
SUOJELTUIJEN RAKENNUSTEN RIVIPELTIKATTOJEN KORJAUSOHJE

Helsingin yliopiston vuotavat vesikatot



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki 15.6.2012

Outi Aaltonen

VISAMÄKI

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennetekniikka

Tekijä	Outi Aaltonen	Vuosi 2012
Työn nimi	Suojeltujen rakennusten rivipeltikattojen korjausohje	

TIIVISTELMÄ

Helsingin yliopiston ongelmina ovat viime talvien aikana olleet kattojen vesivuodot, joita on tavattu etenkin konesaumatuissa rivipeltikatoissa. Vuotoja on esiintynyt myös korjatuissa ja uusitussa katteissa. Yliopistorakennusten korjauksia rajoittavat usein niiden rakennussuojelupäätökset. Tämän vuoksi korjaukset pitää suunnitella niin, ettei rakennuksen ulkonäkö muutu merkittävästi ja että jokaisen muutoksen tarpeellisuus on hyvin perusteltu. Vesivuotojen syitä ja korjaustapoja pohtimaan on perustettu työryhmä useista alan asiantuntijoista.

Kattojen vesivuotojen aiheuttajina uskotaan olevan katteen vedenpitämättömyys, ullakon kohonneet lämpökuormat, viime talvien runsaslumiset ilmasto-olosuhteet ja ullakkotilan heikko tuuletus. Suurten lämpökuormien vuoksi ullakkotilan lämpötila on korkea, ja paksu lumipeite katolla toimii hyvänä lämmöneristeenä eikä tuuletus riitä pitämään ullakkoa viileänä. Lämmin kattopelti sulattaa lunta, ja sulamisvesi valuu räystäälle, missä se jälleen jäätyy. Räystäälle muodostunut jääpaaanne padottaa sulamisvesiä, ja koska konesaumattu peltikate ei pidä paineellista vettä, se pääsee pellin saumoista läpi.

Työryhmä on laatinut teesilistan ideoista ongelmattoman katon suunnitteluun. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kenttätutkimusten sekä työryhmän jäsenten haastattelujen perusteella valita listan tärkeimmät kohdat ja esittää niiden perusteella toimivia rakennemalleja suojelunäkökulmat huomioiden. Työn teoriapohjana ovat yleiset suomalaiset rivipeltikattojen suunnitteluohjeet sekä rakennussuojelua koskevat lait.

Tärkeimmiksi korjaustoimenpiteiksi valikoituivat aluskatteen asentaminen, ullakon tuuletuksen tehostaminen sekä lämmöneristysten ja ilmatii- viyden parantaminen ullakolla sijaitsevilla ilmanvaihtokonehuoneissa, -kanavissa sekä yläpohjassa. Samanaikaisesti toteutettuna korjaustoimenpiteillä saadaan katteesta vesitiivis ja ullakkotilasta viileä, jolloin jään muodostuminenkin saadaan vähenemään.

Avainsanat Vesikatot, korjausrakentaminen, rakennussuojelu**Sivut** 43 s. + liitteet 3 s.

Visamäki

Degree programme in building and construction engineering

Structural engineering

Author

Outi Aaltonen

Year 2012**Subject of Bachelor's thesis**

Renovation guide for conserved strip metal roofs

ABSTRACT

The University of Helsinki has been facing the problem of water leaks in roofs during recent winters. Leaks have been detected especially in mechanically seamed sheet metal roofs and also in repaired and renewed roofings. University building repairs are often limited by their building conservation decisions. Therefore repairs must be designed in a way that does not change the facade significantly, and each change will need to be well-founded. A team of multiple experts has been created to ponder leakage causes and ways to fix them.

Flaws in roofings water resistance, the climates of the previous winters and increased heat loads and poor ventilation in the attics are believed to be the causes of water leakages. Temperature in the attic is high due to large heat loads, a thick blanket of snow on the roof acting as a good thermal insulation and ventilation that is not sufficient to keep the attic cool. Warm roof melts snow and the melt-water streams to the colder eaves and freezes again. Formed ice stems melt-waters and as strip steel roofing doesn't resist water pressure, water leaks through seams.

The expert team has gathered a list of instructions for design of a trouble-free roof. The purpose of the thesis is to select the main points of the list by interviewing the team members and perform workable structure models considering also conservation aspects. The theory of the thesis is based on the general Finnish strip steel roof design guidelines and laws concerning building conservation.

Installing the roof underlay, improving thermal insulation and air-tightness of air conditioning room, ventilation ducts and roof slab and enhancing ventilation in the attic turned out to be the primary operations of roof renovations. Executing these operations simultaneously will make roof waterproof and cool which reduces the forming of ice at eaves.

Keywords Roof covering, strip metal roofing, building conservation**Pages** 43 p. + appendices 3 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Tilaja ja ohjaus	1
1.2	Tutkimusmenetelmät	1
2	KONESAUMATTU RIVIPELTIKATE	1
2.1	Rivipeltikatteen historia	2
2.2	Vesikattoja koskevat määräykset	2
2.3	Rivipeltikatteen suunnitteluohjeet	3
2.3.1	Alusta	3
2.3.2	Pelti	4
2.3.3	Kiinnitys	5
2.3.4	Saumaus	5
2.3.5	Yksityiskohdat	7
3	SUOJELLUT RAKENNUKSET	11
3.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	12
3.2	Laki rakennusperinnön suojelemisesta	12
4	HELSINGIN YLIOPISTON VUOTAVAT KATOT	13
4.1	Ongelmia ja niiden aiheuttajia	13
4.2	Suunnittelijoiden korjausehdotuksia	15
4.3	Kenttätutkimukset	18
4.3.1	Kohde A	18
4.3.2	Kohde B	21
4.3.3	Kohde C	23
4.3.4	Kohde D	25
4.3.5	Mittausten vertailua	27
5	HAASTATTELUT	29
5.1	Kaksinkertainen aluskate jalkakourujen alueelle	30
5.2	Yläpohjan ilmavuotojen huolellinen tiivistäminen	31
5.3	Ullakolla olevien iv-kanavien ja lämpöjohtojen sekä iv-konehuoneiden nykyistä tehokkaampi lämmöneristäminen	33
5.4	Ullakko-/yläpohjatilan harjakohdan riittävä tuuletus	35
6	ESIMERKKILASKELMA: ULLAKON LÄMPÖKUORMIA	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
8	TOIMIVIA RAKENNERATKAISUJA HELSINGIN YLIOPISTON VUOTAVILLE VESIKATOILLE	40
	LÄHTEET	41
	HAASTATTELUT	42

-
- Liite 1 Kohde A räystäsdetalji
Liite 2 Räystäsdetalji, kaksinkertainen aluskate
Liite 3 Rakennemalli toimivalle yläpohjalle

1 JOHDANTO

Helsingin yliopiston omistamien kiinteistöjen ongelmina ovat viime talvena olleet loivien rivipeltikattojen vesivuodot. Lumenpudotukset vesivuotojen estämiseksi, vesivuotojen paikkailu ja niiden aiheuttamien vaurioiden korjaaminen ovat aiheuttaneet yliopistolle merkittäviä kustannuksia. Vuotoja on esiintynyt myös hiljattain korjatuissa ja uusituissa katoissa.

Vuotojen syitä ja korjausvaihtoehtoja pohtimaan on koottu asiantuntijatyöryhmä, joka on kokoontunut kehittämään ideoita ongelmien välttämiseksi. Tuloksena on tullut 20 teesiä, jotka ovat lueteltuna luvussa 4.2.

Opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia yläpohjien olosuhteita, vertailla asiantuntijatyöryhmän korjausehdotuksia sekä poimia korjausehdotuksista tärkeimmät ja toimivimmat sekä esittää niiden pohjalta toimivia rakenneratkaisuja.

1.1 Tilaaja ja ohjaus

Opinnäytetyön tilaaja on Helsingin yliopisto. Työn ohjaajina toimivat Sami Laine Vahanan Oy:stä sekä Tapio Korkeamäki Hämeen ammattikorkeakoulusta.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Talvella 2012 tehtiin neljän yliopistorakennuksen ullakkotiloissa kenttä-tutkimuksia, joissa mitattiin rakenneosien pintalämpötiloja ja ilmankosteutta sekä havainnoitiin aistinvaraisesti ullakkotilojen olosuhteita. Ullakoille jätettiin jatkuvatoimiset mittalaitteet mittaamaan koko talven ajan ilman lämpötiloja sekä ilmankosteuksia.

Tutkimuksessa haastateltiin useita rakennusalan asiantuntijoita sekä yliopiston vesikattohankkeen osapuolia. Haastateltavina oli pitkän kokemuksen omaavia rakennesuunnittelijoita, yliopistorakennusten korjauksissa paljon mukana ollut urakoitsija, yliopiston rakennuttajainsinööri sekä lvi-rakennuttaja. Haastatteluissa oli tavoitteena kuulla jokaisen osapuolen ajatuksia ongelmien syistä ja ratkaisuista, ja näistä kaikista koottiin tärkeimmät, joiden perusteella lähdettiin työstämään rakenneratkaisuja.

2 KONESAUMATTU RIVIPELTIKATE

Konesaumatulla rivipeltikatteella tarkoitetaan ohuesta tasaisesta metallilevystä tehtyä vesikatetta. Pelti on yleensä sinkittyä tai sinkittyä ja maalattua terästä, kuparia, alumiinia, ruostumatonta terästä tai sinkkiä. Se toimitetaan joko levypeltinä (pituus ja leveys määrämittaiset) tai nauhapeltinä (leveys määrämittainen) kelana. Peltirivit liitetään toisiinsa räystäään suunnassa hakasaumoin ja lappeen suunnassa pystysaumoin. (Rakennustieto 2006, 2-7)

2.1 Rivipeltikatteen historia

Peltiä on käytetty katemateriaalina Suomessa 1600-luvulta lähtien. Tuolloin materiaalina oli rautapelti, joka oli herkästi ruostuvaa ”mustaa” laatua sekä tinattua ”valkoista” laatua. Musta pelti suojattiin ruosteelta pellavaöljymaalilla, jossa pigmenttinä oli usein kimrööki eli pikimusta. Halvempi vaihtoehto pellavaöljymaalille oli puuterva, joka suojasi peltiä ruosteelta heikommin. Pellin alapinta käsiteltiin vernissalla kondenssiveden aiheuttamaa ruostumisvauriota vastaan. (Pietarila 2000, 2)

Ensimmäiset pellit olivat leveydeltään 10-15 cm ja ne taottiin vasarakooneilla. 1700-luvulla yleistyi peltikoko 45x59 cm ja paksuus oli tuolloin n. 1 mm. 1700-luvun loppupuolella peltien naulaamisesta ja limittämisestä siirryttiin saumaukseen, ja pystysauman suositeltu korkeus oli n. 3,5 cm. (Tomminen 2000, 2)

1800-luvun alussa katepeltejä alettiin valssata ja niiden koot olivat 72 x 72 cm tai 72 x 144 cm (Tomminen 2000, 2). 1800-luvun puolivälissä peltikattojen yleistyessä ruostesuojaukseen käytettiin pellavaöljyyn sekoitettua kirkkaanpunaista lyijymönjää. Myös rautaoksidipigmenttejä käytettiin halvempaan vaihtoehtona lyijylle. Lyijymönjän ja raa’an pellavaöljyn seoksella kitattiin peltien saumat ja tiivistettiin liitokset. 1800-luvun loppupuolella katteita käsiteltiin kivihiilitervalla sen helpon levitettävyyden ja halpuuden vuoksi. (Pietarila 2000, 2-3)

1920-luvulla yleistyi sinkityn pellin käyttö katteissa, ja se syrjäytti mustan pellin hyvän ruostekestoensa vuoksi (Tomminen 2000, 3). Sinkitty pelti käsiteltiin kuitenkin yhä pellavaöljymaalilla. 1950-luvulla markkinoille tulleet alkydimaalit syrjäyttivät tervatuotteet uusien peltikattojen käsittelyaineena. Vanhoja terva- tai bitumijohdannaisilla käsiteltyjä kattoja hoidetaan edelleen samankaltaisilla tuotteilla. (Pietarila 2000, 3) 1970-luvulla markkinoille tulivat muovipinnoitetut kattopellit (Tomminen 2000, 3).

Nykyisin käytettävät pellit ovat enimmäkseen kuumasinkittyjä. Alumiinista kattopeltiä käytetään melko vähän. (Tomminen 2000, 3)

Nykyisin markkinoilla on myös katepeltejä, jotka ulkonäöltään muistuttavat konesaumattua rivipeltiä, mutta joiden asentaminen ja toiminta ovat erilaisia. Esimerkiksi Ruukin Classic C-kate voidaan asentaa helposti käsin ilman koneita, ja se vaatii alleen aluskatteen. Kate kiinnitetään ruoteisiin suoraan pellin läpi ja viereinen peltirivi nostetaan aina edellisen rivin pystytaitoksen päälle. (Rautaruukki Oyj 2011)

2.2 Vesikattoja koskevat määräykset

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa C2 (Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998) määrää vesikatot suunniteltaviksi niin, että ne johtavat sadevedet hallitusti, rakennusta vaurioittamatta. Lisäksi katon tulee kestää ilmastorasitukset, lumen ja jään rasitukset ja huoltotoimenpiteiden vaatima liikkuminen katolla. Yläpohjan rakenteet ja tuuletus tulee suunnitella ja rakentaa siten, ettei kattoon kerry diffuusion tai konvektion välityksellä

haitallisessa määrin kosteutta ja että rakenteisiin tiivistynyt kosteus pääsee kuivumaan. (Ympäristöministeriö 1998, 12-14)

2.3 Rivipeltikatteen suunnitteluohjeet

Nykyisin käytössä oleva rivipeltikatteen suunnitteluohje RT 85-10862 Metallinen saumattu katto vuodelta 2006 muistuttaa paljon vuoden 1954 ohjekorttia Kate, sinkitty teräspelti pystysaumoin (RT 857.11). Esimerkiksi rintataitteen korkeussuositus on tismalleen sama kuin se on ollut jo miltei 60 vuotta sitten. Vuonna 1954 valmistuneesta neljäisivuisesta tietois-kusta on vuosien mittaan jalostunut 28-sivuinen teos. Merkittävä ero ja myös yliopiston kattovuotoihin liittyvä asia on jalkakourun vähimmäiskal-listus: vuonna 1954 jalkakourun on neuvottu tehtävän vähintään kallistukseen 1:20, kun taas vuoden 2006 ohjekortissa minimiraja on 1:75.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty Rakennustiedon ohjekortiston kortin RT 85-10862 (2006), Kattoliiton Toimivat Katot – julkaisun (2007) sekä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton RIL:n julkaisun RIL 107-2000 (2000) tuoreimpia ohjeistuksia määräysten mukaisen rivipeltikaton suunnitteluun.

2.3.1 Alusta

Uusin ohjekortti saumatuista peltikatoista, RT 85-10862: Metallinen saumattu katto (2006, 2) neuvoo saumatun rivipeltikatteen minimikaltevuudeksi 1:10. Pienten yksityiskohtien, kuten kurujen ja leveiden hormistojen kaatojen on oltava vähintään 1:30 (Rakennustieto 2006, 2).

Aluskatetta ei kortin (2006, 2) mukaan tarvita, mutta akustisista syistä sekä ”tuuletuksen suhteen vaativissa kohteissa” pintasirotteettoman eristyskermin asentaminen voi olla suositeltavaa. Aluskatteen tarpeettomuutta perustellaan sillä, että katteen vaatima aluslaudoitus ja pelti sitovat ylimääräisen kosteuden, joka poistuu kuivemmalla säällä tuuletusvälin kautta. Kuitenkin sisäjiireihin, kouruihin ja kuruihin neuvotaan asentamaan katteen alle pintasirotteeton eristyskermi, ja kupari-, alumiini- ja ruostumattomasta teräksestä tehdyn katteen alle kermi kauttaaltaan (Rakennustieto 2006, 5). Tuuletusvälin korkeudeksi suositellaan vähintään 100 mm siten, että tuloaukot sijoitellaan räystäälle ja poistoaukot harjalle tai päätyihin. RIL 107-2000:n (2000, 97) mukaan aluskatteeton rivipeltikate vaatii kauttaaltaan vähintään 200 mm korkean tuuletustilan. Kattoliiton Toimivat Katot –julkaisu (2007, 50) suosittelee aluskatteen asentamista 1:7 loivemmillä rivipeltikatoilla.

Teräspellin alustaksi riittää vähintään 20 mm paksu täyssärmäinen sahata-varalauδοitus (mitoitus kuormien mukaan), pystykourulla, jiireissä, isojen läpivientien kohdalla ja harjalla umpilauδοituksena ja muualla kaltevuuden mukaisesti 20...60 mm väleillä. Kupari- alumiini- ja ruostumattoman teräskatteen alusta laudoitetaan koko lappeella umpeen vähintään 20*95 mm kokoisella raakaponttilaudalla. Lauδοitus kiinnitetään kattotuoleihin

vähintään 75*28 nauloilla, jotka lyödään vähintään 1 mm laudan pintaa syvemmälle. (Rakennustieto 2006, 4-5)

2.3.2 Pelti

Vesikate tehdään seuraavanlaisista materiaaleista:

- Sinkitty tai sinkitty ja maalipinnoitettu teräspelti
 - o paksuus 0,5 mm tai 0,6 mm
 - o leveys 610 mm tai 1230 mm
 - o peltilaatu Dx52D+Z tai pehmeämpi (ns. peltisepänlaatu)
 - o tuotestandardi SFS-EN 10327

- Kuparipelti
 - o paksuus 0,6 mm tai 0,7 mm
 - o leveys 610 mm, 700 mm tai 1000 mm
 - o muokkausaste H065E (vanha merkintä 5-kova)
 - o tuotestandardi SFS-EN 1172

- Alumiinipelti
 - o paksuus 0,6 mm tai 0,7 mm
 - o leveys 610 mm tai 1000 mm
 - o tuotestandardi SFS-EN 12482-2

- Ruostumaton teräspelti
 - o paksuus 0,4 mm tai 0,5 mm
 - o leveys 610 mm tai 1250 mm
 - o tuotestandardi SFS-EN 10088-3

- Sinkkipelti
 - o paksuus 0,8 mm
 - o leveys 600 mm tai 1000 mm
 - o noudatettava materiaalivalmistajan ohjeita
 - o tuotestandardi SFS-EN 988

(Rakennustieto 2006, 5)

Vaikka pelti täyttäisi em. ominaisuudet, materiaalivalmistajalta on varmistettava pellin olevan kattamiseen tarkoitettua saumattavaa laatua. Peltilevyjen reunat ovat valmiiksi taivutettuja konesaumausta varten. Riveissä ei tulisi käyttää 700 mm:ä leveämpää nauhapeltiä. (Rakennustieto 2006, 5)

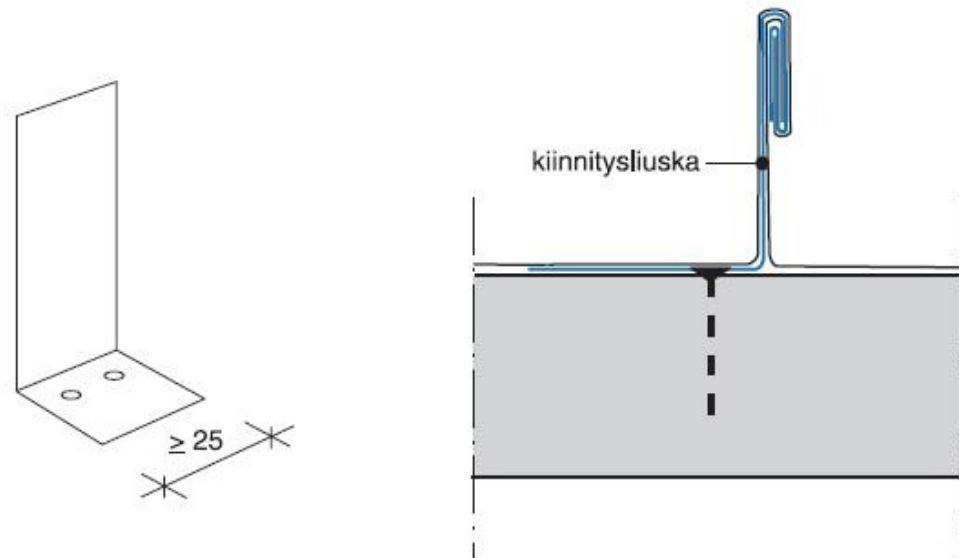
Peltikatoissa on huomioitava metallin ominaisuus laajeta lämmitessään. 100 °C lämpötilanmuutos aiheuttaa teräkselle 1 mm/m, kuparille 1,7 mm/m, alumiinille 2,4 mm/m ja ruostumattomalle teräkselle 1,7 mm/m pituudenmuutoksen. Katemateriaalin lämpölaajeneminen ohjeistetaan ottamaan huomioon sille suunnitelluilla hakasaumoilla. Lämpöliikkeen sallivia hakasaumoja tulee käyttää, kun teräspeltikatteen lappeen pituus on yli 10 m. Kupari-, alumiini- tai ruostumattoman teräspeltikatteen vastaava raja on 4 m. (Rakennustieto 2006, 2 & 7)

2.3.3 Kiinnitys

Peltirivit kiinnitetään alustaansa samasta materiaalista tehdyillä kiinnitysluskoilla, joiden paksuus on vähintään 0,5 mm ja leveys vähintään 25 mm. Teräspeltikatto kiinnitetään kiinteillä liuskoilla, kupari- alumiini- ja ruostumattoman peltikatteen kiinnityksessä käytetään kiinteiden kiinnikkeiden lisäksi liukukiinnikkeitä. (Rakennustieto 2006)

Liuskat naulataan tai ruuvataan peltirivien saumojen kohdille yhdellä tai kahdella naulalla tai ruuvilla alustaan. Teräskatteella ruuvien, kampanaulojen ja naulojen on oltava korroosionkestävyydeltään vähintään kuumasinkittyjä. Kuparikatteen kiinnitysluskojen kiinnittämisessä käytetään kuparisia tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä. (Rakennustieto 2006, 6) Nauloja käytettäessä on varmistuttava siitä, etteivät ne nouse vaurioittaen katetta. Siksi ruuvien käyttö on suositeltavaa.

Liuskat taivutetaan peltirivien pystysauman mukana, jolloin itse katelpeihin ei aiheudu kiinnityksestä reikiä. Ruostumattoman teräspeltikatteen kiinnitysluskat hitsataan katelpeihin. (Rakennustieto 2006, 7)



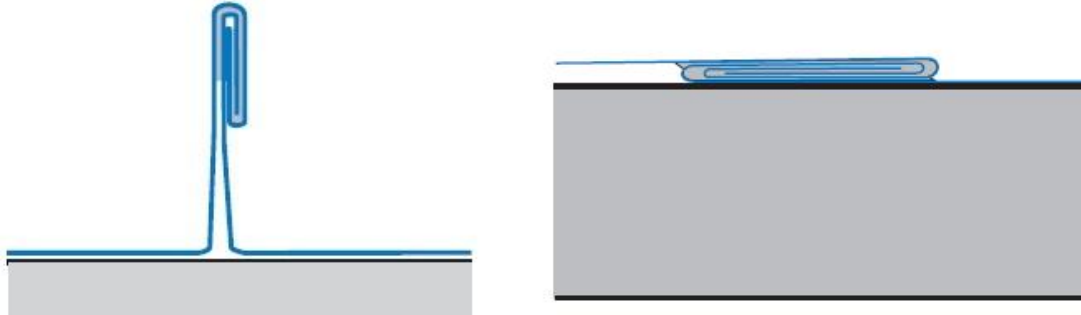
Kuva 1. Kiinnitysluska. (Rakennustieto 2006, 6)

2.3.4 Saumaus

Saumat ovat rivipeltikattojen merkittävin osa, sillä ne erottavat rivipeltikatteen muista peltikatteista. Rivipeltikatteen katsotaan olevan niin vedenerpitävä, ettei RT 85-10862 –kortin (2006, 2) ohjeiden mukaan tarvita aluskatetta, joten saumojen tiiviydellä on tärkeä rooli.

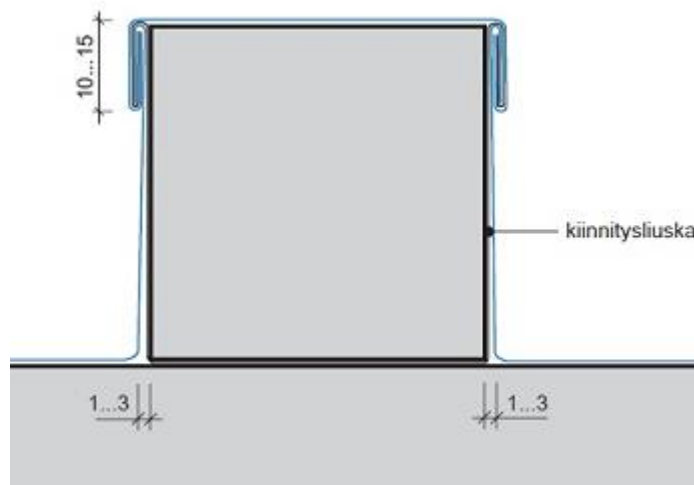
Peltirivit liitetään toisiinsa kaksinkertaisilla pystysaumoilla (kuva 2). Myös jireissä ja katon harjalla käytetään pystysaumoja. Pystysaumot käsitellään tiivistystarvikkeella. Ruostumattoman teräspeltikatteen pystysauma voidaan myös hitsata umpeen. (Rakennustieto 2006, 7)

Räystään suunnassa pellit liitetään toisiinsa kaksinkertaisin hakasaumoin. Viereisissä peltiriveissä ei saa olla hakasaumaa samassa kohtaa, vaan ne porrastetaan. Hakasauman ja pystysauman liitoskohdassa pellin nurkkaa leikataan siltä osin, joka jää pystysauman sisään. Näin liitoskohdan paksunnoksesta tulee mahdollisimman pieni. Haka- ja pystysaumamat ovat lappeella aina kaksinkertaiset. Yksinkertaisia hakasaumoja voi käyttää ainoastaan pystysuorissa paikoissa. (Rakennustieto 2006, 7)



Kuva 2. Kaksinkertaiset pysty- ja hakasauma. (Rakennustieto 2006, 8-9)

Rivipeltikatto voidaan saumata myös rimasaumoin. Rimaa päälle asetetaan peltiliuska, joka saumataan viereisiin peltiriveihin yksinkertaisin hakasaumoin. Kiinnitysliuskat ulottuvat rimaa ali molemmille saumoille. Liuskoja asennetaan noin 400 mm välein ja jokaisen hakasauman yläpuolelle. Rimat tehdään esimerkiksi 44 mm x 44 mm mitallistetusta kuivasta sahatavaraa, joka viistetään räystäällä 1:2 ... 1:3 kulmassa. Rimat naulataan tai ruuvataan ruodelaudoitukseen kuumasinkityillä kiinnikkeillä niin, etteivät kannat jää koholle. (Rakennustieto 2006, 10)



Kuva 3. Rimasauma. (Rakennustieto 2006, 10)

Kaikissa saumoissa käytetään tiivistystarvikkeita, jotka ovat saumamaaleja, tiivistysmassoja tai vastaavia tiivistykseen tarkoitettuja aineita. Tiivistysten tulee säilyä katon käyttöänsä ajan kimmoisina, kuivumattomina ja valumattomina. Tiivistyksen tulee olla koko sauman pituudelta yhtenäinen. Perinteisesti saumauksissa on käytetty pellavaöljyn ja glyseriinin seosta (suhde 8:2) sekä sinkkivalkoisen ja liidun (1:1) sekoitusta. (Rakennustieto 2006, 7) Nykyisin saumojen tiivistämiseen käytetään mm. Sun-

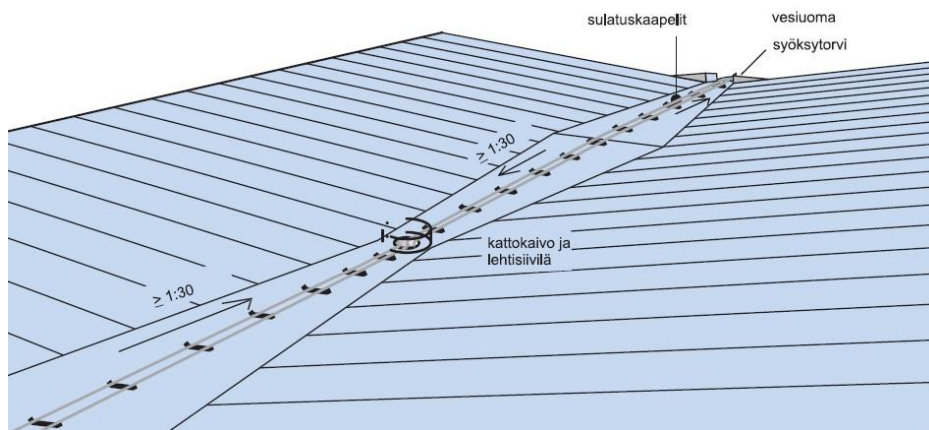
chem Ab:n kasviöljypohjaista Abratex 80 –saumausöljyä (Utriainen, sähköpostiviesti 2.5.2012) sekä butyylikumipohjaista Abra M82 –saumausmassaa (Laine, sähköpostiviesti 8.5.2012).

2.3.5 Yksityiskohdat

Yksityiskohdat tehdään samanpaksuisesta pellistä kuin kate. Toimivuuden varmistamiseksi käsin tehtävissä yksityiskohdissa voidaan käyttää ohuempaakin peltiä, mutta kappaleessa 2.3.2 esitetyt minimipaksuuksia ei saa alittaa. (Rakennustieto 2006, 13)

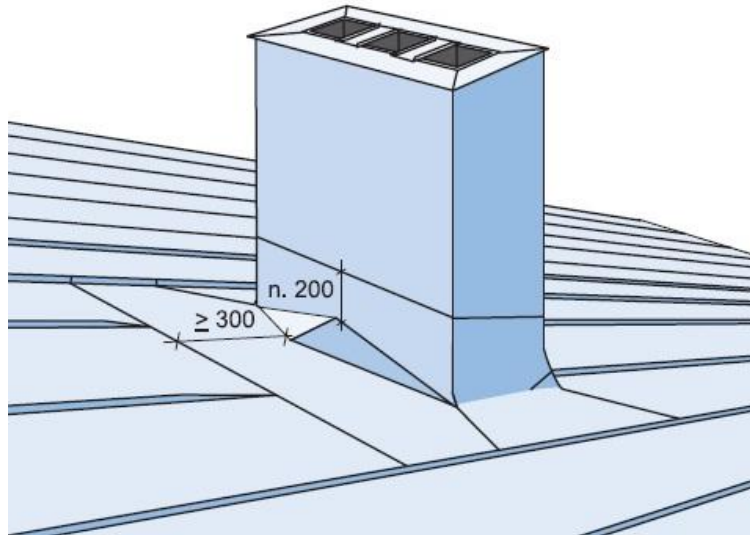
Sisätaitteen eli sisäjiirin pelti ulotetaan vähintään 250 mm molemmille lappeille ja liitetään viereisiin peltiriveihin kaksinkertaisin tiivistetyin pystysaumoin. Harjaan ja räystääseen jiiripelti liitetään samoin kuin viereiset peltirivit. Pellin ja aluslaudituksen väliin asennetaan pintasirotteeton eristyskermi, joka ulotetaan vähintään 150 mm peltirivin ja jiiripellin välisen sauman ohi. (Rakennustieto 2006, 13-14)

Vesitiiviiden kourujen ja kurujen suunnittelu ja rakentaminen on teknisesti erittäin vaativaa, joten niiden käyttöä tulisi välttää. Kouru tehdään soveltuvilta osin kuten sisätaite. Sen suunnittelussa otetaan huomioon ala, jolta vedet kouruun ohjataan. Kouru on ylöspäin levenevä, ja sen sivujen viistouden tulee olla kauttaaltaan vähintään 1:10 (kuva 4). Kouru saumataan lappeen pelteihin kaksinkertaisilla tiivistetyillä hakasaumoilla. Kuruissa ongelmia aiheuttaa veden patoutuminen ja jäätyminen, minkä takia kourujen sijasta suositellaan käytettäväksi kouruja. Sekä kuruun että kourun pohjalle tulee asentaa sulatuskaapeli. (Rakennustieto 2006, 13-14)



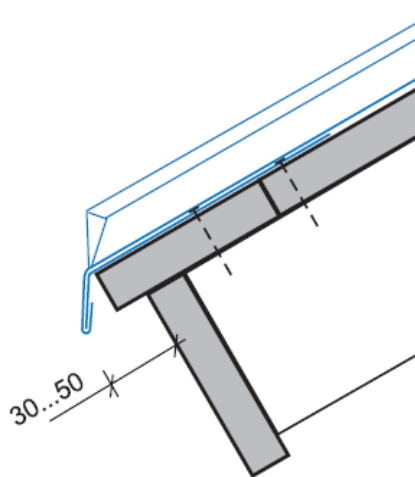
Kuva 4. Kuru. (Rakennustieto 2006, 14)

Lappeen ja pystyseinän välistä taitetta kutsutaan rintataitteeksi. Seinän ollessa pellittämätön lappeen pellitys nostetaan rintataitteessa vähintään 300 mm korkeudelle ja päätetään alustan mukaan esimerkiksi uraan tai seinän lautaverhouksen alle. Pellitetyn pystyseinän rintataitteessa taitepellin korkeudeksi riittää 150 mm. Taitepelti saumataan seinäpeltiin yksinkertaisella saumalla ja jatketaan toiseen taitepeltiin kaksinkertaisella saumalla. Suuren läpiviennin yläpuolella, missä rintataitteen kulma on alle 90°, tehdään taustakallistus. (Rakennustieto 2006, 15-17)



Kuva 5. Taustakallistus. (Rakennustieto 2006, 17)

Sivuräystäälle asennetaan noin 150 mm leveä aluspelti, johon rivipeltien päät saumataan reunasaumalla (kuva 6). Aluspelti tehdään samasta pellistä kuin lappeen pellitykset. Aluspellin asemasta sivuräystäällä voidaan käyttää myös suojapeltiä, joka suojaa samalla myös räystäslautaa. Peltiin taiteetaan tippanokka, joka on vähintään 20 mm etäisyydellä suojattavista rakenteista ja 30...50 mm muuratuista ja rapatuista rakenteista. Suojapelti kiinnitetään alustaansa nautoilla tai ruuveilla, kiinnityslistalla tai liuskoilla tai pellin reunataivutuksella, joka on vaativin vaihtoehto. Erityisesti tuulisilla paikoilla leveisiin suojapelteihin tehdään jäykistetaivutuksia tai se tehdään katepeltiä paksummasta pellistä. (Rakennustieto 2006, 19)

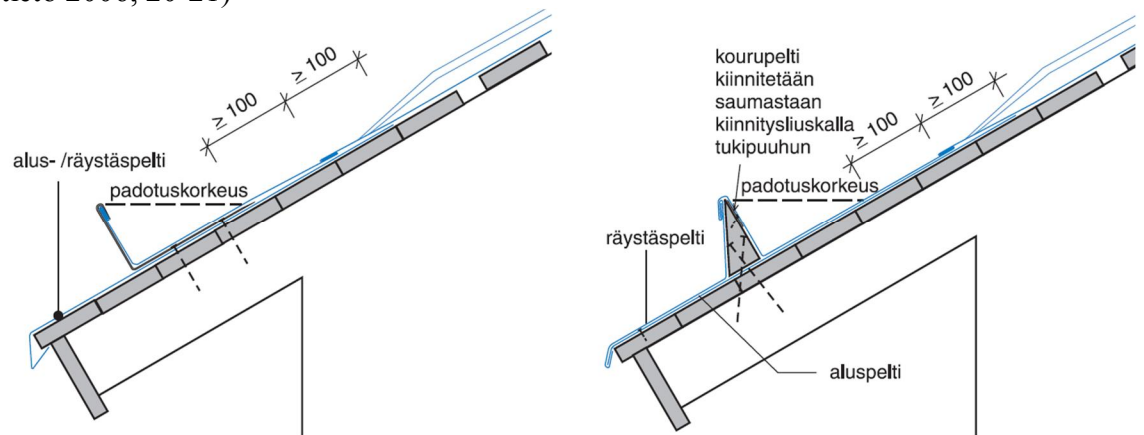


Kuva 23. Sivuräystä, reunasauma. (Rakennustieto 2006, 18)

Päätyräystäällä rivipellin reuna kiinnitetään kiinnitysliuskoilla, minkä lisäksi päälle asennetaan räystäslista, joka kiinnitetään erillisillä ruuveilla tai nautoilla. (Rakennustieto 2006, 19)

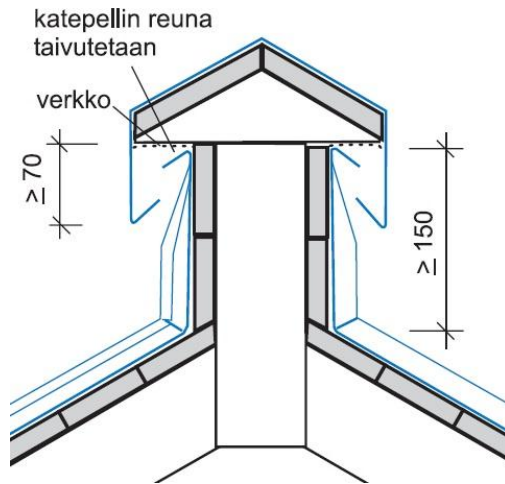
Pystykourua eli jalkaränniä voidaan käyttää sadevesien ohjaamiseen syöksyputkeen jyrkillä katoilla, joiden kaltevuus on vähintään 1:4. Pystykourun pohjan suuntainen kaltevuus tulee olla vähintään 1:75. Kouru tehdään joko tukipuulla tai metallisilla tukikoukuilla (kuva 6). Tukipuu tehdään kyläs-

tämättömästä ilmakeivästä puusta, esimerkiksi 50 mm x 100 mm tai 100 mm x 100 mm vinosti halkaisusta puusta ja se naulataan molemmin puolin jokaiseen kattotuoliin. Tukikoukut valmistetaan esimerkiksi 25 mm x 3...5 mm kokoisesta lattatangosta taivuttaen. Sinkityn tai maalipinnoitetun katon koukut tehdään kuumasinkitystä teräksestä, alumiinikaton ruostumattomasta teräksestä, kuparikaton 5 mm x 30–40 mm kuparitangosta. Tukikoukkuja kiinnitetään alustaan vähintään kahdella ruuvilla 200–300 mm välein ja jokaisen kattotuolin kohdalle. Pystykourun rakenteiden alle asennetaan aluspelti, joka ulottuu räystäältä kourupellin ja lapepellin välisen sauman ohi vähintään 100 mm. Kourupelti kiinnitetään alapäästä kiinnitysliuskalla tukipuuhun tai tukikoukkuun ja sivuilta kiinnitysliuskoilla kaksinkertaisissa pystysaumoissa, joita on teräskatteilla vähintään 6000 mm välein ja kupari- ja alumiinikatteilla vähintään 3000 mm välein. Kourupellin ja lapepellien välinen kaksinkertainen tiivistetty hakasauma ulotetaan pystykourun padotuskorkeudesta 100 mm etäisyydelle (kuva 7). Mikäli räystäälle asennetaan aluspellin lisäksi erillinen räystäspelti, se saumataan kourupeltiin pystykourun kuivalle puolelle kaksinkertaisella saumalla. Pystykouruun tehdään päätyräystäälle päätteet saumaamalla kourupelti päätylistaan pystysaumalla. Syöksyputkeen johtava vesiuoma saumataan kourupeltiin kaksinkertaisella saumalla. Pystykouruun asennetaan tarvittaessa sulatuskaapeli. Pystykouru ei korvaa lumiestettä. (Rakennustieto 2006, 20-21)



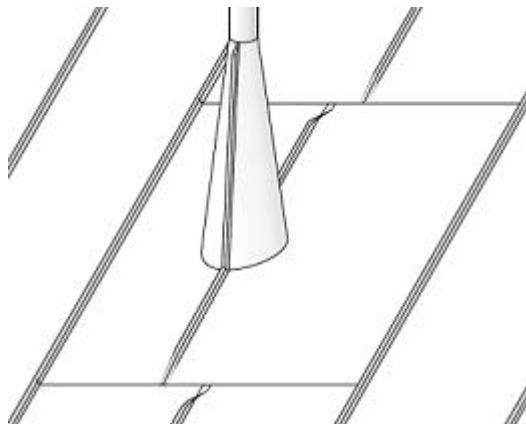
Kuva 7. Pystykouru tukipuulla ja tukikoukulla. (Rakennustieto 2006, 20)

Harjalle tehdään kaksinkertainen tiivistetty pystysauma, jonka on oltava sekä sivu- että pystysuunnassa suora. Myös ulkotaite tehdään soveltuvilta osin samoin. Mikäli yläpohjan tuuletusta ei pystytä hoitamaan päätyjen kautta tai alipainetuulettimilla, tehdään kuvan 8 mukainen tuulettava harja. Lappeiden peltirivit nostetaan harjan pystypinnalle vähintään 150 mm. (Rakennustieto 2006, 22)



Kuva 8. Tuulettava harja. (Rakennustieto 2006, 22)

Katteen lävistävien putkien, antennien ym. juureen tehdään vähintään 300 mm korkea peltikartio, joka saumataan peltiriviin kaksinkertaisin saumoin. Läpiviennin ollessa sauman kohdalla tyvikartioon saumataan erillinen pohjalevy, joka saumataan ympäriltä rivipeltiin kaksinkertaisin haka- ja pystysaumoin. Pohjalevy voidaan tarvittaessa tehdä kahdesta osasta. (Rakennustieto 2006, 22)

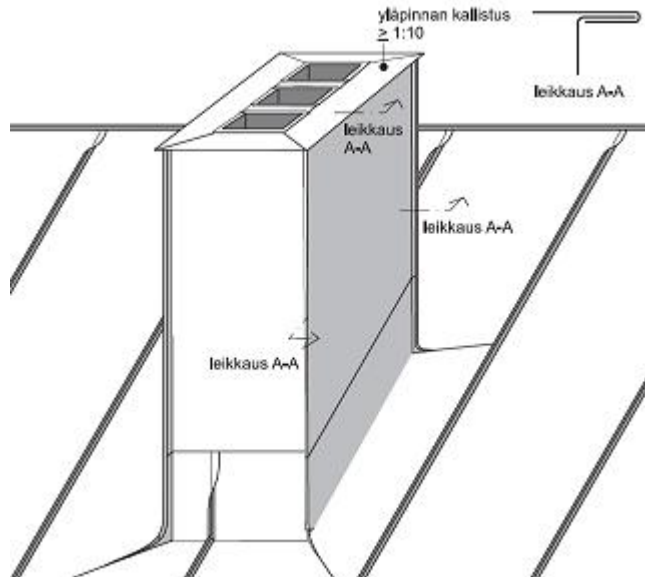


Kuva 9. Tyvikartio sauman kohdalla. (Rakennustieto 2006, 22)

Kattoluukku sijoitetaan helposti päästävään kohtaan, esimerkiksi ullakon käytävän kohdalle. Kattoluukku koostuu puisista ja/tai metallisista alakehyksestä ja kannesta. Alakehyksen vähimmäiskorkeus on 150 mm ja sen kulkuaukon vähimmäismitat ovat 600 mm x 600 mm (Rakennustieto 1998, 1). Puisen alakehyksen pellitys naulataan kehyksen yläreunaan enintään 100 mm välein ja saumataan rivipeltiin kaksinkertaisin tiivistetyin hakasaumoin. Luukun kehys tehdään sisämitoiltaan noin 20 mm alakehystä suuremmaksi ja sen tulee jäädä 20–30 mm irti lappeesta. Puusta tehdyn luukun kansi laudoitetaan umpeen tai levytetään sekä pellitetään. Kannen sivuille tehdään oma peltisuikale, joka käännetään sisäpuolelle ja naulataan enintään 100 mm välein ja saumataan kannen päällyspeltiin yksinkertaisella reunasaumalla. (Rakennustieto 2006, 23)

Kattoturvatuotteiden, kuten kattosiltojen, kattotikkaiden, kattoportaiden ja lumiesteiden kiinnittämisessä vältetään katteen läpäisemistä, ja mahdollisuuksien mukaan ne kiinnitetään katteen pystysaumoihin. (Rakennustieto 2006, 23)

Hormistot pellitetään vähintään yläpään betonilaattaan asti tai mieluiten kokonaan. Sivupellit saumataan toisiinsa ja päällyspeltiin yksinkertaisella reunasaumalla ja kiinnitetään saumojen kohdalta kiinnitysluskoilla noin 300 mm välein. Päällyspellin kaadon tulee olla vähintään 1:10 ja sen saumat ovat yksinkertaisia. Ilmastointihormistot ja usein kylminä olevat sauhormistot varustetaan sadekatoksella. (Rakennustieto 2006, 23)



Kuva 10. Hormiston pellitys. (Rakennustieto 2006, 23)

Lappeita erottavat palomuurit pellitetään kauttaaltaan. Rintataitepellin yläpää kiinnitetään palomuriin uraan tiivistetyllä listalla, joka kiinnitetään ruuveilla enintään 100 mm välein. Pystypintojen saumat ovat yksinkertaisia ja vaakapintojen (kaltevuus vähintään 1:10) kaksinkertaisia. Saumojen kohdille asennetaan kiinnitysluskat enintään 400 mm välein. (Rakennustieto 2006, 24)

3 SUOJELLUT RAKENNUKSET

Rakennustaiteen, kaupunkikuvan ja historiallisesti merkittävien rakennusten suojeleluun on kaksi tapaa: rakennuksia suojellaan kaavoituksella, jolloin suojeleluun noudatetaan maankäyttö- ja rakennuslakia tai valtakunnallisesti, maakunnallisesti tai paikallisesti merkittävät rakennukset suojellaan lailla rakennusperinnön suojelemisesta. Aiemmin asetetut ja jo kumotut rakennussuojelulaki 60/1985 ja asetus valtion omistamien rakennusten suojeleluun 480/1985 ovat edelleen voimassa niiden käsittämässä kohteissa. (Rakennusten suojeleluun 2011)

Vaikka esimerkiksi kattomuotojen muutokset estyvät usein suojeleluupäätösten nojalla, eivät suojeleluupäätökset lähtökohtaisesti rajaa mitään muutoksia pois. Kaikista muutoksista voidaan keskustella Museoviraston kanssa. Jos

lupaa rakenteen toimivuuden kannalta välttämättömälle muutokselle ei saada, voi suunnittelija tarvittaessa kääntyä Rakennusvalvontaviraston teknillisen toimikunnan puoleen. Rakennusvalvontaviranomaisilta saatu lausunto voi vakuuttaa Museoviraston ja auttaa luvan saamisessa. (Hönö 2012, 4)

3.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Kaavoituksen yhtenä tehtävänä on vaalia rakennetun ympäristön kauneutta ja kulttuuriarvoja. (MRL 5 §) Maakunta- ja yleis- tai asemakaavassa voidaan antaa suojelumääräyksiä alueille ja rakennuksille kulttuurihistoriallisen arvon tai muiden erityisten arvojen takia. (MRL 41 §) Suojelumääräykset määrittellään kullekin kohteelle erikseen, ja niiden on oltava maan- tai rakennuksen omistajalle kohtuullisia. (MRL 57 §)

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrää, että rakennettaessa, korjattaessa tai muita toimenpiteitä suorittaessa pitää pitää huoli siitä, ettei historiallisesti tai rakennustaiteellisesti arvokkaita rakennuksia tai kaupunkikuvaa turmella (MRL 118 §). Lain mukaan rakennus on pidettävä turvallisessa, terveellisessä, käyttökelpoisessa ja ulkonäöltään siistissä kunnossa, oli se sitten suojeltu tai ei. Kaavalla suojellun rakennuksen ylläpidossa pitää ottaa lisäksi huomioon rakennussuojelun tarkoitus, eli esimerkiksi jos rakennussuojelun tarkoituksena on ollut säilyttää ajanmukainen rakennustapa, ei rakennuksen rakenteita saada muuttaa. Jos rakennuksen kunto ei täytä edellä mainittuja turvallisuuden, terveellisyyden ja käyttökelpoisuuden kriteereitä, voi kunnan rakennusvalvontaviranomainen määrätä rakennuksen korjattavaksi. (MRL 166 §)

Maankäyttö- ja rakennuslain sisällön noudattamiseen voi hakea kunnalta poikkeuslupaa, johon tarvitaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen sekä poikkeamisen toimialan valtion viranomaiselta lausunto. (MRL 171-173 §)

3.2 Laki rakennusperinnön suojelemisesta

Historiallisesti merkittäviä rakennuksia voidaan suojella lailla rakennusperinnön suojelemisesta (4.6.2010/498). Suojelupäätös voi koskea rakennuksen osaa, koko rakennusta, rakennusryhmää tai kokonaista rakennusaluetta, jotka ovat merkittäviä rakennustaiteen, rakennushistorian, rakennustekniikan, ympäristöarvojen tai rakennuksen käytön tai siihen liittyvien tapahtumien takia. (3§)

Rakennussuojeltuja rakennuksia tulee suojelumääräyksiensä mukaan säilyttää, käyttää, entisöidä ja korjata siten, että se pysyy suojelun edellyttämässä kunnossa, historiallinen merkitys säilytetään, eikä suojelun tarkoitusta (esimerkiksi tiettyä rakennustapaa) vaaranneta. (10§)

Rakennusten suojelua valvoo ja siihen liittyviin kysymyksiin neuvoja antaa Museovirasto sekä elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskukset. (4§) Jos niillä on epäilyksiä suojellun rakennuksen suojelumääräyksiensä puutteelli-

sesta täytöntöönpanosta, on Museovirastolla tai sen määräämällä museoviranomaisella ja elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskuksella oikeus päästä kohteen sisätiloihin tarkastamaan tilanne. Tahallaan tai huolimattomuudesta tehdystä määräysten laiminlyönnistä tuomitaan rakennuksen omista ja vähintään rakennussuojelurikkomuksesta sakkoon. (23§)

4 HELSINGIN YLIOPISTON VUOTAVAT KATOT

Helsingin yliopiston rakennuttamien uudis- ja peruskorjauskohteiden ongelmina ovat olleet kattovuodot, jotka aiheuttavat merkittäviä korjauskustannuksia yliopistolle ja lisäksi epätietoisuutta ja mahdollisia terveysongelmia kiinteistöjen käyttäjille. Nämä jopa yli satavuotiaat katot olivat toimineet kohtalaisen hyvin aina viime vuosiin asti. Kattovuotoja on tapahtunut aiemminkin, mutta erityisesti viimeisimpinä runsaslumisina talvina 2009-2012 vuodot ovat olleet erityisen vahingollisia. (Hönö 2011a, 1-2)

Vuotojen ohella eräs merkittävä katto-ongelma on räystäältä roikkuvat paannejäät. Korkealta katolta alapuolella liikkuvan ihmisen päälle putoava kymmenien kilojen painoinen jääkimpale on usein kuolettava.

Kaikki kolme tämän ja viime talven aikana tapahtunutta kuolemaan johtanutta kattolumionnettomuutta ovat sattuneet kiinteistöissä, joissa on samanlainen kattorakenne, kertoo Kiinteistöpalvelut ry. Ilmakuvista voidaan nähdä, että kaikissa onnettomuustaloissa on konesaumattu peltikatto, jossa on lumiestenä jalkaränni.

– Rakentamismääräysten mukaan rakenne on oikeaoppinen, mutta viimeaikaisten onnettomuuksien valossa tämän rakennetyypin turvallisuutta tulisi tarkastella uusiksi, sanoo Kiinteistöpalvelut ry:n toimitusjohtaja Pia Gramén.

(Aamulehti 9.3.2012)

Vuotojen ja vaaratilanteiden välttämiseksi katoilta on talvella pudoteltu lumia. Kattojen korjaaminen vuotamattomaksi voisi vähentää näin ollen korjaamiskulujen lisäksi lumen ja jään pudotuksesta aiheutuvia kuluja sekä lisätä ympäristössä kulkevien ihmisten turvallisuutta.

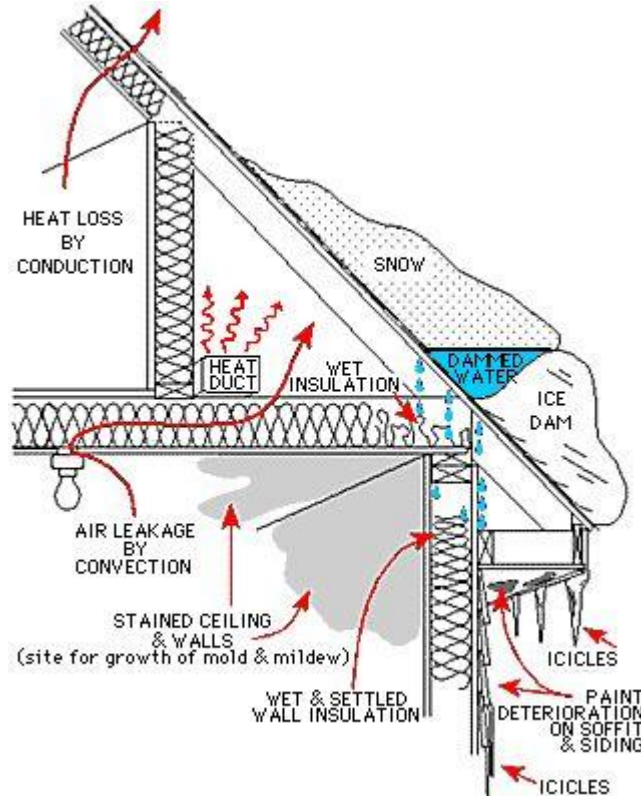
4.1 Ongelmat ja niiden aiheuttajat

Yliopiston vuoto-ongelmien pääsyyden epäillään olevan katteen vedenpitämättömyyden lisäksi ullakkotilojen lämpötilojen nousu, aluskatteiden puuttuminen sekä saattolämmityksen riittämättömyys. (Hönö 2011a, 2)

Ylimääräistä lämpökuormaa entisaikoihin verrattuna ullakkotiloihin ovat tuoneet muun muassa peruskorjausten yhteydessä tehdyt ilmanvaihtokonehuoneet ja niiden kanavistot, teleliikenteen tukiasemat ja kylmäkoneiden lauhduttimet. Ennestäänkin lämpökuormaa tuottavia lähteitä ovat olleet muun muassa heikosti eristetty yläpohja ja eristämättömät alhaalta tulevat muuraukset, jotka useissa kohteissa ovat yhä korjaamatta. Lisäksi

viime talvien paksut lumipeitteet ovat toimineet hyvinä lämmöneristeinä katoilla.

Ullakkotilojen ollessa liian lämpimiä katolla oleva lumi alkaa sulaa ja kylmemmällä räystääsalueella vesi jälleen jäätyy pystykourun kohdalle muodostaen sulamisvettä seisottavia patoja. Konesaumattu peltikate ei aina pidä lammikoituvaa, paineista vettä. Vesi löytää katteesta heikon kohdan ja vuotaa siitä läpi ullakolle. Pystykourut ovat usein seinälinjan kohdalla, ja sulamisvedet kastelevat ulkoseinät ja vaurioittavat julkisivuja. Sulamisvedet muodostavat myös räystäälle jääpuikkoja, jotka ovat vaaraksi rakennuksen ympäristössä liikkuville.



Kuva 11. Jääpato ja lämpökuormia. (Huttunen, 12.4.2011)



Kuva 12. Jääpato (Hönö, 25.5.2012)



Kuva 13. Jääpato ja kastunut julkisivu (Hönö, 25.5.2012)

Pikakorjauksena vuotaville katoille on talvisin tehty lumenpudotuksia ja jäiden rikkomista muovivasaroilla, rekyylittömillä nuijilla, peltisevän nuijilla, höyryllä, kuumapainepesurilla ja jopa piikkauskoneilla (Hönö 2011a). Lumenpudotuksen jälkeen ullakotilaa ulkoilmasta eristävää lumipeitettä ei ole, eikä sulavaa luntakaan. Lisäksi sulamisvesille avataan tällöin uudelleen hallittu reitti pois katolta pystykourua ja syöksyputkia pitkin.

Lumen ja jään pudotus on kuitenkin aiheuttanut lisää ongelmia, sillä niiden yhteydessä katapulttiin on lähes aina aiheutettu vaurioita. Aluskatteen puuttuessa katon vedenpitävyys on kokonaan katapultin varassa. Pellin vaurioituessa menetetään saman tien vesikaton tärkeimmän tehtävän täytyminen, sadevesien hallittu ohjaaminen ja ilmastorasitusten kestäminen.

Toinen ongelma lumenpudotuksessa on, että lunta voi tulla kerralla hyvin paljon, ja sitä tulee yleensä kerralla koko kaupungin katoille, eivätkä lumenpudottajat ehdi jokaiselle katolle heti lumia pudottamaan. Jonoa lumenpudotuspalvelussa saattaa olla useita viikkoja. Lumen pudottaminen on myös lyhykestoinen ratkaisu, seuraava lumikuuro voi tulla jo vaikka seuraavana päivänä.

4.2 Suunnittelijoiden korjausehdotuksia

Nykyiset rivipeltikaton suunnitteluohjeet eivät ole riittävän kattavia yliopiston katto-ongelmien poistamiseen. Helsingin yliopiston kattojen korjaussuunnittelua varten koottu asiantuntijatyöryhmä on ideoinut 20 teesiä vesikattokorjausten suunnittelun tueksi:

1. Kaksinkertainen aluskate jalkakourujen alueelle (katteen alla olevan aluskatteen lisäksi ruodelaudoituksen ja tuuletusraon alle toinen aluskate)
 - Todettiin, että erikoistilanteissa vesi padottuu aluskatteen päälle ja ruodelaudoituksen alle tulee asentaa aluskate.

- Aluskatteena voi käyttää vesihöyryä läpäiseviä tai ns. tiiviitä katteita
- Aluskatemateriaaleina mainittiin mm. seuraavat alla olevat tuotteet. Rakenne aluskatteen alla määräytyy valitun aluskatemateriaalin mukaan:
 - Klöber Permo Sec
 - Tyvek Metal
 - EPDM-kumi
 - kumibitumikermit
- Aluskatteen yläreunan mitta jalkakourun teoreettisen vedenpinnan yläpuolella on 300–500 mm. Kate tulee viedä mahdollisimman reilusti ko. kohdan ohi harjalle päin.
- Loivissa katoissa räystäälle asennetaan toinen aluskate.
- Räystään korotusmahdollisuus (50 mm) tulee aina tarkastaa. Tällöin mahdollistetaan esim. räystääsreunoilla kahden aluskatteen käyttö
- Peltikaton asentaminen suoraan bitumikermin tai EPDM-kumin päälle saattaa aiheuttaa ruostetta. Mahdollisuuksiensa mukaan tiiviin aluskatteen päälle konstruoidaan tuulettuva, ristiinkoolattu välikerros
- Tuulettuvien vesihöyryä läpäisevien aluskatteiden on todettu pienentävän peltikattojen meluvaikutusta.

2. Yläpohjan ilmapuotojen huolellinen tiivistäminen

- Yläpohjan tiivistykset ullakotilaan tulee ullakon lämpökuorman minimoimiseksi suunnitella erikseen. Ko. kohtia ovat mm. kaikki kanava- asennusten ja taloteknisten laitteiden läpiviennit ja ovien tiivistykset.

3. Ullakolla olevien iv-kanavien ja lämpöjohtojen sekä iv-konehuoneiden nykyistä tehokkaampi lämmöneristäminen

- Todettiin, että tällä hetkellä iv-kanavien lämmöneristys on minimissään 80 mm.
- Kanavien lämmöneristämisvaatimus otetaan jatkossa erilliseen tarkasteluun.
- Iv-konehuoneiden seinärakenteiden lämmöneristykset suunnitellaan jatkossa mahdollisimman eristäviksi. Konehuoneiden seinärakenteen U-arvo vaatimus jatkossa?
- Tarkastetaan hankekohtaisesti, voidaanko iv-konehuoneiden lämpötilaa minimoida.

4. Ullakko-/yläpohjatilán harjakohdan riittävä tuuletus (ns. lämpötulpan ehkäiseminen)

- Tarkastetaan hankekohtaisesti, riittääkö ullakoiden painovoimainen tuulettaminen, vai tuleeko ullakoita tuulettaa koneellisesti?
- Tarkastetaan hankekohtaisesti ullakon tuuletusreikien määrä ja koko.

- Ullakon tuulettamisessa sekä koneista ja kanavista aiheutuvan lämmöntuotannon minimoimisessa tulee konsultoida LVI-suunnittelijaa
5. Lämmityskaapeleiden asennuksen yksityiskohtainen ohjeistus (kaapelien tulee olla kaikkialla kontaktissa katteen kanssa ja sadevesisuppiloon tulee asentaa ”ylimääräinen” kierros kaapelia. Lämmityskaapelit eivät saa olla jalkakourun edessä pohjalla)
 - Huomioidaan suunnitelmissa ja työselostuksissa.
 6. Jalkakourujen lämmityskaapeleiden ohjaus peltikatteen alapinnan lämpötilan perusteella ja syöksytorvien lämmityksen ohjaus erikseen
 - Huomioidaan suunnitelmissa yhteistyössä sähkösuunnittelijan kanssa.
 - Suunnitelmissa esitetään suunnitelmissa mittauspisteet räystäällä, lappeen keskellä ja harjalla sekä ohjaus lämpötila-alueella -5 oC - + 2 oC.
 7. Tiilimuurien yläosan tehokas lämmöneristäminen ullakolla
 - - Huomioidaan suunnitelmissa ulkoseinien ja sydänmuurien lämmöneristämiset sekä käytöstä poistettujen hormien sulkeminen.
 8. Ullakkotilan tehokas tuuletus talviaikana tehtävien rakennustöiden aikana rakennekosteuden poistamiseksi
 - Ohjeistetaan suunnitelmissa ja valvonnassa.
 9. ”Valmiin kattotyön” katselmus hyvissä ajoin ennen telien ja sääsuojien purkamista
 10. Kattotyön peltisaumojen tiivistäminen riittävästi
 11. Ei lämpöliikesaumoja katoille
 12. Vesikaton läpiviennit (antennit, kattopollarit, sähköläpiviennit ym.) tulee asemoida mahdollisimman ylös harjalle.
 13. Detaljointisuunnitteluun tulee panostaa (kattoikkunat, jalkakourut, syöksytorviliittymät, katon tasoerot, läpiviennit, katon tuuletuskanavat ym.)
 14. Maalaustyön riittävä valvonta (tiivistyksset, kalvopakausmittaukset, hilaristikkokokeet ym.)
 15. Loivien kattojen osalla tukevampi aluskate (EPDM-kumi + tuulettuva aluskate kauttaaltaan)

16. Ruodelaudoituksen alla olevan aluskatteen on oltava vesihöyryä läpäisevä

17. Katon yläpuolisten tuuletussäleikköjen suunnittelu, toteutus ja valvonta

- Poistoilmasäleiköt tulee suunnitella siten, että niiden suuntaus on pois kattotasolta
- Poistoilman lämpötilan tulee talviaikaan olla mahdollisimman kylmä

18. Paksukalvopinnoitteiden käyttö (mahdollistaa myös katon tiivistyskorjaukset)

- Keskusteltiin kattopinnoitusmateriaaleista. Todettiin Noxyde-paksukalvopinnoite saumoja tiivistävänä materiaalina hyväksi pinnoitevaihtoehdoksi. Noxyden sopivuus uudelleenmaalattaville katoille tulee varmistaa. Noxyden pitkäaikaiskestävyydestä (lumen pudotus ym. lapiointityöt vesikatolla huomioiden) ei ollut kokemusta.

19. Katteen kiinnitys ruuveilla + tehdasvalmisteisilla kiinnikkeillä

20. Kattopellin paksuus 0,6 mm

- Kattopelteinä pyritään käyttämään 0,6 mm:n vahvuista peltiä, Peltisepän laatu, jossa sinkkikerroksen vahvuus on 350 gr/m². Katon hankalissa koristeosissa voidaan käyttää pehmeäksi hehkutettua erikoislaatua.
- Valvonnassa tulee tarkastaa ja dokumentoida käytettyjen peltien lähetyserien laatu.
- Rivipeltikaton saumaustyössä tulee käyttää mahdollisimman paljon konepuristimia.

(Hönö 2011b, 2-5)

4.3 Kenttätutkimukset

Kenttätutkimusten kohteiksi valittiin neljä yliopiston rakennusta, joita tutkittiin talven 2011-2012 aikana. Tutkimuskäynneillä 27. ja 31.1.2012 mitattiin ullakoiden sisälämpötiloja, suhteellista kosteutta ja rakenteiden pintalämpötiloja. Tutkimuskäyntien yhteydessä ullakoille jätettiin räystäälle ja harjalle sekä ulos jatkuvatoimintaiset mittalaitteet, jotka mittasivat lämpötiloja sekä ilman suhteellista kosteutta talven ajan.

4.3.1 Kohde A

Kohde A on rakennettu vuosina 1821–1823. Kohteen A ullakkotila on jaettu kahteen palo-osastoon, joiden pinta-alat ovat noin 520 m² ja 470 m². Ullakolla on yhteensä neljä ilmanvaihtokonehuonetta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 150m². Ilmanvaihtokonehuoneet ovat tasakattoisia, ja

harjalle jää reilusti ilmatilaa. Ullakon korkeus on keskilinjalla noin 3,8 m ja räystäällä noin 0,7 m. Ullakon yhteenlaskettu tilavuus on noin 2100 m³.

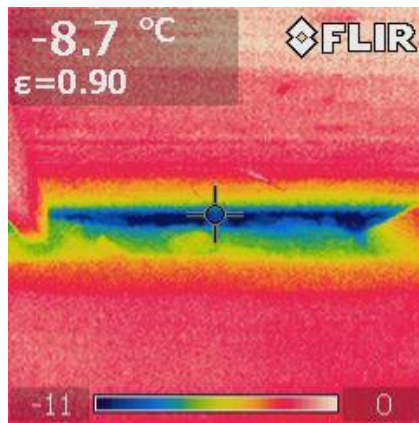
Kohteen A yläpohjarakenne on ylhäältäpäin lueteltuna seuraavanlainen:

- konesaumattu rivipeltikate
- aluslaudoitus
- kattotuolit
- tuuletustila
- mineraalivilla 150 mm
- aluslankutus noin 40-50 mm, puoliponttilankut noin 50x250 mm²
- kantava puupalkisto ja korokepuut noin 300-400 mm k900, ei täytemateriaalia tutkituilla kohdin
- täytemateriaalin kannatuslankutus noin 40 mm (ns. rossipohja)
- ilmaväli noin 50 mm, rossipohjaa kannattelevat rimat
- aluslaudoitus
- tikkurappaus.

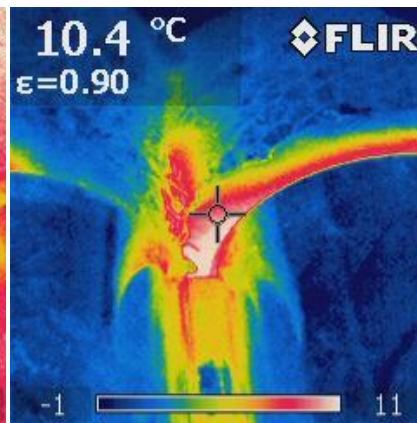
Kohteen A vesikatto on edellisen kerran korjattu vuosina 2006–2007, jolloin katapultti uusittiin ja aluslaudoitus täydennettiin siten, ettei jäänyt yli 50 mm leveitä rakoja. Sisäjiirien, räystäiden ja kattolyhtyjen kohdalle pellin alle asennettiin EPDM-kumi, jonka päälle diffuusioavoin Klöber Permo sec SK - ”karvamatto” aluskate, molemmat siis vain sisäjiirien, räystäiden ja kattolyhtyjen kohdalle. Ullakkotilan tuuletusta tehostettiin jyrsimällä räystäslautoihin 10 mm x 10 mm uria n. 100 mm välein ja lisäämällä harjalle alipainetuulettimia. Liitteessä 1 on rakennuksen räystäsdetaljipiirustus. Korjausten jälkeen kattovuotoja ei toistaiseksi ole ollut, mutta lumen sulamista ja jään muodostumista on katolla edelleen ongelmaksi asti.

Kohteen kenttätutkimukset suoritettiin 27.1.2012, jolloin ulkolämpötila oli noin -8 °C. Tällöin rakennuksen ullakkotilassa ilman lämpötila oli noin +6 °C ja suhteellinen kosteus vaihteli 60–65 %. Lumipeitettä katolla oli keskimäärin noin 5 cm.

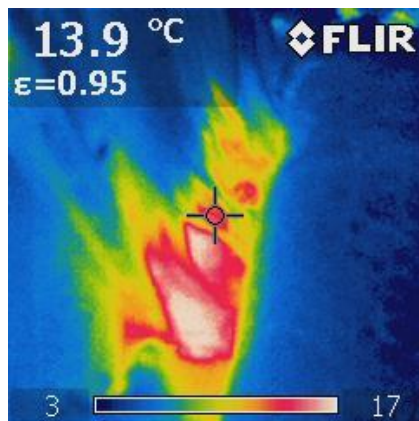
Räystään tuuletusrakoa ei ollut silmin havaittavissa (valo ei kajastanut räystäältä läpi), mutta lämpökamera näytti katteen aluslaudoituksen pintalämpötilan olevan räystäällä lähellä ulkolämpötilaa. Pintalämpötilat kuitenkin nousevat hyvin nopeasti räystäältä päin tultaessa. Lämpökuormaa ullakkotilaan tuovat tulppaamattomat vanhat putket, tiivistämättömät ilmanvaihtokonehuoneiden ovet, riittämättömät ja rikkinäiset ilmanvaihtoja ja lämpöjohtoputkien sekä ilmanvaihtokonehuoneiden eristykset ja yläpohjan huonot tiivistykset. Lämpökuormiin nähden tuuletus on riittämätön, joten joko lämpökuormia tulisi vähentää tai tuuletusta parantaa.



Kuva 14. Räystään tuuletus.



Kuva 15. Kanavaeristys auki.



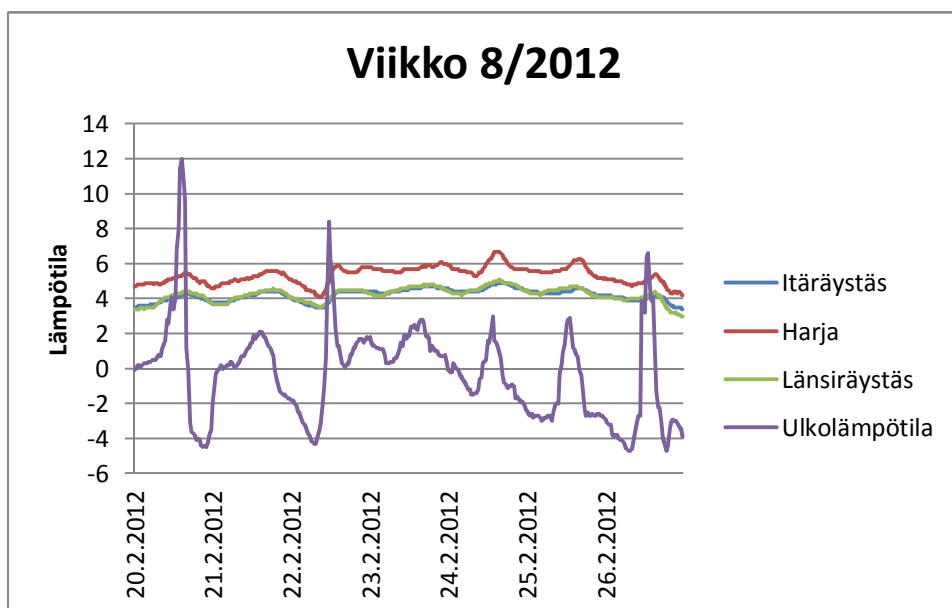
Kuva 16. Läpivientejä yläpohjan läpi.



Ilman suhteellinen kosteus ullakkotilassa lappeen keskellä oli keskimäärin 61,3 %. Ilmankosteuden maksimiarvo oli 5.3.2012 iltapäivällä 75,4 %, kun lämpötila oli 5,1 °C.

Ullakkotilan tuuletuksen vähäisyydestä kertovat talven yli kestäneistä mittauksista saadut lämpötilakäyrät. Esimerkiksi 14.2. klo 12 lämpötilat räystäiden läheisyydessä (+2,3 ja +2 C) ovat vain reilun asteen kylmempiä kuin harjalla(+3,4), ulkolämpötilan ollessa -5,5 C eli melkein 9 astetta harjan lämpötilaa alhaisempi.

Vesivuotojen osalta kriittisimpiä päiviä ovat ne, kun lämpötila ulkona on hieman pakkasen puolella. Tällöin lämpötila ullakkotilassa on melko korkea ja katteen päällä sulava lumi jäätyy räystäälle. Tällaiset lämpötilat olivat mm. viikolla 8/2012 (20.-26.2.2012), josta on diagrammi kuviossa 1.



Kuvio 1. Kohde A, viikko 8/2012

Koko tarkastelujakson (79 vrk) aikana harjakohdan lämpötila on ollut pakkasen puolella neljä kertaa, yhteensä noin kolmen vuorokauden ajan. Ensimmäisen kerran lämpötila painui $-0,5$ asteeseen 2.2., kun ulkona oli maksimissaan $-20,9$ °C pakkasta. Lämpötilaero oli siis tuolloin yli 20 astetta. Pari päivää myöhemmin 5.2. pakkasen ulkona laski taas alle 20 asteen, mutta luultavasti tuolloin katolla oli paksumpi lumipeite, koska ullakon puolella harjalla mitattiin $+2$ °C lämpötiloja. Lämpötilaero ullakon harjan ja ulkolämpötilan välillä oli suurimmillaan 25,5 astetta. Keskimääräinen ero ulko- ja sisäilman välillä helmikuun aikana oli 9,3 astetta. Tutkimusjakson aikana harjakohdan lämpötilan keskiarvo oli $+6,2$ °C

Talven 2011-2012 aikana kohteessa A ei havaittu vesivuotoja.

4.3.2 Kohde B

Kohteen B ydinosa on rakennettu vuonna 1854 saunaksi. Nykyiseen mitaansa B laajennettiin vuosina 1863–1864 ja toinen kerros valmistui juuri ennen ensimmäistä maailmansotaa. Kohteen B ullakko on jaettu kolmeen palo-osastoon, joiden pinta-alat ovat 300 m², 210 m² ja 90 m² ja yhteenlaskettu tilavuus n. 720 m³. Ullakon korkeus harjalla on n. 2,3 m ja räyställä eristekerroksen yläpinta on lähellä katteen aluslaudoitusta. Ullakko-tiloihin on sijoitettu kaksi ilmanvaihtokonehuonetta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on n. 55 m². Ilmanvaihtokonehuoneet ovat harjakattoisia, ja vesikatton aluslaudoituksen ja ilmanvaihtokonehuoneen katon väliin jää noin 300 mm tuuletustila.

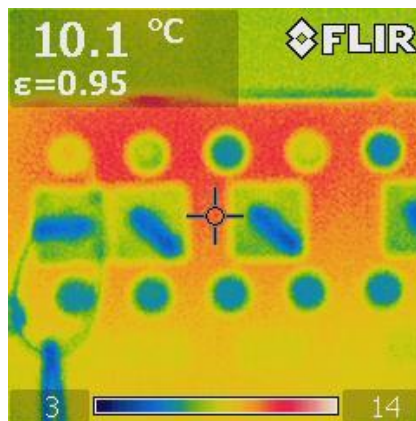
Kohteen B yläpohjan rakenne on ylhäältä päin lueteltuna seuraavanlainen:

- konesaumattu rivipeltikate
- aluslaudoitus
- kattotuolit

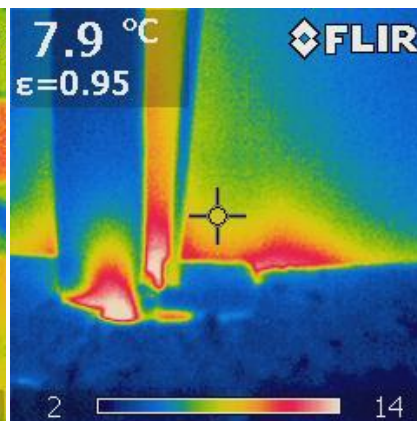
- tuuletustila
- mineraalivilla 160-180 mm
- aluslankutus noin 40 mm
- kantava puupalkkisto noin 300 mm, kattokannattajien kohdilla teräspalkit, ei täytemateriaalia
- aluslaudoitus
- tikkurappaus.

Kohteen B kattoja on korjattu kesällä 2000, jonka yhteydessä uusittiin kate aluslaudoituksineen, räystäälle aluslaudoituksen ja pellin väliin laitettiin EPDM-kumialuskate, ja tuuletusta parannettiin asentamalla harjalle huippuimurit, joiden tehtävänä on tuuletuksen lisäksi alipaineistaa ullakkotila ja näin estää vanhojen mahdollisesti mikrobivaurioituneiden materiaalien kulkeutuminen sisätiloihin. Korvausilma ullakolle tulee räystäältä 30 mm korkuisesta tuuletusraosta.

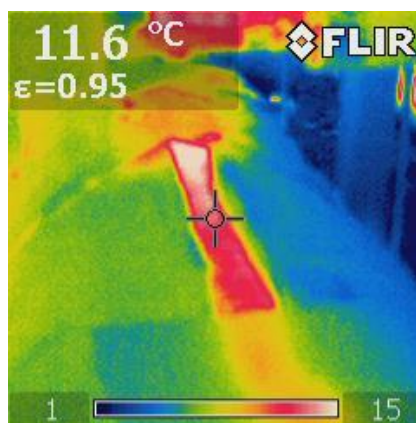
Tutkimuspäivänä ulkolämpötilan ollessa n. $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ullakon lämpötila oli n. $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus n. 70 %. Huippuimuri oli toiminnassa. Lämpökameralla havaittavissa olevia lämpövuotoja ullakolle toivat erityisesti vuodot seinien ja yläpohjan rajassa, vaurioituneet ilmanvaihtokanavien eristykset, yläpohjan läpi nousevat eristämättömät tiilimuuraukset, tulpapaamattomat hormit, vuotavat ilmanvaihtokonehuoneiden vaipat ja sähkölaitteet.



Kuva 17. Sähkölaitteita.



Kuva 18. Yläpohjan läpi nouseva muuraus.

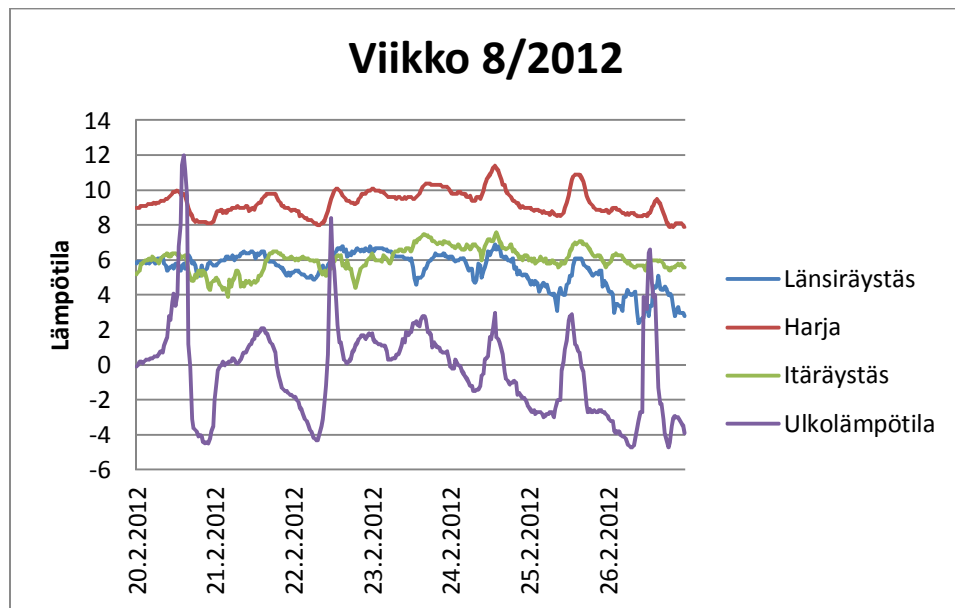


Kuva 19. Avautunut kanavaeriste.



Talven 2012 aikana kohteen B ullakkotilan harjalla mitattiin jopa 27 asteen ero ulkolämpötilaan, kun helmikuisena aamuna ulkolämpötilaksi mitattiin $-23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ullakkotilassa harjalla lämpötila oli $+3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keskimäärin ero ulkoilman ja ullakkotilan harjan lämpötilassa helmikuussa oli 12,9 astetta. Lämpötilaero räystäillä ja harjalla oli sydäntalvella 4-5 astetta, keväämmällä ero pieneni. Harjakohdan keskilämpötila mittausjaksolla oli $+9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kappaleessa 6 on tarkasteltu kohteen B yhden osaston ilmanvaihtokonehuoneen ja –kanavien sekä yläpohjan aiheuttamaa lämpökuormaa ullakkotilaan.

Talven 2012 aikana kohteessa ei havaittu kattovuotoja.



Kuvio 2. Kohde B viikko 8/2012

4.3.3 Kohde C

Kohde C on valmistunut vuonna 1928. Kohteen C ullakko on jaettu viiteen palo-osastoon, joiden yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on noin 1520 m^2 ja tilavuus noin 3100 m^3 . Ullakkotiloihin on sijoitettu neljä ilmanvaihtokonehuonetta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 240 m^2 . Ullakkotilojen korkeudet ovat räystäillä n. 1,2 m ja harjalla noin 3,0 m.

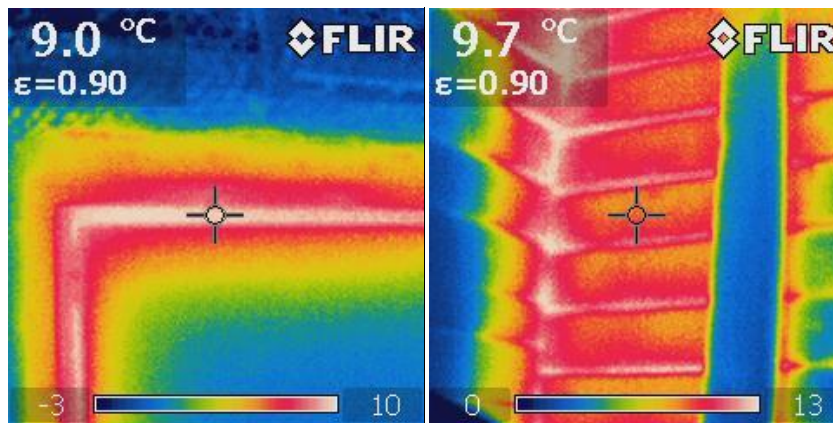
Kohteen C yläpohjan rakenne on suurimmilta osin ylhäältäpäin lueteltuna seuraavanlainen:

- konesaumattu rivipeltikate
- ruodelaudoitus $\sim 25 \times 100\text{ mm}$ k150
- kattotuolit $125 + 125\text{ mm}$ k ~ 1200
- tuuletustila
- 20...40 mm palopermanto (teräsbetonivalu)
- laudoitus
- puukoolaus
- alalaattapalkisto + täyttö (turve, kutterilastu, rakennusjäte)

- rappaus.

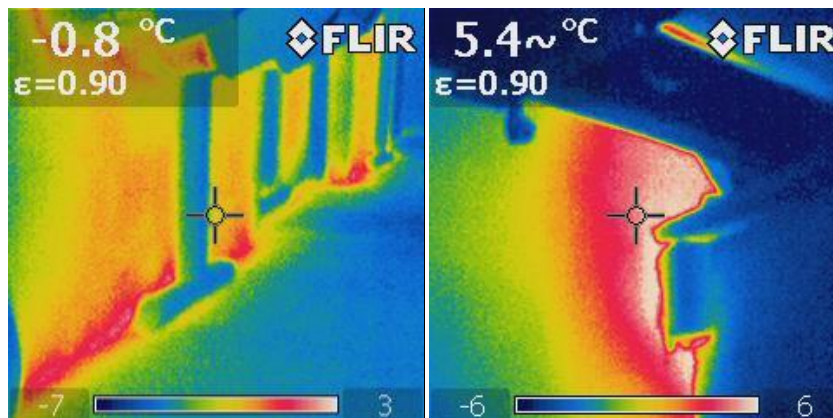
Kohteen C kattokorjaus valmistui vuonna 2011. Korjausten yhteydessä katon pellitys ja varusteet uusittiin kokonaisuudessaan ja ullakkotilan tuule- tusta parannettiin asentamalla ullakkotilan seinillä oleviin ikkunoihin (20 kpl, halkaisija 380 mm) säleiköt ja asentamalla katolle alipainetuulettimia. Ikkunoiden lisäksi räystäällä on korvausilmaraot. Diffuusioavoin roikkuva aluskate asennettiin vain ilmanvaihtokonehuoneiden kohdille aluslaudoi- tuksen ja kattotuolien väliin. Kohteen sisätilojen ilmanvaihto on toteutettu osittain kerroksittaisena ilmanvaihtona, jolloin ullakkotilassa ilmanvaihto- kanavien määrä on pienempi.

Kohteen C tutkimukset suoritettiin 31.1.2012, jolloin ulkolämpötila oli n. - 12 °C. Tällöin ullakkotilan lämpötilat vaihtelivat osastoittain välillä -3 °C ja +2 °C. Korkeamman lämpötilan osastossa ilmanvaihtokanavia on ulla- kon tilavuuteen nähden huomattavasti enemmän. Korvausilma-aukkoja on paljon, avattujen ikkunoiden lisäksi räystäällä on ilmarako.



Kuva 20. Iv-konehuoneen ovi.

Kuva 21. Rakennusten välinen palomuri.



Kuva 22. Iv-konehuoneen seinä.

Kuva 23. Paisuntasäiliöhuoneen seinän vuoto.

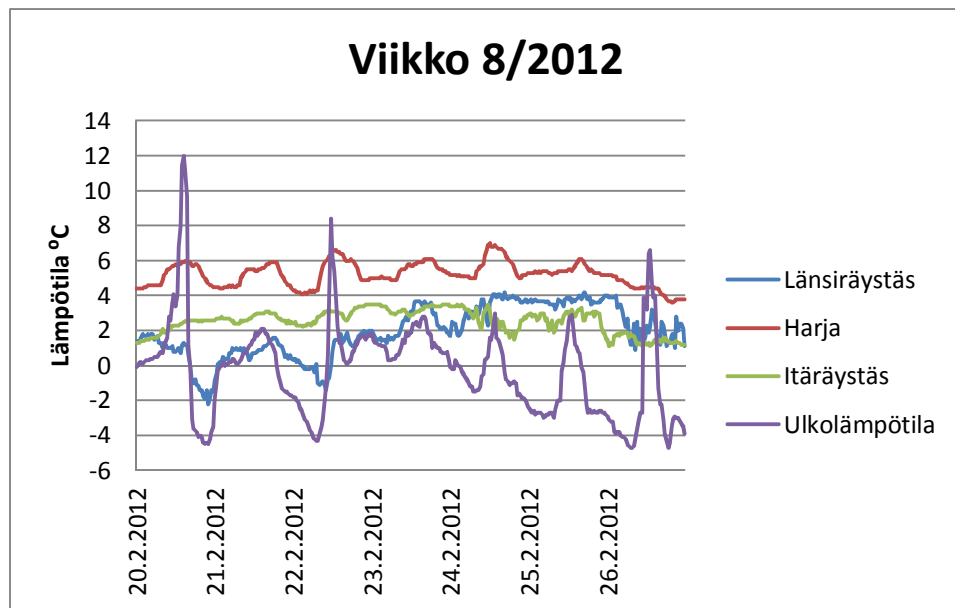
Talven 2012 aikana kohteessa ei havaittu kattovuotoja.

Harjakohdalla oli helmikuussa keskimäärin 9,6 astetta ulkoilmaa lämpi- mämpää. Ulko- ja sisäilman maksimiero saavutettiin samana päivänä kuin edellisissäkin kohteissa, helmikuun 5. päivänä, jolloin lämpötilaeroa oli

25,7 astetta. Syy miksi samana päivänä kaikissa kohteissa saavutetaan maksimiero, on luultavasti, että ulkolämpötila laski tuolloin 18 tunnin aikana lähes kymmenellä asteella, ja ullakkotilan lämpötila reagoi muutokseen hitaasti.

Harjan ja räystäiden lämpötilaero oli keskimäärin neljä astetta, mutta merkittävä osuus ullakkotilan tuuletuksessa on myös räystäään alapuolella olevilla ikkuna-aukoilla, joiden jäädyttävää vaikutusta ei tullut kokonaisuudessaan mukaan räystäältä mitattuihin lämpötila-arvoihin. Harjakohdan mittausjakson keskilämpötila oli +7,1 °C.

Ullakkotilan suhteellinen kosteus vaihteli 30 ja 67,3 prosentin välillä, keskiarvoltaan se oli 48,6 %.



Kuvio 3. Kohde C viikko 8/2012

4.3.4 Kohde D

Kohde D on rakennettu vuosina 1837–1845. Kohteen D ullakkotila on jaettu kahteen palo-osastoon, joiden yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on n. 1010 m². Ullakon korkeus harjalla on noin 3 m ja räystäällä noin 1 m. Kohteen ullakkotiloihin on sijoitettu kaksi ilmanvaihtokonehuonetta, joiden yhteenlaskettu ala on noin 55m².

Kohde D on peruskorjattu vuonna 1994, jolloin kattopellitys on uusittu sekä yläpohjan eristystä on parannettu puhallusvillalla (noin 300-400 mm) ja pystymuurauksien lämmöneristeillä (150 mm). Aluskatetta pellin alla ei näy olevan. Korjaustöiden yhteydessä räystäälle on tehty muutama 25 mm x 250 mm kokoinen tuloilmareikä ja harjalle pari alipainetuuletinta sekä huippuimuria. Käytännössä räystäään tuuletusraot ovat painuneet lähes umpeen. Korvausilma-aukkoja löytyi ainakin neljä kappaletta, ja neljän korvausilma-aukon pinta-alan suhde ullakon alaan on 0,026 %.

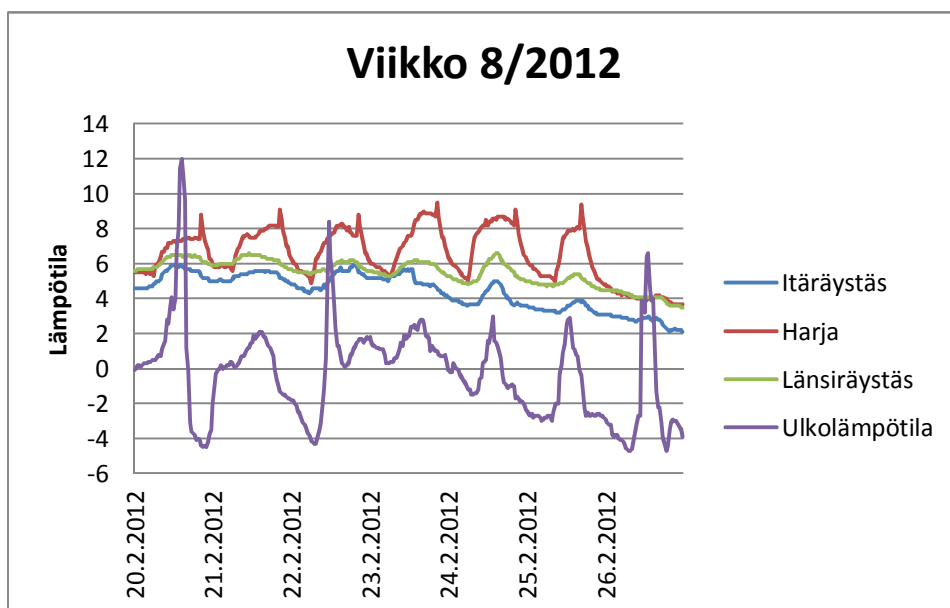


Kuva 24. Räystäään korvausilma-aukko

Tutkimuspäivänä ulkoilman lämpötila oli noin -12 °C ja ullakkotiloissa mitattiin $-1 - +2,8\text{ °C}$ lämpötiloja. Ullakon olosuhteita sekoitti julkisivuremontin ajaksi tehty maasta kattoon ulottuva huputus rakennuksen itä- ja pohjoisjulkisivuille. Lisäksi toisen palo-osaston huippuimuri ei ollut toiminnassa,.

Talven aikana rakennuksessa tapahtui yksi kattovuoto 22.2.2012 sisäjiirin ja syöksyputken lähellä. Vuotoa edeltävinä päivinä ulkolämpötilat olivat vaihdelleet -5 ja $+2$ asteen välillä (kts. kuvio 4), oli siis luvussa 4.3.1 mainitut kriittiset olosuhteet. Sulamisvesi padottui pystykourun taakse ja vuoti saumasta kastellen osittain ulkoseinän yläosan. Katto oli luultavasti vuotanut aiemminkin samasta kohtaa, sillä ullakkotilaan oli viritelty muovia vuotopaikalle, ja julkisivu on siitä kohdasta rapistunut.

Kohteen D jatkuvatoimiset mittalaitteet sijoitettiin palo-osastoon, johon ilmanvaihtokonehuoneet on sijoitettu ja jossa huippuimuri on jatkuvasti toiminnassa. Helmikuussa harjalla mitattiin keskimäärin $11,9$ astetta ulkoilmaa korkeampia lukemia. Harjakohdan lämpötila ei käynyt koko talven aikana kertaakaan pakkasen puolella, alin lämpötila oli $+0,8$ astetta ulkolämpötilan ollessa noin -20 astetta. Aamun 5.2. lämpötilaeron maksimiarvo oli jopa $28,2\text{ °C}$. Tuolloin harjalla oli lähes 5 °C lämmintä, kun ulkona paukkuivat $-23,4$ asteen pakkaset. Räystäällä lämpötilat olivat vain alle 2 °C kylmempiä kuin harjalla. Räystäiden ja harjan pieni lämpötilaero kertoo joko siitä, että ullakko on hyvin tuuletettu tai siitä, ettei räystäältä tule kylmää korvausilmaa. Koska ullakon lämpötila on reilusti ulkoilmaa lämpimämpi, on jälkimmäinen vaihtoehto kohteeseen pätevä.



Kuvio 4. Kohde D viikko 8/2012

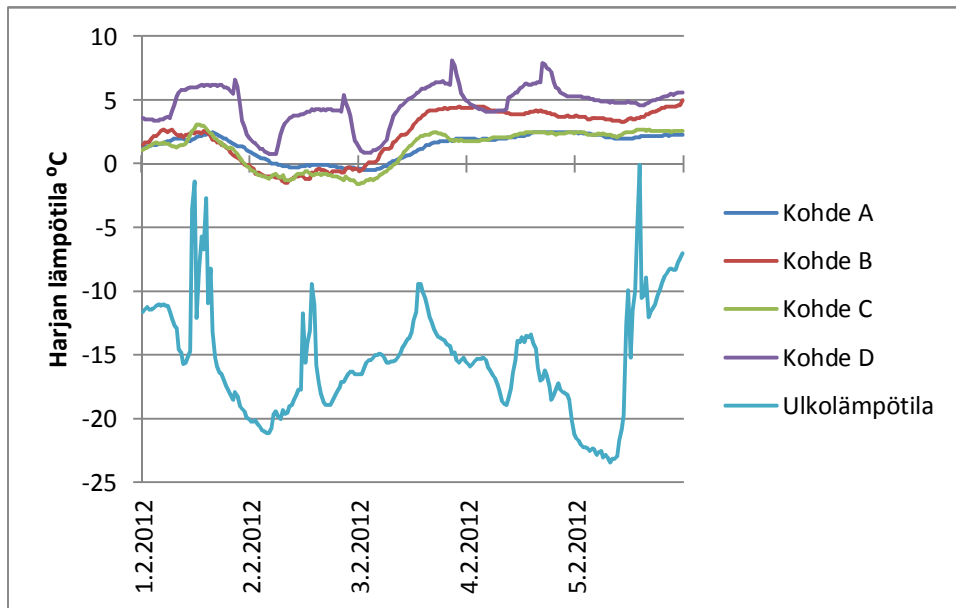
Suhteellinen ilmankosteus kohteessa kipusi maksimissaan jopa 85,4 prosentin lukemiin lämpötilan ollessa +3,4 °C. Alkutilvesta ullakon suhteellisen kosteuden käyttäytyminen oli epätavallista, kun lämpötilan noustessa myös suhteellinen kosteus nousi. Tämä johtunee julkisivutöiden suojahuputuksesta.

4.3.5 Mittausten vertailu

Seuraavissa kappaleissa vertaillaan kenttätutkimuskohteiden ullakkotilojen harjalämpötiloja aikavälillä 1.2.–15.4.2012.

Kenttätutkimuskohteista ylivoimaisesti lämpimimmäksi osoittautui kohde B harjakohdan mittausten keskilämpötilalla +9,6 °C. B:n lämpötilat olivat korkeimmat lähes koko mittausjakson ajan lukuun ottamatta helmikuun alun kovia pakkasia, jolloin se oli vain toiseksi lämpimin tai viileämpi. Kohteessa ilmanvaihtokonehuoneen ja -kanavien määrä oli ullakon tilavuuteen nähden suurin, mutta jatkuvatoimisella huippuimurilla ja 30 mm tuuletusraolla järjestetty tuuletus oli näennäisesti paras.

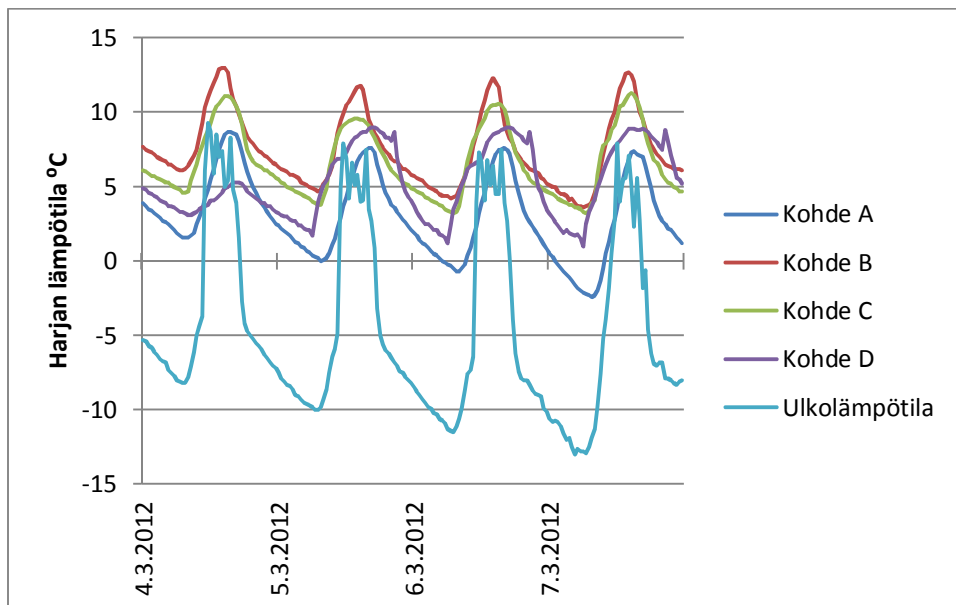
Seuraavaksi lämpimin oli kohde D, jossa oli myös jatkuvasti päällä oleva huippuimuri ja vain muutama korvausilma-aukko. Kohteen harjakohdan mittausten keskilämpötila oli +7,8 °C. D:n lämpötilakäyrässä erikoista muihin nähden on, että silloinkin kun muiden kohteiden lämpötilat pysyivät suhteellisen tasaisena (esimerkiksi kohteen kattovuotoa edeltävinä päivinä), nousi D:n lämpötila aamun +4,3 asteesta illan +8,7 asteeseen. Helmikuun alussa kovilla pakkasilla kohde D oli muita tutkimuskohteita lämpimämpi.



Kuvio 5. Helmikuun alun pakkasjakso.

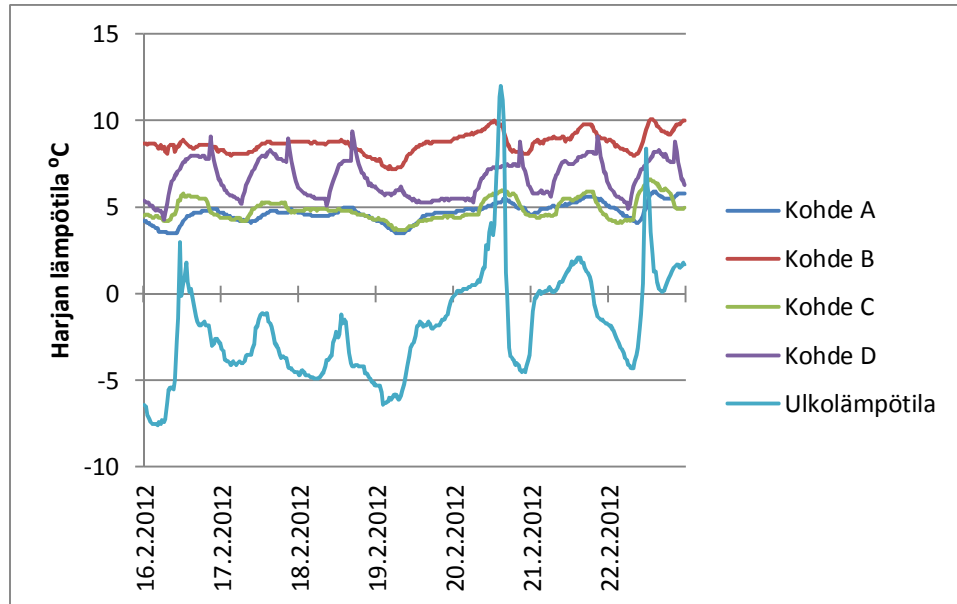
Kohteen C (avatut ikkunat ja rako räystäällä, alipainetuulettimet harjalla) harjakohdan keskilämpötila oli toiseksi kylmin, +7,1 °C. Se pysyi tutkimuskohteiden viileimpien mittausravojen joukossa aina siihen asti, kun lämpötilaero yön ja päivän välillä kasvoi yli 10 asteeseen. Maaliskuun alun aurinkoisina päivinä ulkolämpötilan ero yöpakkasten ja päivänpaisteen välillä oli jopa 20 astetta, ja tällöin kohteen C harjakohdan lämpötila kipusi korkeimpien joukkoon.

Kohteen A (räystäslaudassa rakoja, alipainetuulettimia harjalla) harjakohta pysyi talven ajan viileimpänä, sen keskilämpötila oli +6,4 astetta. Erityisesti maaliskuun alun kireillä yöpakkasilla A erottui joukosta kylmimpänä ollen jopa yli kuusi astetta toiseksi kylmintä viileämpi.



Kuvio 6. Maaliskuun alun suuret lämpötilavaihtelut.

Kattovuotojen osalta kriittisimpien päivien pikkupakkasten aikana kohteiden viileysjärjestys on sama kuin yllä oleva. Tällöin kohteissa A ja C lämpötilat pyörivät alimmissa lukemissa, B:ssä on viitisen astetta korkeammat lämpötilat ja D:n lämpötilat vaihtelevat näiden kahden välillä.



Kuvio 7. Kattovuotojen osalta kriittiset päivät.

Vertailun häntäpäässä ovat siis kohteet, joissa ullakon tuuletukseen on käytetty huippuimuria, ja kylmimpänä kohde, jossa tuuletus on ainakin näennäisesti heikoin. Toiseksi kylmimmässä kohteessa tuuletus taas tuntuisi olevan melko hyvä. Mittausten perusteella voisi päätellä, ettei tuuletuksen tehostaminen varsinkaan huippuimurilla ole välttämättä hyväksi katon jäädyttämisessä. Tämä johtuu siitä, että huippuimuri voi aiheuttaa ullakolle alipaineen, joka imee epätiivin yläpohjan läpi lämmintä korvausilmaa. Ullakon tuuletuksen tehostaminen poistoilmapuhaltimella ilmavuotoja tiivistämättä saattaa pelkästään pahentaa lämpökuormaongelmia.

5 HAASTATTELUT

Haastattelujen tavoitteena oli löytää asiantuntijatyöryhmän laatimista 20 teesistä yliopiston kattojen osalta neljä tärkeintä. Kaikkien rakennusten vuodot eivät johdu samoista tekijöistä, ja siksi on tärkeää käydä aina läpi jokainen 20 teesistä ja tutkia vuotojen syyt tapauskohtaisesti.

Ullakkotilojen pahimpina ongelmina yliopistorakennuksissa pidetään jään muodostumista räystäälle sekä katteen vedenpitämättömyyttä. Näihin molempiin vaikuttavia asioita ovat ullakon lämpökuormat, joista syytetään ensisijaisesti ilmanvaihdotekniikkaa sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamaa muutosta talvien lumisateissa ja lämpötiloissa.

Tärkeimmiksi korjaustoimenpiteiksi nousi listan neljä ensimmäistä teesiä:

1. Kaksinkertainen aluskate jalkakourujen alueelle (katteen alla olevan aluskatteen lisäksi ruodelaudoituksen ja tuuletusraon alle toinen aluskate)
2. Yläpohjan ilmavuotojen huolellinen tiivistäminen
3. Ullakolla olevien iv-kanavien ja lämpöjohtojen sekä iv-konehuoneiden nykyistä tehokkaampi lämmöneristäminen
4. Ullakko-/yläpohjatilan harjakohdan riittävä tuuletus (ns. lämpötulpan ehkäiseminen)

Seuraavissa kappaleissa on esitetty haastateltujen asiantuntijoiden ajatuksia edellä olevista teeseistä.

5.1 Kaksinkertainen aluskate jalkakourujen alueelle

Petri Utriainen (Rakennusliike Utriainen Oy) uskoo kumialuskatteen kestävän hyvin esimerkiksi lumenpudottajien vahinkoja ja olevan alapuolelta paikattavissa. Hänen mukaansa aluskatteen tulisi olla loivilla, esimerkiksi alle 1:10-kaltevuusilla katoilla kauttaaltaan ja jyrkemmilläkin katoilla ainakin pystykourun kohdalla (räystäältä esimerkiksi 2 m lappeen suunnassa padotuskorkeuden yläpuolelle) sekä sisäjiireissä (esimerkiksi 2 m molemmin puolin). Utriainen arvioi yliopistokohteisiin sopivan rakenteen olevan ylhäältäpäin lueteltuna seuraavanlainen: peltikate, tuulettuva aluskate, kumialuskate, umpilaudoitus, tuuletustila. Tällöin peltikaton kiinnikkeiden, pystykourun ja aluspeltien naulat läpäisisivät molemmat aluskatteet. Utriainen pohtii, riittääkö kumin tiivistyminen naulan ympärille. (Haastattelu 29.2.2012)

Anssi Kolehmainen (Finnmap Consulting Oy) suosittelee asentamaan ruodelautojen päälle kumibitumikermin tai EPDM-kumin sekä lisäksi Klöber Permo sec SK -aluskatteen, joka toimii tiiviin aluskatteen päällä salaojana sekä lämmöneristeenä. (Haastattelu 29.2.2012)

Keijo Saloviin (Insinööritoimisto Pontek Oy) ehdottaa Permo sec -karvamattoaluskatteen asentamista kauttaaltaan ja räystäälle sekä sisätaitteisiin lisäksi maton alle EPDM-kumia. Näiden alle voi hänen mukaansa vielä todella hankalissa paikoissa laittaa varmuuden vuoksi roikkuvan aluskatteen, sillä ylemmät aluskatteet lävistetään katenauloilla. Saloviin kertoo roikkuvien aluskatteiden ongelmana olevan usein veden ulos johtaminen. (Haastattelu 1.3.2012)

Mika Laitala ja Joni Sundström (Insinööritoimisto Konstru Oy) vaativat aluskatteen asentamista vähintään vedenpainealueille (pystykouruille, sisätaitteisiin, lumiesteille ja läpivientien kohdille) tai mieluiten koko katon alueelle. Aluskatteen laatu valitaan rasituksen mukaan. He suosittelevat aluskatevalinnaksi EPDM-kumia Klöberin Permo sec-maton kera (kumi alla) tai bitumikermiä. Edellämainittu Permo sec -aluskate pitää vettä ja toimii yksinkertaisella katolla myös yksinään aluskatteena. Laitala ja Sundström eivät kuitenkaan suosittele sen käyttöä yksinään monimuotoisilla ja paljon läpivientejä sisältävällä katolla, koska aluskatetta on vaikea tiivistää läpivientien kohdalla. Roikkuva aluskate ei heidän mukaansa ole yliopistorakennusten kaltaisiin kohteisiin sopiva (se sopii paremmin pientaloihin), koska aluskatteen olisi heidän mielestään hyvä olla heti pellin al-

la. He kertovat bitumikermin olevan urakoitsijoille tutumpi, mutta sen asentaminen vaatii tulitöitä – EPDM-kumikate taas voidaan asentaa ilman tulitöitä esimerkiksi huopanauloilla, bitumilla tai kylmäliimalla. Katteen alustaksi Laitala ja Sundström suosittelevat vaneria, mutta myös riittävän tasainen, tiheä ja hyväkuntoinen ruodelaudoitus käy. (Haastattelu 2.4.2012)

Juha Elomaa (A-Insinöörit Oy) kannattaa aluskatteen asentamista koko katon alueelle, koska padotuskohtia voi tulla arvaamattomiin paikkoihin, eikä aluskatetta pysty enää lisäämään jälkikäteen rakenteita purkamatta. Hänen mielestä peltiä ei pitäisi asentaa suoraan kiinni aluskatteeseen, vaan väliin tulisi jäädä vähintään 50 mm tuuletusväli (mieluummin 100 mm). Aluskatemateriaaleiksi hän valitsisi kumibitumikermin tai Permo sec:in EPDM-kumin kanssa (kumi alla) ja jos väliä pellin ja aluskatteen väliin ei voida jättää, käytetään Klöber-karvamattoa pellin alustana. Aluskatetta tulee hänen mukaansa kaksi kerrosta vain sisätaitteisiin ynnä muihin liikkuviin paikkoihin, mihin tehdään liikuntasauva. (Haastattelu 2.4.2012)

Jukka Huttunen (IdeaStructura Oy) sanoo oikeasti toimivan ja tiiviiksi suunnitellun aluskatteen olevan tärkein ja joka kohteeseen sopiva lääke. Hänenkin mielestään aluskatteen ja pellin välissä täytyy olla kunnollinen rako siten, että se ei jäädy umpeen estäen veden poistumisen aluskatteen päältä. Hän huomauttaa myös, että aluskatteen ja muiden alusrakenteiden tulee olla toteutettu siten, että vesi ei valu sisään asti, vaikka kourupelti hakattaisiin rikki petkeleellä, kirveellä tai muulla "väärällä" työkalulla. Huttusen mukaan lumenpudotusvauriot voivat olla niin vaikeasti havaittavia pieniä reikiä, ettei kattoja ole mahdollista tarkastaa riittävässä tarkkuudessa yläpuolelta vaurioiden löytämiseksi joka vuosi. (Sähköposti 10.4.2012)

Kaksinkertaisesta aluskateratkaisusta on esimerkkimalli Jukka Huttusen suunnittelema räystäsdetaljista liitteessä 2.

5.2 Yläpohjan ilmapuotojen huolellinen tiivistäminen

Yläpohjan ilmapuotojen tiivistämisen lisäksi mahdollisena korjaustoimenpiteenä pidettiin myös yläpohjan lisälämmöneristämistä, josta ei ollut omaa kohtaa teesilistassa.

Petri Utriainen (Rakennusliike Utriainen Oy) luettelee yläpohjan tiivistämisen avainasioiksi hormien tulppauksen sekä ovien ja läpivientien tiivistämisen. Palo-ovet eivät ole ilmatiiviitä – Utriainen tietää markkinoilla olevan kyllä nykyään myös palamattomia tiivisteitä, mutta tyyppihyväksytyä tiivisteellistä palo-ovea ei vielä ole (palo-ovien pitää aina olla tyyppihyväksytyjä). Ilmatiiviys voidaan kuitenkin saavuttaa esimerkiksi seuraavanlaisella ratkaisulla: palo-ovi ja tiivistetty tavallinen ovi peräkkäin. Yläpohjan lisäeristäminen ei Utriaisella ole yleensä ole kannattavaa, mutta joissain kohteissa yläpohjan lämmöneristysten ovat todella huonoja, ja niissä lisäeristäminen olisi kannattavaa. Lisäeristämisen tarve vaatii siis kohdekohtaisen tarkastelun. (Haastattelu 29.2.2012)

Aimo Hämäläinen (Helsingin yliopisto) neuvoo tutkimaan yläpohjan tiiviyden osalta kriittiset paikat, tulppaamaan käyttämättömät hormit ja tiivistämään haljenneet muuraukset. Hän muistuttaa, että yläpohjan tiivistämisen tavoitteena on, ettei ullakon tuuletuksessa imetä korvausilmaa talon sisältä. Hämäläinen myös kannattaa yläpohjan lämmöneristävyyden kohdekohtaista tutkimista ja lisäeristyksen tarpeen arvioimista. (Haastattelu 29.2.2012)

Anssi Kolehmainen (Finnmap Consulting Oy) arvioi, että yläpohjan ilma-
vuodoillakin on merkitystä, mutta ne eivät ole olleet syynä kovin monen ullakkotilan lämpenemiseen. Hänen mukaansa tulppaamattomat hormit ja epätiivit porrashuoneen ja ullakon väliset ovet ovat tavanomaisimpia puutteita yläpohjan ilmatiiviydessä. Kolehmainen huomauttaa, että normaaleista käyttötiloista vuotava ilma tuo usein mukanaan kosteutta, joka puolestaan voi aiheuttaa kondenssiongelman peltikatteen alapintaan. Yläpohjan lämmöneristämisessä on hänen mukaansa pyrittävä rakennusmääräyskokoelman C3:n U-arvoihin eli $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Haastattelu 29.2.2012)

Tomi Laitinen (Ramboll Finland Oy) neuvoo tiivistämään kanavien ynnä muiden läpiviennit yläpohjassa esimerkiksi palokatkomassoilla. Hän lisää vielä, että yläpohjan läpivientien tiivistämisessä ei tule käyttää teippaamista. (Haastattelu 1.3.2012)

Keijo Saloviin (Insinööritoimisto Pontek Oy) uskoo myös yläpohjan tiiviyden olevan erittäin tärkeä asia, muttei ehkä yliopistorakennuksissa varsinaisen ongelmien aiheuttaja, koska yläpohjien lävistysten tiivistämiseen on jo pitkään kiinnitetty huomiota. Hän neuvoo tulppaamaan sisältä tulevat käyttämättömät hormit yläpohjan kohdalta tai eristämään hormi ullakkotilassa, jottei siitä pääse lämpöä ullakkotilaan. Ullakolle johtava palo-ovi tulisi myös tiivistää. Saloviin ihmettelee miksi palo-oven ei saisi käyttää tiivistettä, sillä jos tiiviste välistä palaa, on sen paloeristävyys sama kuin mitä se olisi ilman tiivistettä. Hän mainitsee myös, että jos rakennustöiden aikana ullakkotilaan johtavia ovia pidetään auki, voi ullakolle tulviva kostea ilma etenkin talviaikaan aiheuttaa kondenssiongelman. Myös Saloviinin mielestä yläpohjan lisäeristämisessä on pyrittävä nykyisiin lämmöneristysmääräyksiin ($u = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$). (Haastattelu 1.3.2012)

Juha Elomaa (A-insinöörit Oy) toteaa, että yläpohjan tiivistämisessä tarvitaan höyrynsulkuja, ja että esimerkiksi liittymät seiniin ovat monimutkaisia, joten ne pitää suunnitella tapauskohtaisesti. (Haastattelu 2.4.2012)

Jukka Huttunen (IdeaStructura Oy) kertoo lämpökameratutkimuksissaan havainneensa ullakolle asti ulottuvien väliseinien ja savuhormien olevan varsinaisia lämmönlähteitä ullakkoa ajatellen. Sen sijaan ulkoseinät eivät ole aivan niin merkittäviä kuin hän kertoo aikaisemmin kuvitelleensa. Hän uskoo tämän johtuvan siitä, että ulkoseinillä lämpö siirtyy ensisijaisesti suoraan ulkoilmaan eikä ullakolle. Tämän havainnon pohjalta Huttunen kertoo uusissa suunnittelukohteissaan lisänneensä lämmöneristyksen savuja ilmahormien sekä väliseinien alaosiin. (Sähköposti 10.4.2012)

Ismo Kirves (Helsingin yliopisto) kertoo käytöstä poistettujen hormien sulkemisessa yläpohjan tasalla olevan havaittu eniten puutteita suunnitelmassa ja toteutuksessa. Hän tähdentää hormien lämmittävän ullakkoa, jos niitä ei suljeta. Muun muassa kaikki putkireitit yläpohjan läpi täytyisi tiivistää. Hänen mielestään rakennuksista olisi tehtävä kunnollinen palokatko- ja läpimenojen tiivistyssuunnitelma AutoCad-muodossa peruskorjauksen yhteydessä. Suunnitelmassa määriteltäisiin palokatkojen tyypit, palokatkoihin tehtävät varaukset (lähinnä sähkö ja telekaapelit) ja muut tiivistettävät kohteet, jotka vaativat ilmatiiviyttä. Suunnitelman pohjana voinee hyödyntää reikien varauspiirustusta, Kirves tuumii. (Sähköposti 11.4.2012)

5.3 Ullakolla olevien iv-kanavien ja lämpöjohtojen sekä iv-konehuoneiden nykyistä tehokkaampi lämmöneristäminen

Ilmanvaihtokanavien lämmöneristyksien lisäksi niiden tiiviyks nousi yhdeksi tärkeäksi puheenaiheeksi haastatteluissa. Myös iv-koneiden tiiviyksissä saattaa olla puutteita.

Petri Utriainen (Rakennusliike Utriainen Oy) toteaa, että nykyisin LVIS-tekniikan eristyksissä on käytetty jopa vain 40 mm eristepaksuuksia, jotka ovat riittämättömiä. Hän kertoo tekniikan eristepaksuuksia olevan määriteltäviä esimerkiksi Parocin asennusoppaan taulukoissa, josta esimerkiksi ilmanvaihtokanavissa hänen mielestään tulisi valita ulkoilman ja kanavassa virtaavan ilman lämpötilaeroksi 50 °C, jolloin esimerkiksi 400mm ilmanvaihtokanavan eristepaksuus olisi 160mm. Taulukon eristepaksuudet ovat ohjeellisia, ja LVI-suunnittelijan on mitoitettava putkieristykset joka kohteelle erikseen, Utriainen sanoo. (Haastattelu 29.2.2012)

Aimo Hämäläinen (Helsingin yliopisto) kertoo lämpötilan ilmanvaihtokonehuoneissa olevan usein käytännössä 16–20 °C, minkä mukaan tulisi mitoittaa konehuoneen lämmöneristys. Hämäläinen epäilee ilmanvaihtokoneiden ja –kanavien tiiviyden olevan merkittävä tekijä yläpohjan lämpökuormissa. Hänen mukaansa koneille ja kanaville pitäisi tehdä tiiviykskokeita ja paikata vuotokohtat. Kanavien tiivistämiseen hän suosittelee esimerkiksi kumirenkaita ja vulkanointipantoja. (Haastattelu 29.2.2012)

Anssi Kolehmainen (Finnmap Consulting Oy) esittää, että iv-kanavat kannattaisi tehdä kantikkaiksi ja sijoittaa ne suoraan yläpohjan päälle, eristeiden alle, jolloin kanavan vaipan pinta-ala olisi pienempi ja sen aiheuttama lämpökuorma lämmittäisi sisätiloja ullakon sijasta. Hänenkin mielestään ilmanvaihtokanavien nykyiset lämmöneristeet ovat riittämättömiä. Kolehmainen huomauttaa, että ilmanvaihtokonehuoneiden lämpötiloja olisi varaa jäähdyttää 8-15 –asteiseksi esimerkiksi koneellisella poistolla ja korvausilma-aukoilla tai koneiden lämmöneristyksillä. Kolehmaisen mielestä ullakolla sijaitsevien ilmanvaihtokanavien tiiviyksluokkatavoitteita pitäisi kiristää RakMK D2:n mukaisista ohjearvoista. (Haastattelu 29.2.2012)

Tomi Laitinen (Ramboll Finland Oy) määrittelee ilmanvaihtokanavien eristeiden vähimmäispaksuudeksi 100 mm. Ilmanvaihtokonehuoneiden lämmöneristykset pitäisi hänen mielestään mitoittaa vähintään puolilämpimän tilan u-arvovaatimusten mukaisiksi. Jos tilaa riittää, esittää hän ilmanvaihtokonehuoneen vaipan rakennettavaksi esimerkiksi 240 mm paksuista pelti-villa-pelti-kevytelementeistä. Hän esittää myös ajatuksen ilmanvaihtokonehuoneen sijoittamisesta kerrokseen, mikä onnistuu vain jos LVI- ja rakennesuunnittelija asiaa vaatii ja arkkitehti ei asiaa vastusta. Konehuoneen siirtämisessä kerrokseen rakenteiden kantavuudet voivat tulla vastaan, mutta hyvällä innovatiivisella rakennesuunnittelulla voidaan voittaa nämäkin ongelmat. Laitinen kertoo, että joissain kohteissa tähän ratkaisuun on päästykin.

Uusissa ilmanvaihtojärjestelmissä on Laitisen mukaan suoritettava koe-paineistus, minkä jälkeen paikataan löytyneet vuodot. Uusissa kohteissa paineistuskoe suoritetaan automaattisesti kanavien tiiviiden varmistamiseksi suunniteltuun tiiviysluokkaan. Hän ehdottaa ilmanvaihtokanavien tiivistämiseen butyyli- tai kuituteippiä ja uusissa kohteissa kumikauluksia. Laitinen suosittelee LVI-suunnittelijan palkkaamista kanavien vuotojen estämisen suunnitteluun. (Haastattelu 1.3.2012)

Keijo Saloviinin (Insinööritoimisto Pontek Oy) mielestä kanavien eristepaksuudet pitäisi vähintään tuplata nykyisestä esimerkiksi 200 mm:iin, ja optimitilanteessa lämmöneristys olisi samaa luokkaa kuin yläpohjan nykyiset eristysvaatimukset. Hän tuumailee, voisiko polyuretaani soveltua esimerkiksi pellitettynä ilmapaneelien vaippamateriaaliksi. (Haastattelu 1.3.2012)

Juha Elomaan (A-insinöörit Oy) mielestä ilmanvaihtokanavat on eristettävä koko matkalta eristeellä, jolla voidaan saavuttaa rakennuksen vaipan nykyisten lämmöneristysmääräyksien u-arvo. Eristeen tulisi hänen mukaansa olla tiivistä, ja sillä tulisi olla tavallista villaa parempi lämmöneristyskyky. Elomaa pohtii voisiko uretaani tai nanoeristeet olla ratkaisu ilmanvaihtokanavien eristykseen. Ilmanvaihtokonehuoneiden liian hyvä lämmöneristäminen taas saattaa nostaa lämpötilan konehuoneessa liian korkeaksi. Konehuoneiden eristämisessä tulee muistaa jättää vähintään 300 mm:n tuuletusväli vesikaton alle, hän muistuttaa.

Ilmanvaihtoputkien ilmavuotoja ei Elomaan mukaan pitäisi sallia ollenkaan. (Haastattelu 2.4.2012)

Ismo Kirves (Helsingin yliopisto) kertoo paikalla tehtyjen vanhojen ilmanvaihtokonehuoneiden runkojen olevan yleensä enintään 100 mm paksuja ja niiden u-arvojen olevan huonoja. Lämpimiltään suurissa ilmanvaihtoputkissa saattaa olla vain palomääräysten edellyttämät eristekerrokset, vaikka kylmässä ullakkotilassa putket tulisi myös lämpöeristää, hän tähdentää.

Kirveen mielestä ilmanvaihtokanavien tiiviidet pitäisi ottaa parempaan tarkasteluun ullakoilla. Esimerkiksi paikalla liitettyjen supistuskappaleiden liitos kanttikanavasta pyöreään usein vuotaa. Ullakolla olevien ilmanvaihtokanavien tiiviiden olisi hänen mielestään oltava A-luokkaa, eikä ullakkoa lämmittäviä ilmavuotoja pitäisi sallia. (Sähköposti 11.4.2012)

5.4 Ullakko-/yläpohjatilan harjakohdan riittävä tuuletus

Petri Utriainen (Rakennusliike Utriainen Oy) on sitä mieltä, että ullakon tuuletus tulisi mitoittaa sen mukaiseksi, että se riittää poistamaan tiivistymällä syntyvän kosteuden ja että ullakkotilan lämpötila on esimerkiksi enintään kaksi astetta korkeampi kuin ulkolämpötila. Kosteuden tiivistymisen kuormitushuippuja varten tuuletuksen (koneellisen poiston) voimakkuutta säätelisi myös ullakkotilaan sijoitettu ilmankosteusmittari. Utriainen uskoo painovoimaisen ilmanvaihdon voivan riittää, jos ullakkotilan lämpökuormat saadaan kuriin esimerkiksi yläpohjan ja ilmanvaihtokonehuoneiden ja kanavien lämmöneristämällä. Hänen mukaansa painovoimainen tuuletus vaatii koko räystäällä kauttaaltaan vähintään 40 mm korkean tuuletusvälin ja vastaavan poiston harjalla. (Haastattelu 29.2.2012)

Aimo Hämäläisen (Helsingin yliopisto) mielestä LVI- ja rakennesuunnittelijoiden tulisi yhdessä suunnitella tuuletuksen tarpeen. (Haastattelu 29.2.2012)

Anssi Kolehmainen (Finnmap Consulting Oy) arvelee, että koneellinen poisto saattaa olla välttämätön, vaikka kuinka koetettaisiin poistaa ullakkotilan lämpökuormia, koska ulkolämpötilat talvisin ovat sen verran korkeita. Koneellisen poiston lisäksi on hänen mukaansa varauduttava koneellisen tulon rakentamiseen, koska ullakkotilaa ei missään nimessä saa alipaineistaa. Hän arvioi, että ullakkotilan lievä ylipaineistaminen voisi olla kannattavaa, jottei sinne imetä lämmintä ilmaa ja huoneilman kosteutta. Ylipaineistamisessa on oltava varovainen, koska liialla ylipaineella saateen aiheuttaa ilmavirtauksia rakenteen läpi sisätiloihin, mistä voi seurata sisäilmasto-ongelmia, Kolehmainen huomauttaa. (Haastattelu 29.2.2012)

Tomi Laitinen (Ramboll Finland Oy) uskoo alipainetuulettimilla suoritetun ilmanvaihdon voivan riittää, mutta se edellyttää lämpökuormien minimoimista. Hän arvioi tehokkaan koneellisen tuuletuksen järjestämisen olevan todennäköisesti kalliimpaa kuin lämpökuormien poistaminen tiivistämällä ja eristämällä. Jos ullakkotilassa on pelkkä koneellinen poisto, on vaarana että ullakkotila imee kerroksista lämmintä ilmaa ja kosteutta yläpohjan läpi, hän varoittaa. Tuuletuksen tarpeen laskee LVI-suunnittelija, mutta Laitisen mielestä myös rakennesuunnittelija voi pystyä energiataaseen laskemiseen riittävällä tarkkuudella (hän itse on laatinut laskentataulukon, jonka avulla voidaan määrittää energiataase). Laitinen esittää ajatuksen ullakkotilaan rakennettavasta järjestelmästä, joka siirtäisi harjalla olevaa lämmintä ilmaa kanavan avulla räystäälle, jolloin ullakon lämpötila koko lappeen alueella olisi tasainen, eikä jäätymistä tapahtuisi. Tämä edellyttäisi räystäiden olevan lyhyet, kuten yliopistorakennuksissa onkin. Etuna olisi, ettei tarvittaisi näkyviä alipainetuulettimia katolle tai ilmarakoja räystäälle. Tätä ideaa voisi kokeilla kohteessa, jossa mitään muuta ei voi tehdä, hän tuumii. (Haastattelu 1.3.2012)

Keijo Saloviin (Insinööritoimisto Pontek Oy) ajattelee, että jos tuuletus olisi riittävä, ei kyseessä olevia vuoto-ongelmia olisi. Painovoimainen tuuletus voi hänen mukaansa riittää väljässä ullakkotilassa, ahtaassa tarvitaan koneellista. Harjalle tarvitaan runsaasti ulospääsyreittejä ilmalle, ja vastaava määrä tai enemmän tuloreittejä räystäälle, Saloviin opastaa. Hän pi-

tää esille tulleiden ongelmien ratkaisussa tuuletusta tärkeimpänä asiana, koska se, että katto saadaan vettä pitäväksi, ei ratkaise räystäällä jääpuikko-ongelmaa, joka aiheuttaa vaaraa alla liikkuville ja lisäksi jääpuikot saattavat ohjata sulamisvesiä julkisivupinnoille aiheuttaen niihin vaurioita. (Haastattelu 1.3.2012)

Mika Laitala ja Joni Sundström (Insinööritoimisto Konstru Oy) uskovat myös painovoimaisen tuuletuksen riittävän, jos ullakolla ei ole pahasti esteitä ilmavirroille. He arvioivat tuuletuksen vaativan alipainetuulettimia noin 5-6 metrin välein (mikäli harjalla ei ole tuuletusrakoa) ja räystäälle kauttaaltaan 25–30 mm korkean tuuletusraon (paitsi nurkissa räystääs tehdään umpinaiseksi, ettei tuuli vain kierrä nurkan ympäri). Räystäällä tulee olla myrskypellit, limitykset ynnä muut kunnossa. Isoon (yli 30 mm leveään) tuuletusrakoon on asennettava teräksinen pieneläinverkko, ja pienempiä tuuletusrakojta taas ei tulisi käyttää, Laitala ja Sundström sanovat. Tuuletusilman pitää pystyä sitomaan kosteutta, mikä toteutuu viileällä säällä paremmin, koska lämmitessään ilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta, he kertovat. (Haastattelu 2.4.2012)

Juha Elomaa (A-Insinöörit Oy) on sitä mieltä, että tuuletuksessa pitäisi pyrkiä painovoimaisen tuuletuksen riittämiseen. Nykyaikaiset ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottojärjestelmät ovat niin tehokkaita, että poistoilmasta saadaan kerättyä paljon lämpöä pois, ja kylmää poistoilmaa voitaisiin hyödyntää ullakon tuuletuksessa (kunhan se ei ole liian kosteata), hän pohtii. Yläpohjan tuuletuksen suunnittelussa täytyy Elomaan mukaan olla mukana LVI-suunnittelijoita. Myös ilmanvaihtokonehuoneiden kohdalla tulee olla vähintään 300 mm korkea tuuletusväli, hän muistuttaa. (Haastattelu 2.4.2012)

Ismo Kirves (Helsingin yliopisto) kertoo ullakkotilan lämpenevän pakka-sellakin plussan puolelle, jos sen ilmatilavuus ja ilmanvaihtuvuus ovat pieniä ja ilmatilaan tulee paljon hukkalämpöä eri lähteistä (kuten yläpohjan lämpövuodoista, ilmanvaihtoputkien lämpö- ja ilmavuodoista sekä ullakolla kulkevien lämmitysputkien lämpövuodoista). Koemielessä voisi kokeilla myös vaihtoehtoista tapaa, jossa ullakko-/yläpohjatilan harjakohdan riittävä tuuletus hoidettaisiin koneellisesti ullakon ylipaineistuksella, hän tuumii. Harjalla olisi puhallin, joka painaisi lämpimän ilman pois harjalta vesikaton reunoille, josta se poistuisi. Tätä ehdotti kattokokouksessa Finnmapin suunnittelija Anssi Kolehmainen, Kirves kertoo. (Sähköposti 11.4.2012)

6 ESIMERKKILASKELMA: ULLAKON LÄMPÖKUORMIA

Kohteen B keskimmaisessä osastossa on sen tilavuuteen nähden melko paljon ilmanvaihtokanavia. Osaston tilavuus on noin 240 m^3 , josta ilmanvaihtokonehuoneen osuus on noin 34 m^3 . Ilmavaihtokanavia tilassa on seuraavanlaisesti:

- 1) 17 m Ø 250 mm tuloilmakanava
- 2) 5 m Ø 315 mm tuloilmakanava
- 3) 10 m Ø 400 mm tuloilmakanava

- 4) 22 m Ø 550 mm tuloilmaputki
- 5) 3 m Ø 630 mm tuloilmakanava
- 6) 11 m Ø 160 mm poistoilmakanava
- 7) 5 m Ø 315 mm poistoilmakanava
- 8) 22 m Ø 400 mm poistoilmakanava
- 9) 14 m Ø 500 mm poistoilmakanava

Ilmanvaihtokanavien paloeristysvaatimus on EI 30. Parocin ohjetaulukoiden (Paroc Oy Ab 2011, 9 & 14) mukaisesti kanavat pitäisi paloeristää ja lämmöneristää seuraavin eristepaksuuksin (paloeristepaksuus ensin):

- Ø 160 mm: 40 mm, 100 mm
- Ø 250 mm: 45 mm, 120 mm
- Ø 315 mm: 45 mm, 120 mm
- Ø 400 mm: 45 mm, 160 mm
- Ø 500 mm: 50 mm, 160 mm
- Ø 550 mm: 50 mm, 160 mm
- Ø 630 mm: 50 mm, 160 mm

Parocin ilmanvaihtokanavien eristämiseen tarkoitettun villan Paroc Wired Mat 80 Alucoat lämmönjohtavuuden arvo +10 asteen lämpötilassa on $0,035 \frac{W}{m \cdot K}$. Oletetaan pintavastusten olevan molemmilla puolilla $0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ ja kanavan omaa lämmönjohtavuutta ei oteta huomioon.

Tuloilman oletuslämpötila on +20 °C ja poistoilman +22 °C. Oletetaan ilmanvaihtokonehuoneessa olevan lämpötila +16 °C ja ullakkotilan lämpötila +5 °C (Helmikuun lämpötilamittauslukemien keskiarvo). Rakenteen läpi johtuvan lämmön teho saadaan kaavoilla

$$q = (T_1 - T_2) * R_{tot}$$

ja

$$R_{tot} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h_2}$$

missä T_1 on putken sisälämpötila, T_2 ullakon lämpötila, r_1 on säde eristeen sisäpintaan, L on kanavan pituus, h_1 eristeen sisäpinnan lämmönsiirtokerroin (pintavastuksen käänteisluku), r_2 on säde eristeen ulkopintaan, k on eristeen lämmönjohtavuus ja h_2 on eristeen ulkopinnan lämmönsiirtokerroin (Viljanen, sähköpostiviesti 8.5.2012). Yhteenlaskettuna pelkästään paloeristettyjen ilmanvaihtokanavien teoreettinen lämmitysteho on 1,494 kW. Lämmöneristettyjen kanavien teoreettinen lämmitysteho on 0,638 kW eli alle puolet paloeristettyjen kanavien lämmitystehosta.

Ilmanvaihtokonehuoneen vaipan ala on noin 45 m². Oletetaan, että ilmanvaihtokonehuone on tehty 150 mm paksuista Paroc AST S -elementeistä, joiden u -arvo esitteen mukaan on $0,26 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Seinän läpi johtuva lämpö saadaan kaavalla

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

jossa U on rakenteen lämmönläpäisykerroin, A on rakenteen pinta-ala ja ΔT on lämpötilaero konehuoneen sisällä ja ulkopuolella. Ilmanvaihtokonehuoneesta johtuva lämpö on teholtaan 0,129 kW. Ilmanvaihtokonehuoneen seinän läpi johtuva lämpö on siis tässä kohteessa suhteellisen vähäistä verrattuna kanavien lämmitystehoon, koska kanavien vaippojen alat ovat moninkertaisia ilmanvaihtokonehuoneen vaipan alaan nähden.

Osaston pinta-ala on 210 m² ja yläpohjan lämmönjohtavuuskertoimeksi on eräissä tutkimuksissa arvioitu noin $0,22 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Vanhoissa rakennuksissa korjaamattomien yläpohjien lämmönjohtavuuskertoimet ovat usein luokkaa $1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, joten kohteen yläpohjan lämmöneristävyys on melko hyvä. Valitaan alapuolella olevan kerroksen lämpötilaksi +21 °C. Samalla kaavalla laskien yläpohjan läpi johtuvan lämmön teho on 0,739 kW. Heikommin eristetyn yläpohjan (u -arvo $1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) läpi johtuisi lämpöä 3,36 kW teholla.

Näistä laskuista saadut arvot ovat vain johtumalla siirtyvän lämmön teoreettisia arvoja. Rakennuksen sisätiloista ja putkista vuotavan ilman mukana konvektiolla siirtyvän lämmön osuuden mittaaminen on paljon monimutkaisempaa. Todelliset lämpökuormien määrät ovat siis huomattavasti korkeampia.

Lämmitystehojen aiheuttamaa lämpötilan nousua ullakossa voidaan tarkastella energiataselaskelmilla, joissa lämpökuormista vähennetään rakenteiden lämpenemiseen kuluva lämpö sekä tuuletuksen mukana ja rakenteiden läpi ulos johtuvalla lämpö.

Oletetaan, että ulkona on -8 astetta. Paloeristettyjen kanavien, ilmanvaihtokonehuoneen ja yläpohjan aiheuttama lämpökuorma on sama kuin huoneesta karkaava lämpö, joten ullakon lämpötila pysyy noin +5 asteessa. Jos kanaviin vaihdettaisiin lämmöneristysohjeiden mukaiset eristeet, putoaisi ullakon lämpötila noin +1 asteeseen.

Laskelmien paloeristettyjen putkien tapauksessa päädyttiin samaan ulko- ja sisälämpötilaeroon kuin kenttätutkimusten mittauksissa, vaikka laskelmien lämpökuormissa ei ollut mukana ilmavuotojen osuutta. Todellisuudessa kohteen kanavaeristeet ovat paloeristysohjeita paksumpia, mikä kompensoi edellä mainitun virheen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli kartoittaa tehokkaimmat korjaustoimenpiteet Helsingin yliopiston rakennusten kattovuotoihin, jotka johtuvat räystäälle muodostuvista vettä padottavista jääpaanteista. Koska konesaumattu peltikate ei pidä paineellista vettä, vesi pääsee padotustilanteissa saumoista läpi. Konesaumakatteen alle ei perinteisesti ole asennettu aluskatetta.

Rakennussuojelun vuoksi on usein estetty kattojen korjaaminen perinteisistä poikkeavilla tavoilla. Nämä korjaukset eivät kuitenkaan yleensä ole poistaneet vesivuoto- ja jäänmuodostumisongelmia. Vesivuotojen aiheut-

tamien sisäilmaongelmien terveysvaikutukset ja putoilevien jääpaanteiden aiheuttamat turvallisuusriskit ympäristössä liikkuville ovat maankäyttö- ja rakennuslain vastaisia, sillä lain mukaan rakennuksien ympäristöineen on täytettävä terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Rakennusten suojelupäätöksissä on huomioitava myös turvallisuus. Suojelutapa voidaan määrittää myös niin, että terveellisyyden ja turvallisuuden kannalta tarpeelliset muutokset voidaan toteuttaa.

Suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden haastatteluissa tärkeimpinä korjaustoimenpiteinä pidettiin aluskatteen asentamista, ilmanvaihtokonehuoneen, -kanavien ja yläpohjan lämmöneristyksien ja tiiviyksien parantamista sekä tuuletuksen lisäämistä. Aluskateratkaisuiksi suositeltiin kaksin- ja jopa kolminkertaisia ratkaisuja, joissa suoraan pellin alle tulevien kahden aluskatteen lisäksi aluslaudoituksen alle asennetaan vielä yksi aluskate siltä varalta, että kaksi päällimmäistä rikotaan esimerkiksi lumenpudotuksessa. Joka tapauksessa konesaumattu rivipeltikate tarvitsee alleen aluskatteen.

Neljän yliopistorakennuksen ullakkotilojen lämpötilamittaukset osoittivat ullakkotilojen olevan talvella keskimäärin 9-13 astetta ulkoilmaa lämpimämpiä. Huippuimurilla tuulettut ullakkotilat osoittautuivat lämpimämmiksi kuin painovoimaisella ilmanvaihdolla tuulettut. Lämpimimmässä ullakkotilassa oli ilmatilavuuteen nähden eniten ilmanvaihtokanavia sekä huippuimuri. Viileimmässä ullakossa oli avarampaa ja tuuletus tapahtui räystäslautaan jyrskytyksen pienten rakojen ja alipainetuulettimien kautta. Tuuletus on siis paras toteuttaa painovoimaisena räystäsrakolla ja alipainetuulettimilla, ei koneellisella poistolla.

Yhden kenttätutkimuskohteen pohjalta tehty laskelma osoitti, että palomääräysten mukaan eristetty ilmanvaihtokanava toi ullakolle lämpöä yli kaksi kertaa enemmän kuin lämmöneristysohjeiden mukaan eristetty. Ilmanvaihtokonehuoneen vaipan läpi johtuva lämpö on heikosti eristettyihin kanaviin verrattuna vähäistä. Yläpohjan lämmönjohtavuudella on suuri merkitys, jos se on alkuperäisessä muodossaan eikä sitä ole lisäeristetty. Ilmanvaihtokanavat ja yläpohja tulee siis eristää tehokkaammin, lämmöneristysmääräysten mukaisesti.

Vuoto- ja jäänmuodostumisongelmien poistaminen edellyttää ainakin kaikkien seuraavien yläpohjan ominaisuuksien parantamista: katon vesitiiviys, ullakon tuulettavuus, yläpohjan lämmöneristävyys ja ilmatiiviys ja ilmanvaihtolaitteiden lämmöneristävyys ja ilmatiiviys.

Kenttätutkimuksiin ei saatu mukaan kohdetta, jonka ullakolla ilmanvaihtokonehuoneita ei ole. Tällaisen ullakkotilan olosuhteiden tutkiminen ja vertaaminen tässä työssä tutkittuihin ullakkotiloihin voisi tuoda lisätietoa ilmanvaihtolaitteiston vaikutuksista.

8 TOIMIVIA RAKENNERATKAISUJA HELSINGIN YLIOPISTON VUOTAVILLE VESIKATOILLE

Konesaumattu rivipeltikate tarvitsee toimiakseen alleen aluskatteen, joka ulottuu koko katon alueelle. Aluskatteeksi voidaan käyttää kumibitumikermiä, EPDM-kumia tai diffuusioavoiminta aluskatetta. Aluskatteen tiiviiden varmistamiseksi ja rakenteen yksinkertaistamiseksi aluskatteen ja kattopellin aluslaudoituksen väliin tehdään esimerkiksi 50 mm korkea tuuletusväli, joka on räystäältä ja harjalta avoin tai muulla tavalla tuuletettu. Diffuusioavoimella aluskatteella tuuletusvälin korkeuden on oltava vähintään 25 mm. Tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden tulee olla riittävä pitämään puurakenteet kuivina. Korotusrimojen alle asennetaan butyyliinaihu, joka tiivistää kiinnikkeiden reiät. Aluslaudoituksen alla oleva aluskate on suojassa lumenpudotusvaurioilta, eikä siis tarvita kuin yksi aluskate. Liitteessä 3 on esitetty mallipiirustus yläpohjarakenteista.

Ilmanvaihtokonehuoneiden uudelleensijoittamista kerroksiin tulee harkita. Ilmanvaihtolaitteisto vaikuttaa ullakon lämpenemiseen kolmella tavalla: se tuo ullakolle lämpökuormaa, vähentää ullakon ilmatilavuutta ja on tuuletuksen ilmapvirtausten tiellä.

Yläpohjan ja ullakolla sijaitsevien ilmanvaihtokanavien ilmatiiviyttä tulee tarkastella ja kaikki vuotokohdat on paikattava palokatkomassoilla ja muilla kohteeseen soveltuvilla tiivistystarvikkeilla. Yläpohjan ilmapuotojen osalta kriittisiä paikkoja ovat tulppaamattomat käyttämättömät hormit, muurausten halkeamat, kaikki yläpohjan läpivedot, seinän ja yläpohjan liitokset sekä porraskäytäviin johtavat ovet. Kanaviston vuotoalttiita paikkoja ovat erityisesti liitokset pyöreän ja kantikkaan kanavan välillä. Ilmanvaihtokanaviston tiiviiden on oltava vähintään Rakennusmääräyskokoelman osan D2 (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, 2012) tiiviysluokkaa A.

Ilmanvaihtokanavien, -konehuoneen sekä yläpohjan eristyksissä tavoiteltava lämmönläpäisykerroin on $0,09 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Kanavien lämmöneristeet kiinnitetään metalliverkoilla, joka suojaa eristeitä mekaaniselta kulumiselta sekä pitää eristeen tiiviimmmin suljettuna. Perinteisiä eristeitä tehokkaampien eristeiden (tyhjiöeristeet ym.) käyttöä suositellaan, sillä paksut eristekerrokset vievät ullakon ilmatilavuutta ja aiheuttavat ullakon tuuletukselle yhä suurempia esteitä. Ilmanvaihtokonehuoneen lämpötilaa voidaan laskea $+8 \text{ }^\circ\text{C}$:seen asti esimerkiksi koneiden lämmöneristyksillä.

Ullakon tuuletus pyritään toteuttamaan painovoimaisena esimerkiksi alipainetuulettimilla, jotka tehdään siten, ettei lumipeite tuki aukkoja talvella. Mikäli painovoimaista ilmanvaihtoa ei saada riittämään, tulee harkita ullakon ylipaineistamista tuloilmapuhaltimella. Ullakon alipaineistamisen riskinä on lämpimän korvausilman imeminen kerroksista.

LÄHTEET

- Aamulehti 9.3.2012. Tässäkö syy kuolemaan johtaneisiin lumiturmiin? Kaikissa taloissa samanlainen katto. Viitattu 12.4.2012.
<http://www.aamulehti.fi/Kotimaa/1194727205353/artikkeli/tassako+syy+kuolemaan+johtaneisiin+lumiturmiin+kaikissa+taloissa+samanlainen+katto.html>
- Huttunen, J. 10.4.2012. Re: Täydennystä haastatteluihin. Vastaanottaja Outi Aaltonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 17.4.2012
- Huttunen, J. 2011. Rivipeltikattojen vesivuodot ja rakenneratkaisut. Helsingin yliopiston vesikatot. Unioninkatu 33. 12.4.2011. Helsingin yliopisto. Esitelmä.
- Hämäläinen, A. 2012. Yliopiston vesikatot. Suunnittelupalaveri nro 3. Unioninkatu 40, Metsätalo. 22.11.2011. Helsingin yliopisto. Palaverin muistiinpanot.
- Hönö, A. 2011a Yliopiston vuotavat vesikatot. Projektin käynnistyspalaveri 1. Unioninkatu 40, Metsätalo. 17.2.2011. Helsingin yliopisto. Palaverin muistio 22.2.2011.
- Hönö, A. 2011b. Yliopiston vuotavat vesikatot. Suunnittelupalaveri nro 2. Unioninkatu 40, Metsätalo. 6.6.2011. Helsingin yliopisto. Palaverin muistio 6.6.2011.
- Hönö, A. 2012. Yliopiston vesikatot. Suunnittelupalaveri nro 3. Unioninkatu 40, Metsätalo. 22.11.2011. Helsingin yliopisto. Palaverin muistio. 2.1.2012.
- Hönö, A. 25.5.2012. VS: Opinnäytetyö kommentoitavaksi. Vastaanottaja Outi Aaltonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 30.5.2012.
- Kattoliitto ry. 2007. Toimivat katot.
- Kirves, I. 11.4.2012. VS: Täydennystä haastatteluihin. Vastaanottaja Outi Aaltonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 17.4.2012.
- Laine, S. 7.5.2012. Re: Opinnäytetyö. Vastaanottaja Outi Aaltonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 8.5.2012.
- Laki rakennusperinnön suojelemisesta nro 498/2010. 4.6.2010
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. 5.2.1999
- Paroc Oy Ab.2011. Talotekniikan eristyksen asennusopas. Tekniset eristeet. Viitattu 2.5.2012.
http://www.paroc.com/SPPS/Finland/TI_attachments/FI_3-2_5_TI_fi.pdf

Pietarila, P. 2000. Peltikaton maalaus. Helsinki: Museovirasto.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2000. RIL 107-2000: Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Vantaa: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

Rakennusten suojele. 2011. Rakennusperintö. Museovirasto. Viitattu 19.1.2012.

<http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennusperinto/suojele>

Rakennustieto. 1954. RT 857.11: Kate, sinkitty teräspelti pystysaumoin. Rakennustieto Oy

Rakennustieto. 1998. RT 85-10658: Kattoluukku. Rakennustieto Oy

Rakennustieto. 2006. RT 85-10862: Metallinen saumattu katto. Rakennustieto Oy.

Rautauukki Oyj. 2011. Vesikatot: Asennusohjeet: Mallit Classic C ja D. Viitattu 16.4.2012.

http://www.ruukkikatot.fi/~media/Finland/Files/Rakentamisen%20ratkaisut/Katot/Asennusohjeet/Ruukki_Classic_CD_asennusohje.pdf

Tomminen, H. 2000. Peltikaton korjaus. Helsinki: Museovirasto.

Viljanen, K. 8.5.2012 Re: Opinnäytetyön laskuesimerkki. Vastaanottaja Outi Aaltonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 8.5.2012.

Ympäristöministeriö. 1998. C2: Kosteus: Määräykset ja ohjeet. Viitattu 12.1.2012. <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>

HAASTATTELUT

Elomaa, J. 2012. Yksikönjohtaja. A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Haastattelu 2.4.2012.

Huttunen, J. 2011. Projektipäällikkö. Ideestructura Oy. Haastattelu 13.12.2011.

Hämäläinen, A. 2012. LVI-rakennuttaja. Helsingin yliopisto, Tila- ja kiinteistökeskus. Haastattelu 29.2.2012.

Kirves, I. 2012. Rakennuttajainsinööri. Helsingin yliopisto, Tila- ja kiinteistökeskus. Haastattelu 27.1.2012.

Kolehmainen, A. 2012. Osastopäällikkö. Finnmap Consulting Oy. Haastattelu 29.2.2012.

Laitala, M. & Sundström, J. 2012. Varatoimitusjohtaja & projektipäällikkö. Insinööritoimisto Konstru Oy. Haastattelu 2.4.2012.

Laitinen, T. 2012. Kehityspäällikkö. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 1.3.2012.

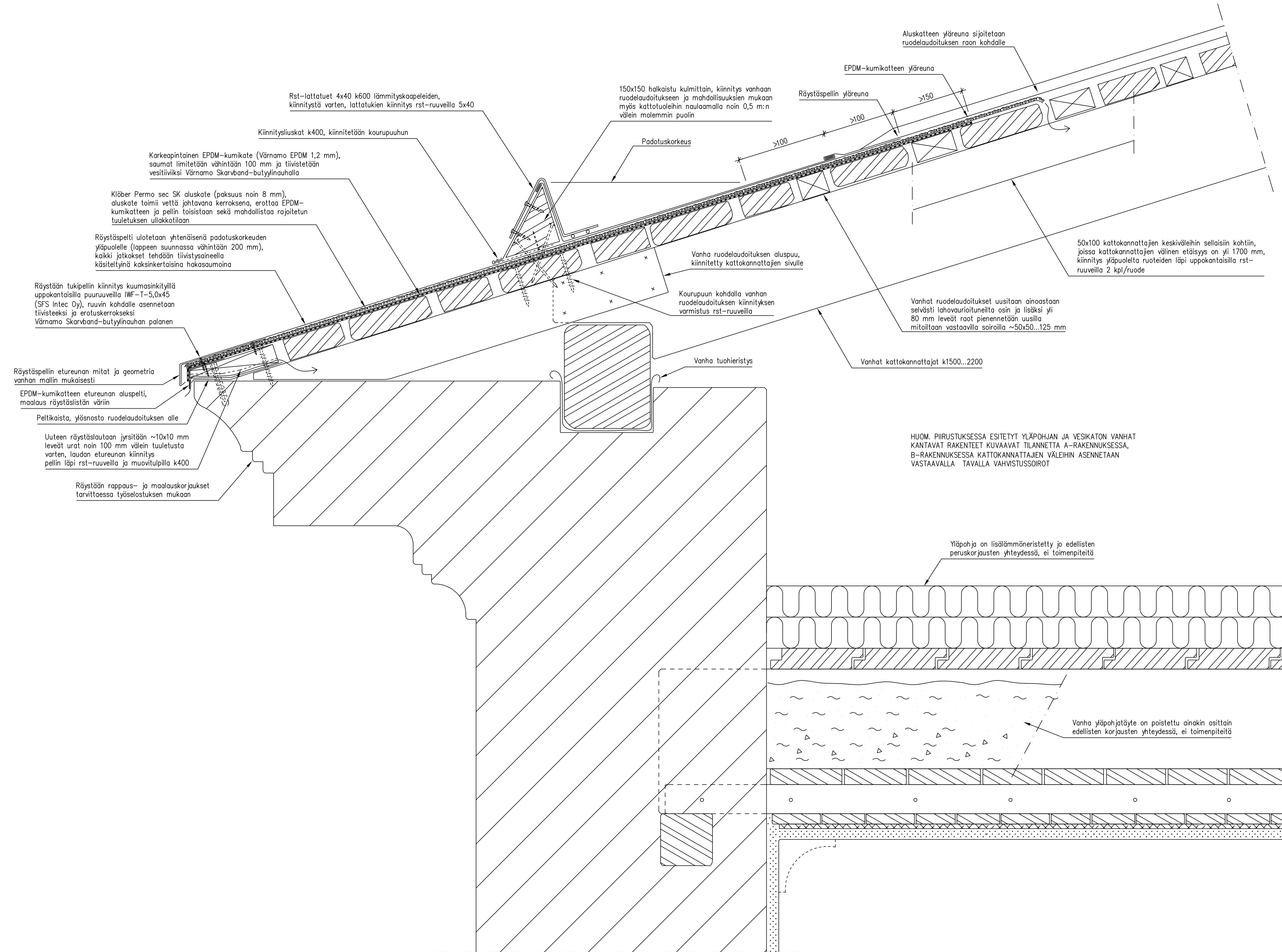
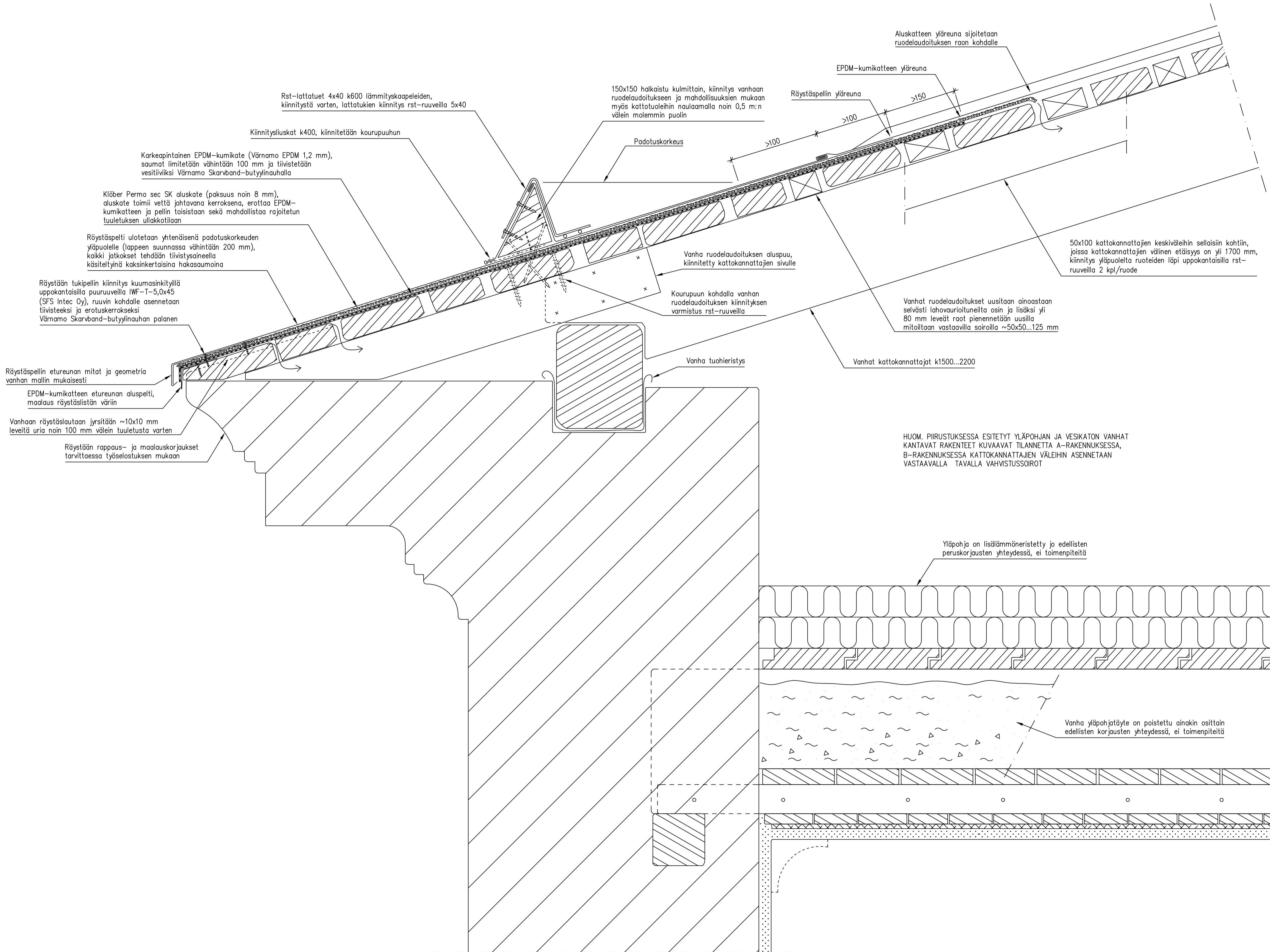
Saloviin, K. 2012. Toimitusjohtaja. Insinööri-toimisto Pontek Oy. Haastattelu 1.3.2012.

Utriainen, P. 2012. Toimitusjohtaja. Rakennusliike Utriainen Oy. Haastattelu 29.2.2012.

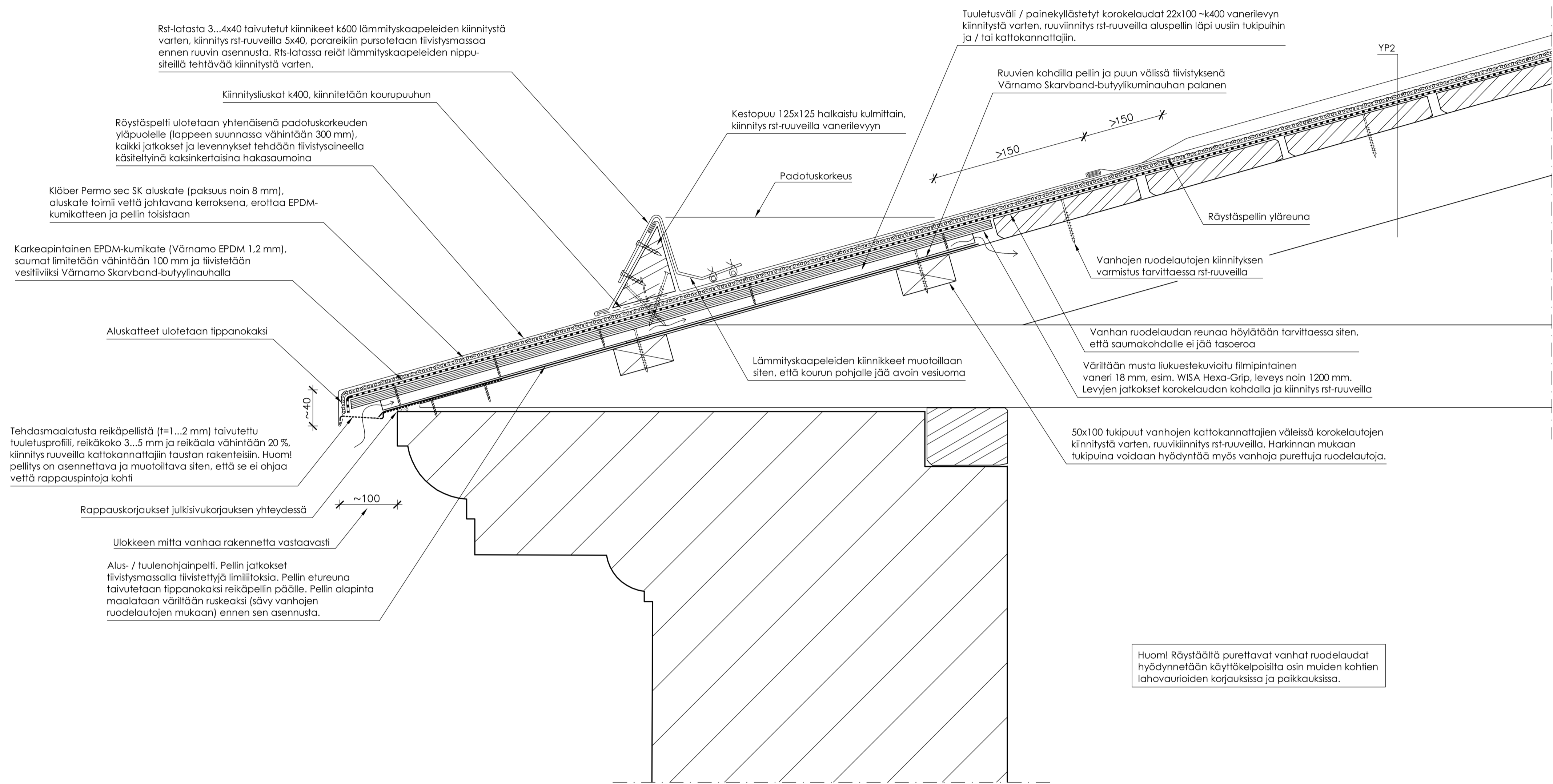
KOHDE A RÄYSTÄSDETALJI

RÄYSTÄSLEIKKAUS 1-1 (RÄYSTÄS YLEENSÄ)
1:5

RÄYSTÄSLEIKKAUS 2-2 (KOHDISSA, JOISSA RÄYSTÄSLAUTA
JOUDUTAAN UUSIMAAN SEN LAHOVAURIOIDEN TAKIA)
1:5



RÄYSTÄSDETALJI, KAKSINKERTAINEN ALUSKATE



RAKENNEMALLI TOIMIVALLE YLÄPOHJALLE

