



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ELISA LEHTO

# **Valokattorakenteiden suunnitte- luohje**

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-  
OHJELMA  
2021

Tekijä(t) Lehto, Elisa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 38	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Valokattorakenteiden suunnitteluohje</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, Rakennesuunnittelu		
Tiivistelmä  <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä valokattorakenteiden suunnitteluohje. Työn toimeksiantajana toimi Ramboll Finland Oy. Työ rajattiin koskemaan valokattorakenteita ja niiden liitoksia kantaviin rakenteisiin. Työssä perehdyttiin valokattorakenteiden lasitusjärjestelmiin, käytössä oleviin lasimateriaaleihin, rakennusfysiikkaan, liitoksiin ja rakenteen mitoittamiseen.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä aiheesta löytyvään kirjallisuuteen, rakennusalan julkaisuihin, lainsäädäntöihin ja standardeihin. Valokattorakenteiden suunnitteluun on olemassa melko vähän kirjallisuutta ja tässä opinnäytetyössä ne on koottu selkeäksi kokonaisuudeksi suunnittelijoille.</p>		
<a href="#">Asiasanat</a> valokatot, suunnittelu, lasi		

Author(s) Lehto, Elisa	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 38	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Design instruction for light roof structures</b>		
Degree program Construction and Civil Engineering		
Abstract  <p>The goal this thesis was to do a design instruction for light roof structures. The work was commissioned by Ramboll Finland Oy. The thesis was limited to light roof structures and their connections to load-bearing structures. The work introduced the glazing systems of light roof structures, the glass materials used, building physics, joints and structural dimensioning.</p> <p>The thesis was implemented by acquainted with the literature, publications, legislation and standards in the field of construction. There is ever so slightly of literature on the design of light roof structures and in this thesis, they have been compiled into a clear entirety for design.</p>		
<u>Key words</u> light roofs, planning, glass		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 VALOKATTORAKENTEET.....	8
2.1 Lasitusjärjestelmät.....	8
2.1.1 Pintalistallinen järjestelmä.....	9
2.1.2 Pintalistaton järjestelmä.....	11
2.1.3 Pistekiinnitysjärjestelmä .....	12
3 VALOKATTORAKENTEIDEN LASI .....	13
3.1 Kemialliset ominaisuudet.....	13
3.2 Fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet .....	14
3.3 Lasin lujuus .....	14
3.4 Valokattorakentamisessa käytettävät lasityypit .....	15
3.4.1 Karkaistu lasi .....	15
3.4.2 Laminoitu lasi .....	16
3.4.3 Eristyslasi.....	16
4 TERÄS VALOKATTORAKENTEIDEN RUNKONA .....	17
5 LIITOKSET JA DETALJIT .....	18
5.1 Liittymät.....	18
5.1.1 Valokaton liitos kantaviin rakenteisiin .....	19
5.1.2 Vesieristeet .....	20
5.1.3 Höyrynsulut .....	21
5.1.4 Räystäät.....	21
5.2 Kondenssivedenpoistot .....	23
5.3 Liikuntasaumat.....	24
6 RAKENNUSFYSIKKA .....	25
6.1 Kondensoituminen .....	26
6.2 Vesitiiveys.....	26
6.3 Höyry- ja ilmatiiveys.....	27
7 KUORMAT .....	27
7.1 Staattiset kuormat.....	27
7.1.1 Pysyvä kuorma.....	28
7.1.2 Tuulikuorma .....	28
7.1.3 Lumikuorma .....	28
7.1.4 Lämpötilakuorma.....	29
7.2 Dynaamiset kuormat .....	29
8 ENERGIAATEKNINEN TOIMIVUUS.....	30

8.1 Lämmönläpäisykerroin .....	30
8.2 Auringonsäteilyn kokonaisläpäisysuhde .....	31
9 LASIRAKENTTEEN MITOITUS.....	31
9.1 Lasi.....	31
10 TERÄSRUNGON MITOITUS.....	35
11 POHDINTA .....	37
LÄHTEET	

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

$k_e$	Reunan lujuuskerroin
$k_{\text{mod}}$	Kuormitusaikakerroin
$k_{\text{sp}}$	Lasipinnan profiilin vaikutusta kuvaava kerroin
$f_{g;k}$	Päästetyn lasilevyn taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;A}$	Aineosavarmuusluku päästetylle lasille
$k_v$	Esijännitetyn lasin lujuuskerroin
$f_{b;k}$	Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;v}$	Aineosavarmuusluku pinnan esijännitykselle
$W_{\text{max}}$	Maksimitaipuma
$W_d$	Taipuman mitoitusarvo
$t$	Kuormitusaika tunteina

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tuottaa Ramboll Finland Oy:lle suunnitteluohje lasikattorakenteista. Työssä on keskitytty lasikattorakenteisiin ja siihen, miten ne liittyvät runkorakenteisiin. Työssä käydään läpi tyypilliset detaljit ja virhealttiit suunnittelukohtat. Esimerkiksi lasikaton liittymät teräsrunkoon, räystäsrakenne, höyrynsulut, vesieristeet ja rakennusfysikaalinen tarkastelu. Työssä kerrotaan myös yleisimmistä lasitusjärjestelmistä.

Opinnäytetyö on ajankohtainen lasirakenteiden yleistyessä. Lasirakenteet ovat yleisiä suuria yleisötiloja käsittävissä rakennuksissa. Tällaisia rakennuksia on rakennettu viime vuosina useita kuten esimerkiksi Helsinki-vantaan terminaalin laajennus, Helsingin keskustakirjasto ja Satakunnan ammattikorkeakoulun Porin kampus. Lasirakentamiseen tarvitaan parempia ratkaisuja siihen, miten suunnittelu toteutetaan niin että liitokset ovat kestäviä ja luotettavia ja niitä voidaan käyttää tulevaisuudessa suunnitteluprojekteissa. Tässä työssä koottiin yhteen rakennusalan kirjallisuudesta sekä julkaisuista, laeista ja standardeista valokattorakenteiden suunnitteluun tarvittavia tietoja. Tämän työn avulla tiedot on koottu yhteen dokumenttiin ja ne ovat helposti löydettävissä.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Ramboll Finland Oy. Ramboll Finland Oy on osa Rambollia, joka on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys. Maailmanlaajuisesti Ramboll työllistää 16 500 henkilöä ja niistä Ramboll Finland Oy 2500. Ramboll on perustettu Tanskassa vuonna 1945 ja se palvelee nykyään 35:ssä eri maassa. Vuonna 2020 konsernin liikevaihto oli 1,82 miljardia euroa. Rambollin toimialoja ovat kiinteistöt ja rakentaminen, infra ja liikenne, kaupunkisuunnittelu, ympäristö ja terveys, vesi, johdon konsultointi, energia ja tietoliikenne. (Rambollin www-sivut, 2021)

## 2 VALOKATTORAKENTEET

Valokatto tuo nimensä mukaisesti rakennusten sisälle erittäin paljon luonnonvaloa. Valokattoja käytetään nykyään paljon julkisissa rakennuksissa ja liikerakennuksissa. Valokatot ovat yleensä kiinteitä, mutta niihin voidaan asentaa myös esimerkiksi savunpoistoluukkuja.

Valokattorakenteet muodostuvat yleensä lasista, alumiinista ja teräksestä. Lasi kiinnitetään alumiiniprofiiliin, joka voi toimia pienissä katoissa ja pienillä jänneväleillä myös kantavana rakenteena. Isommissa katoissa valokatteet alumiinirunkoiseen kiinnitetään kantaviin teräsristikoihin tai palkkeihin.

Valokaton suunnittelussa pitää ottaa huomioon myös käyttöturvallisuus. Ympäristöministeriön asetus lasirakenteen käyttöturvallisuudesta sanoo, että valoläpäisevä rakenne rikkoutuessaan ei saa aiheuttaa putoamisvaaraa ja sirpaleiden putoaminen ei saa aiheuttaa haavoittumisvaaraa. Rakenteen ja sen kiinnikkeiden on kestettävä siihen kohdistuva kuormitus. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten käyttöturvallisuudesta 1007/2017, 11§)

### 2.1 Lasitusjärjestelmät

Runkojärjestelmiä voivat olla kantavat teräs-, alumiini-, puu- tai lujitemuoviprofiilit ja järjestelmissä tarvittavat liitokset ja jäykisteet. Kiinnitykset tehdään järjestelmissä yleensä tiivisteiden puristus- ja ruuviliitosten avulla, jolloin profiili- ja runkojärjestelmien osat pyrkivät seuraamaan runkorakenteen siirtymiä ja muodonmuutoksia ja näin ottaen osaa valoa läpäisevän rakenteen staattiseen toimintaan. Järjestelmissä, missä osat kiinnitetään liimaamalla profiilijärjestelmään, nämä osat toimivat yhdistettynä rakenteena ainakin hetkellisille kuormille. Osien välinen yhteistoiminta saa aikaan



jännityksiä ja muodonmuutoksia tiivisteisiin ja mekaanisiin liitoksiin. Kestävyyden arviointi tästä johtuen on vaativissa tapauksissa tarpeen suorittaa siten että rakenteen osien keskinäinen vuorovaikutus otetaan huomioon. (RIL 198-2001, 40-41)

Tässä kappaleessa on esitelty lasien yleisimmät kiinnitystavat alumiinirunkoon. Valokattojen tyypillinen ongelma on erityisesti vuotoherkkyys, joten järjestelmätoimittajien runkoprofiileissa on vesikanavat lasitilan tuuletusta ja vedenpoistoa varten.

Esimerkiksi Purso Oy ja Sapa Building System lasikattojärjestelmien sivuilta löytyy järjestelmien yksityiskohtaisempia tietoja. Alla olevaan taulukkoon 1 on koottu Purso Valokattojärjestelmän ominaisuuksia. (Purson www-sivut 2021)

Taulukko 1. Lasikattojärjestelmän ominaisuuksia (Purson www-sivut 2021)

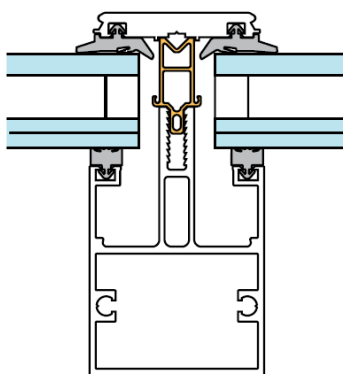
Runkosyvyydet	40-80 mm
Runkojen Leveydet	50 mm
Jännevälit Vaakarunko	0,4-2,5 m
Jännevälit Pystyrunko	1-6 m
Lasipaketin vahvuus	6-62 mm

### 2.1.1 Pintalistallinen järjestelmä

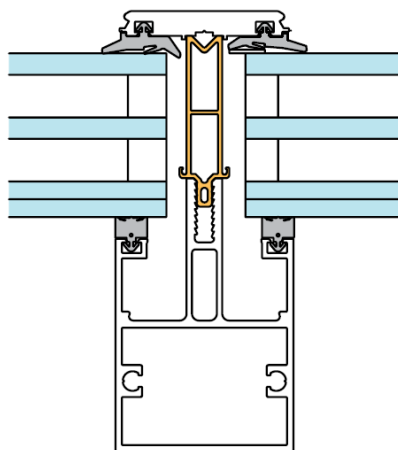
Valokattojärjestelmistä yleisimmät ovat pintalistalliset järjestelmät. Pintalistallistallisissa järjestelmissä listat ovat sekä vaaka- että pystysuuntaisia ja ne on asennettu elementtien saumakohtiin. Listan tarkoituksena on tiivistää lasielementit kiinni alumiiniprofiiliin tiivistysnauhan EPDM-kumin avulla. Nurkka- ja jatkoskohdat on liimattava ja tiivistettävä EPDM-kumille sopivalla tiivistysmassalla. Lasin pinnan ja lasituslistassa olevien tiivistysnauhojen välissä käytetään butyyli-pohjaista itseliimautuvaa tiivistysnauhaa, joka ulottuu 5-10 mm kummankin tiivistysnauhan alle. Lasituslistat kiinnitetään ruuveilla niin, että tiivisteet puristuvat hyvin lasin pintaan. (Purson www-sivut 2021) Pintalistattu valokattojärjestelmä 2k- ja 3k-eristyslasilla. (kuva 1 ja 2)



Kuva 1. Pintalistattu valokatto (Sapa Building System Käsikirja 2015, 196)



*2k-eristyslasi*



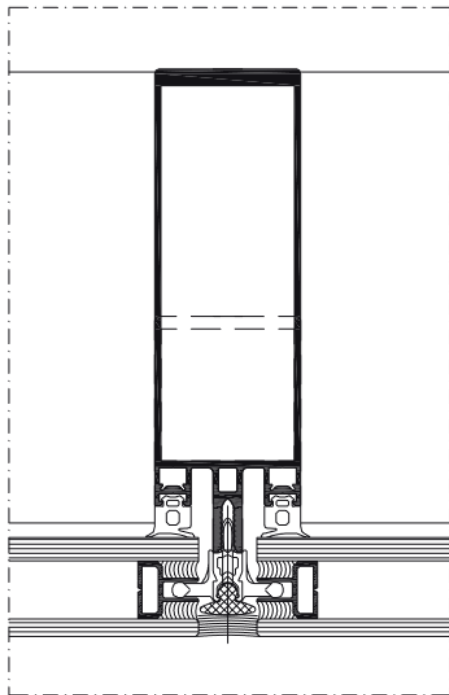
*3k-eristyslasi*

Kuva 2. Pintalistatut valokatot (Sapa Building System Käsikirja 2015, 197) Profiilit ovat 50 mm leveitä.

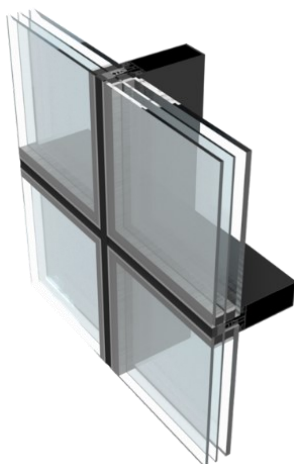
Valokattojen kaltevuus on oltava vähintään 15° veden ja lumen poistoa varten. Pienenpi kaltevuus aiheuttaa likaantumista ja staattisia kuormia. Lasituslistojen on oltava mahdollisimman pieniä ja erittäin hyvin viistettyjä niin, että vesi ja lumi pääsevät valumaan pois katolta. (Sapa Building System Käsikirja 2015, 205-206)

### 2.1.2 Pintalistaton järjestelmä

Structural glazing-järjestelmä (SG), eli pintalistaamaton järjestelmä, missä lasi ja erikoissilikonilla kiinnitetty kehyspuite muodostaa mekaanisesti kiinnitettävän elementin. (kuva 3&4) Järjestelmässä lasit voivat poiketa mitoituksessa siten, että uloin lasi on suurempi kuin sisempi. Järjestelmän liimaus on erittäin ratkaiseva koko rakenteen toimivuudessa ja kestävyudessa. Silikonisaumojen määrittäminen pitää suorittaa tapauskohtaisesti. (Rainamo & Riikonen 1999, 121-122)



Kuva 3. Structural glazing-järjestelmä toteutetaan ilman listoja. (Pekkala & Vikman 2009)



Kuva 4. Pintalistaton Lasirakenne (Purson www-sivut 2021)

Pintalistaamattoman järjestelmän väleihin jää niin sanottu kuppi, joka kerää vettä ja se pitää tasata riittävällä kaadolla, jolloin minimikulmat ovat järjestelmästä, lasien koosta ja paksuudesta riippuen 3-6 astetta. Järjestelmän reuna-alueet jäävät yleensä alttiiksi UV-säteilylle ja liimaus- ja sulkijamassat eivät säilytä ominaisuuksiaan pitkäaikaisessa UV-säteilyssä, joten tämä pitää huomioida oikeaoppisina materiaalivalintoina eristyslasienvälikomponenttien valmistuksessa. (RIL 198-2001, 82)

### 2.1.3 Pistekiinnitysjärjestelmä

Pistekiinnitysjärjestelmässä lasit kiinnitetään yhteen pulttiliitoksilla ilman kiinnitysprofiiileja. (Kuva 5) Lasirakenteen pinta on täysin tasainen johtuen listattomuudestaan. Järjestelmässä on yksin- tai kaksinkertainen rei'itetty erikoislasi, nivelletyt tai kiinteät lasipultit, taustakiinnikkeet, joilla lasipultit yhdistetään taustarakenteeseen, kantava taustarakenne ja puskusaumaan asennettujen lasien saumausaineet. Taustarakenteina järjestelmälle voidaan käyttää erilaisia runkorakenteita esim. lasieviä, vaijerirakenteita, teräsrakenteita ja näiden yhdistelmiä. (Rainamo & Riikonen 1999, 122-123)



Kuva 5. Pistekiinnitysjärjestelmä (Vitreaan www-sivut 2021)

Järjestelmän erikoislaseit valmistetaan yleisesti karkaistusta lasista ja ne voivat olla erillislaseja, laminoituja tai aikaisemmista valmistettuja erikoiseristyslaseja. Lasien paksuus järjestelmissä on vähintään 10 mm. Järjestelmän erikoispultit siirtävät kuormat taustakiinnikkeiden avulla taustarakenteeseen. Tuentatapa ja kiinnityspultit sallivat lasien mahdolliset pysty- ja vaakasuuntaiset ja taipumista aiheutuvat liikkeet. Lasitusjärjestelmän jokainen lasi on kiinnitykseltään itsekantava. Nivellettyjen

kiinnityspulttien avulla voidaan ottaa huomioon taipumista aiheuttavat liikkeet, mutta lasien sivusuuntaiset siirtymät on otettava huomioon taustakiinnikkeiden avulla. (Rainamo & Riikonen 1999, 122)

Pistekiinnitysjärjestelmien suunnittelussa on huomioitava osien valmistuksen ja asentamisen mittapoikkeamat, mekaanisista kuormista ja lämpötilan vaihtelusta aiheutuvat siirtymät rakenteen liitoksissa ja epäsymmetrisistä ja poikkeuksellisista kuormitustilanteista syntyvät rasitukset ja siirtymät. Näitä kuormitustilanteita voi olla esim. kate-rakenteen rikkoutuminen. (RIL 198-2001, 40)

### 3 VALOKATTORAKENTEIDEN LASI

Lasi on valoa läpäisevä ja hyvin uniikki materiaali, joten toista samanlaista ei ole. Materiaalina lasi on erittäin hauras, joten sitä on käsiteltävä valmistamisen aikana, kuljetuksessa, vastaanotossa ja asentamisessa erittäin varovasti.

Lasi valmistetaan soodasta, hiekasta, dolomiitista ja kalkista ja siihen lisätään hieman rautaa, magnesiumia sekä lasimurskaa ja seosaineita niin, että lasisulasta tulee homogeeninen. Lasi on rakennusmateriaalina ympäristöystävällinen, taloudellinen ja lähes ikuinen. Lasi itsessään ei tarvitse kovin paljon huoltoa, paitsi säännöllisen puhdistuksen. Lasi voidaan kierrättää ilman ylimääräistä ympäristökuormitusta. (Pilkington, Lasifakta 2018, 68).

#### 3.1 Kemialliset ominaisuudet

Lasi on amorfista ainetta ja sen muodostajana toimii pääraaka-aineista piidioksidi. (Se-loyn www-sivut, 2021). Taulukossa 2 kuvataan lasin ainesuhteita prosentteina perustuen standardiin SFS-EN 527-1:2012 + A1:2016.

Taulukko 2. Soodakalkkisilikaattilasien ainesuhteet massaprosentteina (SFS-EN 527-1:2012 + A1:2016, 6)

Aine	Ainesuhde massaprosentteina
Pii (Si)	32 % - 35 %
Kalsium (Ca)	3,5 % - 10.1 %
Natrium (Na)	7,4 % - 11.9 %
Magnesium (Mg)	0 % - 3,7 %
Alumiini (Al)	0 % - 1,6 %
Muut <sup>a</sup>	< 5 %
<sup>a</sup> Nämä muut aineosat eivät saa merkittävästi muuttaa muita kuin fotometrisiä ominaisuuksia	

### 3.2 Fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Seuraavassa taulukossa on esitetty soodakalkkisilikaattilasien yleisten fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien numeerisia arvoja standardin SFS-EN 572-1:2012 + A1:2016 mukaan.

Taulukko 3. Mekaaniset ominaisuudet (SFS-EN 572-1:2012 + A1:2016, 6)

Ominaisuus	Tunnus	Numeroarvo ja yksikkö
Tiheys (18°C:ssa)	$\rho$	2500 kg/m <sup>3</sup>
Kimmokerroin	E	7x10 <sup>10</sup> Pa
Poissonin luku	$\mu$	0,2
Keskimääräisen lineaarisen lämpölaajenemiskertoimen nimellisarvo välillä 20°C ...300°C	$\alpha$	9x10 <sup>-6</sup> /K

### 3.3 Lasin lujuus

Puristuslujuus lasilla on erittäin suuri vetolujuuteen verrattuna, noin 900...1000N/mm<sup>2</sup>. Lasin rikkoutuminen tapahtuu aina vetojännityksen seurauksena. Lasin leikkaamisella ja käsittelyllä voidaan saada aikaan säröjä lasin reunoihin, jolloin lasiin tulee naarmuja ja lohkeamia. Naarmuista ja lohkeamakohdista voi alkaa lasin rikkoutuminen nopeasti, jos jännitys kasvaa tietyssä jännitystilassa. Lujuuteen

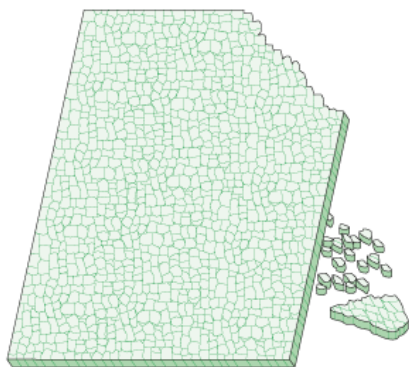
vaikuttavat erityisesti lasin koko, rakenneviat ja kuormitusaika. Laminointi, karkaiseminen ja teräslankaverkon lisääminen lasilevyn sisälle auttavat lasin lujuuden parantamisessa. (Hemmilä & Riikonen, 2015; RIL 198-2001, 44)

### 3.4 Valokattorakentamisessa käytettävät lasityypit

Lasityyppejä on lukematon määrä erilaisia. Tässä työssä käsitellään yleisimpiä käytössä olevia rakennuslaseja. Lasit ovat yleisesti soodakalkkisirikaattilaseja.

#### 3.4.1 Karkaistu lasi

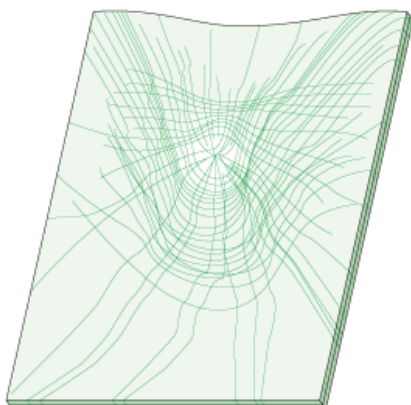
Karkaistun lasin valmistuksessa lasi lämmitetään ja jäähdytetään nopeasti. Lasin pinnalle jää puristusjännitys ja lasin sisään vetojännitys. Lasin lujuus kasvaa karkaisussa ja se kestää kuormitusta hyvin. Rikkoutuessaan karkaistu lasi murenee pieniksi muruiksi. Karkaistu lasi ei kestä kovia iskuja. Jos lasiin tehdään muutoksia esim. leikkaus, on se tehtävä ennen lämpökarkaisua, koska karkaisun jälkeen lasin rikkoutumisriski kohoaa ja se saattaa tuhoutua välittömästi. (Suomen tasolasiyhdistys Ry, Ohjekortti No 1, 2019) Karkaistu lasi menee rikkoutuessaan pieniksi siruiksi. (Kuva 6)



Kuva 6. Karkaistu lasi (Pilkington, Lasifakta 2018, 46)

### 3.4.2 Laminoitu lasi

Laminoitu lasi syntyy, kun kaksi tai useampia lasia laminoidaan yhteen laminointikalvolla. Laminoitujen lasien välissä on elastinen välikerros, joka sitoo lasit yhteen rajoittaen aukon kokoa lasin rikkoutuessa, jolloin myös pisto- ja leikkaushaavojen riski pienenee. Pinnoitetut, työstetyt, lujitetut ja karkaistut lasit voivat olla laminoitavia ja jos lasia halutaan eri värisiksi, se onnistuu eri värisillä laminointikalvoilla. Laminoitu lasi on sitkeää ja se ei rikkoudu helposti. Laminoitu lasi pysyy koossa, vaikka se murtuisikin. Huonona puolena laminoidulla lasilla on, että kaikki kalvot eivät siedä korkeita lämpötiloja. (Suomen Tasolasiyhdisty Ry, Ohjekortti No 2, 2019) Laminoitun lasin rikkoutuessa se ei pirstaloidu vaan pysyy koossa. (kuva 7)



Kuva 7. Laminoitu lasi (Pilkington, Lasifakta 2018, 46)

Laminointikalvon lisäksi lasit voidaan yhdistää nestelaminoinnilla, jossa lasit yhdistetään yhteen nimensä mukaisesti nestemäisellä aineella kuten esim. hartsilla.

Laminoidulla lasilla voidaan toteuttaa erilaisia murransuoja- ja luotisuuslaseja sekä paineensuoja-, iskusuoja-, tulensuoja- ja melunsuojalaseja. Laminoitun lasin eristysominaisuudet ovat hyviä suoja UV-säteilylle. (Rainamo & Riikonen 1999, 88-89)

### 3.4.3 Eristyslasi

Eristyslasi on elementti, jossa on liimattu kaksi tai useampi lasilevy samaan välilistakehään kaasutiiviisti. Välilistoina eristyslaseissa on käytetty paljon alumiinia, mutta



nykyään lämminreunavälilistat ovat myös yleistyneet. Yleisimmät käytössä olevat eristyslasirakenteet ovat 2K (2-lasinen eristyslasi) ja 3K (3-lasinen eristyslasi). Näitä lasityyppejä käytetään ikkunoissa, julkisivuissa, ovissa ja myös lasikatoissa. 2-lasisen eristävyys heikkenee merkittävästi silloin kun tuulee ja on pakkasta. (Pilkington, Lasifakta 2018, 74-75)

Kattolasituksissa karkaistu lasi on suositeltavaa laitettava ylemmäksi ja laminoitu lasi alemmaksi. (Suomen Tasolasiyhdistys Ry, Ohjekortti No 2, 2019)

#### 4 TERÄS VALOKATTORAKENTEIDEN RUNKONA

Valokaton primäärirakenteena eli toisin sanoen kantavana rakenteena toimii yleisimmin teräsrakenteet. Primäärirakenteiden tarkoituksena on kuljettaa valokaton kuormat runkoa pitkin perustuksille. Kantavia rakenteita suunniteltaessa yleensä otetaan huomioon rakenteen mitoitus, liittymäkohdat, jäykistys, toleranssit ja liikkumavarat. Teräsrakenteen mitoitusta käsitellään luvussa 8.

Teräs on sopiva rakennusmateriaali valokattorakenteisiin, koska sen pintaa voidaan käsitellä monella eri tavalla ja lisäksi kiinnitykset ja liitokset ovat yksinkertaisia toteuttaa. Lisäksi lämpölaajenemiset voidaan ottaa huomioon kohteiden suunnittelussa, koska teräksen materiaaliominaisuudet tiedetään hyvin. Rakenteen staattisen mallin valinnassa on oltava tarkkana valokatteita suunniteltaessa, vaikka rakenteiden jäykistäminen on sinänsä yksinkertaista, ongelmana ovat lämpötilaerot ja niistä aiheutuvat vaikeudet tiiveydessä. Liityntärakenteet jäykistetään rakennuksen kantaviin osiin. (Saarni 1996, 76 & 78)

Teräsrakenteiden suunnittelussa valokattorakenteiden osalta on hyvä ottaa huomioon rakenteen palovaatimukset. Valokatto ei saa edistää palon leviämistä ja sen materiaalien on oltava syttymätöntä. Valokatoilla on oltava voimassa oleviin vaatimuksiin perustuva tuuletus, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi savunpoistoluukuilla. (Sapa Building System Käsikirja 2015, 204)

Teräs menettää lujuutensa täysin vasta 1000°C:n lämpötilassa, mutta viruman vaikutus alkaa näkyä palonaikaisissa muodonmuutoksissa rakenteen ylittäessä 450°C:ta, jolloin palomitoituksessa lämpötila on hyvä rajoittaa 600°C:een. Teräksen lujuus ja kimmo-kerroin pienenevät lämpötilan kasvaessa. Näiden alentuessa yhdessä teräsrakenteen lämpölaajenemisen kanssa voi johtaa rakenteen palautumattomiin muodonmuutoksiin. Edellä mainittujen asioiden takia teräs on suojattava tulipaloo vastaan. Rakenteen palonsuojaukseen on monia erilaisia menetelmiä ja aineita. Suojauksen valintaan vaikuttavat asennus- ja käyttöolosuhteet sekä kustannukset. Valokattorakenteiden kantavissa teräsosissa palonsuojauksen käytetään yleensä niin sanottuja märkiä menetelmiä esim. palonsuojamaalit. (Tiainen & Papula 2020, 221 & Saarni 1996, 61-62)

## 5 LIITOKSET JA DETALJIT

### 5.1 Liittymät

Liityntärakenteet voivat olla hyvinkin erilaisia, jolloin niiden suunnittelu on erittäin tärkeää. Huomioon otettavia asioita liityntärakenteita suunnitellessa ja toteuttaessa ovat liittymien erilaiset mitat ja tarkkuudet, kuormista- ja lämpötilan vaihtelusta aiheutuvat siirtymäerot, kosteudeneristys, sadevesien poisto ja lämmöneristys.

Katon alareunan rakenteen lämmöneristävyydelle asetetaan kaksi vaatimusta. Ensimmäiseksi, jotta välttyttäisiin katolta valuvan sulamisveden jääytymiseltä, ei alareunarakenteen lämmöneristävyys saa olla valoa läpäisevän rakenteen lämmöneristävyyttä huomattavasti parempi. Toiseksi, alareunarakenteen lämmöneristävyys ei myöskään saa olla liian pieni, koska silloin sisäpinnassa liityntärakenteiden kohdalla syntyy kondensoitumisongelmia. (RIL 198-2001, 165-166) Lämmöneristykseen tulee jatkua kattorakenteesta ulkoseinä- tai vesikattoyläpohjan rakenteeseen katkeamatta.

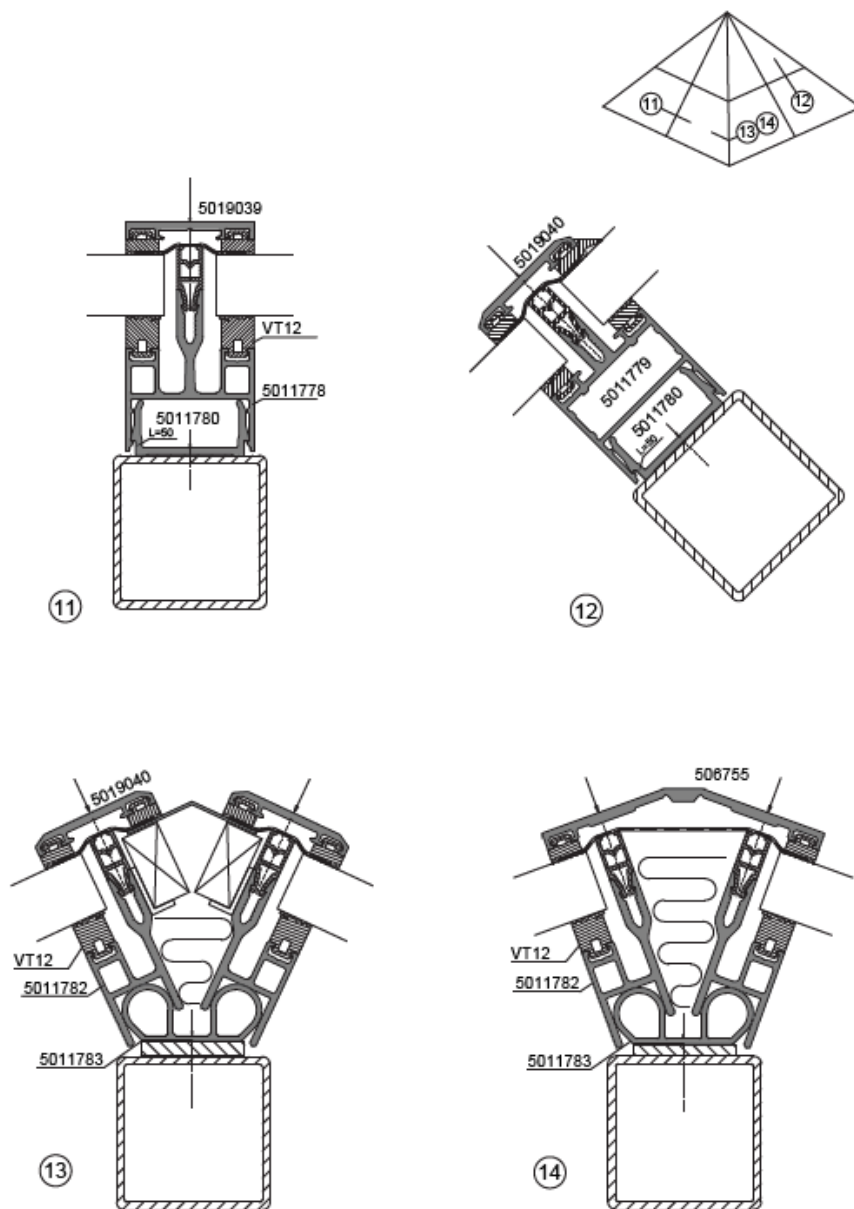
Liityntärakenteiden sisäpinta pitää olla ilmatiivis, jolloin epäpuhtauksia ei pääse sisälle vuotoilman mukana. Ulkopinta puolestaan pitää olla veden ja tuulenpitävä, ettei

vesi pääse rakenteisiin. Liittymäkohdissa olevat saumarakenteet pitää olla joustavia, koska niihin kohdistuu jonkin verran liikettä. (Pekkala & Vikman 2015)

#### 5.1.1 Valokaton liitos kantaviin rakenteisiin

Valokattojärjestelmän liittäminen kantavaan teräsrunkoon vaatii tarkat suunnitelmat ja detaljit. Liittymissä tärkeintä on tiivistyksen suunnittelu toimivaksi. Kiinnityksiin käytetään ruuvi- pultti- ja hitsiliitoksia tarpeen mukaan. Näiden yhteensopivuus on varmistettava valokattojärjestelmien komponenttien kanssa. Järjestelmätoimittajien detaljivarastoista löytyy valmiita kuvia, joita voi muokata omiin tarpeisiin. Kuvassa (kuva 8) on lasikaton liitokset kantavaan teräsrakenteeseen. Kuvista näkyy hyvin liitoksen toimintaperiaate, miten järjestelmätoimittajan komponentti liittyy alumiinirungostaan kantavaan teräsrunkoon. (Kuva 8)

Runkorakenteena toimiva teräs tuetaan tarvittaessa sivusuunnassa yleensä puristettuun paarteeseen sijoitettujen sivutukien avulla. Profiili- ja katejärjestelmiä voidaan myös käyttää runkorakenteen sivusuuntaisessa tukemisessa. Näin ollen on myös hyvä tarkistuttaa runkorakenteen ja profiilijärjestelmän välisten ja myös profiilijärjestelmän ja katejärjestelmän välisten liitosten kestävyys. Laskelmissa huomioon otetaan liitosten joustavuuden vaikutus runkorakenteen taivutuskestävyyteen. (RIL 198-2001, 42)



Kuva 8. Valokaton liitoksia teräsrunkoon (Purson www-sivut 2021)

### 5.1.2 Vesieristeet

Tuotejärjestelmäkokonaisuuden yhteistoiminta on perusta valokattojen toimivuudessa. Järjestelmän vuoto- ja kondenssivedenpoistokourujen jatkokset on suunniteltava vesitiiviiksi ja valuva vesi ohjataan harkitusti rakenteen ulkopuolelle alaräystäällä. Sulanapitokaapelit vähentävät lasikaton alapäässä veden aiheuttamaa räsitusta. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 43)

Valokattojen riskikohtia ovat saumojen vuotaminen ja reuna-alueiden jääpadot. Tiivisteiden tulee kestää lämpötilanvaihtelut, korkeat ja matalat lämpötilat, uv-säteilyt ja muut säärasitukset. Saumoihin ei saa päästä kertymään suuria vesipatoja. Reuna-alueiden lämmittämällä ehkäistään niille tulevat jääpadot. Veden poistoreitit on myös lämmitettävä järjestelmän tukkeutumisen ehkäisemiseksi. (Kosteudenhallinnan www-sivut 2021)

### 5.1.3 Höyrinsulut

Höyrinsulun tehtävänä on estää rakenteiden sisältä ulospäin tapahtuva haitallinen vesihöyrin diffuusio. Höyrinsulku voi olla mikä tahansa tiivis ja yhtenäinen ainekerros, joka sijaitsee rakenteen lämpimällä puolella. Höyrinsulku toimii yleensä myös rakenteen ilmansulkuna, joka estää vaipan läpi tapahtuvat haitalliset ilmavirtaukset.

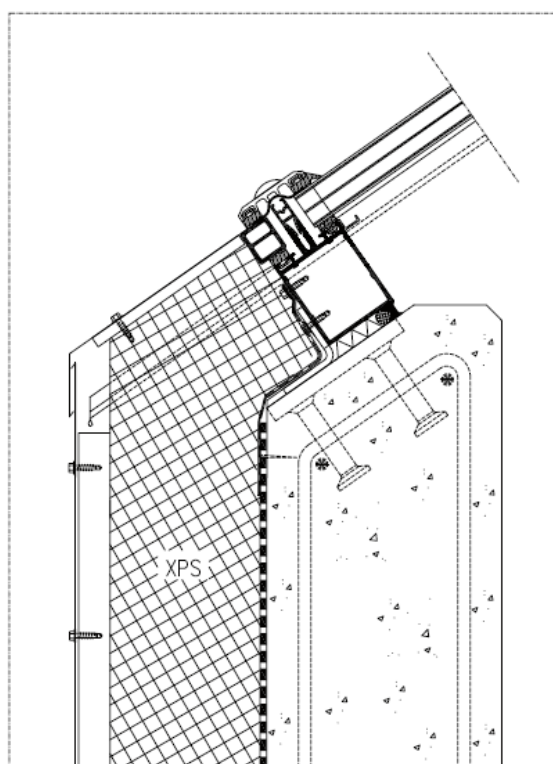
Kaikkien läpivientien pitää olla tiiviitä ja höyrinsulun pysyttävä ehjänä koko rakentamisen ajan ja rakennuksen käyttöajan. Höyrinsulun valintaan vaikuttavat rakennuksen kosteusrasitus ja vaipparakenteen tyyppi ja tuuletus. (Toimivat katot 2019, 14-15; RT 103274, 4)

Valokattoelementtien kaikkien rakenneosien tulee täyttää kaikilta ominaisuuksiltaan samat asetetut vaatimukset kuin muutkin vesikatot. Elementtien saumojen toimintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota höyrinsulkujen suhteen. Saumakohtat pitää suunnitella ja toteuttaa niin, että rakenteeseen ei tule sellaisia rasituksia, jotka voivat aiheuttaa höyrinsulkuun vaurioita tai epäjatkuvuuskohtia eli vuotoja. (RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, 151-152)

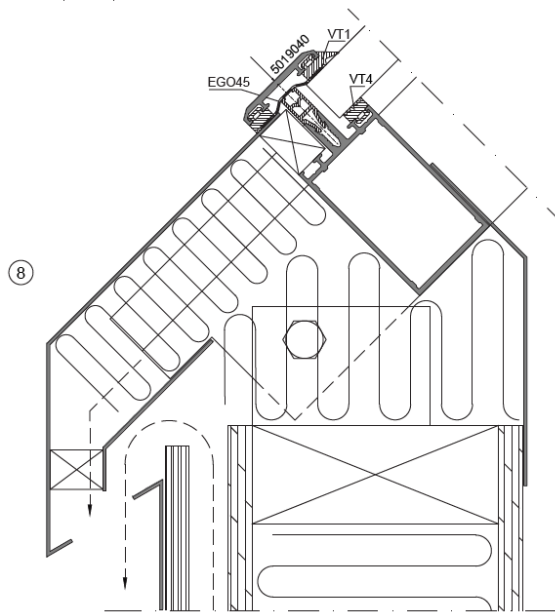
### 5.1.4 Räystäät

Räystä estää veden tunkeutumisen katto- ja seinärakenteisiin ja järjestää katolle tarvittavan tuuletuksen. Valokattorakenteiden räystäsrakenteissa on huomioitava, että siitä tulee kestävä, tiivis ja tuulettuva. Räystään pellitys pitää myös toteuttaa siten, että tuulen vaikutuksestakaan rakenteisiin ei pääse kosteutta.

Lasi ei saa tehdä räystääsylytystä silloin, kun on kyseessä lämmin tai puolilämmin tila, koska katolla oleva lumi sulaessaan valuu räystäälle ja on riski, että kylmälle ylitykselle kertyy jääpatoja, jotka voivat aiheuttaa vuotoja. Lumen sulamisen osalta on huolehdittava, että kattorakenteen lämmöneristävyys ei saa merkittävästi nousta veden valumissuunnassa. Jos tämä ei toteudu, tarvitsee mahdollisten jääpatojen syntyminen estää esimerkiksi sähkölämmityksellä. (RIL 198-2001, 82-84) Vuotovedet ohjataan vaakaprofiileista pystyprofiilien uriin ja pystyprofiileista lämmöneristeen ulkopuolelle. Poistokourujen ulkopäät ovat jäätymisalttiita ja ne voidaan tarvittaessa varustaa lämmityskaapeleilla. (Kuva 9) Valokaton ja seinän liitosesimerkki. (Kuva 10)



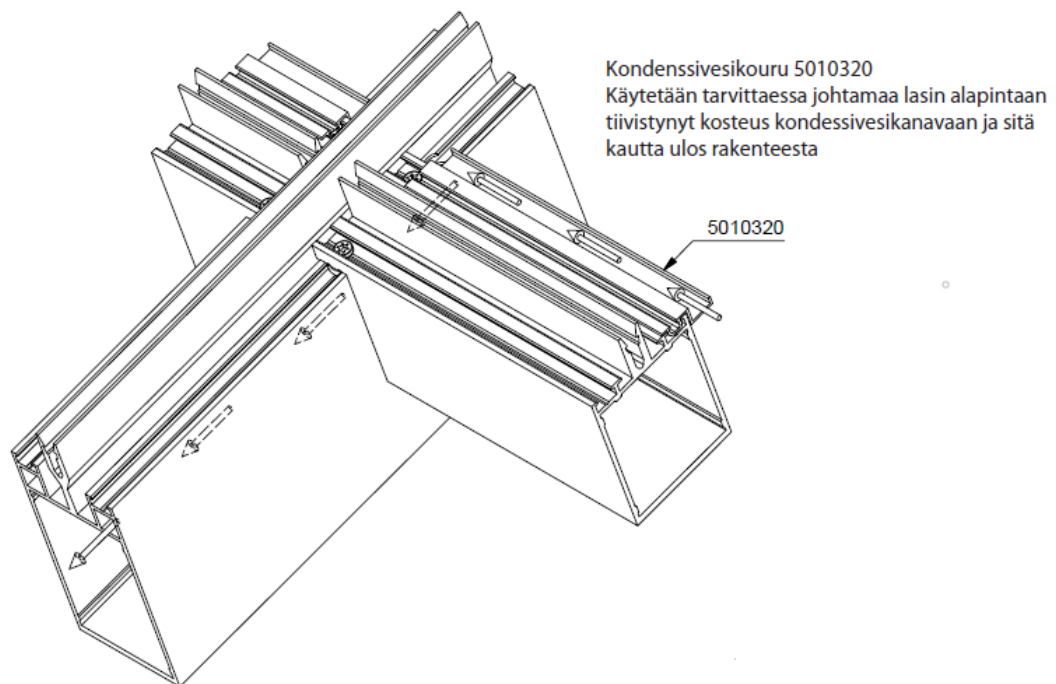
Kuva 9. Valokaton alaräystä (Pekkala & Vikman 2009)



Kuva 10. Valokaton ja seinän liitos (Purson www-sivut 2021)

## 5.2 Kondenssivedenpoistot

Valokattorakenteissa kondensoituvan kosteuden poistokanavisto on joko järjestelmän sisäpuolella tai rakenne on toteutettu höyrytiiviinä, ilman kondenssivedenpoistoa sisäpuolelta. Liittymäkohdissa on siis sisäpuolinen kondenssivesijärjestelmä, joka on tuuletettava kosteuseristyksen ulkopuolelle ja tuuletus on suunniteltava niin, että se toimii vaan ulospäin ilman, että se päästää kosteutta sisäpuolelle. Rakenteet, jotka ovat sisäpuolelta höyrytiiviitä, suunnitellaan niiden liittymätkin höyrytiiviiksi. Niin sanottu ulkopuolinen tuuletus molemmissa vaihtoehdoissa on tehty niin, että lasien kyntetilat ovat mahdollisten vuotojen ja kondensoituvan kosteuden vuoksi tuuletettu. (Rainamo & Riikonen 1999, 120) Lasikattojärjestelmien toimittaja Purson kondenssivesikanava. (Kuva 11)

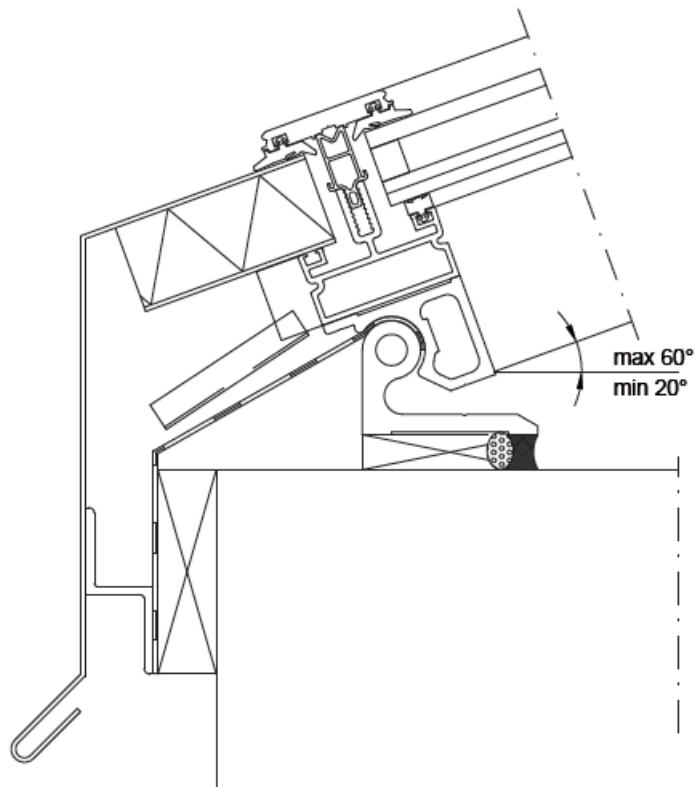


Kuva 11. Kondenssivesikouru (Purson www-sivut 2021)

### 5.3 Liikuntasaumat

Valokattorakenteeseen kohdistuu lämpöliikkeitä ja rakennusrungon liikkeitä, joiden on saatava tapahtua ilman, että ne aiheuttavat haittoja esimerkiksi ylimääräisiä vuotoja. Periaatteessa lasikattojen liikuntasaumoitusta voidaan tehdä samalla tavalla kuin lasiseinissä. Suorien palkkien toinen pää on suunniteltava yleensä liikkuvaksi silloin, kun jännemitat ovat isoja ja auringonpaiste lämmittää runkopalkkeja. Kantavan lasirungon ja rakennusrungon välille ei periaatteessa tarvita liikuntasauvoja, kun on kyseessä harjakatto tai pyramidirakenne. Näiden rakenteiden huiput nousevat ja laskevat lämpötilamuutosten mukaan. Valokatteen alumiiniprofiilijärjestelmän vaaka- ja pystyprofiilit liitetään toisiinsa esimerkiksi herkkäliikkeisen sisäholkin avulla. (Pekkala & Vikman 2009, 7-8) Valokattojen ja seinien liitoksissa voidaan käyttää myös liikuntasaumalaitetta. (Kuva 12)





*Liittymä valokaton alareunasta reunaan*

Kuva 12 Sapa 5050 liikuntasaumalaite/liittymä

## 6 RAKENNUSFYSIKKA

Suomen sääolosuhteet ovat haastavia ja vaihtelevia, jolloin valoa läpäisevän rakenteen kosteustekninen toimivuus vaatii riittävän korkean ja hallitun vesi-, höyry- ja ilmatiiheyden ja lisäksi kondensoitumiskäyttäytymisen tason. Rakenteen täytyy myös kyetä hallitsemaan kapillaarisen kulkeutumisen ja paine-eroista johtuvan tunkeutumisen riskit. Erityisen suurta huomiota tarvitsee toimiva räystäsrakenne, jonka suunnittelu on erittäin vaativaa, mikä tuo esiin myös sen, että on oltava tietyt vaatimukset hallitun lumen sulamiskäyttäytymisen ja viistosateen aiheuttamien rasisitusten kannalta. Rakenteen osat on myös huollettava, että rakenne pitää toimivuuden tason koko sen käyttöajan. (RIL 198-2001,79-80)

Valokattorakenteiden tiivistysmateriaalit ja tarvikkeet tulee valita siten, että ne kestävät suuret lämpötilan vaihtelut, korkeat ja matalat lämpötilat, auringon UV-säteilyt ja muut säärasitukset. Lämmöneristävyys on valokatoilla huono verrattuna umpinaisten katonosien lämmöneristävyyteen, jolloin reuna-alueet pitää huomioida tarkemmin. (RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset, 112-113)

## 6.1 Kondensoituminen

Kondensoituminen on ilmiö, jossa vesihöyry alkaa tiivistyä nesteeksi. Alttius kondensoitumiselle riippuu pinnan lämpötilasta, ilman vesihöyrypitoisuudesta, jotka ovat taas riippuvaisia ilmanvaihdosta, ilmanpaineesta ja kosteuslähteistä. Valokatoissa kohtuullisesti lämpöä eristävien eristyslasien sisäpinnoilla kondensoitumista esiintyy vähän. Sen sijaan riskialttiiden kohteiden profiilirakenteiden lämmöneristävyyteen ja dimensiointiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Rakenteen riskialttiisiin kohtiin kondensoitumisen kannalta tulee valita oikeat materiaalit, jolloin varmistetaan, ettei vesi kerry hallitsemattomasti. Yleisesti kondensoitumisriskit estetään lämmöneristävyyden riittävällä mitoituksella, riittävällä ilmanvaihdolla ja tiiviillä sisävaipalla. (RIL 198-2001, 85)

Kondensoitumisalttius ja sen haittavaikutukset on huomioitava suunnittelussa koskien sekä rakenteen ulko- ja sisäpintoja, että rakenteen sisäisiä osia. Valokattorakenteissa käytetäänkin kaksivaiheista tiivistystä. Ulkopuoli toimii rakenteen sääsuojana, johon on myös järjestetty tuuletus- ja valumareitit ulos ja sisäpinnan on toimittava niin, että se on mahdollisimman höyrytiivis. Esimerkiksi eristyslasissa sisäpuolinen tiivistys on höyrytiivis ja kyntetilat ovat tuuletettu ulkopuolisesti. (RIL 198-2001, 86)

## 6.2 Vesitiiveys

Rakennuksen kattorakenteen ja muiden rakenteiden liitoskohdat pitää suunnitelmissa huomioida hyvin, koska viistosade on rakennukselle julkisivun yläosissa ja nurkissa on voimakasta. Rakenteita rasittavat myös sateesta johtuvat valumavedet, veden pautuminen, lumi- ja räntäsateet ja lumen sulamisvesi. Rakennuksen pitää siis pysyä

tiivinä ja vedenpoisto pitää toimia, vaikka rakenteisiin kohdistuu esim. lämpöliikkeitä tai painumia. Veden valuminen pitää olla esteetöntä, ilman ylimääräisiä patoutumia, jolloin pintalistatuille kattojärjestelmille on yleissääntönä minimissään 27°:n kattokulma. Muissa järjestelmissä se voi vaihdella 15°-30°:n välillä. (RIL-198-2001, 80-81)

Valokatoissa kosteuden tiivistyminen pystytään estämään lämmittämällä lasin pinta vähintään huoneilman lämpöiseksi toteuttamalla se lämpöpuhaltimella tai sähkölämmittisillä laseilla. Tiivistyvä kosteus profiileissa johdetaan turvalliseen paikkaan kana-voimalla. (Kosteudenhallinnan www-sivut 2021)

### 6.3 Höyry- ja ilmatiiveys

Vesivuotoja suuremmat riskit ovat lasirakenteen höyry- ja ilmavuodot. Oleellista ilmatiiveyttä tarkastellessa on riittävä tiiveys, kun paine-ero on positiivinen. Höyrytiiveyden tarkastelussa on ilmastossamme asia tyypillisesti päinvastainen. Lasirakenteiden materiaalit ovat yleensä itsessään jo riittävän höyrytiivitä, joten tarkastelun voi palauttaa ilmatiiveyteen. Ääneneristävyys saattaa asettaa erityisvaatimuksia ilmatiiveydelle. (RIL 198-2001, 84-85)

## 7 KUORMAT

### 7.1 Staattiset kuormat

Staattisia kuormia ovat pysyvä kuorma, lumikuorma, tuulikuorma, lämpötilakuorma henkilökuormat, törmäyskuormat sekä lämpötilaero ja paine-ero rakenteen asennus ja käyttölämpötilan sekä rakenteen eri pintojen välillä. Kuormien mallintaminen perustuu rakenneosien ja niiden liitosten sekä rakenneosien ja maaperän välisten voima ja siirtymäsuureiden välisten yhteyksien asianmukaiseen valintaan. (RIL 201-1-2011, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, 32; RIL 198-2001, 43)

### 7.1.1 Pysyvä kuorma

Kattorakenteen pysyvä kuorma muodostuu kantavista ja ei-kantavista rakenteista ja myös kiinteistä laitteista ja koneista esimerkiksi savunpoistojärjestelmästä. Kuormien suuruudet lasketaan nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvojen perusteella, jolloin voidaan käyttää aineiden keskimääräisiä tiheyksiä. Kuormien laskennassa voidaan hyödyntää myös osavalmistajilta saatavia massoja. (RIL 201-1-2011, 60&63)

### 7.1.2 Tuulikuorma

Tuulikuormaan vaikuttaa paljon rakennuksen sijainti, katon ja rakennuksen muoto ja tuulen nopeus. Kun mitoitetaan tuulikuormaa rakenteille tai rakenteiden osille otetaan huomioon ulko- ja sisäpuoliset tuulenpaineet. (RIL 201-1-2011, 123 & 134)

Tuulikuormat määritellään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan. 3

### 7.1.3 Lumikuorma

Kun kattorakenteita mitoitetaan lumikuormalle, on otettava huomioon lumen kinostuminen. Lumi kinostuu katolle epätasaisesti, jolloin lumikuorma ei ole tasainen. Lumikuorman määrä riippuu esim. rakennuksen tulevasta sijainnista, kattorakenteen muodosta ja koosta.

Lumikuorman mitoituksessa on otettava huomioon kinostumaton lumikuorma ja kinostunut lumikuorma. Lumikuorma mitoitetaan aina pystysuuntaisesti.

Lumikuorman mitoittamisessa lasirakenteelle käytetään myös pienennyskerrointa  $C_t$ , joka ottaa huomioon katon läpi johtuvan lämmön aiheuttaman lumen sulamisen, jos lämmönläpäisevyys on suuri ( $>1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Lisäohjeet lämpökertoimen  $C_t$  määrittämiseksi löytyvät standardista ISO 4355. Lumikuormana pitää käyttää silti vähintään arvoa  $0,5 \text{ kN/m}^2$ . (SFS-EN 1991-1-3 + AC +A1, 30) Standardi SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1, kohta 5, kertoo, miten kattojen lumikuormat määritetään erilaisissa mitoitustilanteissa.

#### 7.1.4 Lämpötilakuorma

Lämpötilatietoja tarvitaan erityisesti, kun arvioidaan tiivisteiden ja liitosten siirtymiä ja jännityksiä. Myös runko- ja profiilijärjestelmien osiin lämpötilan muutokset aiheuttavat siirtymiä ja jännityksiä. Lämpötilakuorman mitoituksessa on otettava huomioon siirtymien ja jännitysten lisäksi myös terävien varjojen sekä absorboivien lasilevyjen ja kyntteen, eli karmin L:n muotoisen uurteen, välisen lämpötilaeron aiheuttama epätasainen kuorma lasielementtiin. Lasi- ja muovielementtien (2 ja 3-kerroksisten) mitoituksessa on huomioon otettava kerrosten välissä olevan kaasutilan lämpölaajenemisesta aiheutuvat rasitukset. (RIL 198-2001, 37)

#### 7.2 Dynaamiset kuormat

Kaikki merkittävät rakenneosat, niiden massat, lujuudet, jäykkyydet ja vaimennusominaisuudet sekä kaikki merkittävät ei-kantavat rakennusosat ominaisuuksineen pitää ottaa huomioon kuormien vaikutusten määrittämisessä.

Kun on tarkoituksenmukaista dynaamisia kuormia voi käsitellä kvasistaattisina kuormina. Näin dynaamiset osuudet voidaan ottaa huomioon sisällyttämällä ne staattisiin arvoihin tai kertomalla staattiset kuormat samanarvoisen vaikutuksen tuottavilla dynaamisilla suurennuskertoimilla. (RIL 201-1-2011, 32)

Avoimen tilan valokatto- tai seinärakenteen on taipumus värähdellä ilmavirtausten vaikutuksesta, jolloin näiden rakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon myös tuulikuorman dynaamiset vaikutukset. (RIL 198-2001, 38)

## 8 ENERGIATEKNINEN TOIMIVUUS

Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta eli E-lukua laskettaessa otetaan huomioon lämmönläpäisykerroin ja aurinkoenergian kokonaisläpäisysuhde. (Pilkington Lasifakta 2018, 4)

### 8.1 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen. U-arvon yksikkönä käytetään  $W/(m^2K)$ . Ikkunoissa ja kattoikkunoissa käytetään U-arvona enintään  $1 W/(m^2K)$ , jos tila on lämmin tai jäähdytetty kylmä tila. Puolilämpimissä tiloissa arvo on enintään  $1,4 W/(m^2K)$ . (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, 2§ ja 24§)

Lasirakenteen U-arvoon vaikuttavat lasien lukumäärä, lasivälit, materiaalien ominaisuudet, pinnoitteet sekä ikkunapuitteiden ja karmien materiaaliominaisuudet ja -paksuudet. U-arvot rakenteen lasiosissa muuttuvat jatkuvasti sisä- ja ulkolämpötilojen muuttuessa. (Pirttinen & Hartikainen 2014, 41) Lasien U-arvot ovat nykyään niin hyviä, että ikkunoiden ulkopinnalle voi kertyä kondenssivettä tietyissä olosuhteissa. Lasin asentaminen valokattoon asettaa niille korkeamman U-arvon, kuin pystyasennuksessa. Seuraavassa taulukossa on katsottu lasin pystysuuntaisen keskipisteen u-arvon kasvua kaltevuuden muuttuessa. (Sapa Building System Käsikirja 2015, 199)

Taulukko 4. U-arvot, valokatto, kaltevuuskorjaus (Sapa Building System käsikirja 2015, 199)

	2k-eristyslasi	3k-eristyslasi
Kaltevuus 15°	+ 0,4 W/ m <sup>2</sup> k	+ 0,3 W/ m <sup>2</sup> k
Kaltevuus 30°	+ 0,3 W/ m <sup>2</sup> k	+ 0,2 W/ m <sup>2</sup> k
Kaltevuus 45°	+ 0,2 W/ m <sup>2</sup> k	+ 0,1 W/ m <sup>2</sup> k

## 8.2 Auringonsäteilyn kokonaisläpäisyuhde

U-arvon lisäksi huomioon pitää ottaa ikkunan G-arvo. Auringon kokonaisläpäisykerroin eli G-arvo mittaa sitä, kuinka suuri osa lasille tulevasta auringonsäteilystä läpäisee lasin ja lämmittää näin huonetilaa. Jos G-arvo on matala, lasi yleensä päästää läpi vain vähän auringon lämpöä. G-arvon parantamiseksi rakenteen ulompi lasi voidaan päällystää esimerkiksi heijastavalla pinnalla, joka heijastaa osan lämpösäteilystä pois. Näin voidaan vähentää kiinteistön jäähdytyskustannuksia ja parantaa sisäilmaa ilman että tarvittaisiin keinojäähdytystä. G-arvon yksikkönä käytetään % tai osuutena 0-1. G-arvon mitoitus perustuu standardiin SFS-EN 410. (Hammerglassin www-sivut 2021 & Hemmilä & Heimonen 2006, 12&35)

## 9 LASIRAKENTEEN MITOITUS

### 9.1 Lasi

Eurokoodien mukaan lasirakenteiden laskennat tehdään käyttö- ja murtorajatilassa. Murtorajatilatarkastelussa käytetään rakenteiden ominaiskuormista laskettuja mitoituskuormia ja materiaalien lujuuksina ominaislujuuksista laskettuja mitoituslujuuksia, mitkä molemmat sisältävät varmuuskertoimet. Tarkastelulla varmistetaan, että mitoituskuormat eivät ylitä materiaalin laskentalujuutta ja rakenteet kestävät riittävällä varmuudella vaaditun käytön, ilman että materiaali menettäisi stabiiliuutensa. Käyttöra-jatilatarkastelulla varmistetaan, että rakenteiden taipumat, siirtymät ja erilaiset muodonmuutokset eivät ylitä sallittuja rajoja käytön aikana. Tarkastelussa käytetään kuormien ominaisarvoja ja materiaalien lujuuksina materiaalien ominaislujuuksia. Käyttöra-jatilamitoituksen lähtökohtana on, että valitut materiaalit ja poikkileikkaukset kestävät niille tulevat kuormitukset ja säilyttävät vakautensa eurokoodissa määrätyllä tavalla. (RIL 272-2019, Parveke- ja terassilasitus rakennusosana, 51)

RIL 198-2001 Valoa läpäisevät rakenteet antavat kolme menettelyvaihtoehtoa, joilla voidaan ottaa huomioon rakenteen vaativuus ja rakenteen lujuustekniseltä toimivuudelta vaadittu luotettavuus, kun keskitytään rakenteiden lujuustekniseen mitoitukseen.

#### Taso A – Komponenteittainen mitoitus

Mitoitus tapahtuu osien mitoituksella, niin että ne ovat itsenäisiä rakenneosia, joille oletetaan kuormitusjakauma ja reunaehdot. Yhteistoiminta ei tarkastella osien välillä. Laskelmat tehdään kimmo- ja plastisuusteorian mukaan. Rakenteen järjestelmätoimitajilta tulevat elementit mitoitetaan reunoilta vapaasti tuettuna laattana ja järjestelmän profiilirakenteet mitoitetaan taivutettuina palkkeina, jolloin ne kestävät laattojen reunojen tukireaktioista aiheutuvan kuorman. (RIL 198-2001, 40)

#### Taso B

Tason B mitoitus tapahtuu myös komponenteittain, mutta sen ohella myös arvioidaan rakenneosien rajapinnoissa tapahtuvia siirtymiä, niiden omien laskentamallien mukaan. Tasolla B tärkeässä osassa on liitos- ja tiivisteosat, jotka mitoitetaan kestävästi laskentamallien antama siirtymä- ja jännitysero, lisäksi myös jatkuvien siirtymien ja jännitysten kertymä liitoksissa. Rakenneosilla on omat tehtävät yhä valoa läpäisevän rakenteen kantavana osana. (RIL 198-2001, 40)

#### Taso C

Tasolla C rakenteen mitoitus tehdään yhtenä kokonaisuutena, jossa otetaan huomioon rakenneosien väliset vuorovaikutukset. Liitoksien laskelmissa käytetään määritettyjä jäykkyys- ja kestävyysarvoja, ottaen huomioon niiden muuttuminen ajan, ympäristö-  
rasitusten ja kuormitusvaihteluiden seurauksena. Laskelmat tehdään kimmoteorian mukaan. (RIL 198-2001, 41)

Murtorajatilassa kestävyystarkastelut tehdään yleensä tasoilla A ja C, koska yhdistettyjen rakenteiden liitoksiin kohdistuu merkittäviä voimia, joita liitostyypit eivät välttämättä kestä. (RIL 198-2001, 42)

Standardi SFS-EN 16612:2019 antaa menetelmän jatkuvasti sivuiltaan tuettujen lasielementtien poikittaisen kuormankestävyyden määrittämiseen. Laskentaa sovelletaan 1k = monoliittisille lasilaatoille, 2k-laseille, joita ovat laminoidut lasilaatat ja



kaksilasiset ja 3k-eristyslasi-elementeille. Jos selkeää mitoituskormaa ei ole, on lasin kestettävä vähintään 0,4 kN/m<sup>2</sup> suuruinen kuorma, joka on tasaisesti jakautunut lyhytaikainen ominaiskuorma. Näin varmistetaan lasille riittävä jäykkyys ja lujuus. (SFS-EN 16612:2019, 18) Alapuolella on standardin SFS-EN 16612:2019 mukainen taivutuslujuuden laskenta ja taipuman tarkastelu.

### Taivutuslujuus

Lasin mitoittaminen keskittyy levyn taivutuskestävyyteen ja levyn pintatason suuntaiseen vetojännitykseen. Lasi kestää siis puristusta paremmin kuin vetoa. (Pirttinen & Hartikainen 2014, 33)

#### Päästetty lasi

Päästetyn lasin käsittelyssä valmistuksen aikana lasin jäännösjännitys jää mahdollisimman vähäiseksi, joten lasi voidaan leikata uurtamalla ja katkaisemalla. Esim. float-lasi ja konelasi. (SFS-EN 16612:2019, 7)

Rakenteesta riippumatta taivutuslujuuden mitoitusarvo on päästetylle lasille:

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{mod} k_{sp} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} \quad (1)$$

$k_e$	= Reunan lujuuskerroin
$k_{mod}$	= Kuormitusaikakerroin
$k_{sp}$	= Lasipinnan profiilin vaikutusta kuvaava kerroin
$f_{g;k}$	= Päästetyn lasilevyn taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;A}$	= Aineosavarmuusluku päästetyille lasille

## Esijännitetty lasi

Lämpökarkaistu turvalasi ja lämpölujitettu lasi ovat esijännitetyjä laseja.

Rakenteesta riippumatta taivutuslujuuden mitoitusarvo esijännitetyille lasille on:

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod}k_{sp}f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v(f_{b;k}-f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} \quad (2)$$

$k_{mod}$	= Kuormitusaikakerroin
$k_{sp}$	= Lasipinnan profiilin vaikutusta kuvaava kerroin
$f_{g;k}$	= Päästetyn lasilevyn taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;A}$	= Aineosavarmuusluku päästetyille lasille
$k_v$	= Esijännitetyn lasin lujuuskerroin
$f_{b;k}$	= Esijännitetyn lasin taivutuslujuuden ominaisarvo
$\gamma_{M;v}$	= Aineosavarmuusluku pinnan esijännitykselle

## Taipuma

Rakenteen tulee kestää standardissa SFS-EN 1991-1-1 käyttötarkoituksen mukaiset määritellyt kuormat. Lasilaatta ei saa taipua liikaa, kun sitä kuormitetaan. Lasin liika taipuma voi herättää rakennuksen käyttäjissä pelkoa siitä, että lasi menee rikki. Kuormituksen alaisen lasilaatan taipuman suuruutta ei rajoiteta, koska vaatimuksia ei ole lasin lujuudelle ei ole annettu. Kun vaatimuksia ei ole, on taipuman raja-arvo oltava jännemitta/65 tai 50 mm ja näistä kahdesta käytetään pienempää arvoa. Jännemitta on joko kahdelta reunalta tuetun lasilaatan pidemmän tukemattoman reunan pituus, kolmelta reunalta tuetun lasilaatan tukemattoman reunan pituus tai neljältä reunalta tuetun lasilaatan lyhin sivumitta. (SFS-EN 16612:2019, 19)

Eristyslaselementille, joka sisältää lämpökäsiteltyä lasia on omat taipumarajansa. Kokonaistaipuma ei saa ylittää 3 mm per 1000 mm lasin reunaa. Kokonaistaipumaa verrataan lasin reunan kokonaispituuteen. Lasilevyissä, joiden nimellispaksuus on pienempi kuin 6 mm tai neliön/suunnikkaan muotoisissa laseissa, jonka suhde on enintään

1:15 saattaa esiintyä ylempänä mainittua suurempaa kokonaistaipumaa. (SFS-EN 1279-1:2018, 35)

”Jos lasilaatan taipumaa edellytetään rajoitettavan, epäedullisimmalla mahdollisella kuormituksella laskettu maksimitaipuma ei saa ylittää taipuman mitoitusarvoa” (SFS-EN 16612:2019, 19)

$$w_{max} \leq w_d \quad (3)$$

$W_{max}$  = Maksimitaipuma

$W_v$  = Taipuman mitoitusarvo

Standardi SFS-EN 16613:2019 määrittelee testimenetelmän välikerrosmateriaalien eli laminoitun lasin ja/tai laminoitun turvalasin valmistuksessa käytettävien välikerrosten mekaanisten viskoelastisuuksien ominaisuudet. Näitä tarvitaan laminoitun lasin kuormituskestävyyden määrittämiseksi. (SFS-EN 16613:2019, 5)

## 10 TERÄSRUNGON MITOITUS

Teräsrungon mitoitus tehdään standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisten yleisten sääntöjen mukaan huomioiden voimassa olevat kansalliset määräykset. Tässä kappaleessa käydään läpi sellaiset asiat, jotka tulee ottaa huomioon valokattojen kantavan teräsrungon mitoituksessa.

Teräsrakenteen mitoitus aloitetaan luomalla laskentamalli, jolla määritetään rakenteen rasitukset ja muodonmuutokset. Laskentamallin luomisen jälkeen ja kuormien laskennan jälkeen valitaan rakenteet ja profiilit. Valokattojen kantavina rakenteina käytetään joko suoria tai taivutettuja palkkeja sekä teräsristikoida, joiden yläpintaan alumiiniprofiilit kiinnitetään. Profiileja ovat yleensä putki- ja avoprofiilit. Valokatoissa käytetään esimerkiksi kuumavalssatuista profiileista I- ja HEA-profiileja. Ristikkorakenteissa yleisimmin käytössä ovat rakenneputket, joille on laaja mittavalikoima.

Ristikkorakenteissa rakenneputkilla on suuri vääntöjäykkyys, mikä antaa rakenteelle hyvän kiepahduskestävyyden. (Tiainen & Papula 2020, 35-37 & RIL 255-1-2014, 112)

Rakenteen mitoitus tapahtuu murto- sekä käyttörajatilassa. Murtorajatilamitoitus takaa sen, että tuleva kattorakenne kestää sille tulevat kuormat. Teräsrakenteiden käyttörajatilamitoituksessa tulee ottaa huomioon yleensä taipumien ja siirtymien rajatilat, jotka vaikuttavat rakenteen ulkonäköön. Valokattorakenteet ovat yleensä hoikkia, jolloin rakenteissa otetaan yleensä huomioon myös värähtelyrajatilat. (Tiainen & Papula 2020, 55, 79)

Rakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon kantavien rakenteiden siirtymät niin, etteivät ne vaurioita lasirakenteita. Käytännössä rakennesuunnittelussa tulee käyttörajatilana normaalisti kysymykseen vain taipumarajatila, mutta on aina varmistuttava siitä, ettei käyttörajatilassa tapahdu myötäämistä, eli rakenteeseen ei tule pysyviä muodonmuutoksia. Taipumien laskennassa huomioon on otettava kaikki toisen kertaluvun vaikutukset rakenteessa, osittain jäykkien liitosten kiertymisjäykkyys sekä plastisten muodonmuutosten mahdollisuus. (Tiainen & Papula 2020, 56-57) Julkisivurakenteen sallittu taipuma on  $L/200$  standardin SFS-EN 13830 mukaan ja maksimissaan 15 mm. Eristyslasin taipuma on syytä rajoittaa lasiruudun sivunpituudelta  $L$  arvoon  $y \leq L/300$  sen kestävyuden varmistamiseksi. (Nokian profiilien www-sivut 2021)

## 11 POHDINTA

Valokattorakenteita voidaan valmistaa monen muotoisia ja niiden rakenne muodostuu yleisesti valokattojärjestelmätoimittajien rakenteista, jotka muodostavat lasirakenne ja sen alumiinirunko. Tarvittaessa suurempiin kattorakenteisiin tehdään myös kantava teräsrakenne, johon järjestelmä kiinnitetään.

Valokattorakenteisiin kohdistuu erilaisia kuormituksia ja rasituksia, mitä pitää ottaa huomioon. Erityisesti valokattorakenteissa on huomioitava liitoskohdat, joiden kuuluu olla tiiviitä, ettei vesi pääse rakenteen sisälle. Valokattojen liitoskohdissa on listat joihin lumi voi kinostua, silloin on tarkastettava, että kattokaltevuus on riittävä.

Rakenteiden suunnittelussa hyvä tietotaito ja kokemus on isossa roolissa rakenteiden vaatimuksien varmuuden kannalta. Suunnittelussa on myös tehtävä yhteistyötä järjestelmätoimittajien ja eri alojen suunnittelijoiden kanssa, että kaikki suunnitelmat liittyvät toisiinsa mutkattomasti läpivientien ja kiinnityksien kannalta. Niitä on vaikea lisätä työmaalla, koska suurin osa valokattorakenteiden osista on tehdastuotantoa.

Ongelmakohtena työssä oli tietolähteet, joita oli aiheeseen liittyen aika harvassa. RIL 198-2001 *Valoaläpäisevät rakenteet* on hyvä apu suunnittelussa, mutta osa kirjan sisällöstä on vanhentunutta tietoa, ja lasirakenteita käsitteleviä standardeja on tullut lisää tämän tuotoksen jälkeen.

Tarkoituksena opinnäytetyössä oli koota suunnittelijoille tietopaketti, josta löytyy valokattorakenteiden suunnittelussa tarvittavaa tietoa yhdestä lähteestä. Valokattorakenteet ovat itsessään varsin laaja kokonaisuus, eikä työhön ollut tarkoitus laittaa kaikkea mitä aiheesta löytyy, vaan keskeisimmät asiat.

Valoa läpäisevien rakenteiden suunnitteluohjetta voisi tulevaisuudessa jatkaa esimerkiksi lasiseinä-rakenteiden tutkimisella. Nykyistä ohjetta on hyvä tulevaisuudessa päivittää standardien ja määräysten muuttuessa.

Opinnäytetyön aihe oli hyvin mielenkiintoinen ja lisäsi minun kohdallani tietoutta lasirakenteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen liittyen. Aiempaa kokemusta valokattojen suunnittelusta minulla ei ollut, joten suurin osa tiedosta oli uutta.

## LÄHTEET

Hammerglassin www-sivut. 2021. Viitattu 28.4.2021

<https://www.hammerglass.fi/ukk/u-arvo-g-arvo/>

Hemmilä, K & Heimonen, I. 2006. Ikkunoiden energialuokituksen pilotointi.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2356.pdf>

Hemmilä, K & Riikonen, M. 2015. Lasin rikkoutuminen ja sen syyt. Viitattu 29.1

<https://www.turunlasipalvelu.fi/wp-content/uploads/2018/06/lasin-maailma-lasien-rikkoutuminen.pdf>

Kosteudenhallinnan www-sivut. 2021. Viitattu 30.3.2021

<http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakenteet/ylaepohjat-ja-vesikatto/kattoikkunoiden-ja-lasikattojen-kosteusriskikohtia>

Nokian profiilien www-sivut. 2021. Viitattu 26.4.2021

<https://nokianprofiilit.fi/wp-content/uploads/2018/11/N50si-Suunnittelukansio.pdf>

Pekkala, V & Vikman, K. 2009. Lasiseinät, lasikatot ja niiden liittymät ympäröiviin rakenteisiin. Rakennustieto Oy. Viitattu 30.3.2021

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090401.pdf>

Pilkington lasifakta 2018. Viitattu 30.3.2021

Pirttinen, V & Hartikainen, H. 2014. Energiatehokkaat lasirakenteet – Kylmän ja lämpimän välisenä ei- kantavana rakenteena. Lapin AMK:n julkaisuja, Sarja B, Raportit ja selvitykset 26/2014

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/85311/Pirttinen%20Hartikainen%20B%2026%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Purson www-sivut. 2021. Viitattu 30.3.2021

<https://purso.fi/tuotteet/p50s-pintalistaton-julkisivujarjestelma-sg/>

<https://pursobuilding.fi/fi/tuotteet/julkisivujarjestelmat/valokatto-p50l/>

Rainamo, M & Riikonen, M, 1999. Lasirakentajan käsikirja. Tampere: Enterpress Oy

Rakennusten kosteustekninen toimivuus- Ympäristöministeriön Ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020

Rambollin www-sivut. 2021. Viitattu 21.1.2021

[https://fi.ramboll.com/ramboll\\_finland\\_oy](https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy)

RIL 198-2001. Valoläpäisevät rakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y. Helsinki: Yleisjäljennös Oy

RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Hansaprint Oy

RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saarijärven Offset Oy.

RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Tammerprint Oy

RIL 272-2019 Parveke- ja terassilasitus rakennusosana, Määräykset, ohjeet ja toimivat käytännöt. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Hansaprint Oy

RT 103274 Yläpohjat, perustietoja. 2020. Helsinki: Rakennustieto.

Saarni R, 1996. Teräsrakentaminen. Rakennustieto Oy. Tampere: Kirjapaino Tammer-Paino Oy

Sapa buildingsystem. Käsikirja, Versio 2-2015. 2015. Viitattu 30.3.2021.

<https://www.sapabuildingsystems.co.uk/fi/fi/Rakennus/esitteet/kasikirja/>

Sapa buildingsystem www-sivut. 2021. Viitattu 29.3.2021.



<https://www.sapabuildingsystems.co.uk/fi/fi/Rakennus/Tuotteet/glastak/Sapa-Valokatot-5050/#tab-10088>

Seloy'n www-sivut 2021. Viitattu 29.1.2021. <https://www.seloy.fi/lasisanasto>

Suomen Tasolasiyhdistys Ry, Ohjekortti No 1, 2019 Karkaistu lasi. Viitattu 16.2.2021 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>

Suomen tasolasiyhdistys Ry, Ohjekortti No 2, 2019 Laminoitu turvalasi. Viitattu 16.2.2021 <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/ohjeet/>

SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. (1991-1-3 + AC +A1). Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Helsinki SFS.

SFS-EN 527-1:2012 + A1:2016. Rakennuslasit. Perustuotteet. Soodakalkkisilikaattilasi. Osa 1: Määritelmät ja yleiset fysikaaliset ja mekaaniset osuudet. (527-1:2012 + A1:2016) 2016. Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Helsinki SFS.

SFS-EN 1279-1:2018 Rakennuslasit. Eristyslasit. Osa1: Peruskäsitteet, rakennekuvaus, korvaavat materiaalit, mittapoikkeamat ja visuaalinen laatu. (1279-1:2018) 2018. Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Helsinki SFS.

SFS-EN 16612:2019 Rakennuslasit. Poikittaisen kuormankestävyyden laskennallinen määrittäminen. (16612:2019) 2019. Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Helsinki SFS.

SFS-EN 16613:2019 Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Determination of interlayer viscoelastic properties (16613:2019). 2019. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

Tiainen, T & Papula S. 2020. Eurocode 3 oppikirja, Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Teräsrakenneyhdistys Oy. Helsinki: Punamusta Oy

Toimivat katot 2019. Kattoliitto Ry. Viitattu 26.3.2021

[https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat\\_katot\\_2019\\_netti.pdf](https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat_katot_2019_netti.pdf)

Vitrean www-sivut. 2021. Viitattu 12.2.2021

<https://vitrea.fi/pistekiinnitysjarjestelmat/kiinnikkeet/>

Viitattu 12.2.2021

Ympäristöministeriön asetus rakennusten käyttöturvallisuudesta 20.12.2017/1007.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010.