

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuja artikkeleita](#)

Lumen ja jään kertymiseen liittyvät kuormitukset

Lasse Makkonen, filosofian tohtori, dosentti

Johtava tutkija, VTT

lasse.makkonen@vtt.fi

Artikkelissa käsitellään lumen ja jään kerääntymiseen liittyviä ilmiöitä ja kuormituksia sekä niiden ottamista huomioon rakennusten ja rakennetun ympäristön suunnittelussa.

Lumikuormat

Lumi katoilla

Yleisin ja tavallisesti rakennusten mitoituksen kannalta merkittävin lumeen ja jäähän liittyvä kuorma on katoille kerääntyvä lumi. Sen määrä riippuu luonnollisesti talven aikana sataneesta lumesta ja lumeen mahdollisesti sataneesta vedestä, mutta myös tuulisuudesta ja katon muodosta. Sulaminen voi talven aikana pienentää lumen määrää katoilla. Hyvin jyrkiltä ja sileiltä katoilta lumi voi myös liukua alas. Haihtumisella ja tiivistymisellä on vähäisempi vaikutus. Oleellista rakenteiden kannalta on luonnollisesti lumen suurin paino pinta-alayksikköä kohden talven aikana.

Lumen tiheys vaihtelee juuri sataneen pakkaslumen tyypillisestä arvosta 70 kg/m^3 sulaneen ja jääksi muuttuneen lumen arvoon 910 kg/m^3 . Näin suuri tiheyden vaihtelu tarkoittaa sitä, ettei lumen massan arvioiminen lumikerroksen paksuuden avulla ole mahdollista. Lumi on siis punnittava. Tätä varten on kehitetty erilaisia lumipuntareita. Toinen mahdollisuus on mitata lumivaipan paksuuden lisäksi lumen tiheys ja laskea näistä lumen massa. Jos vaaka ei ole käytettävissä, voi lumen sulattaa ja mitata veden tilavuuden. Lumen massa pinta-alayksikköä kohden ilmaistaan yksiköissä kg/m^2 , joka on sama kuin lumen sulaessa syntyvä vesimäärä eli vesiarvo ilmaistuna yksiköissä mm. Kun joltakin pinta-alalta A mitatun luminäytteen massa on M, saadaan lumen paino S pinta-alayksikköä kohden kaavasta

$$S = M/gA$$

missä g on maan vetovoiman kiihtyvyyden $9,8 \text{ m/s}^2$. Näin ollen S, josta usein käytetään nimitystä lumikuorma, ilmaistaan yksiköissä kN/m^2 eli kPa.

Lumen maksimivesiarvo maastossa esiintyy Etelä-Suomessa keskimäärin maaliskuun puolivälissä ja Lapissa korkeita tuntureita lukuun ottamatta huhtikuun puolivälissä. Vuotuiset lumen vesiarvot vaihtelevat vuosittain erittäin paljon. Alueellinen vaihtelu

on myös suurta. Pienimmillään lumen maksimivesiarvo on ollut lounaisrannikolla käytännössä nolla ja suurimmillaan Kuusamossa yli 350 mm eli $3,4 \text{ kPa}$. Keskimääräinen lumen maksimivesiarvo on Pohjois-Suomessa noin kaksinkertainen rannikkoalueisiin verrattuna. Tilastollisessa tarkastelussa määritettävä tietyllä todennäköisyydellä ylittyvä lumikuorma ei kuitenkaan vaihtelee alueittain yhtä paljon. Tämä johtuu siitä, että Etelä-Suomessa, missä talvi on lyhyempi ja lumi usein sulaa, on kuitenkin merellisen ilmaston vuoksi voimakkaampia yksittäisiä lumisateita.

Tuiskulumen kerääntyminen

Tuiskulumella tarkoitetaan tuulen ajamana kulkevaa lunta. Suomen kielellä tällä yleensä tarkoitetaan lumisateen aikana tapahtuvaa lumen ajautumista ja kinostumista. Hyvin avoimilla alueilla ja erityisesti kylmissä olosuhteissa kova tuuli voi kuitenkin aiheuttaa merkittävää tuiskulunta silloinkin kun lunta ei sada. Aukeilla alueilla voi tällöin muodostua kinostumista, joka voi esimerkiksi tukkia tien tai katoilla paikallisesti huomattavan lumikuorman.

Tuiskulumen kerääntymiseen voidaan vaikuttaa lumiaidoin. Niillä ei pyritä pysäyttämään lunta aidan eteen vaan jonkin matkaa sen taakse. Sopivilla mitoilla ja ilman läpäisevyyden omaavalla lumiaidalla saadaan virtauksen nopeus pieneneään aidan takana, jolloin siinä olevat lumikiteet putoavat alas jonkin matkan päässä. Ohjeita lumiaitojen suunnitteluun ja sijoittamiseen löytyy esimerkiksi viitteistä [1] ja [2].

Lumi johdoilla

Sähkö- ja puhelinjohdoille voi kerääntyä merkittäviä lumikuormia. Usein Suomessa tällaista kerääntymistä tapahtuu tyyneellä säällä pakkaslumen kerääntymisessä johdolle. Tällainen lumi on kuitenkin kevyttä ja lujuudeltaan heikkoa eikä ole voimakkaasti tarttunut pintaan. Sen vuoksi se ei aiheuta kovin suurta kuormia ja putoaa helposti tuulen sekä lumen oman painon vaikutuksesta.

Vakavampi ongelma on sen sijaan niin sanottu märkä lumi. Lämpötilan ollessa lumisateen aikana yli 0°C on lumihiuatuleiden pinnalla vesikerros, koska silloin ne pudotessaan sulavat. Tämä vesikerros aiheuttaa sen, että lumi tarttuu johdon pintaan, jolloin lisää lunta voi kerääntyä nopeasti.

Märän lumen tiheys on tyypillisesti suuri, 200–400 kg/m³, joten sen aiheuttama kuorma kovan lumisateen ja tuulen vallitessa voi kasvaa nopeasti. Ilmiö on monissa maissa aiheuttanut huomattavia vahinkoja sähkölinjojen sortuessa [3].

Suomessa sateen voimakkuus märän lumen tapauksissa ei yleensä ole suuri ja tapaukset ovat kesktoltaan lyhyitä [4]. Tämän vuoksi sähkölinjoille kerääntyvä lumi ei Suomessa ole kovin merkittävä ongelma. Sen sijaan toistuva ongelma on lumen kerääntyminen puihin, jotka sitten taipuvat sähkö- ja puhelinlinjojen päälle. Suomessa on myös sattunut merkittäviä metsätuhoja märän lumen kerääntymisen vuoksi.

Kerääntyvän jään aiheuttamat ongelmat

Jäätävä sade

Jäätävä sade liittyy vesisateeseen pakkasella. Se aiheuttaa paitsi liukkautta myös kuormia rakenteisiin, erityisesti sähkölinjoihin ja mastoihin. Joillakin alueilla maailmassa jäätävän sateen aiheuttama kuorma on tärkein suurjännitelinjojen ulkoinen mitoitettava kuorma. Sen aikaansaamat sortumat ovat aiheuttaneet miljardivahinkoja [5]. Ilmiöön liittyy tuulikuorma sen vuoksi, että jäätyminen muuttaa johdon profiilin muotoa ja saattaa siten lisätä tuulikuormaa tai aiheuttaa niin sanotun laukkausilmiön, jossa johdot lähtevät värähtelemään. Tällainen värähtely voi vaurioittaa voimalinjan tornirakenteita.

Suomessa tämäkään ilmiö ei ole merkittävä kuormien aiheuttaja [4]. Se johtuu ilmastollisista tekijöistä, joiden vuoksi vesisade pakkasella on Suomessa harvinaista ja määrältään vähäistä.

Huurrejää

Huurre syntyy pilvessä tai sumussa olevien vesipisaroiden osuessa rakenteisiin pakkasella. Pilvipisaroiden pienen koon vuoksi niiden putoamisnopeudet ovat niin pieniä, että niihin ei liity sadetta. Näiden pisaroiden osuminen rakenteisiin johtuu siten vain tuulesta, jonka mukana ne kulkevat. Huurre kasvaa sen vuoksi aina tuulen suuntaa vastaan ja sitä nopeammin, mitä kovempi on tuulen nopeus.

Pienet pilvipisarat kiertävät kohtaamansa esteen, koska ne seuraavat ilman virtausta, jonka täytyy myös kiertää este. Rakenteisiin osuvat tämän vuoksi vain sellaiset pisarat, joilla on niin suuri massa ja nopeus, että niiden liikerata kohti eteen osuvaa kappaletta säilyy ilmavirtauksesta huolimatta sellaisena, että ne osuvat siihen. Tämän vuoksi huurretta muodostuu suhteellisesti enemmän pieniin kappaleisiin kuin suuriin ja enemmän silloin kun pilvipisaroiden koko on suuri.

Huurrejää on suuressa osassa Suomea lähes tuntematon käsite. Tämä johtuu siitä, että sitä ei juuri esiinny maan pinnan läheisyydessä. Huurretta kuitenkin muodostuu kaikkialla Suomessa kappaleisiin, jotka ovat niin korkealla, että ne ovat ajoittain pilvien sisällä. Tällaisia ovat korkeat TV-mastot sekä ympäristöönsä selvästi korkeammalla sijaitsevat rakenteet ja rakennukset. Erityisen merkittäviä huurrekuormat ovat tuntuilla.

Huurrejään tyypillinen tiheys on suurusluokkaa 300 kg/m³ ja se on melko lujaa ja tiukkaan pintoihin tarttunutta. Suojakelien puuttuessa sitä saattaa kerääntyä talven kuluessa pitkiä aikoja ja kuormat voivat nousta erittäin suuriksi. Lapissa on mitattu ristikkorakenteisissa mastoissa huurrekuormia, jotka ovat yli 1000 kg maston pituusmetriä kohden. Yhdessä metrin pituisessa putkessa on mitattu yli 400 kg:n huurrekuorma.

Yhdistetty jää- ja tuulikuorma

Tuulenpaineen aiheuttama voima on monien rakenteiden keskeinen suunnittelukuorma. Kun tällainen rakenne lisäksi kerää jäätä, sen tuulipinta-ala, rosoisuus ja muoto muuttuvat. Tällöin myös tuulikuorma muuttuu ja voi kasvaa huomattavasti.

Erityisen merkittävää tuulikuorman kasvu on sähköjohdoilla, joihin voi muodostua sylinterimäisen jääkertymä siten, että sen halkaisija voi olla jopa metrin. Myös ristikkorakenteisten mastojen tuulipinta-ala kasvaa oleellisesti, kun ne jäätyvät – pahimmillaan lähes umpeen (ks. kuva 1).



Kuva 1. Huurrejäättä ristikkorakenteisissa mastoissa Yllästunturilla.

Lisäksi jää voi muuttaa johtojen ja harusvajereiden aerodynaamisia ominaisuuksia siten, että syntyy värähtelyjä ja niiden aiheuttamia dynaamisia kuormia.

Putoava jää ja lumi

Kun jäätä kerääntyy korkeisiin rakenteisiin ja katoille, liittyy tilanteeseen putoavan jään vaara.

Mastoihin ja esimerkiksi riippusiltojen tukirakenteisiin muodostuneet huurrekertymät voivat pudota satojen kilojen kokoisina kappaleina hyvin korkealta. Tämä voi olla tuhoisaa, ja vaurioita onkin tällä tavoin sattunut sekä rakennuksille että ajoneuvoille. Suomessa korkeiden mastojen läheisyydessä noudatetaan varomääräyksiä ja suoja-alueita sekä käytetään katettuja kulkureittejä.

Talojen katoilta putoavaan jäähän ei yleensä ole varauduttu, vaan sitä poistetaan kun vaara on näkyvissä. Tämä ei aina ole riittävä varotoimi, sillä vakavia henkilövahinkojakin on putoavan jään vuoksi Suomessa tapahtunut. Putoavan jään aiheuttamia vahinkoja voisi vähentää rakennussuunnittelun keinoin. Erityisen tärkeätä olisi välttää sellaisia ratkaisuja, joissa katoilla sulava lumi valuu räystäille ja jäätyy. Tällä tavoin muodostuvat jääpuikot ovat pudotessaan erityisen vaarallisia eikä niiden syntymistä voi estää lumiesteillä.

Lumen putoamiseen katoilta sen sijaan voidaan vaikuttaa kiinnittämällä kattoon lumen liukumista estäviä lumiesteitä. Lumen putoamisvaaraan vaikuttavat myös katon pinnan karheus sekä luonnollisesti katon kaltevuus. Loivilta ja karheilta katoilta lumi ei putoa lainkaan, mutta toisaalta hyvin jyrkiltä ja liukkailta katoilta lumi liukuu jo niin pieninä kertyminä, ettei se aiheuta suurta vaaraa.

Lumi- ja jääkertymien arviointi

Tilastot

Jää- ja lumikertymiä voidaan rakennussuunnittelun tarpeisiin jossain määrin arvioida tilastoista.

Suomessa sovellettavat tähän liittyvät rakennusnormit perustuvat suurelta osin tällaisiin tilastoihin (ks. luku Lumen ja jään kerääntymiseen liittyvät kuormat rakennusnormeissa). Jotkut ilmiöt, kuten märkä lumi ja jäätävä sade, ovat kuitenkin Suomessa niin harvinaisia, että niistä suoranaisesti ei ole riittävää tilastollista aineistoa.

Toisaalta pilvien tasolla ei ole helposti mahdollista tehdä mittauksia, joten huurrekuormista ei ole kattavia tilastoja. Tietoja kuitenkin tarvitaan, kun korkeita rakenteita suunnitellaan. Viime aikoina tähän on tullut erityinen tarve, kun tuulivoimaloiden koko on kasvanut sellaiseksi, että niiden lapojen kärjet tavoittavat jo 150 m:n korkeuden.

Tämän vuoksi on turvaututtava myös epäsuoriin menetelmiin. Niiden avulla mallinnetaan jää- ja lumikertymiä sellaisten ilmiöiden avulla, joista on olemassa tilastoja, tai joiden esiintymistä voidaan tutkia meteorologisten mallien avulla.

Yksinkertaiset mallit

Yksinkertaisilla malleilla voidaan karkeasti arvioida jääkuormien kerääntymistä. Esimerkiksi huurrekuormaa voidaan arvioida pelkästään huurteen muodostumisajan ja sen aikana vallinneen tuulen nopeuden avulla. Muodostumisaika voidaan puolestaan arvioida pilvenkorkeushavainnoista, kun havaintopaikan korkeustaso tiedetään.

Pitkän ajan kuluessa muodostuneita huurrekuormia voidaan arvioida korkeustason perusteella. Maaston muodot puolestaan vaikuttavat pilvien alarajan korkeuteen, ja onkin osoitettu [4], että huurrekertymiä voidaan mallintaa paremmin, kun käytetään paikan suhteellista korkeustasoa ympäröivän maaston korkeustasoon verrattuna eikä korkeustasoa merenpintaan nähden.

Märän lumen aiheuttamia kuormia voidaan sää-tietojen avulla arvioida käyttäen hyväksi näkyvyys-havaintoja [3]. Tämä perustuu siihen, että ilmassa olevan lumen konsentraation ja näkyvyyden välillä on riippuvuus.

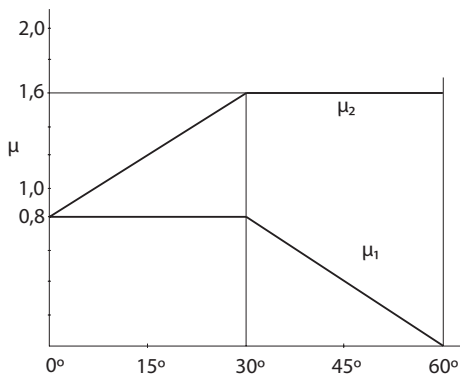
Numeeriset laskentamallit

Jääkuormien arvioimiseksi on kehitetty numeerisia laskentamalleja [6]. Niiden avulla voidaan melko tarkasti arvioida jään kerääntymistä erilaisissa tilanteissa. Jopa jään muoto ja jääpuikkojen kasvaminen ja koko [7] voidaan tällä tavoin määrittää.

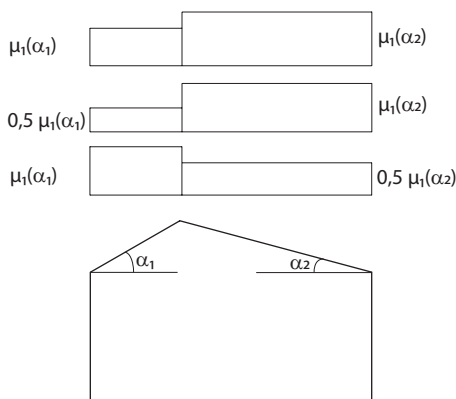
Numeeristen laskentamallien heikkoutena on se, että ne tarvitsevat yksityiskohtaista tietoa kerääntymiseen vaikuttavista muuttujista. Tämä on ongelma erityisesti huurteen mallintamisessa, koska sen kasvuun vaikuttavat oleellisesti pilvipisaroiden koko ja pilvessä olevan veden määrä. Näistä muuttujista ei missään tehdä rutiininomaisia mittauksia eikä niistä – joitain poikkeuksia lukuun ottamatta – ole edes perustietoja.

Meteorologisten mallien käyttö

Koska pilvien ominaisuuksista ei ole riittävästi mitaustietoja numeerista jään kerääntymisen mallinnusta varten, on viime aikoina kehitetty ajatusta siitä, että nämäkin voitaisiin laskea teoreettisesti. Tämä on tullut mahdolliseksi, kun ilmakehän rajakerrosta simuloivat meteorologiset mallit ovat kehittyneet niin yksityiskohtaisiksi ja erottelukyvyltään jo noin 200 m:n laskentavälin omaaviksi, että pilvipisaroiden määrän ja koon laskeminen paikka-kohtaisesti näyttää mahdolliselta.



Kuva 3. Eurokoodin mukainen lumikuorman muoto-kerroin pulpettikaton kaltevuuden mukaan.



Kuva 4. Eurokoodin mukainen lumikuorman muoto-kerroin harjakatoille.

on oma menetelmänsä kaarikatoille. Kinostuminen ja ns. katvelumi sekä lumen liukuminen ylemmillä katon tasoilta alemmas on otettava huomioon ja niistä on Eurokoodissa ohjeita, joiden mukaan muoto-kerroin μ_i voi saada osissa kattoja jopa arvon 2,5. Katolla olevien esteiden keräämä lumi on myös otettava huomioon. Standardissa annetaan myös lumiasteen kuormitus laskettuna siten että kitkaa ei kattopinnan ja lumen välillä ole.

Lopuksi voidaan mainita, että lumikuorma otetaan Eurokoodeissa huomioon myös tuuli- ja palo-kuormien määrittämisessä yhdistettynä kuormana.

Korkeat rakenteet

Korkeissa rakenteissa merkittävät kuormat kerääntyvät pystysuorille pinnoille ja nämä ovat pääosin jääkuormia. Erityisen merkittäviä mitoituksen kannalta ovat ristikkorakenteisiin harustettuihin mas-

toihin kerääntyvät jääkuormat. Näihin sovelletaan standardia ISO 12494 Atmospheric icing of structures sekä SFS-EN 1993-3-1 Eurokoodi 3: Osa 3-1: Mastot ja savupiiput – Mastot ja sen kansallista liitettä C. Myös jään ja tuulen yhdistelmä otetaan huomioon.

Suomessa mastoissa mitoittava jäättyyppi on huurrejää (ISO 12494, luku 7.5). ISO-standardin mukaisen jääluokan määrittämisessä tietyllä korkeudella käytetään hyväksi mahdollisesti saatavia lähitöillä tehtyjä riittävän pitkäaikaisia jäätymistilastoja. Tässä suositellaan yhteistyötä jäätymiseen perehtyneen meteorologin kanssa. Masto jaetaan pystysuunnassa enintään 100 m:n korkuisiin osiin, joille kullekin määritetään oma jääluokka korkeudella, joka on 2/3 tarkasteltavan osan korkeudesta sen alareunasta mitattuna. Haruksen jääluokka voidaan olettaa vakioksi haruksen koko pituudella. Se määritetään korkeudella, joka on 2/3 haruksen yläpään korkeudesta.

Mikäli tarkempaa tietoa ei ole, voidaan käyttää seuraavia oletuksia:

Jääluokka ja siihen liittyvä jään paino tietyllä korkeudella olevissa rakenneosissa määräytyy taulukon 1 mukaan. Taulukon arvot perustuvat jään tiheyteen 300 kg/m³ maston rungon osille ja 400 kg/m³ haruksille.

Taulukko 1. Jääkuorma G_i eri ISO-jääluokissa eri korkeuksilla H maanpinnasta.

Jääluokka	H(m)	G_i (kg/m)
R1	0–50	0,5
R2	50–100	0,9
R3	100–150	1,6
R4	150–200	2,8
R5	200–250	5,0
R6	250–300	8,9
R7	300–350	16,0
R8	350–400	28,0
R9	400–450	50,0

Taulukossa 1 G_i on jään painon ominaisarvo rakenneosassa ja H on korkeusero ympäröivän maaston tasolta, joka on 10 km:n etäisyydellä mastopaikasta olevan alueen keskikorkeus. Laskettaessa jään pak-suutta maston osan tehollisen tuulipinnan määrittäystä varten suositellaan käytettäväksi standardin ISO 12494 periaatteita. Niissä luotettavuusluokan 3 mastoissa, joissa jääluokka on R6 tai suurempi, otetaan huomioon rungon jään epäkeskisyyden ja harusten jäätymisen epäsymmetrisyyden. Epäkeskisen runkojaan painopisteen oletetaan sijaitsevan maston keskipisteestä etäisyydellä 0,5 kertaa rungon leveys

epäedullisimmassa suunnassa mitoitettavan osan kannalta kussakin kuormitustapauksessa.

Jäätyneiden yksittäisten rakenneosien ja harusten vastuskerroin saadaan standardin ISO 12494 taulukoista 17–25 (ks. myös liitteen B taulukko B.2.1). Jäätyneen ristikkorungon vastuskerroin määräytyy sivujen eheysasteen perusteella liitteen B mukaisesti. Tällöin käytetään kaikissa tapauksissa kulmikkaista sauvoista tehdyn ristikkorakenteen parametreja. Umpeen jäätyneen ristikkorakenteen vastuskerroin määräytyy jääluokan perusteella kansallisen liitteen taulukosta C.2.2 (FI).

Voimalinjojen osalta sovelletaan Cigele-järjestön ohjeita jääkuormista. Suomessa mitoitattavana kuormana suurjännitejohtoille on huurrejääkuorma, johon Cigelen ohjeen mukaan käytetään soveltuvien osien ISO 12494 standardin jääluokkia.

Jään ja lumen putoamisen ottaminen huomioon

SFS-EN 1993-3-1 mastoja koskevan osan kansallisen liitteen mukaan putoava jää otetaan huomioon ISO 12494 standardin kappaleen 11 mukaisesti. Sen mukaan, jos kyseessä on huurrejääluokka R4 (taulukko 1) tai suurempi, on yleisön pääsy maston ja harusten alle estettävä esimerkiksi suoja-aidoin ja tiet yms. on suunniteltava sen mukaan. Pienemmässäkin jääluokissa jään kerääntymisen tarkkailu voi olla tarpeen putoamisvaaraa ajatellen. Jääasiantuntijan tai meteorologin kuuleminen suunnittelussa on suotavaa. Jos putoavasta jäädä ei ole riittävästi tietoa, voidaan ohjeena käyttää taulukon 2 mukaisia suoja-alueita.

Taulukko 2. ISO 12494 standardin mukaiset suojaetäisyydet mastosta putoavan huurrejään varalta.

Jääluokka	Suojaetäisyys maston juurelta
R0-R3	Ei yleensä tarvita
R3-R6	2/3 maston korkeudesta
R7-R8	Maston korkeuden verran
R9-R10	1½ kertaa maston korkeus

Kun Suomessa korkeimmat TV-mastot ovat yli 300-metrisiä, niiden aidatut suoja-alueet ovat varsin suuria, kuten taulukosta 2 voi päätellä. Lisäksi alueilla käytetään katettuja kulkuväyliä työntekijöiden liikkumista varten.

Katoilta putoavan lumen estämisestä on Suomen Rakentamismääräyskokoelman F2 kohdassa 3.8.2 määräys, jonka mukaan sisäänkäyntien ja kulkuväylien kohdat sekä talvella käytettävät leikki- ja oleskelualueet tulee suojata rakennuksen katolta putoavalta lumelta ja jäältä. Määräys koskee myös rakennusta ympäröivää katualuetta ja muuta yleis-

tä aluetta. Kun katon kaltevuus ylittää 1:8, suojaamisessa käytetään ohjeellisesti katolle sijoitettavia lumiesteitä, ovien yläpuolisia katoksia tai kulkua ohjaavia istutuksia ja sopivia maarakenteita.

Kattoon kiinnitettäviä lumiesteitä on markkinoilla useita eri tyyppisiä, esimerkiksi ovaaliputkia ja teräsverkkoja. Lumiesteiden tulee kestää vähintään 5 kN/m:n lappeen suuntainen kuormitus. Tämän varmistamiseksi ne on kiinnitettävä kattorakenteen apupuihin, ja asennusohjeissa (RT 85-10708) määritellään esteiden määrä suhteessa lappeen puituuteen ja kaltevuuteen sekä rakennuspaikan peruslumikuormaan. Esteet tulee muutoin sijoittaa mahdollisimman lähelle räystästä. Jään ja lumen putoaminen pystykourun ja räystään väliseltä katon osalta tulee ottaa huomioon. Lumiesteiden tulee olla vaakasuunnassa yhtenäinen eikä lyhyitä lumiestepätkiä esimerkiksi pelkästään uloskäyntien kohdalla tule käyttä.

Joissain uusissa rakennuksissa on käytetty katon lämmitystä lumen putoamisen estämiseksi. Tämä ei ole suositeltavaa, koska sulanut lumi muodostaa jäätä ja jääpuikkoja, jotka voivat olla pudotessaan lunta vaarallisempia.

Lähteet

- [1] <http://www.us-fence.com/HTML/snow-instructions.html>
- [2] http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/sic/snow_fences.htm
- [3] Makkonen, L. & Wichura, B., 2010: Simulating wet snow loads on power line cables by a simple model. Cold Regions Science and Technology 61, 73–81.
- [4] Makkonen, L. & Ahti, K., 1995: Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations. Atmospheric Research, 36: 185–193.
- [5] Abley, M., 1998: The Ice Storm, McLelland & Stewart. Toronto, Kanada.
- [6] Makkonen, L., 2000: Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow deposits on structures. Philosophical Transactions A, 358 (1776): 2913–2940.
- [7] Makkonen, L., 1988: A model of icicle growth. Journal of Glaciology, 34 (116): 64–70.
- [8] Makkonen, L., 1992: Analysis of rotating multi-cylinder data in measuring cloud droplet size and liquid water content. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 9 (3): 258–263.
- [9] Perälä, J., Reuna M., 1990: Lumen vesiarvon alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A, No. 56, 260 s.