



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

TERÄSRUNKOISET VALOKATOT

Niko Flink

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Rakennetekniikka

FLINK, NIKO:
Teräsrunkoiset valokatot

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2018

Opinnäytetyö tehtiin Sitowise Oy:lle. Valokattoja on käytetty jo vuosia tuomassa valoa rakennuksiin. Näistä ei kuitenkaan ole saatavilla kirjallisuutta, jonka avulla suunnittelija pystyisi tutustumaan valokattojen erityispiirteisiin. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda kirjallisuus selvitys, jonka avulla suunnittelijalla on mahdollisuus tutustua valokattorakenteisiin. Tämä opinnäytetyö on rajattu käsittelemään teräsrunkoisia valokattoja ja niissä käytettäviä alumiini osia.

Työssä käsitellään katoissa tyypillisiä rakenneratkaisuja toteutuneiden kohteiden avulla. Kohteita käydään läpi kuvien ja tekstien avulla. Työ käsittelee tyypillisiä järjestelmiä ja valokattojen tyypillisiä materiaaleja. Työssä käsitellään myös materiaalien mitoitukseen liittyviä seikkoja. Liittymien osalta työ esittelee niiden peruseräaatteet ja rakennefysiikkaaliset asiat.

Käsiteltyjen aineistojen perusteella oli havaittavissa, että valokattojen suunnitteluun ei ole olemassa selkeitä ohjeita. Suunnittelu perustuu vahvasti kokemuseräiseen tietoon, jota ei kirjoitettuna ole saatavilla. Työssä käsitellyn aineiston avulla koottiin kokonaisuus, jonka avulla suunnittelija pystyy tutustumaan valokattojen erityispiirteisiin. Opinnäytetyön lopputuloksena luodun kirjallisuus selvitykseen tutustumalla saa yleiskuvan valokattoista ja niiden erityispiirteistä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Civil Engineering
Structural Engineering

FLINK, NIKO:
Steel framed light roofs

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 0 pages
May 2018

This thesis was made for Sitowise Oy. Light roofs have been used for years to bring light to buildings. However there are no instructions available that gives the designer information about special features of the structural components. This study examines steel framed light roofs.

At the beginning of this study typical light roof structural solution was presented by actual structures. Structures were presented with pictures and texts. Typical systems and materials used in light roofs are analysed in this study, and review of measurement related facts is also included. Moreover, an introduction is offered on the basic principles and building physics of the joints.

Based on the materials analyzed in the thesis, a compact information package was created which makes it easy for the designer to become familiar with the special features of this building structure. This study gives an overview of light roofs and issues to be taken into account in design.

Key words: light roof, steel frame, design, glass

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VALOKATOT	6
2.1	Yleisesti	6
2.2	Rakeneratkaisut.....	7
2.2.1	Harjakatot ja pulpettikatto.....	8
2.2.2	Kaarikatot.....	10
2.3	Lasitusjärjestelmät	12
2.3.1	Pintalista järjestelmä	13
2.3.2	Pintalistaton järjestelmä SG.....	14
2.3.3	Pistekiinnitysjärjestelmä	16
2.4	Huoltojärjestelmät.....	18
2.5	Materiaalit	20
2.5.1	Lasi.....	21
2.5.2	Teräs.....	23
3	MITOITUS.....	25
3.1	Perusteet.....	25
3.2	Kuormien määrittäminen	26
3.3	Teräsrungon mitoitus	28
3.3.1	Teräsrungon jäykistys	30
3.4	Lasin mitoitus	32
3.4.1	Laminoitu lasi	33
3.4.2	Lineaarisiin laattamalleihin perustuva mitoitus	35
4	LIITTYMÄT JA LIITTYVÄT RAKENTEET	37
4.1	Liittymät.....	37
4.1.1	Valokaton seinä- ja harjaliitoksia.....	37
4.1.2	Valokaton liittyminen teräsrunkoon.....	41
4.1.3	Liittymät räystääseen	43
4.2	Liikuntasaumat.....	44
4.3	Rakennefysikaalinen tarkastelu	47
4.3.1	Vesitiiveys.....	47
4.3.2	Höyry- ja ilmatiiveys.....	48
4.3.3	Kondensoituminen	49
4.3.4	Lämmönsiirtyminen	50
5	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET.....	53

1 JOHDANTO

Lasia on käytetty rakentamisessa jo vuosisatoja. Lasin ominaisuuksia on opittu käyttämään ja hyödyntämään vuosien varrella. Se toimii julkisivuissa ja katoissa kuin myös tilan-jakajana sisätiloissa. Lasin ansiosta sillä saadaan tasaisia, valoa läpäiseviä ja ohuita rakenneosia.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään teräsrunkoisten valokattojen suunnittelua ja perehdytään niissä käytettäviin alumiini- ja lasiosiin. Tarkoituksena on luoda kokonaisuus, jonka avulla suunnittelija voi perehtyä ja tutustua valokattojen suunnitteluun. Työssä esitellään tyypillisiä rakenneratkaisuja toteutettujen rakenteiden osalta. Lisäksi työssä käydään läpi rakenteisiin liittyviä erityispiirteitä ja huomioitavia asioita erityyppisissä asioissa, kuten rakenteiden mitoituksessa, liittyvissä rakenteissa, liittymä detaljeissa ja rakennusfysikaalisissa asioissa. Työssä esitellään ratkaisuja kuvien ja selventävien tekstien avulla.

Suomen haastavat sääolosuhteet aiheuttavat suuria rasituksia katoille. Tästä syystä valokatoissa on mahdollista havaita vuotoja tai lasien rikkoutumista. Nämä rikkoutumiset ja vuodot voivat olla seurausta suunnitteluvirheestä tai huolimattomasta toteutuksesta. Valokattojen huollettavuus on myös huomioitava jo suunnitteluvaiheessa. Tässä työssä pyritään löytämään toimivia ratkaisuja toteutetuista rakenneratkaisuista ja hyödyntämään niiden parhaat puolet. Lisäksi tutkitaan katoissa esiintyviä ongelmakohtia ja tutkitaan niiden syitä.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyvän kokonaisuuden avulla, arkkitehti ja rakennesuunnittelija voivat tutustua jo suunnittelun alkuvaiheissa valokatoissa esiintyviin ratkaisuihin ja erityispiirteisiin.

2 VALOKATOT

2.1 Yleisesti

Valokatto on nimensä mukaan valo läpäisevä rakenneosa. Niiden avulla, tiloihin voidaan tuoda paljon luonnonvaloa. Valokatot ovat yleisiä liike- ja julkisissa rakennuksissa. Pääasiassa katot ovat kiinteitä, mutta niihin voidaan asentaa myös avattavia tuuletus-, savunpoisto- tai huoltoluukkuja. Lisäksi on tyypillistä, että katoista löytyy ulko- ja sisäpuolisia huoltosilloja.

Valokatto tarvitsee alustakseen suoran kiinnityspinnan ja tyypillisesti käytetään alumiiniprofiileita. Valokatot ovat lyhyillä jänneväleillä itsekantavia rakenteita, jolloin sen oma alumiiniprofiili toimii rakenteen kantavana osana. Suuremmissa pinta-aloissa ja jänneväleissä ne tarvitsevat vahvemman kantavan rakenteen. Kantavana rakenteena voidaan käyttää teräsristikoita tai -palkkeja, joiden päälle alumiini valokattojärjestelmä voidaan asentaa. Valokattojen kantavan rungon materiaalina on myös mahdollista käyttää puuta.

Katot voivat arkkitehtonisesti olla hyvin monimuotoisia. Alumiinin ja lasin ominaisuudet tarjoavat arkkitehdeille lähes vapaat kädet muotojen suhteen. Monelta valokattojärjestelmistä tarjoavilta yrityksiltä löytyy valmiit työkalut ja ohjeistukset kattojen alustavaan suunnitteluun. Yleisimmille kattotyypeille kuten pulpetti- ja harjakatoille löytyy valmistajilta valmiita kuvaajia, joista on mahdollista valita alumiiniprofiilin koko esim. lumikuorman, kuormitusvälin ja jännevälin perusteella. Tyypillisesti näillä kuvaajilla voidaan kuitenkin tarkastella vain lyhyitä jännevälejä. Näin ollen jokaisessa kohteessa on rakennesuunnittelijan kuitenkin tarkistettava rakenteiden mitoitus ja toimivuus.

Valokatoissa on monia rakenteellisia riskikohtia, joita rakennesuunnittelijan on otettava huomioon. Materiaalien lämpöliikkeet, rakenteiden rasitukset, liittymät ja liikuntasaumat ovat tärkeitä suunnittelun kannalta. Suurimmat ongelmat syntyvät yleisesti näillä osa-alueilla. Lasin ympärillä olevissa ja kannattelevissa rakenteissa esiintyy lämpöliikettä, joka hallitsemattomana aiheuttaa lasilevyjen vaurioitumisen. Näin ollen rakennesuunnittelijan on huomioitava valokattojärjestelmien ja kantavien rakenteiden riittävät liikuntasaumat ja näiden toimivuus.

Suurimpia valokattojärjestelmien valmistajia Suomessa ovat Schuco Finland Oy, Purso Oy ja Sapa järjestelmän omistava Norsk Hydro ASA. Maailmalta löytyy myös muita valokattojärjestelmien valmistajia, mutta tässä työssä keskitytään Suomen markkinoilla toimiviin järjestelmiin. Järjestelmien valmistajat tarjoavat myös apua suunnitteluun ja rakennesuunnittelijan tulisi olla jo suunnittelun alkuvaiheessa yhteydessä järjestelmän valmistajaan.

Valokattorakenteen suunnittelussa on otettava huomioon myös rakennuksen käyttöturvallisuus. Rakenteet on suunniteltava niin, ettei lasin rikkoutuminen aiheuta henkilöille putoamisvaraa tai sirpaleiden putoaminen alle jäävän haavoittumisvaraa. Lasirakenteiden ja rakenteen kiinnikkeiden on kestettävä siihen tavanomaisesti kohdistuva kuormitus. Kuormitusten määrittely ja yhdistely vaatii suunnittelijalta huolellisuutta, jotta rakenteeseen kohdistuvat rasitukset saadaan selvitettyä mahdollisimman tarkasti. (YM Rakennusten käyttöturvallisuudesta, Luku 3 10§ Lasirakenteet)

2.2 Rakeneratkaisut

Tässä kappaleessa käsitellään Suomessa toteutettuja kohteita ja esitellään niiden toimintaa ja ratkaisuja kuvien ja tekstien avulla.

Valokatto rakenteen tarkoituksena on tuoda valoa ja avaruutta tilaan. Tästä johtuen niiden kantavien rakenteiden tulee olla hoikkia ja huomaamattomia. Tämä asia voi myös mahdollisesti hankaloittaa rakennesuunnittelua. Kokonaisuutta suunniteltaessa on rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin syytä toimia tiiviissä yhteistyössä, toimivimman kokonaisuuden saavuttamiseksi.

Lisäksi kattorakenteiden stabiliteetin varmistaminen vaatii yleensä tarkempaa tarkastelua. Rakenteen jäykistämässä ei voida käyttää normaaleja menetelmiä, kuten jäykistys ristikoita lähinnä niiden massiivisuuden ja esteettisyyden vuoksi. Rakenteen hoikkuus aiheuttaa ongelmia etenkin, jos rakenneosa on puristettu. Tällöin rakenneosan kestävyys kannalta määrääväksi tekijäksi muodostuu sen nurjahdus herkkyyys. Teräsrungon mitoitukseen ja siinä huomionarvoisiin asioihin perehdytään tarkemmin myöhemmissä kappaleissa.

2.2.1 Harjakatot ja pulpettikatto

Tyypillisiä kattorakenne ratkaisuja ovat harja- ja pulpettikatot. Näiden kattojen käyttö on yleistä suomalaisessa rakentamisessa ja ne soveltuvat mainiosti käytettäväksi myös valokatoissa. Kuvassa 1 on esitetty Espoon Sellon kauppakeskuksessa oleva harjakattoinen valokattorakenne. Kantava rakenne on toteutettu vetotangoilla ja puristussauvoilla tuetulla pääkannattajalla, jonka osina on käytetty I-profiileja (1.) ja Deha Detan järjestelmän veto ja puristussauvoja (2).



KUVA 1. Harjakattoinen valokatto kauppakeskus Sello (Flink 2018)

I-profiiliteräksillä, puristus- ja vetotangoilla on saavutettu huomattavasti kevyempi ja hoi-
kempi rakenneratkaisu kuin perinteisiä kattoristikoida käytettäessä. Tällä ratkaisulla saa-
vutettu rakenteen avaruus ja valoisuus toimivat arkkitehtonisesti paremmin kuin raskai-
den teräsristikoiden kanssa. Tässä harjakatossa rakenteen liikuntasumat on sijoitettu ra-
kenteen reunoille. Liikuntasumat on toteutettu toiselle puolella lapetta pendeleiden
avulla. Pendeleiden toimintaperiaate esitellään myöhemmissä kappaleissa. Suunnitelta-
essa valokatto rakennetta on ensiarvoisen tärkeää muodostaa kantavasta rakenteesta tai

sen osasta mahdollisimman tarkka rakennemalli. Tarkalla mallilla päästään käsiksi rakenteen toimintaan ja sen osissa vaikuttaviin rasituksiin. Mallissa olisi hyvä huomioida myös mahdollisten talotekniikoiden vaatimat läpiviennit ja niiden vaikutukset rakenteen kestävyteen.

Kuvassa 2 on esitetty TYKS;in T-sairaalan aulassa sijaitseva pulpettikatto. Kattorakenne on toteutettu kantavien HEA-profiilien (1.) avulla, joiden päälle on asennettu katto-orret (2.). Orsien päälle on asennettu alumiiniprofiilinen valokattojärjestelmä.



KUVA 2. Pulpettikatto TYKS T-sairaala (Flink 2018)

Kattorakenne on toteutettu yksi aukkoisena ratkaisuna, joka tukeutuu rakennuksen teräs-betonirunkoon. Kantavien HEA-profiileiden nurjahdus ja kiepahdus on estetty yläpuolisilla putkiprofiileilla. Profiilit siirtävät myös vaakasuuntaiset voimat jäykistysristikolle rakenteen toiseen päähän. Valokaton alapuolinen huolto on toteutettu huoltosillan avulla, jonka kiskot (3.) on kannatettu suoraan HEA-profiileista. Yläpuolinen huoltojärjestelmä on toteutettu rullien päällä olevien alumiinitikkaiden avulla. Näistä järjestelmistä aiheutuvat kuormitukset on huomioitava kattorakenteen kuormia laskettaessa.

2.2.2 Kaarikatot

Kaarikattoja on käytetty arkkitehtuurissa jo antiikin Rooman ajoista asti. Kattojen tarkoituksena oli saada kirkkojen sisäosiin lisää avaruutta ja lasin käytön yleistyessä katoissa saavutettiin avaria ja valoisia kokonaisuuksia. Kuvassa 3, on esitetty kauppakeskus Iso-Omenan valokatto, jossa teräsrunko toimii kannattajana alumiiniselle profiilijärjestelmälle.



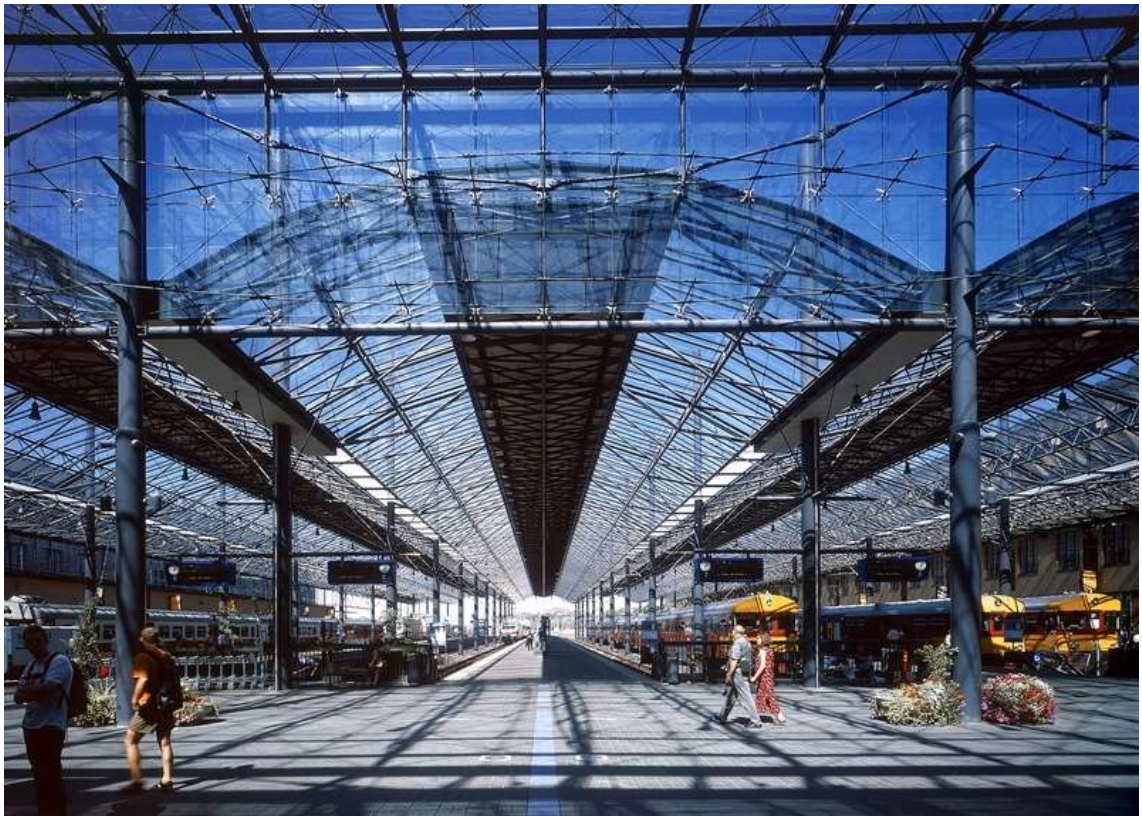
KUVA 3. Kauppakeskus Iso-omena (Citycon 2017)

Tässä tapauksessa rakenteen sisäosa on toteutettu kaarevan muotoisten teräsprofiilien avulla (1.). Ulkopinnan rakenne on tuettu alapuolella olevien kaarevien teräspalkkien avulla ja se on toteutettu harjakattoisena ratkaisuna (2.). Kaarevat teräspalkkiparit muodostavat vetotankojen ja puristussauvojen kanssa kokonaisuuden, joka kantaa lasirungon ja ulkoisten kuormien aiheuttamat rasitukset. Lasikaton pituussuunnassa jäykistys on toteutettu ristikoimalla liikuntasaumaväliltä aina yksi kaaripalkkiparin väli. Liikuntasauvoilla on näin pitkässä rakenneosassa pyritty estämään lämpöliikkeiden aiheuttamat vuodot.

Katossa on käytetty runsaasti muotoja ja sen aaltoileva linja luo haasteita rakennesuunnittelun kannalta. Suunnittelun kannalta tärkeää onkin muodostaa mahdollisimman tarkka

rakennemalli kokonaisuudesta, jolloin sen suunnittelu helpottuu ja virheiden riski pienenee. Iso-omenan valokatto ratkaisu kuvastaa hyvin arkkitehtuurin vapautta kattorakenteissa. Katon aaltoileva muoto ja siitä muodostuva kokonaisuus noudattaa hyvin modernia arkkitehtuuria.

Kuvassa 4, on esitetty Helsingin rautatieasemalla oleva teräsrunkoinen valokatto ratkaisu. Katto kokonaisuus kostuu kolmesta kaaren muotoisesta katosta. Suunnittelun kannalta huomioon otettavia asioita ovat junien aiheuttamat dynaamiset kuormitukset, jotka kohdistuvat katoksen kantavaan runkoon. Myös onnettomuustilanteen ja jatkuvan sortuman tutkiminen on ensiarvoisen tärkeää suunnittelussa. Lisäksi kyseessä on katos tyyppinen ratkaisu, joten nosteen vaikutus on myös huomioitava suunnittelussa.



KUVA 4. Rautatieaseman lasikatto

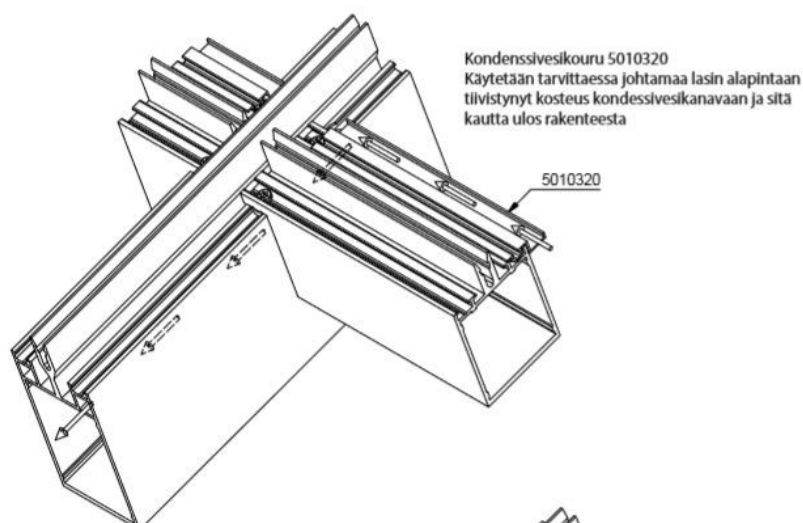
Rautatieaseman valokatto on toteutettu teräsrunkoisena. Rakenteen kantavana osana toimivat kaaren muotoiset teräsristikot. Ristikot on valmistettu pyöreäprofiilisesta rakenneputkesta, jonka avulla on saavutettu kevyt ja avara rakenne kokonaisuus. Rakenteen pituussuuntainen jäykistys on hoidettu pituussuuntaisten ristikoiden avulla. Osana rakenteen kokonaisstabiliteettia on myös hyödynnetty mastopilareita.

2.3 Lasitusjärjestelmät

Järjestelmät koostuvat yleisesti alumiiniprofiileista, jotka toimivat joko itsekantavana rakenteena tai sekundääri rakenteena teräsprofiilien päällä. Laselementit asennetaan alumiiniprofiilien väliin ja kiinnitetään puristusliitoksella, liimaliitoksella tai pistemäisellä ruuvikiinnityksen avulla. Seuraavissa kappaleissa on esitelty yleisimmät järjestelmä ratkaisut ja niihin liittyvät suunnittelu asiat.

Valokattojen tyypillisiä ongelmia on sen vuotoherkkyys. Tämän asian korjaamiseksi valmistajat ovat kehittäneet kattojen runkojärjestelmiin omat vedenpoistojärjestelmät (kuva 5). Vedenpoisto koostuu yleisesti kahdesta osasta. Järjestelmien runkoprofiileissa on vesikanavat lasitilan tuuletusta ja vedenpoistoa varten. Vaakaprofiilit on niin ikään mahdollista varustaa kondenssivesikourulla, jonka avulla lasin alapintaan tiivistyvää kosteutta on mahdollista johtaa pystyrungon kondenssivesikanavaan ja tätä kautta ulos rakenteesta. Profiilit ovat myös lämpöeristettyjä, minkä ansiosta rakenteeseen ei synny kylmäsiltoja. (Purso Valokattojärjestelmät, 2016)

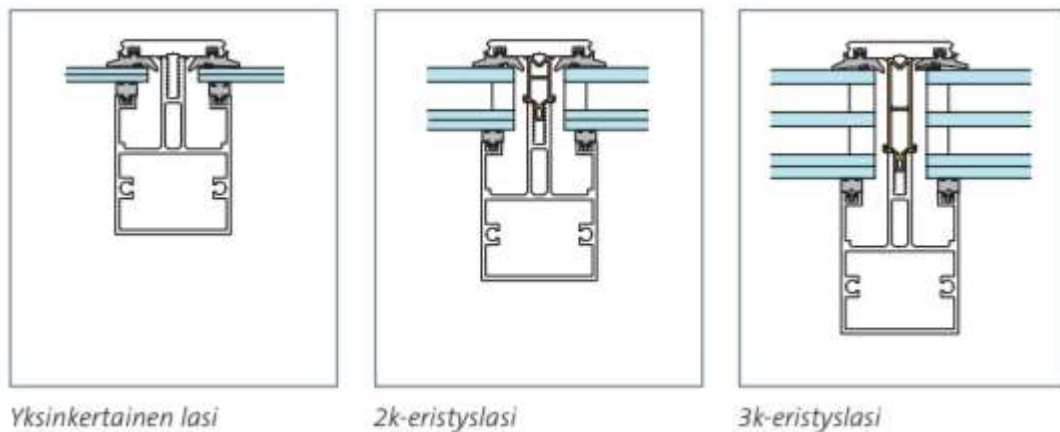
Runkoprofiilien syvyydet vaihtelevat 40 – 180 mm ja leveys on yleisesti 50 mm. Järjestelmissä käytettävät lasipakettien vahvuudet vaihtelevat 6 – 62 mm asti. Profiilien ja lasien vahvuudet ovat riippuvaisia kuormituksista ja rakenteen vaatimista erityispiirteistä. Kuvassa 5 on esitetty profiilien vedenpoistojärjestelmää ja vaaka- ja pystyprofiilien liitos toisiinsa. (Purso Valokattojärjestelmät, 2016)



KUVA 5. Kondenssivesikouru ja vedenpoistoura profiilissa (Purso Valokattojärjestelmät, 2016)

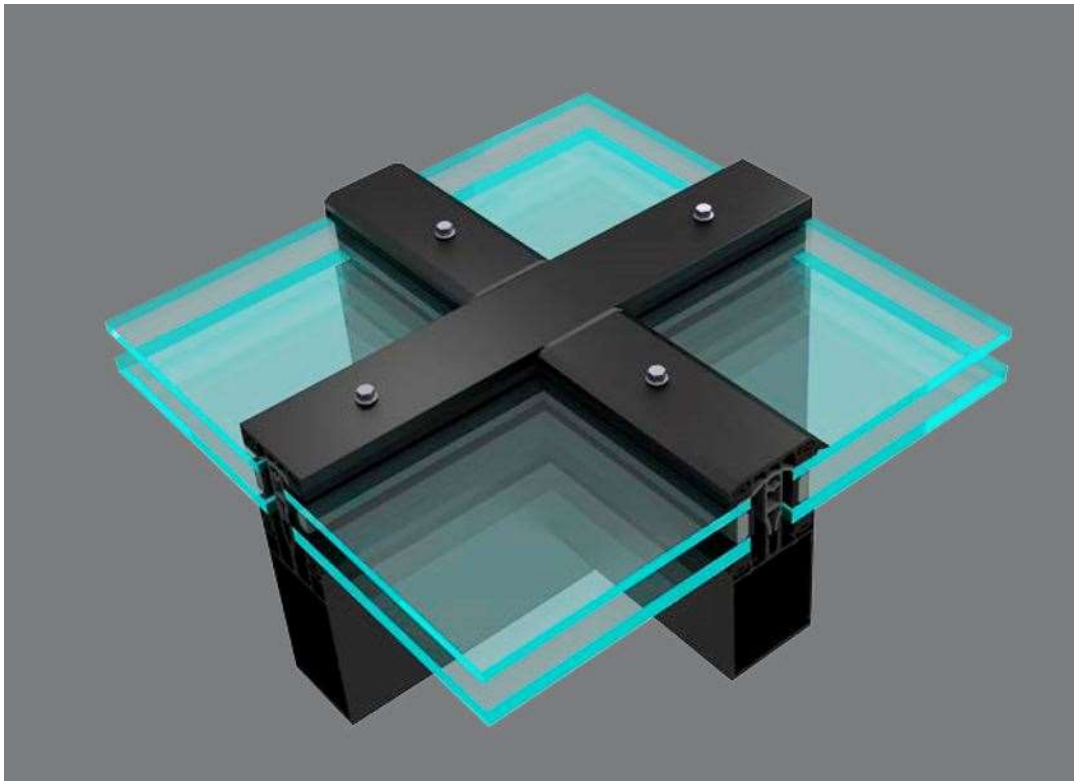
2.3.1 Pintalista järjestelmä

Pintalista järjestelmät ovat yleisimmin käytettyjä järjestelmiä valokatoissa. Järjestelmän tunnistaa rakenteen pinnassa olevista lasituslistoista, jotka ovat asennettu lasielementtien saumakohtiin. Listan tarkoituksena on tehdä tiivis puristusliitos (kuva 6), jonka avulla lasielementti kiinnittyy alumiiniprofiilijärjestelmään. Järjestelmässä käytetään pysty- ja vaakasuuntaisia listoja. Lasielementit asennetaan itsekantavien alumiiniprofiilien päälle ja kiinnitetään pintalistan avulla. Pintalista järjestelmää on myös mahdollista käyttää 0-prifiiliratkaisuissa, jolloin se kiinnitetään suoraan teräsprofiliin. Lasien tiivistämisessä käytetään tiivistysmuotonauhaa, joka yleisesti on EPDM-kumia. Tiivistysnauhan tiiveys on varmistettava EPDM-kumille soveltuvalla tiivistysmassalla. Lasin ja tiivistysmuotonauhan välissä käytetään butyyli-pohjaista itseliimautuvaa leveää tiivistysnauhaa, joka ulottuu 5 – 10 mm kummankin tiivistysmuotonauhan alle. Tiivisteet puristetaan tasaisesti lasin pintaan lasituslistan avulla. (Purso Valokattojärjestelmät, 2016)



KUVA 6. Pintalista järjestelmä periaate detaljit (Sapa Käsikirja, 2015)

Pintalista järjestelmien minimin kattokulma on yleensä vähintään 15 astetta. Pienemmän kattokulman käyttö on myös mahdollista, mutta silloin on varmistuttava veden ja lumen riittävästä poistosta. Järjestelmän valmistus edellyttää huolellisen suunnittelun lisäksi, myös tarkkaa ja huolellista asennusta. Suunnittelijan on siis syytä huolehtia kattavista työhjeistä työmaalle. Kuvassa 7 on esitetty pintalistajärjestelmälle tyypillinen rakenneratkaisu. (Sapa Käsikirja, Valokatot, 2015)

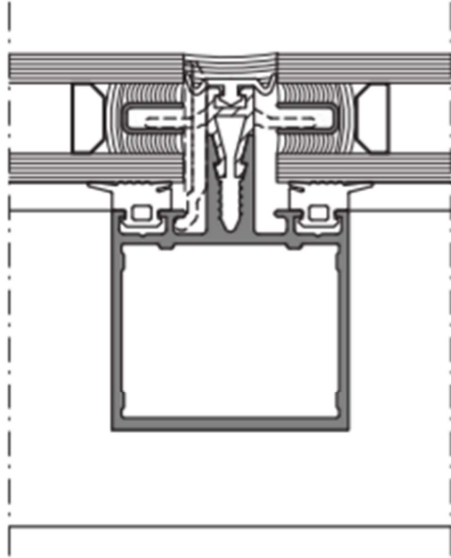


KUVA 7. Pintalistajärjestelmä (Purso Valokattojärjestelmät, 2016)

2.3.2 Pintalistaton järjestelmä SG

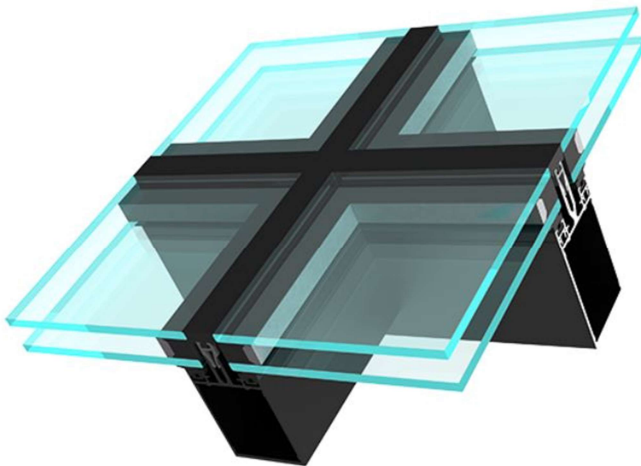
SG-lasitusjärjestelmä eli Structural Glazing-järjestelmä perustuu pintalistattomaan ratkaisuun (kuva 9). Järjestelmässä lasien kiinnitys perustuu liimakiinnitykseen, joiden pitävyyttä on mahdollista vahvistaa mekaanisilla kiinnikkeillä. Laselementtien väliset saumat tiivistetään säänkestävällä silikonilla tai vastaavalla saumamassalla. Järjestelmän etuna on se, että siinä ei ole veden valumista patoavia ulokkeita. (RIL198-200, 82)

Järjestelmä koostuu elementoidusta lasi-/ metallijärjestelmästä (kuva 8). Siinä lasi on kiinnitetty erikoissilikonilla kehyspuitteeseen ja näin ne muodostavat mekaanisesti kiinnitettävän elementin. Elementeissä käytettävät eristyslasit poikkeavat yleensä tavanomaisesta eristyslasista. Järjestelmästä riippuen saattavat lasielementit poiketa toisistaan mitoituksen osalta, uloin lasi on suurempi kuin sisempi. Järjestelmissä on myös yleistä se, että niissä käytettävät välilistat ovat erilaisia verrattuna tavanomaisiin välilistoihin samoin kuin eristyslasin ulompi saumausaine, joka on yleensä erikoissilikonilla. Järjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää, että liimasaumat on suunniteltu ja toteutettu laadukkaasti. (Rainamo & Riikonen 1999,121)



KUVA 8. Periaate detajli SG- lasitusjärjestelmästä (Purso 2016)

Järjestelmän minimi kattokulma määräytyy yleisesti riittävän tehokkaan vedenpoiston varmistamisesta. Tyypillisesti minimikulmat pintalistattomassa järjestelmässä ovat 3 – 6 astetta, riippuen lasin koosta ja paksuudesta. Järjestelmän mahdollisia ongelmakohtia saattaa muodostua pitkäaikaisen UV-säteilyn seurauksena eristyslasien reuna-alueille. Siitä syystä, että järjestelmissä käytettävät liima- ja sulkijamassat menettävät ominaisuuksensa pitkäaikaisen UV-säteilyn seurauksena. Tästä johtuen massojen huoltovälin huomiointi pitää ottaa huomioon valittaessa lasitusjärjestelmää. (RIL198-200, 82)



KUVA 9. Pintalistaton järjestelmä SG (Purso 2016)

2.3.3 Pistekiinnitysjärjestelmä

Pistekiinnitysjärjestelmä soveltuu käytettäväksi hyvin monien eri kantavien rakenteiden kanssa. Se soveltuu käytettäväksi esim. vaijerirakenteiden, teräsrakenteiden tai niiden yhdistelmien kanssa. Pistekiinnitysjärjestelmässä lasielementit kiinnitetään alustoihinsa pulttiliitosten avulla ilman normaaleja kiinnitysprofieileja. Tällä menetelmällä saavutetaan tasainen ja listaton ulkomuoto. Järjestelmä koostuu yleisesti yksi- tai kaksikerros lasielementeistä, nivelletyistä tai kiinteistä lasipulteista, taustakiinnikkeistä, joiden avulla pultit kiinnittyvät kantavaan taustarakenteeseen ja puskusaumoissa käytettävistä sauma-aineista. (Lasirakentajan käsikirja 1999, 122)

Lasien valmistuksessa käytetään tyypillisesti karkaistuja tai karkaistusta lasista valmistettuja laminoituja laseja. Näistä lasityypeistä valmistetaan myös eristyslaselementit. Pulttikiinnitystä varten laseihin valmistetaan yleisesti neljä upotettua reikää. Näiden reikien avulla lasit kiinnitetään alusrakenteisiin lasipulteilla. Pultit siirtävät kuormat taustakiinnikkeiden kautta kantaville rakenteille. Pulttikiinnitys mahdollistaa lasien mahdolliset pysty- ja vaakasuuntaiset sekä taipumista aiheuttavat liikkeet. Liikkeen salliminen on myös taustarakenteesta riippuva tekijä, joka on huomioitava myös suunnittelussa. Pulttilasitusjärjestelmässä kiinnitetään jokainen lasi itsekantavaksi. (Lasirakentajan käsikirja 1999, 122)

Lasien taustakiinnikkeet valmistetaan aina järjestelmä ja eri käyttötarkoituksen mukaan. Lasien taipumisesta aiheuttavat liikkeet voidaan huomioida nivellettyjen kiinnityspulttien avulla. Laseissa tapahtuvat tasonsuuntaiset siirtymät huomioidaan taustakiinnikkeiden avulla (kuva 10), jolloin taustaelimessä on ainoastaan yksi kiinteä reikä ja muut kiinnityspisteet on vapautettu yhdessä tai kahdessa suunnassa. Lasien välisessä saumauksessa käytetään tyypillisesti SG-massaa. (Lasirakentajan käsikirja 1999, 122)



KUVA 10. Vitera Cross XC pistekiinnikejärjestelmän kiinnike (Vitera Oy, 2018)

Kuvassa 11 on esitetty pistekiinnitys järjestelmällä toteutettu kattorakenne. Rakenteen kantavana runkona toimivat suorat teräsristikot, joiden päälle pistekiinnitys järjestelmä on asennettu. Rakenteen poikkisuuntainen jäykistys on toteutettu vetotankojen avulla, joilla on myös estetty rakenteen nurjahtaminen.



KUVA 11. Helsingin Ateneumin lasikatto.

2.4 Huoltojärjestelmät

Valokatot vaativat huoltoa toimiakseen rakennuksen koko eliniän. Huolto sisältää niin sisä- kuin ulkopuolisten pintojen puhdistusta ja korjaustöitä. Huollolla varmistetaan rakenteen tiiveys vuotoja vastaan, lasiosien siisteys ja talotekniikan vaatimat korjaustyöt. Huolto edellyttää liikkumista katoilla ja tämä asia on suunnittelijan huomioitava jo suunnittelun alkuvaiheessa. Edellytyksenä on, että huolto toimenpiteiden toteutus onnistuu työturvallisuuslakeja noudattaen, niin katon sisä- kuin ulkopuolella.

Lasikatoilla liikkuminen on käytännössä mahdotonta pintojen liukkaudesta johtuen. Huollon mahdollistamisen ja työntekijöiden työturvallisuuden varmistamiseksi, on kattoihin asennettava huoltojärjestelmiä kuten huoltosiltoja, -tasoja tai – tikkaita ellei huoltoa voida suorittaa henkilönostimen avulla. Valokatot on mahdollista varustaa kiinteillä, liikuteltavilla tai irrotettavilla huoltojärjestelmillä. Järjestelmien valinta riippuu huollon tarpeesta ja ulkonäköseikoista. Suunnittelun kannalta huoltojärjestelmien osalta on huomioitava niiden kiinnitys ja silloista aiheutuvat lisäkuormat. Kevytrakenteiset alumiinitalikas järjestelmät (kuva 12) sopivat hyvin katon ulkopuoleiseen huoltoon. Tikkaat liikkuvat yleensä alumiinikiskoissa, joihin tikasjärjestelmä tukeutuu laakereiden tai kumipyörien avulla. Tikkaista on löydyttävä myös jarrujärjestelmä, jolla tikkaiden tahaton liike voidaan estää. Järjestelmä voi tukeutua myös kumipyörien avulla suoraan lasituslistalle. Tässä tapauksessa on kuitenkin huomioitava lasituslistan ja sen alapuolisten rakenteiden riittävä lujuus. (RIL 198-2001, 140-146)



KUVA 12. Ulkopuolinen huoltotikasjärjestelmä (Sapa käsikirja, 2015)

Valokaton sisäpuolinen huolto voidaan suorittaa käyttämällä erityyppisiä huoltosiltoja. Suunnittelussa on syytä ottaa sillat huomioon jo alkuvaiheessa, niiden vaatiman suuren tilan vuoksi. Huoltosilta asennetaan yleensä alumiini- tai teräskiskojen päälle riippuen siltojen koosta ja kuormista. Teräsrungon suunnittelussa on hyvä huomioida huoltosillan kannatin kiskojen ja rullalaitteiden vaatima tila. Huoltosiltojen on mahdollista liikkua esteettömästi. Kuvassa 13 on esitetty harjakattoiseen valokatto rakenteeseen asennettu huoltosiltajärjestelmä.



KUVA 13. Huoltosilta harjakatto (Flink 2018)

Järjestelmä on kiinnitetty teräskiskojen varaan (1.). Kiskot on kannatettu rakennuksen betonirungosta teräskomponenttien avulla. Tämän kiinnitysjärjestelmän eduksi voidaan todeta, sen riippumattomuus varsinaisesta teräsrungosta. Huoltosillasta aiheutuvat kuormat siirtyvät näin ollen suoraan betonirunkoon eikä sen käyttö aiheuta lisärasituksia kattorakenteelle. Kiskojen vaatimat kiinnitysalustat ja niiden kestävyys on kuitenkin huomioitava rakennuksen betonirunkoa suunniteltaessa.

Kuvassa 14 on esitetty pulpettikattoon kiinnitetty huoltojärjestelmä. Järjestelmän kiskot on kannatettu suoraan kattorakenteen kantavasta rungosta. Tässä tapauksessa on syytä huomioida sillan kannatuksesta aiheutuvat pistekuormat primääri rakenteille.



KUVA 14. Huoltosilta TYKS;in T- Sairaala (Flink 2018)

Huoltojärjestelmää valittaessa ja suunniteltaessa on myös syytä huolehtia siitä, että järjestelmä sopii mahdollisimman huomaamattomasti osaksi kattorakennetta ja sen arkkitehtuuria. Kiskoilla liikkuvien silta- ja tikasjärjestelmien säilytys on hyvä myös huomioida suunnittelussa. Lisäksi järjestelmälle kulkeminen on mahdollistettava helposti ja työturvallisuus ohjeita noudattaen.

2.5 Materiaalit

Valokatoissa yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat teräs, alumiini ja lasi. Materiaalien valinnassa on otettava huomioon niiden yhteen sopivuus. Toimivuuden tutkiminen on tärkeää, jotta vältetään mahdollisilta vaurioilta ja riskirakenteilta. Seuraavissa kappaleissa on esitelty materiaalien ominaisuuksia ja suunnittelun kannalta tärkeitä asioita lasin ja teräksen osalta.

2.5.1 Lasi

Lasi on teoriassa hyvin luja aine ja sillä on suuri puristuslujuus suhteessa vetolujuuteen. Lasin teoreettinen vetolujuus on atomien välisiin sidoksiin perustuen 21 000 MPa. Käytännössä lasin vetolujuus on vain alle 1 % teoreettisesta. Tämä johtuu lasipinnan sisältämistä kuormitustilassa rikkoutumislähtöjä aiheuttavista mikrohalkeamista. Lasin kestävyden määrittely perustuu suurelta osin kokemusperäiseen ja tilastollisiin analyyseihin, jokaiselle lasityypille ja kuormitustavalle erikseen. Kuten taulukon 1 arvoista voidaan havaita, on lasin puristuslujuus niin suuri verrattuna vetolujuuteen, että rikkoutumisen kannalta vain vetolujuudella on merkitystä. (Pilkington Lasifakta 2012)

Ominaisuus:	Arvo:
Puristuslujuus	~ 1000 MPa
Vetolujuus	20–100 MPa
Taivutusvetolujuus	20–100 MPa

TAULUKKO 1. Tasolasin teknisiä ominaisuuksia (Rainamo 1999,14)

Mitoituslujuuksista päätettäessä käytetään varmuuskertoimia, koska lasin lujuuden vaihtelu on suurta. Kysymys ei ole materiaalivakiosta vaan suunnitteluarvosta tarkasteltavassa kuormitustapauksessa. Ohjeellinen mitoituslujuus riippuu suuresti tarkastelutavoista, näin ollen se voi vaihdella eri kuormitustavoilla valmistajasta riippuen. (Pilkington Lasifakta 2012)

Lasi on amorfinen aine. Tämä tarkoittaa sitä että, lasilla ei ole kiinteille aineille tyypillistä kiderakennetta. Tällaiselle aineelle tyypillinen murtumistapa on hauras ja nopea. Lasi ei varoita murtumasta etukäteen. Lasia kuormitettaessa se taipuu täysin elastisesti. Jännitysten ylittäessä lujuuden, rikkoutuu lasi ilman plastista venymää. Tästä syystä lasi kestää huomattavasti paremmin tasaista kuin pistekuormaa. Lasi kestää myös huomattavasti paremmin lyhytaikaisia kuormituksia kuin pitkäaikaista kuormitusta. (Pilkington Lasifakta 2012)

Tiheys	ρ	2500 kg/m ³
Kovuus		6 Mohin asteikossa
Kimmomoduuli	E	7x10 ¹⁰ Pa
Lämpölaajeneminen	α	9x10 ⁻⁶ /K
Lämmönjohtavuus	λ	1,0 W/mK

TAULUKKO 2. Lasin fysikaaliset ominaisuudet SFS-EN 572/1

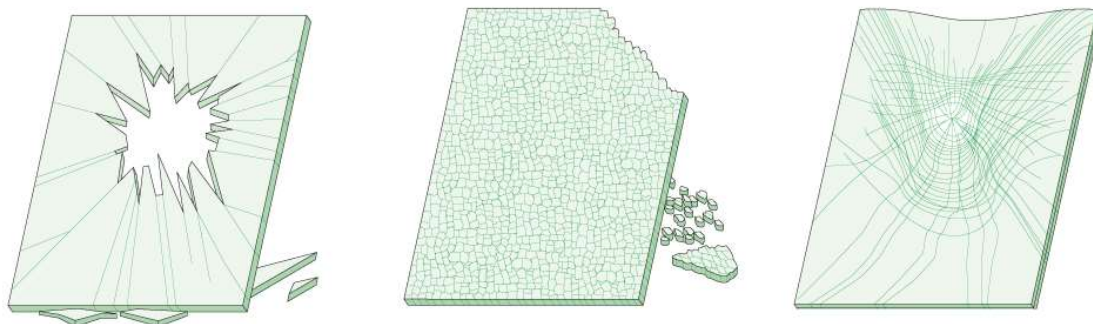
Lasin ominaisuuksia pystytäänkin parantamaan erilaisilla käsittelyillä. Yleisimpiin käsittelyihin kuuluvat lasien erilaiset lämpökäsittelyt, lasien laminointi ja kemialliset käsitte-lyt. Näillä käsittelyillä pystytään parantamaan lasin vetolujuutta ja muokkaamaan sen särkymisrakennetta. Näillä toimenpiteillä saavutetaan särkymistilanteessa turvallisempia lasilaatuja. (RIL 199–2001, 44)

Niin kutsuttu ”tavallinen rakennuslasi” eli Float-lasi. Lasi valmistetaan valamalla lasinauha sulan tinan päälle. Lasin jäähtyttyä se leikataan levyjä. Yleisimmät varasto koot ovat 3210mm x 6000mm ja 3210mm x 5000mm. Nimellispaksuudet ovat 2mm – 25 mm ja standardit SFS-EN 572-1 ja 2 määrittävät lasin ominaisuudet. (RIL 198-2001,158)

Karkaistulla lasilla tarkoitetaan float-lasia, joka kuumennetaan 650-700 °C ja sitten jäähdytetään nopeasti puhaltamalla lasin molemmille puolille kylmää ilmaa. Tällä menetelmällä saadaan lasin pintaan puristusjännitys, mikä lisää lasin mekaanista lujuutta 4 – 6 kertaiseksi. Lasin terminen karkaiseminen myös muuttaa lasin särkymisrakennetta. Särkyessään lasi murtuu raemaiseksi ihmiselle suhteellisen vaarattomiksi sirpaleiksi. Lämpökarkaisu muuttaa myös lasin kestävyyttä termisille jännityksille eli lämpötilaeroille. Karkaistua lasia käytetään tyypillisesti uloimpana lasina valokattojen lasielementeissä. (Lasirakentajan käsikirja 1999,20)

Laminoidulla lasilla tarkoitetaan lasia, jossa on liitettyä kaksi tai useampia lasilevyjä. Levyt liitetään toisiinsa PVB-muovikalvolla (polyvinylibuturaali) tai PMMA-hartseilla (polymetyylimeta-akrylaatti). Valmistessa voidaan käyttää useita lasilaatuja ja erilaisia PVB-kalvoja tai polykarbonaattilevyjä, joilla saadaan eri vahvuuksia ja erikoisominaisuuksia rakenteelle. Näin voidaan valmistaa esim. panssarilasit, luodinkestävät lasit ja turvalasit. Rikkoutuessaan lasin palat pysyvät kiinni muovikalvossa. Tästä ominaisuudesta johtuen laminoitua lasia käytetään aina alimaisena lasina valokattojen lasielementeissä. Kuvassa 15 on esitetty float-, karkaistun- ja laminoidun lasin rikkoutumiskuviot.

Rikkoutumiskuvioista voidaan helposti havaita, miksi kaksi jälkimmäisenä mainittua lasilaatua soveltuvat parhaiten käytettäväksi valokatoissa. (Lasirakentajan käsikirja 1999,20)



KUVA 15. Float-lasi, karkaistu lasi ja laminoitu lasi (Kuva: Pilkington)

Lasin valinnassa on huomioitava tarkasti sen ominaisuudet ja käyttöturvallisuus. RIL 198 - 2001 ohjeistaa kattorakenteissa käyttämään alimpana lasina laminoitua lasia ja uloimpana lasina lämpökarkaistua lasia. Saksalainen DIN 18008-standardi taas ei anna alimmaksi lasiksi muuta vaihtoehtoa kuin laminoidun lasin. Kolmekerroslasielementeissä voidaan käyttää keskimmäisenä lasina normaalia float-lasia.

2.5.2 Teräs

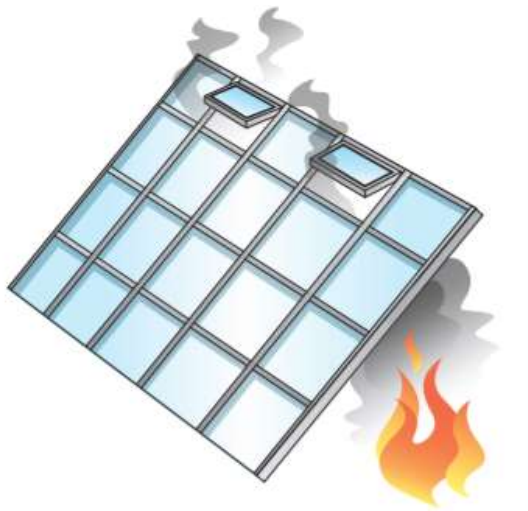
Teräs on yleisin materiaali jota käytetään valokattojen kantavana rakenteena. Sen ominaisuudet soveltuvat mitä parhaiten käytettäväksi näihin rakennuskohteisiin. Sen ominaisuudet mahdollistavat myös hoikat rakenteet, joiden avulla voidaan siirtää merkittäviä kuormia rakennuksen rungoille. Teräksen eduksi voidaan lukea myös pinnan helppo käsiteltävyys ja sen kiinnitysten ja liitosten helppous. Lisäksi teräksen materiaaliominaisuuksien tuntemus esim. lämpölaajenemisien osalta ovat hyvät, joten sen huomioiminen on helppoa suunnittelussa.

Valokattojen suunnittelun osalta teräksen materiaaliominaisuuksista on hyvä ottaa huomioon sen ominaisuudet ja käyttäytyminen palotilanteessa. Teräs menettää täysin lujuutensa vasta 1000 °C:n lämpötilassa. Lämpötilan nousua on kuitenkin syytä pyrkiä rajoittamaan palomitoituksessa noin 600 °C:een, koska viruman vaikutus alkaa näkyä palonaikaisissa muodonmuutoksissa rakenteen ylittäessä 450 °C. Teräksen lujuus ja kimmoker-

roin pienenevät lämpötilan noustessa. Teräkselle on myös ominaista suuri lämpölaajeneminen, joka palossa voi johtaa palautumattomiin muodonmuutoksiin yhdessä kimmoker-toimen ja lujuuden alenemisen kanssa. (Saarni, Teräsrakentaminen, s 60-63)

Tästä johtuen teräs onkin usein suojattava tulipaloo vastaan. Teräksen palonsuojaukseen on kehitetty eri menettelyjä. Palonsuojauksella pyritään parantamaan teräksen ominai-suuksia kuumia savukaasuja vastaan tai nostamalla sen kykyä vastaanottaa lämpöä. Suo-jaustavat voidaan jakaa kahteen pääryhmään märkiin ja kuiviin menetelmiin. Märkiin me-netelmiin kuuluvat esim. palosuojamaalit ja kuiviin erityyppiset palosuojalevyt ja kote-loinnit. Valokattojen osalta palosuojamaalit ja sprinkleri järjestelmät, ovat palosuojauk- sessa käytettävät vaihtoehdot. (Saarni, Teräsrakentaminen, s 60-63)

Valokattojen kantavien rakenteiden on säilytettävä kantavuutensa määrätyn ajan palon alkamisesta. Joten kattorakenteen on täytettävä rakennukselle annetun paloluokan mää- räykset. Näin ollen suunnittelussa noudatetaan YM asetusta 848/2017 rakennusten palo- turvallisuudesta. Valokaton on itsessään oltava syttymätöntä materiaalia, joka ei edistä palon leviämistä. Katoista on myös löydyttävä voimassa oleviin vaatimuksiin perustuva tuuletus (kuva 16), joiden avulla pystytään poistamaan palokaasuja ja alentamaan raken- teen lämpötilaa palotilanteessa. (Sapa Käsikirja, 2015)



KUVA 16. Palotilanteen palokaasujen poisto (Sapa Käsikirja, 2015)

3 MITOITUS

3.1 Perusteet

Käyttö- ja murtorajatilan kestävyydellä tarkoitetaan tässä luvussa valokaton rakenteen lujuutta ja kantokykyä mekaanisia kuormia sekä ilmanpaineen ja lämpötilan vaihteluista aiheutuvia kuormia vastaan. Kantavien rakenteiden suunnittelussa noudatetaan voimassa olevia lakeja ja määräyksiä. Alla olevien kappaleiden mitoitus ja suunnittelu perustuu tämän opinnäytetyön valmistumisen ajankohtana voimassa oleviin EN- standardeihin ja kansallisiin ohjeisiin.

Ottaen huomioon rakenteen vaativuuden, lujuusteknisen toimivuuden ja vaadittavan luotettavuuden, voidaan rakenteen lujuustekniseen mitoitukseen käyttää seuraavia menettelyvaihtoehtoja.

Taso A) Rakenne mitoitetaan komponenteittain. Rakenteenosien mitoitus suoritetaan itsenäisinä rakenneosina, joille oletetaan omat kuormitusjakaumat ja reunaehdot. Laskelmat suoritetaan kimmo- tai plastisuusteorian menetelmillä. Osien välistä yhteistoimintaa ei tarkastella. Tämä menetelmä edustaa yleisesti käytettyä menettelytapaa.

Taso B) Rakenne mitoitetaan komponenteittain kuten tasolla A.. Tämän lisäksi tarkastellaan rakenneosien rajapinnassa tapahtuvia siirtymiä, rakenneosien omien laskentamallien mukaan. Liitososat ja tiivisteet mitoitetaan kestävänsä näiden laskentamallien antamat siirtymä- ja jännitysero.

Taso C) Rakenne mitoitetaan yhtenä kokonaisuutena tarkastelemalla koko systeemiä yhdistettynä rakenteena, jossa otetaan huomioon rakenneosien väliset vuorovaikutukset. Laskelmissa liitoksille käytetään kokeellisesti määritettyjä jäykkyys- ja kestävyysarvoja ottaen huomioon jäykkyyksien ja kestävyysarvojen muuttuminen ajan, ympäristörasitusten ja kuormitusvaihteluiden seurauksena. Laskelmat suoritetaan kimmoteorian mukaisilla menetelmillä. Rakenteen rajakuorma siirtymärajatilan ohella määräytyy jännitysjaumasta rakenteen osien välillä ja rakenteen osien ja liitosten veto-, puristus- ja leikkaukslujuudesta ja – kestävyydestä.

Tutkittaessa rakenneta yhdistettynä rakenteena, saadaan rakenteen käyttäytymistä tietoa käyttörajatilassa, jossa on tunnettava rakenteen oikea taivutusjäykkyys sekä liitoksiin kohdistuvat vaihtuvat kuormat ja siirtymät. Murtorajatilassa tason C kestävyystarkastelut suoritetaan kuten tasolla A tutkimalla rakenneosien kestävyudet komponenteittain. (RIL198-2001,39–42)

3.2 Kuormien määrittäminen

Valokattojen rakenteisiin vaikuttavia, luonteeltaan staattisiksi katsottavia kuormia ovat kattorakenteen ja siihen tukeutuvien muiden rakenteiden, kuten huoltorakenteiden oma-paino. Staattisia kuormia ovat myös olettaa tuulikuorma, lumikuorma ja henkilöiden liikkumisesta aiheutuvat kuormat, törmäyskuormat sekä lämpötilaero ja paine-ero rakenteen asennus ja käyttölämpötilan sekä rakenteen eri pintojen välillä. (RIL 198-2001)

Rakenteen pysyvän kuorman muodostaa rakenteen oma paino ja muun pysyvän kuorman määrittämiseen voidaan käyttää rakennustarvikkeiden nimellismittoja ja keskimääräisiä tiheyksiä. (RIL198-2001,31)

Tuulesta johtuvat ilman paine- ja imukuormat määritetään SFS-EN 1991-1-4 mukaan.

$$w = C_p q \quad (1)$$

Nopeuspaineen ominaisarvo q valitaan SFS-EN 1991-1-4 määräysten mukaan ja se riippuu rakennuksen sijainnista, maastoluokasta ja rakennuksen korkeudesta. C_p on paine-kerroin, jonka arvo on positiivinen, kun painekuorma kohdistuu rakenteen ulkopintaa päin ja negatiivinen, kun painekuorma kohdistuu rakenteen ulkopinnasta poispäin. Ilmastointi voi aiheuttaa rakennukseen alipaineen, joka kuormittaa valoa läpäisevää rakennetta. Tästä aiheutuva painekuorma on arvioitava ja mahdollisesti otettava huomioon samanaikaisesti tuulen aiheuttaman paine- tai imukuorman kanssa. Lisäksi on huomioitava rakenteen pintoihin mahdollisesti kohdistuvia lisäkuormia, joita voi muodostua esimerkiksi helikopterin noustessa/laskeutuessa tai räjähdysten aiheuttamasta paineaallosta. (RIL198-2001,31–32)

Rakenteeseen kohdistuvat lumikuormat määritetään SFS-EN 1991-1-3 standardin mukaisesti. Katto rakenteeseen kohdistuvan lumikuorman suuruuteen vaikuttavia asioita ovat; alapuolisen tilan lämpötila, katon läpi johtuva lämpövirta sekä lumen liukumisesta johtuva lumikuorman pieneneminen ja mahdollinen lumen ja jään kinostuminen. Näin ollen rakenteen lumikuormia määrittäessä on otettava huomioon määräysten mukainen lumikuorman perusarvo, rakenteen kaltevuus ja rakenteen sisäpuolella olevan vallitsevan lämpötilan sekä rakenteen lämmöneristävyuden vaikutukset. Lämpökertoimen C_t avulla otetaan huomioon lumikuorman pienennys lämpöhäviön aiheuttaman sulamisen seurauksena. Lämpökerroin määritetään SFS-EN 1991-1-3 luvun 5 mukaisesti. (RIL198-2001,33)

Kattorakenteisiin kohdistuu myös henkilöiden liikkumisesta ja törmäämisistä aiheutuvia pysty- ja vaakakuormia. Näiden kuormien vaikutukset on otettava huomioon vaakasuuntaisina piste- ja viivakuormina. (RIL198-2001,34)

Valokatoissa esiintyy myös suurista lämpötilaeroista aiheutuvia lämpötilakuormia. Lämpötilaeroista aiheutuvia rakenteen taipumia ja jännityksiä arvioitaessa, on tunnettava rakenteen paksuussuunnan lämpötilajakauma. Lämpötilatietoja tarvitaan erityisesti tiivisteiden ja liitosten siirtymiä arvioitaessa. Lämpötilan muutokset aiheuttavat siirtymiä ja jännityksiä myös runko- ja profiilijärjestelmän osiin. Näiden lisäksi mitoituksessa on huomioitava varjojen sekä absorboivien lasilevyjen ja kynteen välisen lämpötilaeron aiheuttama epätasainen lämpötilakuorma lasielementtiin. 2- ja 3-kerroksisten lasielementtien välissä olevan kaasun lämpölaajenemisesta aiheutuvat rasitukset on myös huomioitava mitoituksessa. Suomen olosuhteissa rakenteen keskimääräisinä lämpötilan ääriarvoina voidaan kesällä pitää $+70\text{ °C}$ ja talvella -30 °C . Mikäli ääriämpötilat eroavat merkittävästi rakennuksen sijaintipaikan ääriarvoista, on suositeltavaa käyttää rakennuksen sijaintipaikalle tyypillisiä lämpötilan ääriarvoja. Rakennuksen sisäpuolella olevien rakennesien lämpötilat määräytyvät sisätilan lämpötilan mukaan. Lämpötilaeroista aiheutuvat lämpötilakuormat huomioidaan mitoituksessa, SFS-EN 1991-1-5 Rakenteiden kuormat: Lämpötilakuormat, määrittämisohjeen mukaisesti. (RIL198-2001,37)

Kevyillä, erityisesti avoimen tilan kattorakenteissa on myös otettava huomioon rakenteeseen kohdistuvat dynaamiset kuormat. Kevyillä rakenteilla on taipumus värähdellä ilmavirtausten vaikutuksesta. Näin ollen tuulikuorman dynaamiset vaikutukset on myös tutkittava suunnittelussa. Tuulikuormista aiheutuvat dynaamiset vaikutukset otetaan lasken-

nassa huomioon c_{scd} rakennekertoimen avulla. Dynaamisen kertoimen C_d avulla huomioidaan värähtelystä johtuva lisävaikutus. Rakennekertoimen laskenta ohje löytyy SFS-EN 1991-1-4 luvusta 6.3. (RIL198-2001,38)

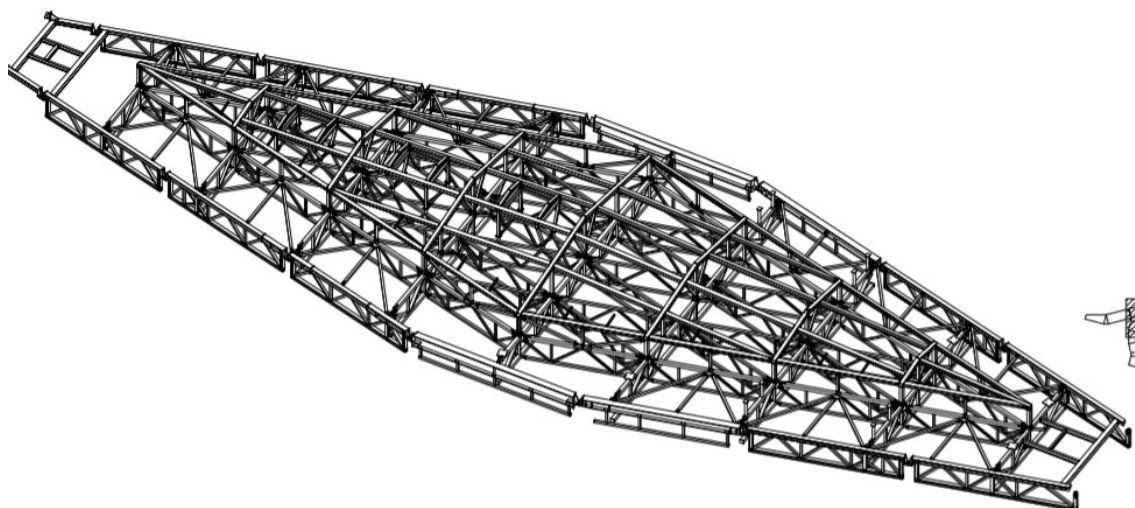
Rakennukseen kohdistuvista tuulikuormista, lämpötilaeroista, mahdollisista vaakakuormista kuten räjähdysten aiheuttamista voimista, rakennukseen syntyvät siirtymät aiheuttavat rasituksia valaaläpäisevään rakenteeseen. Niiden huomioiminen suunnittelussa on erittäin tärkeää varsinkin käytettäessä pistemäisesti kiinnitetyjä lasielementtejä. Lasilevyille sallittavat taipumat riippuvat käytetystä rakennejärjestelmästä. Profiilien taipumille on asetettava raja-arvoja, koska näistä aiheutuu rasituksia lasilevyille. Tarkemmat tiedot sallituista taipumista on aina haettava profiilin- ja rakennusjärjestelmän toimittajalta. (RIL198-2001,38)

3.3 Teräsrungon mitoitus

Teräsrunko toimii valokaton rakenteen osana, jonka tarkoituksena on siirtää lasilevyjärjestelmille kohdistuvat kuormat rakennuksen muihin runkorakenteisiin tai perustuksiin. Lasikatejärjestelmät kiinnitetään tavallisesti tiivisteiden, puristusliitosten ja ruuviliitosten avulla runkojärjestelmään, näin ollen pyrkivät profiili- ja katejärjestelmän osat seuraamaan runkorakenteen siirtymiä ja muodonmuutoksia ja siten ottamaan osaa valokatto rakenteen staattiseen toimintaan. Katejärjestelmät on myös mahdollista kiinnittää liimamalla profiilijärjestelmään, jolloin nämä toimivat yhdistettynä rakenteena ainakin hetkellisille kuormille. (RIL198-2001,42)

Valokattojen rakenteen osana kantavina rakenteina toimivat teräsrakenteet mitoitetaan SFS-EN 1993-1-1 mukaisten yleisten sääntöjen mukaan huomioiden voimassa olevat kansalliset määräykset.

Teräsrungon mitoitus aloitetaan luomalla arkkitehdin mallin pohjalta mahdollisimman tarkka rakennemalli. Tarkan mallin muodostaminen on tärkeää (kuva 17), koska se auttaa ymmärtämään rakenteen toimintaa. Mallissa on huomioitava liittyviltä rakenneosilta muodostuvat kuormitukset ja tukivaikutukset. Teräsrungossa kantavana rakenteena voi toimia palkki tai ristikko.



KUVA 17. Teräsrunkoisen valokaton 3d- malli

Liitosten huomioiminen rakenneanalyyysissä määritetään sillä, mihin kolmesta yksinkertaistetusta liitostyypistä se kuuluu:

- Nivellinen liitos, jossa liitoksen ei oleteta siirtävän taivutusmomenttia
- Jäykkä liitos, jossa voidaan olettaa rakenteen jatkuvuus rakenneosien välillä, liitoksen jäykkyyden tai kestävyuden vuoksi ns. momenttijäykkäliitos
- Osittain jäykkä liitos, jossa liitoksen käyttäytyminen otetaan huomioon

Rakennemallin muodostamisessa voidaan noudattaa seuraavaa osatehtävä luetteloa:

1. Kehän tai rakenneosan asemat ja mitat
2. Liitosten mallinnus
3. Profiilityyppi ja teräslaji
4. Kuormitus
5. Ominaiskuormat ja – kuormitus
6. Kuormitusyhdistelmät

Rakennemallin valmistuttua ja kuormitusyhdistelmien määrittämisen jälkeen, siirrytään rasiusten laskentaan. Ennen laskentaa on vielä huomioitava tasapainoa heikentävien kuormien vaikutusten mitoitusarvo. Rasiusten laskennassa pyritään löytämään rakenteen kannalta epäsuotuisin tilanne. Kuormitusyhdistelmien avulla etsitään maksimi ja minimirasitukset normaalivoimille, taivutusmomentille, leikkausvoimille ja vääntömomentille sekä näiden yhteisvaikutuksille. Lisäksi pyritään löytämään kuormitusyhdistelmä, jolla syntyy epävakain rasiustila rakenneosan tasapainon suhteen. Rasiusten laskennan jälkeen siirrytään kestävyyksien laskentaan. (EC9 Rakennemallin muodostaminen)

Kuormitusyhdistelyjen jälkeen laskenta etenee normaalisti ensin murtorajatilassa ja sitten käyttörajatilassa. Käyttörajatilassa tutkitaan teräsrunгон käyttökelpoisuus kiteerejä kuten taipumaa. Kriteereiksi määritetään siirtymät, jotka vaikuttavat rakenteen ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen ja rakenteen toimivuuteen. Taipuman tutkiminen teräsrungon osalta on tärkeää, koska taipumat saattavat olla määräävä tekijä rakenteen mitoituksen kannalta. Liiallisesta taipumasta saattaa aiheutua vaurioita yläpuolisille alumiiniprofiileille tai lasielementeille.

3.3.1 Teräsrunгон jäykistys

Teräsrunгон stabiiliuden eli vakavuuden on säilyttävä koko sen käyttöajan. Tasapainotilan säilyttämisen edellytyksenä on, että rakennesysteemin tai –osat eivät nurjahda, kiepahda tai lommahda eikä rakenne siirry tai kierry jäykkänä kappaleena. Näin ollen koko rakenneosaa on mitoitettava riittävän jäykäksi ja teräsrunko on tarvittaessa jäykistettävä tarkoituksenmukaisesti. Valokatoissa käytettävät teräsrakenteiset rakenneosat ovat tyyppillisesti hyvin hoikkia, näin ollen riittävän stabiiliuden saavuttamiseksi on niitä jäykistettävä. (Rakennustieto, Teräsrakenteiden suunnittelu, s. 148)

Valokatoissa pyritään mahdollisimman hoikkiin rakenneosiin, jotta valoa tuova ala olisi maksimaalinen. Tämä asia rajoittaa rakenneosan jäykistämässä käytettäviä ratkaisuja. Suurten jäykistysristikoiden käyttö ei näissä tapauksissa ole suotavaa tai mahdollista, niiden sopimattomuuden vuoksi kattojen arkkitehtuuriin. Jäykistys ratkaisu on pyrittävä sijoittamaan harmonisesti arkkitehtuuria mukaillen osaksi katon kokonaisuutta. Valokaton jäykistämässä on siis yleistä suosia vetotankoja, niiden hoikkuuden takia. Vetotankojen eduksi voidaan myös lukea niiden mitoittamisen yksinkertaisuus, koska tarkasteluksi riittää vetokestävyuden tutkiminen. Vetotankoja käytettäessä on huomioitava, että tanko ei kestä puristusta, joten rakenteen jäykistys on hoidettava myös toiseen suuntaan vetotankon avulla. Vetotankojen suunnittelussa on huomioitava niiden sijoittelu ja varmistettava sen toimivuus vedolle. Kuvassa 18 on esitetty pulpettikaton jäykistys ratkaisu.



KUVA 18. Pulpettikaton jäykistys ristikko (Flink 2018)

Kuvan mukaisessa tapauksessa kattorakenteen jäykistys on hoidettu ristikon avulla. Ristikko muodostuu pääkannattajista (1.), veto (2.) sekä puristussauvoista (3.). Ristikko on sijoitettu rakenteen reunalle kulkutasanteen yläpuolelle, jolloin se ei varjosta tai peitä valoaukkoa avaran keskitilan kohdalla. Kantavien I- profiileiden nurjahdus ja kiepahdus on estetty yläpuolella olevien orsien avulla. Orsien avulla myös siirretään kattoon kohdistuvat vaakavoimat ristikolle, jonka kautta ne siirtyvät edelleen rakennuksen omalle rungolle. Kokonaisuutena rakenteen jäykistyksen osana toimivat komponentit on hajautettu huomaamattomasti lasin ruutujaon mukaisiin lohkoihin.

Kuvassa 19 käsitellään harjakattoisen valokaton jäykistystä vetotankojen avulla. Jäykistys tangot on sijoitettu harjakaton räystäään puoleisille reunoille, jolloin ne eivät peitä valoaukkoja keskellä rakennetta.



KUVA 19. Harjakaton jäykistys vetotankojen avulla (Flink 2018)

Tankojen eduksi voidaan lukea myös niiden sirous ja hoikkuus. Näin ollen rakenteesta saadaan kevyt ja huomaamaton vaikutelma. Huomionarvoista tässä ratkaisussa on myös se, että vetotankoja varten on katon vaakateräksiin tehty läpiviennit. Läpivientien suunnittelu ja sijoittelu on myös huomioitava asennus suunnitelmia tehdessä, jotta välttyään asennuksessa tapahtuvilta virheiltä.

3.4 Lasin mitoitus

Lasilaattojen mitoitukseen ei vielä ole olemassa Eurokoodiin pohjautuvaa yhtenäistä mitoitus ohjetta. Suomessa lasirakenteiden lujustechninen mitoitus perustuu

- RT 38-10316
- RIL 198-1993 (Timoshenkon kaavat)
- RIL 198-2011 (prEN 13474-1,-2,1999/2000)
- prEN 13474: March 2005
- prEN 16612:2013

Lasin mitoitus on suoritettava aina tapauskohtaisesti. Kattolasin kuormitusyhdistelmät ovat yleisesti monimutkaisia. Kuormituksissa on huomioitava omapaino, tuuli- ja lumi-kuormat, mahdolliset kinostumat ja ylhäältä putoavan lumen aiheuttamat kuormat. Lisäksi on otettava huomioon ilmanpaine-erot rakenteen eri puolilla. Lämpötilan muutoksilla ja lämpötilaerolla on myös merkittävä vaikutus lasin mitoituksessa. Kuormien ja kuormitusyhdistelyjen osalta lasilevyjen mitoituksessa noudatetaan SFS-EN 1990 (Eurokode Rakenteiden suunnitteluperusteet).

Lasien mitoittamisessa ja niiden paksuuden valinnassa on myös huomioitava, niistä syntyvät mahdolliset ulkonäkö asiat. Katoille muodostuu useita eri kuormitusyhdistelmiä, jolloin tietty osa katosta voi olla raskaammin kuormitettu esim. kinostumisten vuoksi kuin toinen osa, johon vaikuttaa vain normaalit kuormat. Näissä tilanteissa raskaammin kuormitetulle osalle muodostuu mitoituksessa paksumpi lasi kuin kevyemmin kuormitetulle osalla. Tämän seurauksena paksumman ja ohuemman lasin välille muodostuu värieroja. Paksumpi lasi on tummempi kuin ohuempi lasi. Näistä seikoista ja sen vaikutuksesta rakenteen ulkonäköön, on syytä keskustella arkkitehdin kanssa jo varhaisessa vaiheessa. Mahdollistahan on käyttää paksumpaa lasia koko rakenteessa, jolloin värieroja ei synny. Toisaalta onko kustannustehokasta käyttää paksumpaa lasia, kuin on mitoituksesta saatu?

3.4.1 Laminoitu lasi

Tässä kappaleessa esitellään laminoituneen lasin tehollisen paksuuden määrittäminen. Lasilevyjen välissä olevan PVP-kalvo siirtää leikkausvoimia yksittäisten levyjen välillä. Kalvon liukukerroin on lämpötilasta riippuvainen muuttuja ja kalvossa tapahtuu pitkäaikaisessa leikkauskuormituksessa leikkausvirumaa. Tehollista paksuutta määriteltäessä voidaan tarkemmissa analyyseissä ottaa huomioon kalvon liukukerroin. Yksinkertaistetussa menettelyssä voidaan olettaa lasilevyjen toimivan täysin yhdessä ($T=1$) tai täysin erillisinä lasilaattoina ($T = 0$). Tässä tapauksessa tutustutaan kuitenkin tarkempaan välikerroksen liukukertoimen äärellisen arvon huomioonottavaan laskentatapaan. (RIL 198-2001 s. 50-52)

Välikerroksen muodostavan PVP- kalvon paksuus on tavallisesti monikerroksisen PVB-kalvon peruspaksuudesta $t_{v0} = 0,38$ mm. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua PVP-kalvon paksuus.

$$t_v = nt_{v0} \quad (2)$$

Seuraavissa kaavoissa on esitetty kahdesta lasilevystä PVB- laminoimalla valmistetun lasilaatan tehollisen paksuuden määrittäminen PVB-kalvon liukukertoimen äärellisen arvon avulla arvioituna.

Seuraavassa taulukossa on annettu arvoja välikerroksen liukukertoimelle.

TAULUKKO 3. Kuorman vaikutusajasta riippuva PVB-kalvon liukukerroin G_{PVB}

Lämpötila, °C	Hetkellinen	Lyhytaikainen	Pitkäaikainen
< 25	0,75	0,5	0,01
≥ 25	0,5	0,25	0,01

Kahdesta lasilevystä PVB-laminoimalla valmistetun lasilaatan tehollinen kokonaispaksuus, kuormien jakautumisen arvioimista ja taipumatarkasteluja varten.

$$t_{eff,w} = (t_1^3 + t_2^3 + 12\Gamma l_s)^{1/3} \quad (3)$$

Ensimmäisen ja toisen lasilevyn tehollinen paksuus jännitystarkasteluja varten

$$t_{1eff,\sigma} = \sqrt{\frac{t_{eff,w}^3}{t_1 + 2\Gamma t_{s,2}}} \quad (4)$$

$$t_{2eff,\sigma} = \sqrt{\frac{t_{eff,w}^3}{t_2 + 2\Gamma t_{s,2}}} \quad (5)$$

missä

$$t_s = 0,5(t_1 + t_2) + t_v \quad (6)$$

$$t_{s,1} = \frac{t_s t_1}{t_1 + t_2} \quad (7)$$

$$t_{s,2} \frac{t_s t_2}{t_1 + t_2} \quad (8)$$

$$l_s = t_1 t_{s,2}^2 + t_2 t_{s,1}^2 \quad (9)$$

$$\Gamma = \frac{1}{1 + 9,6 \frac{E I_s}{G_{PVB} t_s^2 a^2}} \quad (10)$$

t_v on välikerroksen paksuus, E lasin kimmokerroin, G_{PVB} PVB kalvon liukukerroin ja a laatan lyhempi sivumitta, $a = \min(L, H)$. (RIL 198–2001,52)

3.4.2 Lineaarisiiin laattamalleihin perustuva mitoitius

Lasilaattojen mitoitius perustuu perinteisesti lineaariseen laattateoriaan. Murtorajatilassa tarkastellaan laatan keskipisteen suurinta vetojännitystä ja verrataan sitä vetolujuuden ominaisarvoon. Vastaavasti käyttörajatilassa haetaan laatan suurinta taipuma-arvoa ja verrataan sitä sallittuun taipumaan. Lineaarinen laattateoria soveltuu kahdelta ja kolmelta sivulta jatkuvasti tuetun suorakulmaisen laatan tehollisen jännityksen ja taipuman laskeamiseen. Lisäksi lineaarinen laattateoria soveltuu neljältä sivulta jatkuvasti tuetun suorakulmaisen laatan tehollisen jännityksen ja taipuman tarkasteluun, mikäli laatan taipuma on pienempi kuin laatan paksuus. Jos laatan taipuma on suurempi kuin lasin paksuus, on käytettävä suuren taipuman huomioonottavaa laattateoriaa. Alla on lyhyesti esitetty yhdestä lasilaatasta koostuvan, neljältä sivultaan vapaasti tuetun ja tasaisesti kuormitetun rakenteen laskentalausekkeet. (RIL 198-2001,58-59)

Jännitystarkastelu murtorajatilassa, murtorajatilan mukaista kuorma-arvoa q_d käyttäen

$$\sigma_{max} = \beta \frac{q_d a^2}{t^2} \leq f_d \quad (11)$$

josta saadaan lasilaatan paksuuden laskemista varten lauseke

$$t \geq a \sqrt{\frac{\beta q_d}{f_d}} \quad (12)$$

Taipumatarkastelu käyttörajatilassa, käyttörajatiljan mukaista kuorma-arvoa q_d käyttäen

$$w_{max} = \alpha \frac{q_d a^4}{E t^3} \leq w_{sall} \quad (13)$$

josta saadaan lauseke lasilaatan paksuuden laskemiseksi käyttörajatilassa

$$t \geq a^3 \sqrt{\frac{\alpha q_d}{E} \left(\frac{a}{w}\right)_{sall}} \quad (14)$$

Lausekkeissa a on laatan pienempi sivumitta, $a = \min(L,H)$. Kertoimet α ja β saadaan taulukosta 6.16 RIL 198-2001, jotka lasketaan laatan sivumittojen suhteen avulla. F_d lasin lujuuden mitoitusarvo. (RIL 198–2001,58-59)

Yllä olevilla lausekkeilla voidaan arvioida yhdestä lasilevystä tai yhdestä laminoidusta lasilevystä valmistetun lasilaatan jännityksiä, taipumia ja tarvittavaa paksuutta. Lausekkeet eivät sellaisenaan sovellu 2K- tai 3K – eristyslaselementtien yksittäisten lasilaattojen laskentaan. (RIL 198–2001,58-59)

Edellä olevilla kaavoilla päästään suhteellisen vaivattomasti kiinni lasilevyjen paksuuteen, jolla on rakenteen kuormituksia arvioitaessa suuri merkitys. Lasilevyjen omasta painosta muodostuu rakenneosan suurin pysyvä kuorma, joten sen mahdollisimman tarkka arviointi laskennan alussa on ensiarvoisen tärkeää. Nykyisin lasin mitoittaminen perustuu suurelta osin numeerisiin laskentamenetelmiin, jotka voivat perustua differenssimenetelmään tai elementtimenetelmään.

4 LIITTYMÄT JA LIITTYVÄT RAKENTEET

4.1 Liittymät

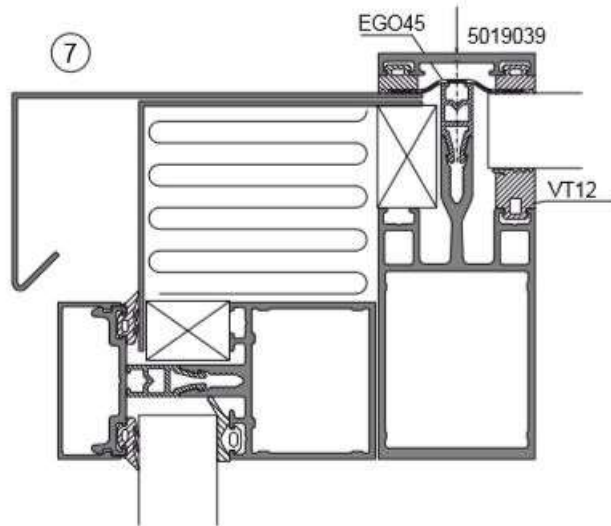
Liittymien merkitystä valokatto rakenteen osana ei voi liiaksi painottaa. Liittymiä koskevat vaatimukset ovat samalla tasolla kuin muun rakenteen vaatimustaso. Tämän vuoksi suunnittelijan onkin erittäin tärkeää ottaa huomioon liittymädetaljit ja suunnitella ne toimimaan osana kokonaisuutta. Liittymien tarkoituksena on liittää valokattojärjestelmä osaksi rakennuksen muuta rakennetta. Liittymät mitoitetaan kestämään katolta tulevat tukireaktiot. Liityntärakenteiden on myös oltava riittävän joustavia, jotta ne kestävät rakenteiden väliset siirtymäerot. Siirtymät kuten lämpötilaerosta johtuvat pakkovoimat, eivät saa aiheuttaa lisäkuormia liityntärakenteeseen, valokattojärjestelmään tai näiden välisiin liitoseliin.(RIL 198–2001,165-166)

Liittymien suunnittelussa onkin syytä huomioida seuraavia asioita: Rakenteelle asetetut toimivuus- ja soveltuvuusvaatimukset, ilmaston aiheuttamat ja mekaaniset rasitukset, lämmön- ja ääneneristävyys, palonkestävyys, materiaalivalinnat, tarkoituksenmukaisuus mitoituksessa ja rakenteessa, toteutettavuus ja korjattavuus. Näiden edellä mainittujen asioiden huolellisella suunnittelulla vältetään rakenteiden liittymissä esiintyvät ongelmat. Seuraavissa kappaleissa on esitelty valokatto rakenteiden tyypillisiä liittymä ratkaisuja ja detaljeja.(RIL 198–2001,165)

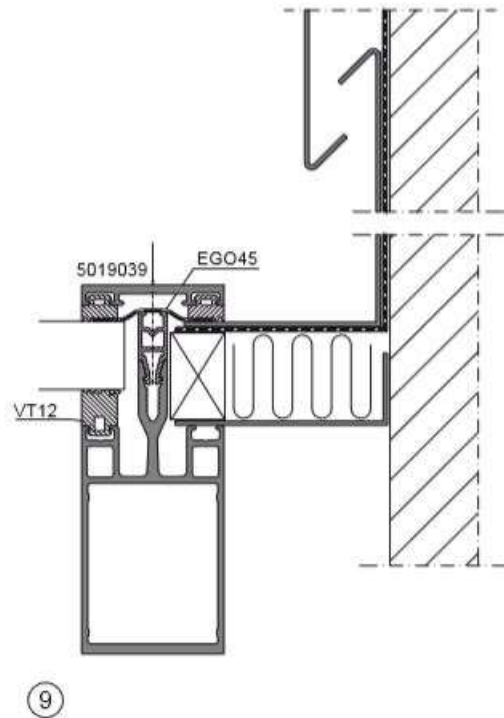
4.1.1 Valokaton seinä- ja harjaliitoksia

Kappaleessa esitellään periaatteellisia valokaton ja seinän liitoksia ja niiden toimivuuteen liittyviä asioita. Liitoksissa tärkeintä on niiden tiiveys ja pitävyys. Tämä asia korostuu etenkin suunnittelussa, jolloin detalji suunnittelun tärkeys korostuu. Hyvin ja huolella suunniteltujen detaljien ansiosta, vältetään monilta turhilta virheiltilä toteutuksen aikana.

Kuvissa 20 ja 21, on esitetty valokaton liitokset lasiseinään ja valokaton yläpuolelta jatkuvan seinän liitos. Liitoksissa huomioitavaa on niiden riittävä eristys ja liitosten tiiveyden varmistaminen. Kuvassa 21 on myös nähtävissä kuinka seinän vedeneristys tulee liittyä valokattoon.

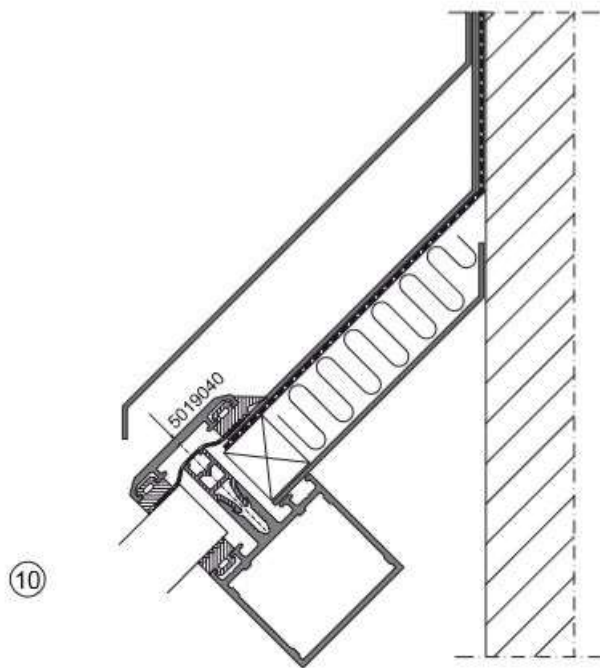


KUVA 20. Lasiseinän ja – katon liitos.



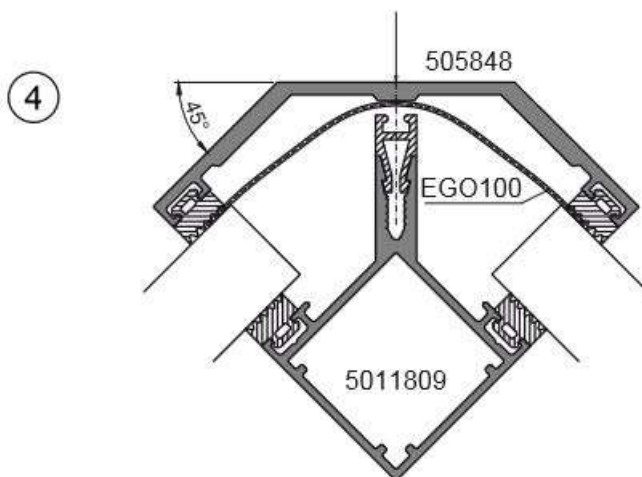
KUVA 21. Valokaton liitos yläpuolen seinään.

Kuvassa 22 on esitetty vinon valokaton liitos seinärakenteeseen. Liitoksessa tärkeää on vesieristyksen yhtenäisenä jatkuminen seinältä katolle. Lisäksi kuvassa on esitetty periaate pellityksen toteutukseen liitoksen kohdalla.



KUVA 22. Valokaton liitos seinään.

Tässä kappaleessa esitellään muutamia periaatteellisia harjaliitoksia ja niissä huomion arvoisia asioita. Harjaliitoksissa huomionarvoista on sen tiiveyden ja lämmöneristävyyden varmistaminen. Kuvassa 23 on esitetty eristämättömän harjakaton harjaliitos.

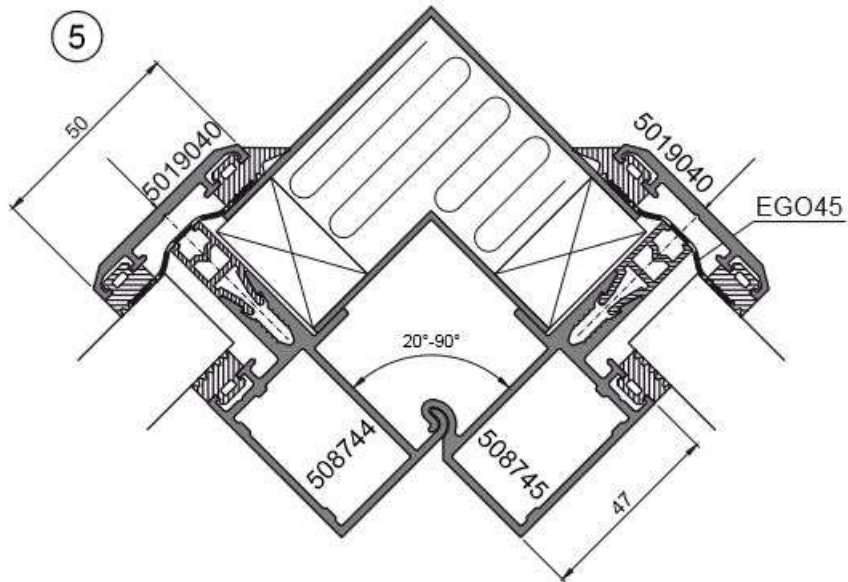


KUVA 23. Harjaliitos eristämätön.

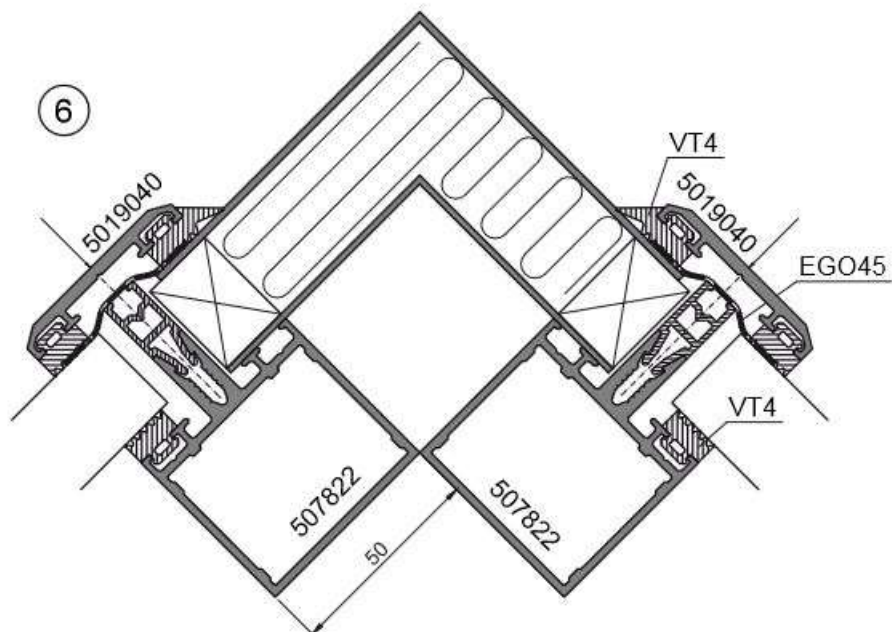
Edellä esitetyssä kuvassa liitos on toteutettu alumiiniprofiilien avulla. Harjaliitoksen tiiveys on varmistettu harjan yli menevällä tiivistekaistalla, joka puristuu tiiviisti lasielementtien puristusliitokseen. Lisäksi on huomioitavaa lasielementtien ja harjanväliin

jäävä riittävä tila, joka mahdollistaa lasien vapaan liikkumisen rakenteessa tapahtuvien lämpöliikkeiden johdosta.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty eristetty harjaliitos. Kuvien tapauksissa liitokset on toteutettu valokattojärjestelmän toimittajan (Purso) omilla liitososilla.



KUVA 24. Harjaliitos eristetty.



KUVA 25. Harjaliitos eristetty.

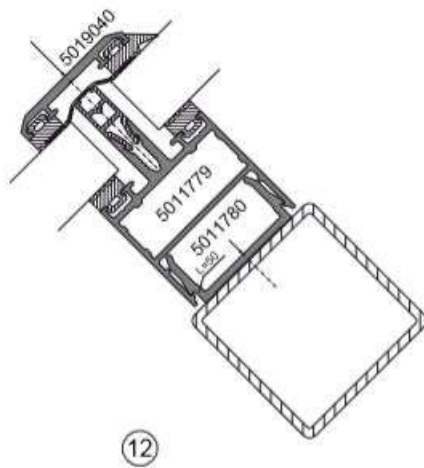
Eristetyissä harjaliitoksissa huomioitavaa on niiden höyrynsulun toimivuuden ja jatkumisen varmistaminen yli harjan. Lasi itsessään on höyrytiivis materiaali, mutta harjaliitosten saumojen osalta on suunnittelussa noudatettava huolellisuutta, jotta niistä saadaan myös höyrytiivitä. Liitoksiin liittyvää fysikaalisia ominaisuuksia käsitellään tarkemmin myöhemmässä luvussa Rakennefysikaaliset tarkastelut.

Purso Oy ja Sapa building systems tarjoavat suunnittelijalle kattavan detalji kirjaston internet sivuillaan suunnittelun avuksi. Sivuilta löytyvät detaljit ovat periaatteellisia ja eivät välttämättä sovellu suoraan käytettäväksi. Detaljit ovat saatavilla dwg- muodossa, jolloin niiden muokkaaminen kohteeseen sopivaksi on helppoa.

4.1.2 Valokaton liittyminen teräsrunkoon

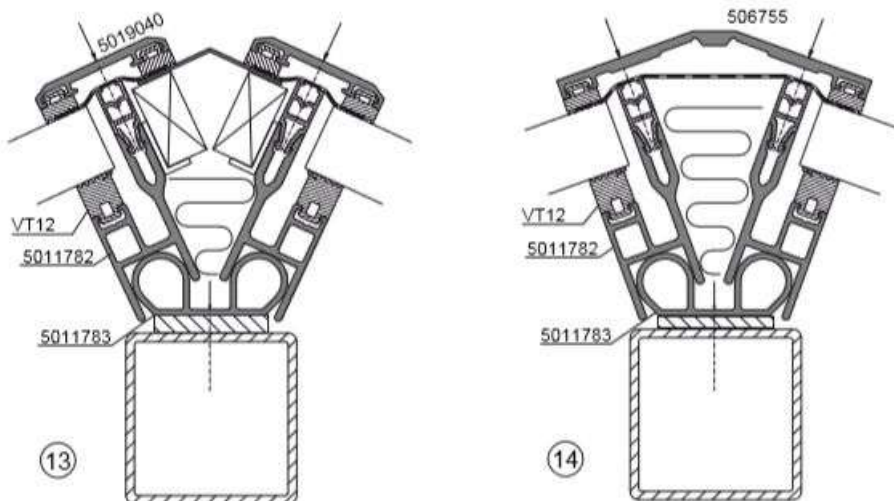
Tässä kappaleessa esitellään valokaton alumiiniprofiili järjestelmän liitoksia kantavaan teräsrunkoon. Lisäksi käsitellään liitoksien kannalta huomioon otettavia asioita suunnittelussa.

Alumiiniprofiili järjestelmän liitoksen on mahdollistettava profiilien ja alapuolisen teräsrungon vapaa liikkuvuus tasossa. Tämän mahdollistamiseksi järjestelmien valmistajat ovat luoneet erilaisia kiinnitys komponentteja järjestelmille. Kiinnitys osien suunnittelussa on syytä varmistua niiden toimivuudesta, yhdessä järjestelmän valmistajien osien kanssa. Kuvassa 26 on esitetty liitos detalji kantavaan teräsrunkoon. Liitos on toteutettu järjestelmän toimittajan osien avulla ja siitä on hyvin nähtävissä liitoksen toimintaperiaate.



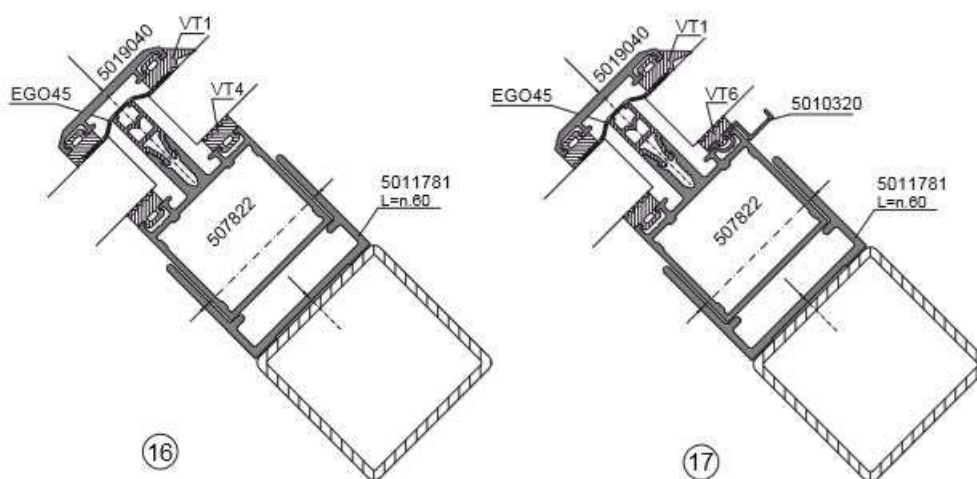
KUVA 26. Liitos teräsrunkoon.

Kuvassa 27 on esitetty harjaliitoksia. Liitoksissa huomionarvoista on niiden liittyminen teräsrunkoon. Liitoksessa on käytetty osia, jotka sallivat harjalla tapahtuvat liikkeet esim. lämpölaajenemisesta. Lisäksi kuvassa esitetty komponentti sallii myös harjansuuntaisen liikkeen. Kuvissa esitetty komponentti 5011783 sallii harjan liikkeet lämpölaajenemisen seurauksesta. Komponentti toimii nivelen lailla ja estää harjalle muodostuvat pakkovoimat.



KUVA 27. Liitokset teräsrunkoon harjalla.

Kuvassa 28 esitetään profiilijärjestelmän liitos teräsrunгон vaakaorsiin. Liitokset sallivat harjansuuntaiset liikkeet. Liitokset kiinnitetään pultti- tai ruuviliitoksien avulla. Edellä ja alla esitettyjen osien avulla liitoksista saadaan siistejä ja tiiviitä. Lisäksi näiden avulla voidaan varmistaa liitosten oikea toiminta.

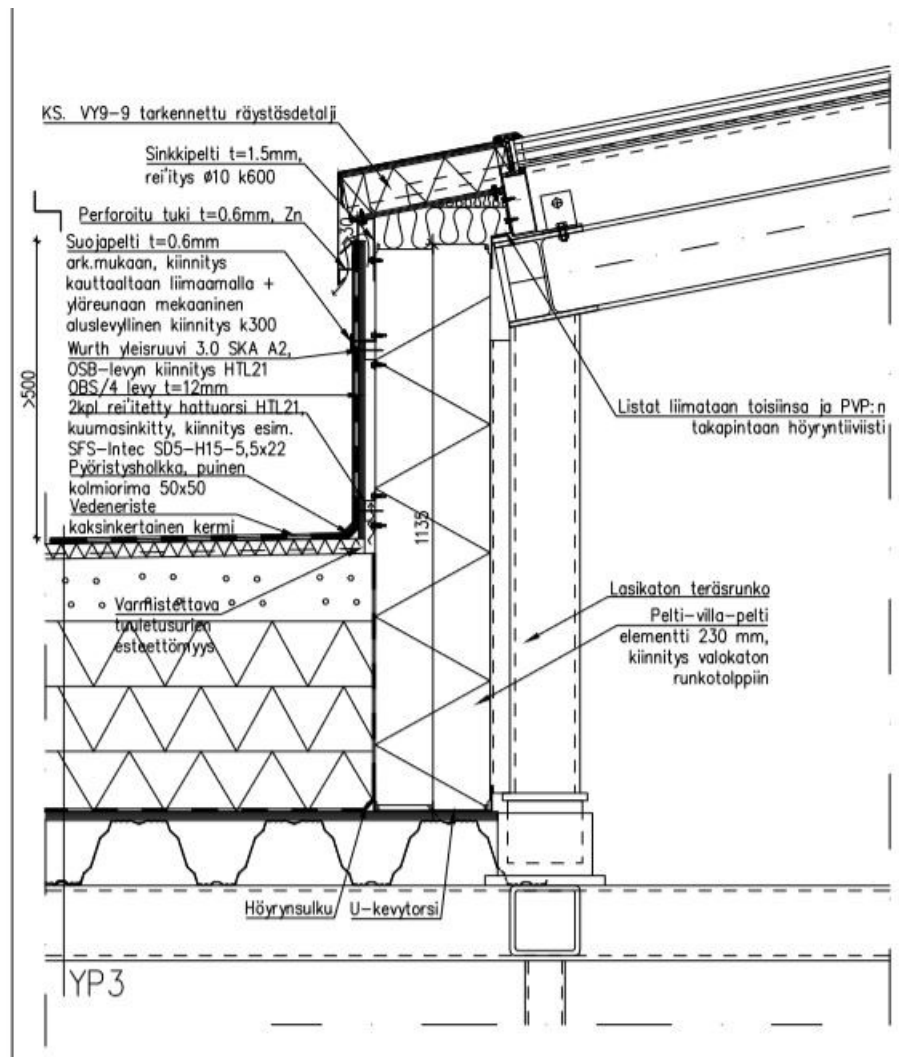


KUVA 28. Liitos teräsrunkoon.

4.1.3 Liittymät räystääseen

Valokattojen liittymät räystääseen luovat toteutuksen ja suunnittelun osalta muutamia tarkempaa tarkastelua vaativia kohtia. Räystäiltä vaaditaan kestävyyttä, tiiveyttä ja tuuletettavuutta, joten niiden detalji suunnittelu voi muodostua haasteelliseksi. Räystäiden osalta niiden riittävän tuennan varmistaminen on kestävyuden kannalta tärkeää. Liitteenä olevissa räystäs detaljeissa on esitetty muutamia erityyppisiä ratkaisuja räystäiden osalta.

Räystäiden osalta on myös tärkeää varmistaa kattojen ja seinärakenteiden riittävä tuuletus. Tuuletetuissa katoissa tämän varmistaminen vaatii hieman tarkempaa detalji suunnittelua. Katon tuuletuksen varmistaminen onnistuu yleisesti helposti lasikaton räystäsraakenteen sisällä. Kuvassa 29, on esitetty tuuletetun katon räystäs detalji ja liitos valokattoon. Detaljista on myös nähtävissä periaate räystään tuennan varmistamiselle.



KUVA 29. Räystään liitos katon ylösnostoon

4.2 Liikuntasaumamat

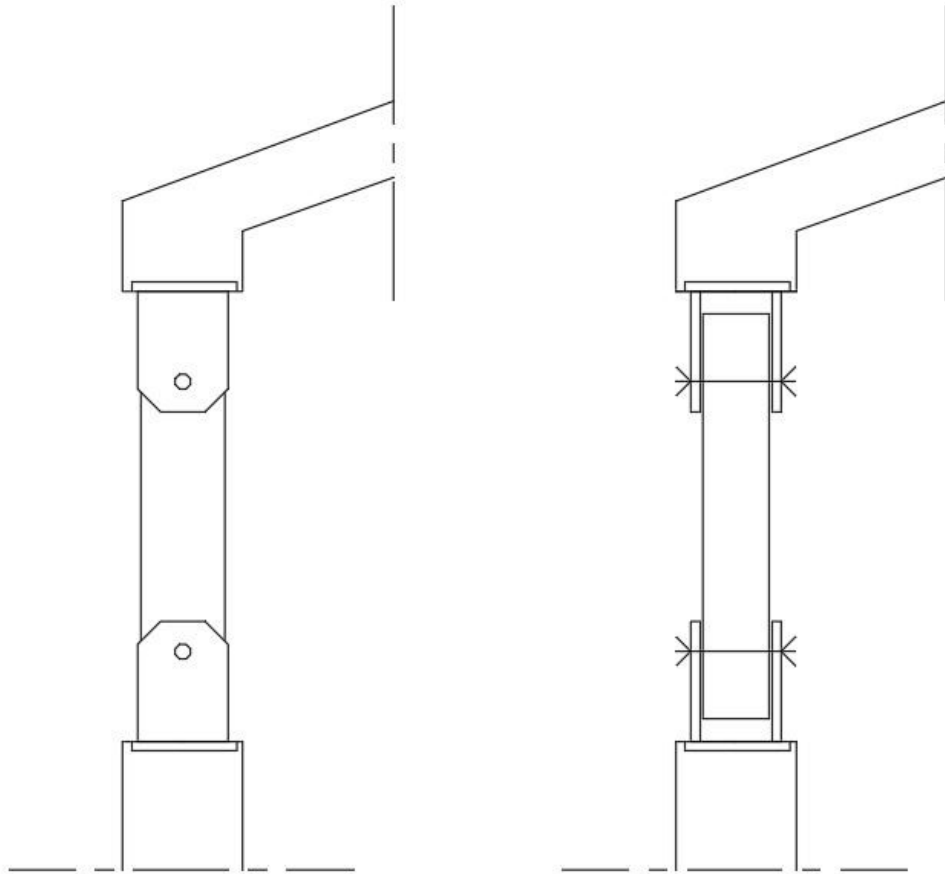
Liikuntasaumojen tärkeyttä osan rakenteen kokonaisvaltaista toimintaa, tuskin voi liikaa painottaa. Saumojen oikeaoppisen toimivuuden ja sijoittelun tärkeys on huomioitava suunnittelussa. Valokatto rakenteet ovat erityisen herkkiä lämpöliikkeiden suhteen. Liikkeistä aiheutuvat pakkovoimat on huomioitava suunnittelussa. Teräsrakenteen etuna on sen joustavuus, joka mahdollistaa melko suuret liikuntasaumavälit. Tästäkin huolimatta vaativat yläpuoliset lasirakenteet huomattavasti pienemmät liikuntasaumavälit.

Vaikka kappaleiden lämpöliikkeet olisivat pieniä tarkasteltaessa yksittäistä rakenneosaa, muodostuu monesta rakenneosasta koostuvasta rakenteesta kokonaisuus, minkä lämpöliikkeet saattavat olla jo huomattavat. Saumojen määrittämiseen ei ole yksiselitteistä

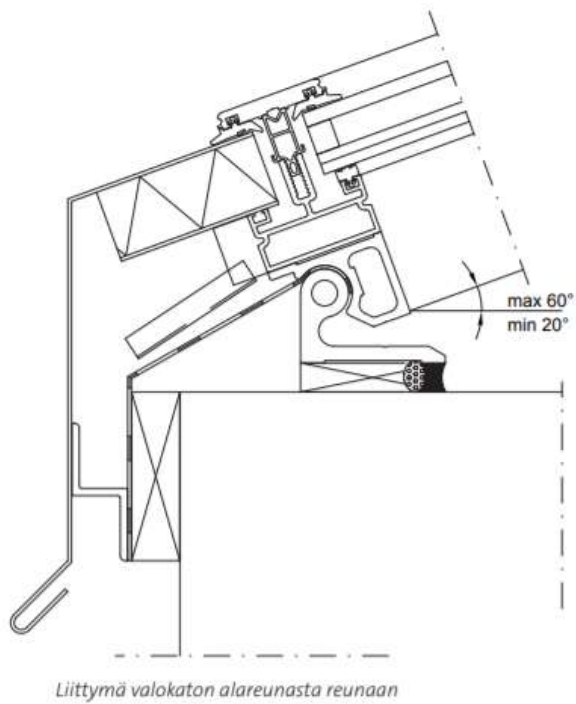
ohjetta, vaan tarkastelu on aina suoritettava tapauskohtaisesti. Selvityksessä on huomioitava kappaleiden materiaaliominaisuudet, saumojen sijoittelu, pakkovoimat kuten lämpöliike ja värähtely, jatkuva sortuma ja rakenneosien yhteen toimivuus.

Tyypillisiä saumojen sijainteja ovat kahden eri rakenneosan liitoskohta, uuden ja vanhan rakenneosan liitoskohta, kahden eri materiaalin liitoskohta ja rakenneosan geometrian muutos kohdissa. Valokattojen osalta hyviä liikuntasumojen sijainteja ovat harjaliitos, seinän ja katon liitoskohta ja kattorakenteen kulmakohdat. Saumojen sijoittelussa on hyvä myös huomioida alapuolisten rakenteiden kuten kantavan rungon ja perustusten liikkeitä, koska alapuolisten rakenteiden liikkeet aiheuttavat yleisesti mahdollisia vaurioita yläpuolisissa rakenteissa. Muutamaksi tutkittavan arvoiseksi paikaksi voisi luetella perustuksien korkeuden muutokset, pohjamaan muutoskohdat ja elementtien saumakohdat.

Valokattojen jännemitat saattavat olla isoja, joten niissä tapahtuvat lämpöliikkeet on syytä ottaa huomioon suunnittelussa. Suorien palkkien toinen pää on silloin suunniteltava liikkuvaksi. Tämä toteutuu harja- ja pyramidikatoissa siten, että runkopalkki pääsee nousemaan ja laskemaan vapaasti harjalla. Toinen tyypillinen tapa toteuttaa liikuntasuma on käyttää ns. Pendeliä (kuva 30), joka mahdollistaa teräsrungon liikkeet. Tässä tapauksessa kattorunko asennetaan kiinteästi toisesta päästä ja nivellisesti toisesta. Pendeli toimii saranan omaisesti ja sallii kattorakenteessa tapahtuvat muodonmuutokset. Liikuntasaumojen sijoittelu perustuu vahvasti kokemuspohjaiseen suunnitteluun, eikä niiden sijoitteluun ole saatavilla tarkkoja ohjeistuksia. Saumojen sijoittelu ja suunnittelu onkin tutkittava aina tapauskohtaisesti.



KUVA 30. Periaatekuva pendelistä



KUVA 31. Sapa 5050 periaatekuva liittymä/ liikuntasaumalaite (Sapa Käsikirja 2015)

4.3 Rakennefysikaalinen tarkastelu

Suomen haastavat ilmasto-olosuhteet asettavat valokattorakenteiden toiminnalle korkeat vaatimukset. Talven lumi, kevään sulamisvedet, kesän ja syksyn sateet aiheuttavat kattorakenteille suuria rasituksia. Rakenteen kosteusteknistä toimivuutta tutkittaessa, edellytetään kattorakenteelta korkeaa ja hallittua vesi-, höyry- ja ilmatiiveyttä sekä kondensoitumiskäyttäytymistä. Rakenteessa esiintyvät kapilaariset ja paine-eroista johtuvat tunkeutumiset aiheuttavat myös haasteita toimivuudelle. Lisäksi kattojen haastavat räystäsrakenteet lisäävät rakenteen suunnittelun vaativuutta. Hallittavia elementtejä ovat myös lumensulamiskäyttäytyminen ja viistosateen aiheuttamat rasitukset. Näiden kaikkien osaluokkien hallinta suunnittelussa on ensiarvoisen tärkeää koko rakennuksen käyttöänsä ajan. Valokatot itsessään, niin lasin kuin tiivisteidensä osalta, ovat höyrytiivittä rakenteita. Valokattorakenteissa kosteuden siirtymät tapahtuvat diffuusion ja konvektion kautta. Jokaisella materiaalilla on niille ominainen vesihöyryn läpäisevyyden vastus. Tämän avulla pystytään tutkimaan rakenteen toimintaa kosteusteknisessä mielessä. (RIL 198-2001,79)

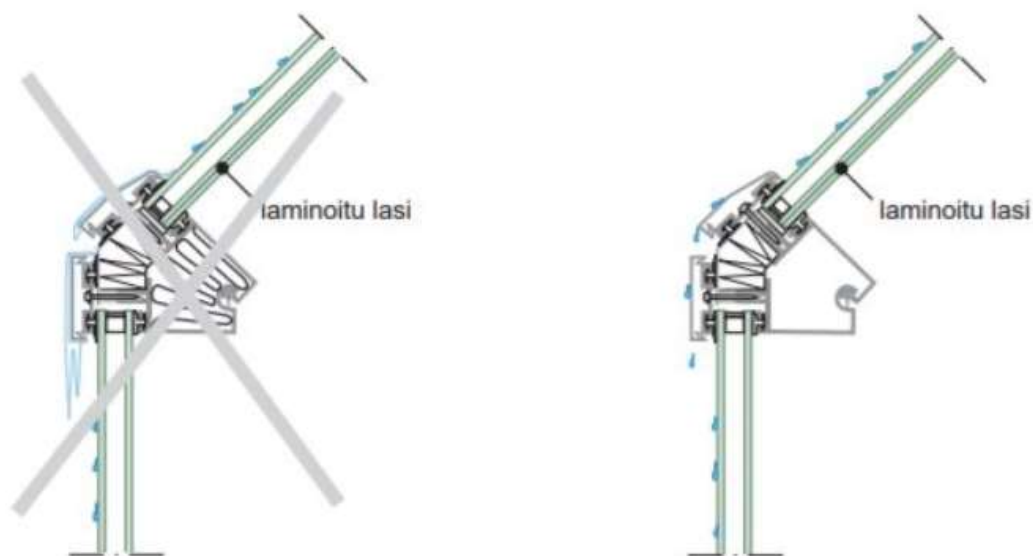
4.3.1 Vesitiiveys

Valokatto toimii osan vesikattorakennetta ja sen tarkoituksena on pitää sade, sateen valumavedet, veden patoutuminen, räntälumi ja lumen sulamisvedet rakennuksen ulkopuolella. Näistä veden eri olomuodoista aiheutuu rakenteelle suuria rasituksia, jotka edellyttävät siltä suurta vesitiiveyttä. Tiiveyden lisäksi katto on suunniteltava sellaiseksi, että siltä on mahdollista johtaa vesi pois hallitusti. Tyypillisin vedenpoistojärjestelmä profiileissa on sellainen, jossa vedet johdetaan vedenpoistourien avulla rakennuksen ulkopuolelle tai rakennuksen vedenpoistojärjestelmään. Vedenpoistojärjestelmien ja veden poiston toimivuus on varmistettava rakenteen lämpöliikkeistä ja sallituista painumista huolimatta. Toimivuus on huomioitava niin rakenteen sisällä kuin sen ulkopuolellakin. (RIL 198–2001,80–84)

Vesitiiveyden vaatimukset perustuvat standardin EN 12154 pohjalle, minkä mukaan rakenteet voidaan jakaa viiteen tiiveysluokkaan. Luokat ovat R4, R5, R6, R7 ja RE xxx vesisuihkun tilavuusvirtauksen, testauspaine- / aikasekvenssien mukaisesti. Järjestelmien valmistajat ilmoittavat poikkeuksetta omien tuotteidensa luokituksen, jonka mukaan suunnittelija voi jatkaa suunnittelua. (RIL 198–2001,80–84)

Vesitiiveyden varmistaminen asettaa myös vaatimuksia rakenteen kattokaltevuudelle. Riittävällä kaltevuudella varmistetaan esteetön valuminen ja patoutuminen. Kaltevuus vaihtelee järjestelmästä riippuen ja yleissääntönä voidaan pitää pintalistajärjestelmien osalta 27° kattokulmaa miniminä. Tosin riippuen valmistajasta ja järjestelmästä voi kattokulma vaihdella välillä $15^\circ - 30^\circ$. SG-järjestelmillä voidaan kattokulma loiventaa jopa 3-6 asteeseen riippuen järjestelmästä, lasin paksuudesta ja koosta. (RIL 198–2001,80–84)

Lumen sulamisen hallinta on myös huomioitava suunnittelussa. Tämä tarkoittaa sitä, että kattorakenteen lämmöneristävyys ei saa merkittävästi muuttua veden valumissuunnassa. Mikäli eristävyys muuttuu merkittävästi, voi tästä seurata jään patoutumista rakenteeseen. Tämä voidaan myös estää asentamalla lämmityskaapelit räystäsrakenteeseen. Kriittisin paikka tälle jäätymiselle tyypillisesti on valokaton ja julkisivun liitoskohta kuva 32. Jäätyminen riski on myös suuri valokaton ja tavanomaisen katon liitoskohdissa. (RIL 198–2001,80–84)



KUVA 32. Jäänpatoutuminen räystäälle

4.3.2 Höyry- ja ilmatiiveys

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta määrittää rakenteiden höyry- ja ilmanpitävyyden seuraavalla tavalla: ”Rakennuksen vaipan liitoksineen sekä rakennuksen sisärakenteiden ilmanpitävyyden ja höyrytiiviiden on estettävä

vesihöyryn rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta haitallinen siirtyminen rakenteisiin.”

Valokattorakenteissa vielä vesivuotoja suuremman riskin aiheuttavat höyry- ja ilmavuodot. Tarkasteltaessa rakenteen ilmanpitävyyttä paine-eron ollessa positiivinen, on varmistettava rakenteen tiiveydestä. Höyrytiiveyden osalta tarkastelu on yleisesti päinvastainen. Valokattorakenteiden osien höyrytiiveys on yleisesti riittävä, minkä vuoksi tarkastelun voi siirtää ilmatiiveyden tutkimiseen. Tiiveysvaatimukset määritetään standardin EN 12152 mukaisesti. Tämä standardi jaottelee rakenteet viiteen eri ryhmään A1, A2, A3, A4 ja AE. Standardin luokittelu perustuu ilmavuodon määrään sekä pinta-alaa että sauman pituutta kohden. Mikäli rakenteelle on asetettu ääneneristävyys vaatimuksia, on se huomioitava ilmatiiveyttä suunniteltaessa. (RIL 198–2001,84–85)

4.3.3 Kondensoituminen

Ilma sisältää aina kosteutta vesihöyrynä. Ilman kosteutta mitataan yleisesti suhteellisena kosteutena RH (%). Tämä lukema ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn paineen suhteen kyllästymispaineeseen. Tässä tilassa ylimääräinen vesihöyryn kosteus alkaa tiivistyä nesteeksi rakenteen pintaan. Pinnan lämpötila, jossa höyry alkaa tiivistyä nesteeksi kutsutaan kastepisteeksi.

Kondensoituminen riippuu monesta eri tekijästä, kuten pinnan lämpötilasta, ilman vesihöyrypitoisuudesta, ilmanvaihdosta, ilmanpaineesta ja kosteuslähteistä. Valokatoissa joissa on kohtuullisesti eristävät eristyslasit U -arvo $< 2 \text{ W/m}^2\text{K}$, lasien sisäpinnoilla ei kondensoitumista juuri tapahdu. Profiilirakenteiden osalta taas on syytä tutkia tarkkaan niiden lämmöneristävyys ja dimensiointiin liittyvät asiat, koska niiden kohdalla kondensoitumisen riski on huomattavasti suurempi. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat lämpökatkot, profiilin ulkopinta-alan suhde sisäpinta-alaan jne.. Mikäli profiilirakenteisiin jää kondensoitumiselle riski alttiita paikkoja, tulee niiden osalta materiaalivalinnat tehdä oikein ja huolehtia hallitusta veden poistosta rakenteessa. Kondensoituminen voidaan siis sallia tietyissä olosuhteissa, mutta se edellyttää haittavaikutusten eliminointina. Kondensoitumisriskin voidaan eliminoida muutamalla yleisohjeella. Varmistetaan rakenteen riittävä tiiveys sisävaipalla, mitoittamalla lämmöneristävyys riittäväksi ja huolehtimalla riittävästä ilmanvaihdosta. Mahdollista on myös asentaa sähkölämmitteisiä laseja, joiden

avulla rakenteen pintalämpötila saadaan säädettyä riittävän korkeaksi. Tämä kuitenkin on melko kallis ratkaisu ja lisää rakenteen kuluttamaa energiaa ja elinkaarikustannuksia reilusti. Huolellisella suunnittelulla ja rakennefysikaalisella tarkastelulla saavutetaan toimiva kokonaisuus kondensoitumista vastaan. (RIL 198–2001,85-87)

Kondensoitumisesta mahdollisesti aiheutuvat haittavaikutukset on huomioitava suunnittelussa rakenteiden pintojen suhteen. Yleisesti voidaan todeta, että rakenteen kaksivaiheinen tiiveys varmistaa rakenteen toiminnan. Tämä toteutuu sillä, että sisäpinta on mahdollisimman höyrytiivis ja ulkopinta toimii sääsuojana. Lisäksi on varmistuttava hallituista tuuletus- ja valumareiteistä. Eristyslasissa tämä voidaan toteuttaa tiiviillä sisäpuolisella tiivistyksellä ja ulkopuolisella kynnetilan tuuletuksella. (RIL 198–2001,85-87)

4.3.4 Lämmönsiirtyminen

Lämmönsiirtymisellä on suurivaikutus rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen, joten onkin erittäin tärkeää ymmärtää lämmönsiirtyminen rakenteen kosteusteknisessä tutkimuksessa. Rakenteelliset kylmäsillat esim. teräsorret, alumiiniprofilien kiinnitys ruuvit tai eristeiden huolimaton asennus voivat aiheuttaa rakenteiden paikallista viilenemistä, jonka seurauksena rakenteen sisäosan ilman suhteellinen kosteus nousee. Kylmäsilloista ja ilmavuodoista voi aiheuta kosteuden kondensoitumista rakenteen sisäpinnoille tai rakenteen sisälle, josta voi pitkällä aikavälillä seurata kosteusvaurioita. Lasikattorakenteissa on yleistä, että yönvastasäteily alentaa rakenteiden lämpötiloja. Tämän seurauksena kosteus kondensoituu rakenteen ulko- tai sisäpinnalle. Yönvastasäteilyllä tarkoitetaan rakennuksen ulkopinnoilta avaruuteen säteilevää lämpöä. Ulkopinnoilla kondensoitumisesta ei aiheudu kosteusvaurioita rakenteille vaikutus on lähinnä kosmeettinen. Sisäpinnoilla kondensoituminen aiheuttaa vesivalumia, jotka voidaan tulkita helposti kattovuodoksi. Kondensoituminen on riippuvaista rakenteen U-arvosta ja sisäpinnan ilmavirtauksista, mitä alhaisempia kumpikin on, sen pienempi todennäköisyys on kondensoitumisella. (5. Rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen)

Nykyisellä lasiteknologialla valmistettujen lasien valoaukon U-arvot on saada erittäin alhaisiksi alle $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tästä johtuen kondensoitumisriski siirtyy lasien ulkopintaan, koska lämpövuoto ei riitä pitämään ulkopintaa kastepisteen yläpuolella. Riski kasvaa

etenkin lasikattojen ja korkeiden yksittäisten rakennusten osalla. Tämän vuoksi mitä alhaisempi on valoaukon U-arvo, sitä huolellisemman tarkastelun se vaatii kondensoitumisriskin kannalta. (RIL 198-2001, 87)

Yhteenvetona rakenteen rakennefysikaalisesta suunnittelusta voidaan todeta seuraavasti. Hallitut ja riittävät aukot pitävät rakenteen sisäiset paine-erot pieninä, jolloin paineroista aiheutuvat poistumis- ja tuuletuskanavien toiminta ongelmat poistuvat. Tiiviiksi suunnitellun liittymän on oltava ehdottoman tiivis ja vastaavasti avoimeksi suunnitellun tulee olla avoin.

5 POHDINTA

Valokattojen suunnittelu kostuu monien eri materiaalien ja osa-alueiden yhteensovittamisesta. Kattojen suunnittelu edellyttää suunnittelijalta hyvää materiaali tuntemusta, rakennesien yhdistelyn taitoa ja hyvää kokonaisuuden hallintaa. Kattojen suunnittelua voidaan verrata palapelin kokoamiseen, jolloin osien ja materiaalien tulee liittyä toisiinsa tiiviisti ja mutkattomasti.

Kattoihin kohdistuvat suuret rasitukset, niin kuormista kuin sään aiheuttamista rasituksista. Näiden kaikkien huomioiminen suunnittelussa edellyttää tarkkuutta ja kokemusta valokattorakenteiden suunnittelusta. Tästä voidaankin todeta, että valokattojen suunnittelussa kokemusperäinen tieto ja taito ovat suuressa roolissa. Kattoja käsittelevät teokset ovat harvassa, hyvää tietoa löytyy esim. RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet, jota on tässäkin työssä käytetty lähdeoteena. Kokemuksiin perustuvaa tietoa, oli saatavilla vanhemmilta suunnittelijoilta. Tästä voidaankin todeta, että valokattoja suunniteltaessa on hyvä konsultoida kokeneempia suunnittelijoita aiheesta. Näin selvittää monesta mahdollisesta riskejä aiheuttavasta paikasta ja kartutetaan samalla omaa tietoa, jota ei kirjoista löydä.

Valokattojen suunnittelussa korostuu eri suunnittelualojen yhteistyö. Arkkitehdin, rakennesuunnittelijan, LVIS-suunnittelijoiden ja muiden erityissuunnittelijoiden on tehtävä saumatonta yhteistyötä koko suunnittelu prosessin ajan. Teräsrunkoiset katot toteutetaan suurimmilta osin konepajoilla tuotetuista osista, joten niissä olevien läpivientien ja muiden erityisosien on oltava jo tehtaalta lähdettäessä kunnossa. Ylimääräisten läpivientien ja kiinnitys osien lisääminen työmaalla on työlästä ja aiheuttaa turhia kustannuksia ja viivästyksiä aikatauluun.

Työn tarkoituksena oli luoda kokonaisuus, jonka avulla suunnittelijalla on mahdollisuus tutusta valokattojen suunnittelun erityispiirteisiin. Työssä saavutettiin kokonaisuus, jonka avulla suunnittelija pystyy tutustumaan valokattoihin ja niiden erityispiirteisiin. Käsiteltävänä aihealueena valokatot on melko laaja kokonaisuus, joten työssä on mahdotonta käsitellä tarkasti kaikkia osia. Tästäkin huolimatta työhön saatiin koottua hyvä paketti, jonka avulla suunnittelijan on mahdollista tutustua tai palautella muistiin valokattojen suunnittelun erityispiirteitä.

LÄHTEET

Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, 5. Rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen

Lasifakta 2012, Pilkington Lahden lasitehdas 2012

Purso PL50 Valokattojärjestelmä, 2016-01

Rainamo Matti, Riikonen Mauri. 1999. Lasirakentajan käsikirja

RIL 198-2001 Valoaläpäisevät rakenteet, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 2001, Helsinki

Saarni Risto, 1996, Teräsrakentaminen, Rakennustieto

Sapa Building Systems, Käsikirja 2-2015

SFS – EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet

SFS – EN 1991-1-1 Rakenteiden kuormat, Yleiset kuormat

SFS – EN 1991-1-3 Rakenteiden kuormat, Yleiset kuormat, Lumikuormat

SFS – EN 1991-1-4 Rakenteiden kuormat, Yleiset kuormat, Tuulikuormat

SFS – EN 1991-1-5 Rakenteiden kuormat, Yleiset kuormat, Lämpötilakuormat

SFS – EN 1993-1-1 Teräsrakenteiden suunnittelu, Yleiset säännöt

Vitera Oy, www.vitrea.fi/tuotteet/pistekiinnitysjarjestelma/kiinnikkeet, luettu 4/2018

YM Rakennusten käyttöturvallisuudesta, Luku 3 Rakennusosien ja varusteiden turvallisuus 10§ Lasirakenteet

