



Tasolasirakenteiden mitoituksen nykytilanne

Teksti: Paavo Hassinen ja Niko Lehikoinen

Hallitusti avoimilla lasipinnoilla haetaan rakennuksiin valoa, avoimuutta ja korostetaan rakennusten ulkonäöllisiä piirteitä. Valonläpäisevyyden ja ulkonäkökysymysten ohella mielenkiinto lasirakenteiden teknisiä ominaisuuksia ja käyttäytymistä kohtaan on kasvanut lasikokojen kasvaessa nykyisiin jumbokoon mittoihin. Tarve rakenteiden ominaisuuksien tarkemmasta hallitsemisesta suunnittelun, asentamisen ja käytön aikana koskettaa myös lasirakenteita.

Lujuustekniseen mitoitukseen malleja ja laskentatapoja on kehitetty 80-luvulta lähtien. Tuorein tasolasirakenteille tarkoitettu ohje prEN 16612:2013 on syntynyt CEN TC128 työryhmän käsikirjoituksena vuonna 2013. Tuo käsikirjoitus ei johtanut eurooppalaiseen tuotestandardiin ja käsikirjoitukseksi jääneen standardin käyttö suunnittelutyössä sellaisenaan on hankalaa. Koska käsikirjoitus kuitenkin edustaa Eurokoodeihin perustuvaa hyvää mitoituskäytäntöä, on sen perusteella laadittu ehdotus käyttöohjeksi suomalaisia olosuhteita varten. Äskettäin tapahtunut prEN 16612 hyväksyntä uudelleen CEN työkohteeksi tukee suomalaisen soveltamisohjeen kehittämistä jo tässä vaiheessa. Uuden työohjelman aikana standardin käsikirjoitus saattaa muuttua mutta mitoituksen perusteet ja perusajatukset varmasti pysyvät entisellään. Suomalaisen ohjeen kehitystyössä on tehty useita valintoja ja yksinkertaistuksia, joita voidaan tarkastella uudelleen, kun standardi on julkaisuvaiheessa.

Standardiluonnoksen perusteella kirjoitetulla ohjelmalla on helppo hakea sopivat lasipaksuudet tasaisen kuorman kuormittamalle yksikerrokselliselle lasilaatalle ja kaksi- ja kolmekerroksiselle eristyslaselementille. Standardiluonnos on taivutetuille tasolaselementeille tarkoitettu tuotestandardi. Se ei sisällä ohjeita aksiaalisesti kuormitetuille tai tasonsa suunnassa jäykistävinä rakenteina toimiville lasielementeille. Lasituotteita on markkinoilla suuri määrä. Tuotestandardista on lujustechnisiksi vaihtoehtoisiksi poimittu ohjelmaan float-lasi, lämpölujitettu lasi ja karkaistu lasi. Ohje rajautuu neljältä sivulta tuettujen suorakaiteen muotoisten laattojen mitoitukseen. Ohjeen ja ohjelman toivotaan selkeyttävän tällä hetkellä varsin kirjavaa suomalaista mitoituskäytäntöä. Monimutkaisissa kuormitustapauksissa kuten viiva- tai pistekuormien kuormittamille laatoille tai pistekiinnitetyille laatoille tarvitaan tarkempi mitoitusmalli.

Vuonna 2001 julkaistiin RIL 198-2001 ohje lasirakenteiden mitoituksen ohjeeksi. Tässä ohjeessa kuvataan laattana toimivan 1k-laatan ja 2k eristyslaselementin mitoitusta. Ohjeeseen on koottu lasirakenteen valinnan kannalta kaikki oleelliset ominaisuudet ja näiden ominaisuuksien todentaminen laskennallisesti tai kokeellisesti. Sama ajatus vaatimusten asettamisesta ja ominaisuuksien todentamisesta toimii edelleen. Lasirakenteen kuormien yhdistäminen suoritetaan RIL-ohjeessa ENV-ohjeiden kuvaamalla tavalla, josta syystä RIL-ohje ei ole enää ajantasainen. Muidenkin ominaisuuksien kohdalla vaatimusten asettamisen ja ominaisuuksien todentamisen menettelytavoissa on tapahtunut muutoksia.

Uudessa prEN 16612:2013(E) käsikirjoituksessa kuormien yhdistäminen suoritetaan muiden kantavien rakenteiden tapaan EN 1990 ohjeen periaatteiden mukaisesti. Lasilaatan lasin taivutuslujuuden mitoitusarvon määrittämislausekkeet on päivitetty. Teknisiä lisäyksiä ovat lausekkeet 3k eristyslaselementeille. Muutaman vuoden kuluttua valmistuvat lasirakenteiden Eurokoodit ovat kuormien määrittämisen suhteen yhtenevät tämän tasolasirakenteiden tuotestandardin kanssa.

Yksittäisiä lasikerroksia laminoidaan yhteen lasirakenteen taivutuskestävyyden ja taivutusjäykkyyden lisäämiseksi. Laminoitu lasilaatta jää rikkoutuessaan roikkumaan kalvon tavoin, mikä lisää laminoidun lasirakenteen turvallisuutta rikkoutumisen jälkeisessä tilanteessa. Laminointikalvojen mekaaniset ominaisuudet ovat pienempiä kuin lasin ominaisuudet. Lasilaatan taivutusjäykkyyttä ja taivutuskestävyyttä ei tämän vuoksi voi arvioida laminoidun lasilaatan kokonaispaksuuden perusteella.

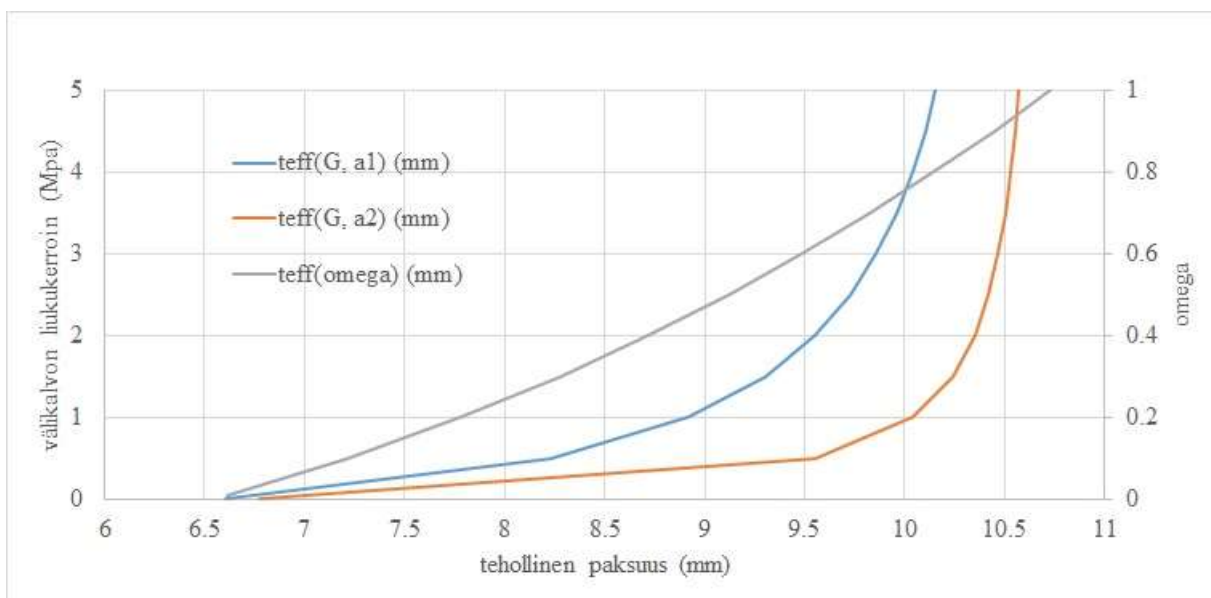
Laminoitu lasilaatta on rakenteellisesti kerroksellinen palkki tai laatta. Lasikerrokset edustavat jäykkiä pintakerroksia ja laminointikalvot joustavia ydinkerroksia. Kerroksellisen palkin mallin avulla voidaan johtaa lausekkeitä laminoidun lasilaatan taipumalle ja lasikerrosten taivutusjäännityksille. Suunnittelutyötä varten kerroksellisen palkin mallin avulla on rakennettu lausekkeitä laminoidun lasilaatan tehollisille paksuuksille. Tehollisella paksuudella tarkoitetaan paksuutta, joka tuottaa riittävällä tarkkuudella oikean taipuman ja oikean jäännitysjakautuman lasikerrokseen ottaen huomioon elastisen välikalvon leikkausmuodonmuutokset. Tehollisen paksuuden lausekkeet johdetaan tavallisesti palkin mallin avulla. Laatan lasikerrosten käyttäytymiseen vaikuttaa laminointikalvon leikkausmuodonmuutos kahdessa suunnassa. Vääntöjäykkyys on oleellinen parametri kiepahdusriskin alaisille lasipalkeille ja pilareille. Palkkimallien tuottamien tehollisten paksuuksien kelvollisuutta kuvaamaan laatan ja aksiaalisesti kuormitettujen nurjahdus- ja kiepahdusriskin alaisten rakenteiden laskemiseen selvitetään.

PrEN16612:2013 luonnoksessa laminointikalvon vaikutusta kuvataan ω -kertoimella, joka saa arvoja nollan ja ykkösen välillä. Nolla-arvo vastaa erillisinä toimivista lasikerroksista koostuvan laminoidun lasilaatan toimintaa. Ykkösen suuruinen ω -arvo kuvaa täydellistä kiinnitystä

lasikerrosten välillä. ω -arvoon vaikuttavat laminointikalvon mekaaniset ominaisuudet, lämpötila, kuormitusaika ja lasilaatan mitat ja mittasuhteet. ω ei suoraan ole jokin yksittäinen fysikaalinen suure vaan yhdistetty parametri.

Laminoidun lasilaatan käyttäytymistä voidaan arvioida mallintamalla lasikerrokset elementtimenetelmällä. Käytännön mitoitusyöhön elementtimallit ovat raskaita. Elementtimalleilla voidaan tarkistaa valmiin tai valmiiksi suunnitellun rakenteen käyttäytymistä. Ehkäpä tulevaisuudessa nämä mallit sopivat myös mitoituslaskelmien tekemiseen.

Rakennemallien luotettavuus riippuu laminointikalvon ominaisuuksien kuvaustarkkuudesta. Markkinoilla on erilaisia tuotteita, joiden ominaisuudet vaihtelevat. Tyypillisesti mekaaniset ominaisuudet riippuvat kuormitusajasta ja lämpötilasta. Oikean kimmo- ja liukukertoimen löytäminen kalvon kuvaamiseen on yksi haaste laminoitujen lasilaattojen mitoituksessa. Tarvitaan luotettavia koemenetelmiä kalvojen kimmoisten ominaisuuksien määrittämiseen. Tärkeissä kohteissa voidaan varioida laminointikalvon kimmoisia ominaisuuksia ja hakea sillä tavalla turvallinen vaurionsietokyky omaava kokoonpano lasirakenteelle.



Laminointikalvon jäykkyyden vaikutus 6+4 mm lasikerroksista laminoidun lasilaatan 64.2 teholliseen paksuuteen;

- tehollinen paksuus, kun $\omega = 0 \dots 1.0$
- tehollinen paksuus, kun liukukerroin $G = 0 \dots 5$ MPa ja pienin sivumitta $a = 1$ m,
- tehollinen paksuus, kun liukukerroin $G = 0 \dots 5$ MPa ja pienin sivumitta $a = 2$ m.