.00e+00

Layers:**Layer order:**

Package	Layer	Description
1	1	Glass, fully toughened

Mechanical properties:

Package	Layer	E-mod.	ν	Thickness	Density	αt	ΔT
		N/mm ²		mm	kg/m ³	1/K	K
1	1	70000.00	0.23	10.00	2550.00	1.0000e-05	0.00

Loads:**Line loads:**

Package	-- from --	--- to ---	qx	qy	qz
	x	y	x	y	N/mm
1	0.00	1200.00	1000.00	1200.00	0.00
					0.00
					0.50

Face loads:

- constant distributed:

Package	pressure
	N/mm ²
1	0.00000e+00

Dead weight:

Inclination of pane: 90.00° degree

Direction vector of gravity acceleration [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]:

<u>ex</u>	<u>ey</u>	<u>ez</u>
0.00000	-1.00000	0.00000

Calculation approaches:

small deflections, linear
static calculation

Characteristics of the finite element mesh:

Element size	: 80.0 mm
Number of elements	: 360
Number of nodes	: 1525 (per package)
Number of unknown	: 7575

Calculation results:**Minimum and maximum displacements w:**

Package	- Position-		Displacement
	x	y	w
	mm	mm	mm
1	0.00	0.00	0.00 (min)
	1000.00	1200.00	25.09 (max)

Maximum principal stress:

Package	Layer	x	y	σ	σ (max)
		mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	1 (top)	990.61	1209.02	18.20	18.20
	(bottom)	958.33	9.02	1.54	

Springs:

Package	Layer	u	v	w	φ	θ	Fx	Fy	Fz	M _{φ}	M _{θ}
(x / y)		mm	mm	mm	rad	rad	N	N	N	Nmm	Nmm
(0.00 / 0.00)											
1	1	-0.00	-0.03	0.00	0.0000	-0.0313	-0.00	-300.19	0.00	0.00	-0.00
(1000.00 / 0.00)											
1	1	0.00	-0.03	0.00	-0.0000	-0.0313	0.00	-300.19	0.00	-0.00	-0.00

SISÄLASISEINÄN HYVÄKSYNTÄAINEISTON SISÄLTÖ:

1. Yleiset tiedot

- Käytetyt normit ja standardit
- Käytetty laskentaohjelmisto ja sen versio sekä laskentaverkon koko
- Raportin tekijä ja koulutus

2. Kohteen tiedot

- Kohde
- Sijainti
- Asiakas
- Rakennuksen käyttötarkoitus

3. Lasin lähtötiedot

- Sijainti kohteessa
- Käyttöturvallisuus (toimiiko lasi putoamissuojana/voiko siihen törmätä)
- Seuraamusluokka
- Mitat (korkeus, leveys sekä etäisyys lattiatasosta)
- Lasityyppi ja paksuus
- Pintakäsittely
- Reunakäsittely
- Käyttölämpötilat
- Lasin maksimilämpötila
- Tuentatapa
- Profiilit ja niiden kiinnitykset

4. Kuormat ja kuormitusyhdistelmät

Kuormat:

- Oma paino
- Painekuorma
- Viivakuorma (kaidekuorma)
- Pistekuorma
- Muut kuormat

Käytetyt kuormitusyhdistelmät:

- Murtorajatila
- Käyttörajatila
- Kaidekuorma ilman muita kuormia, jos lasi toimii putoamissuojana/kaiteena
- Pistekuorma ilman muita kuormia, jos lasi toimii putoamissuojana/kaiteena

5. Materiaalitiedot

- Lasin materiaaliominaisuudet
- Laminointikalvon materiaaliominaisuudet

6. Lasin lujuus

Lujuuden laskennassa käytetyt parametrit ja kaava:

FLOATLASI:

- reunan lujuuden varmuuskerroin k_e (SFS EN-16612:2019 Table A.5)
- pintaprofiilin kerroin k_{sp} (SFS EN-16612:2019 Table 4)
- lasin karakteristinen lujuus $f_{g;k}$
- materiaalin osavarmuusluku $\gamma_{M;A}$ (SFS EN-16612:2019 Table 1)
- kuormitusajan huomioiva kerroin k_{mod} (SFS EN-16612:2019 Table 5)

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

LÄMPÖKARKAISTU LASI:

- pintaprofiilin kerroin k_{sp} (SFS EN-16612:2019 Table 4)
- lujituskerroin k_v (SFS EN-16612:2019 Table 7)
- lasin karakteristinen lujuus $f_{b;k}$ (SFS EN-16612:2019 Table 6)
- materiaalin osavarmuusluku $\gamma_{M;v}$ (SFS EN-16612:2019 Table 1)
- kuormitusajan huomioiva kerroin k_{mod} (SFS EN-16612:2019 Table 5)

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

7. Laskelmat ja laskentatulokset

- Jännitykset
- Siirtymät
- Käyttöasteet

8. Yhteenveto