
KUOPIO-HALLIN YLÄPOHJAN JA SEINÄRAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TARKASTELU JA KORJA- USVAIHTOEHDOT

Petteri Kuokkanen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Petteri Kuokkanen	
Työn nimi Kuopio-hallin yläpohjan ja seinärakenteiden rakennusfysikaalinen tarkastelu ja korjausvaihtoehdot	
Päiväys 25.11.2011	Sivumäärä/Liitteet 63 / 6
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupunki, Tilakeskus / Harri Korkalainen Rakennussuunnittelutoimisto Nylund Oy / Hannu Kuokkanen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kuopio-halli on Kuopion keskustassa sijaitseva monitoimihalli. Kuopio-hallin räystääsaluueelle kertyy talvisin suuri määrä jäätä. Jää vaurioittaa yläpohjarakenteita ja voi aiheuttaa vaaratilanteita pudotessaan maahan. Hallin katon on todettu myös paikoin vuotavan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mistä jään muodostuminen räystääsaluueelle johtuu ja miten Kuopio-hallin yläpohjasta ja seinärakenteista liittymiseen saataisiin toimiva kokonaisuus.</p> <p>Ongelman selvittämiseksi perehdyttiin Kuopion kaupungin rakennusvalvonnasta saatuihin rakennesuunnitelmiin. Kuopio-hallin yläpohjasta ja seinärakenteista on tehty aikaisemmin selvityksiä, joiden raportteja käytettiin hyväksi. Lisäksi yläpohja- ja seinärakenteita avattiin paikan päällä. Avauksilla pyrittiin selvittämään nykyisen rakenteen toimivuutta ja mahdollisia rakennusvirheitä. Yläpohjarakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä tarkasteltiin käsinlaskentana. Ongelmia havaittiin yläpohjan, seinärakenteiden, räystäiden ja liittymien osalta.</p> <p>Tuloksena saatiin eri korjausvaihtoehtoja yläpohjan ja seinärakenteiden korjaukseen. Kuopio-hallin yläpohjan laajuuden vuoksi päädyttiin ratkaisuun, jossa suositellaan koekorjausta tietyille yläpohjan alueelle. Työssä esitellään menetelmä, jolla korjattavan alueen rakennusfysikaalista toimivuutta pystytään seuraamaan mittaustekniikan avulla. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa Kuopio-hallin korjauksessa.</p>	
Avainsanat yläpohja, räystääsalue, seinärakenne, rakennusvirhe	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Petteri Kuokkanen			
Title of Thesis Physical function of the roof and wall structures of Kuopio-Hall and repair proposals			
Date	25 November 2011	Pages/Appendices	63 / 6
Supervisor(s) Mr. Harry Dunkel, Lecturer			
Project/Partners Kuopio city, Tilakeskus / Mr. Harri Korkalainen Architect and Construction Design Nylund Ltd. / Mr. Hannu Kuokkanen			
<p>Abstract</p> <p>Kuopio-Hall is a multi-propose hall which is located in Kuopio. In winter a large amount of ice accumulates on the eaves of the Kuopio-Hall. Ice causes damage to the eaves and roof structures and it also can cause danger when falling down to the ground. It has been detected that the roof of the hall is leaking in some places. The purpose of this thesis was to resolve why ice accumulates on the eaves and how to make the roof and wall structures operate as a functional unit.</p> <p>The thesis was started by exploring the old structure plans of the Kuopio-Hall in Building Inspection Office of City of Kuopio. Some of the previously made researches and reports on the roof and wall structures of the Kuopio-Hall were used during the project. Also some parts of the roof and wall structures were opened on the site. The idea of opening the structures was to resolve the behaviour of the current structures and to find possible mistakes in designing or/and construction. The moisture behaviour of the roof structures was calculated. Some problems occurred in the roof, wall and eave structures.</p> <p>As a result of this thesis different types of repair proposals were recommended. Because of the large size of the Kuopio-Hall the solution would be a test repair on the certain area of the roof. A method for observing the condition of the roof structures by using a measuring device was also proposed. The results of this thesis can be utilized in repairing Kuopio-Hall in the future.</p>			
Keywords roof, eaves, moisture behaviour			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	7
2.1	Kuopio-halli.....	7
2.2	Monitoimihallien ongelmia.....	14
3	YLÄPOHJARAKENTTEEN ONGELMAT KUOPIO-HALLISSA	15
3.1	Lumi ja jää	15
3.2	Yläpohja	16
3.2.1	Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu käsinlaskentana	19
3.2.2	Käsinlaskennan tulkinta	33
3.3	Vesikatto.....	34
3.4	Tasoerot, seinärakenteet ja räystäät.....	40
3.5	Kuopio-hallin lämpökuvauus 31.5.1996	52
4	KORJAUSVAIHTOEHDOT	54
4.1	Korjauksen tavoite	54
4.2	Korjauksen aikainen suojaus	54
4.3	Koekorjaus	54
4.4	Vesikate ja yläpohja.....	55
4.4.1	Korjausvaihtoehto 1.....	55
4.4.2	Korjausvaihtoehto 2.....	56
4.4.3	Korjausvaihtoehto 3.....	57
4.4.4	Korjausvaihtoehto 4.....	58
4.5	Tasoerot.....	59
4.5.1	Tasoerojen säilyttäminen.....	59
4.5.2	Tasoerojen poistaminen	60
4.6	Räystäät	60
4.7	Lumiesteiden korvaaminen	60
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA	61
	LÄHTEET.....	62

LIITTEET

Liite 1 Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, rakenne palokatkon kohdalta

Liite 2 Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, rakenne ilman palokatkoa

Liite 3 Kermin ja lumikerroksen välinen lämpötila Excel-taulukkolaskentaohjelmalla

1 JOHDANTO

Kuopio-halli on Kuopion keskustassa sijaitseva monitoimihalli. Talvisin Kuopio-hallin räystääsalueelle muodostuu runsaasti jäätä. Jää aiheuttaa lisäkuormitusta yläpohjarakenteille. Pudotessaan maahan, jää aiheuttaa vaaraa ihmisille ja eläimille. Katon on havaittu myös paikoin vuotavan. Hallissa on todettu sisäilmaongelma. Sisäilmaongelman korjaussuunnitelminen on käynnissä alapohjan osalta tätä opinnäytetyötä tehdessä. Hallin lattiapinnoite uusittiin kesällä 2011. Rakennesuunnittelun kohteessa on hoitanut Rakennussuunnittelutoimisto Nylund Oy. Suunnittelukokouksissa on noussut esille tarve selvittää yläpohjassa ilmenevät ongelmat ja löytää ratkaisun ongelmien ratkaisemiseksi.

Opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää mistä jään muodostuminen räystääsalueelle johtuu ja miten ongelmaa pystytään korjaamaan. Opinnäytetyössä otetaan kantaa seinärakenteiden ja yläpohjan toimivuuteen rakennusfysikaalisesti. Tarkasteltavana ovat myös ongelmat seinärakenteen ja yläpohjan liittymissä sekä räystäsrakenteissa. Yläpohjan kosteusteknistä käyttäytymistä tarkastellaan käsinlaskentana. Työn tarkoitus ei ole suunnitella korjausta, vaan ehdottaa eri korjausvaihtoehtoja.

Kuopio-hallin yläpohja- ja seinärakenteita avataan. Avauksilla selvitetään syitä yläpohjassa esiintyneille ongelmille. Hallin sisällä ja ulkona suoritetaan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittauksia, joita myöhemmin käytetään lähtötietoina yläpohjan kosteuskäyttäytymisen laskennassa. Kuopio-hallista on tehty aikaisemmin tutkimuksia, korjauksia ja lämpökuvaus, joiden raportteja käytetään työssä hyväksi. Opinnäytetyön tilaaja on Kuopion kaupunki.

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Kuopio-halli

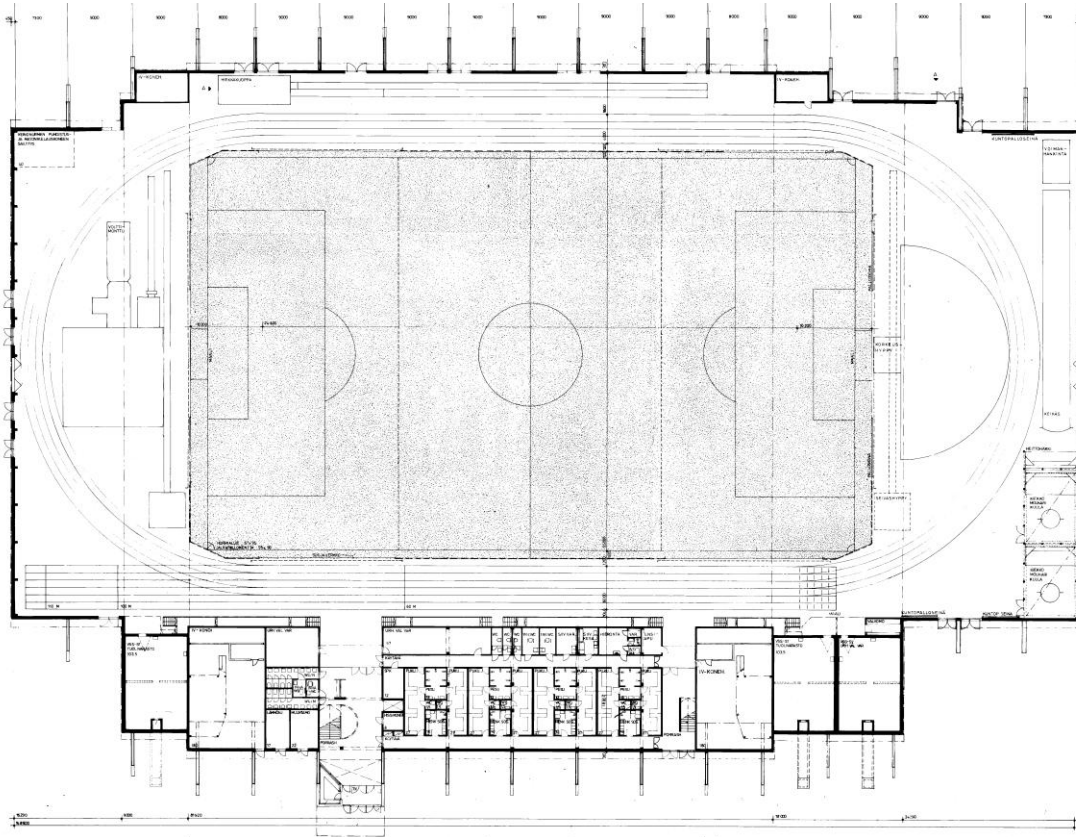
Kuopio-halli sijaitsee Kuopion keskustassa Opistotiellä ja se on otettu käyttöön vuonna 1992. Hallin pinta-ala on 14 000 m², pituus 148,5 m, leveys 95,54 m ja korkeus 20,5 m. Yleisöä halliin mahtuu 9 000 henkilöä. Kuopio-halli on monitoimihalli, jossa järjestetään pääasiassa urheilutapahtumia, messuja ja konsertteja.

Kuopio-hallissa on erilliset tilat kokouksille, kuntosalille, tanssille ja pukuhuoneille. Hallin puolella yleisurheilulle on viisi juoksurataa, häkki, heittopressu, kuulantyöntöpaikka, seiväs-, pituus- ja korkeushyppypaikka. Palloilulajeista Kuopio-hallissa voi harrastaa jalkapalloa, salibandyä, pesäpalloa, lentopalloa, koripalloa, sulkapalloa ja pöytätennistä. Halliin on rakennettu erillinen aidattu voimistelualue. /1/

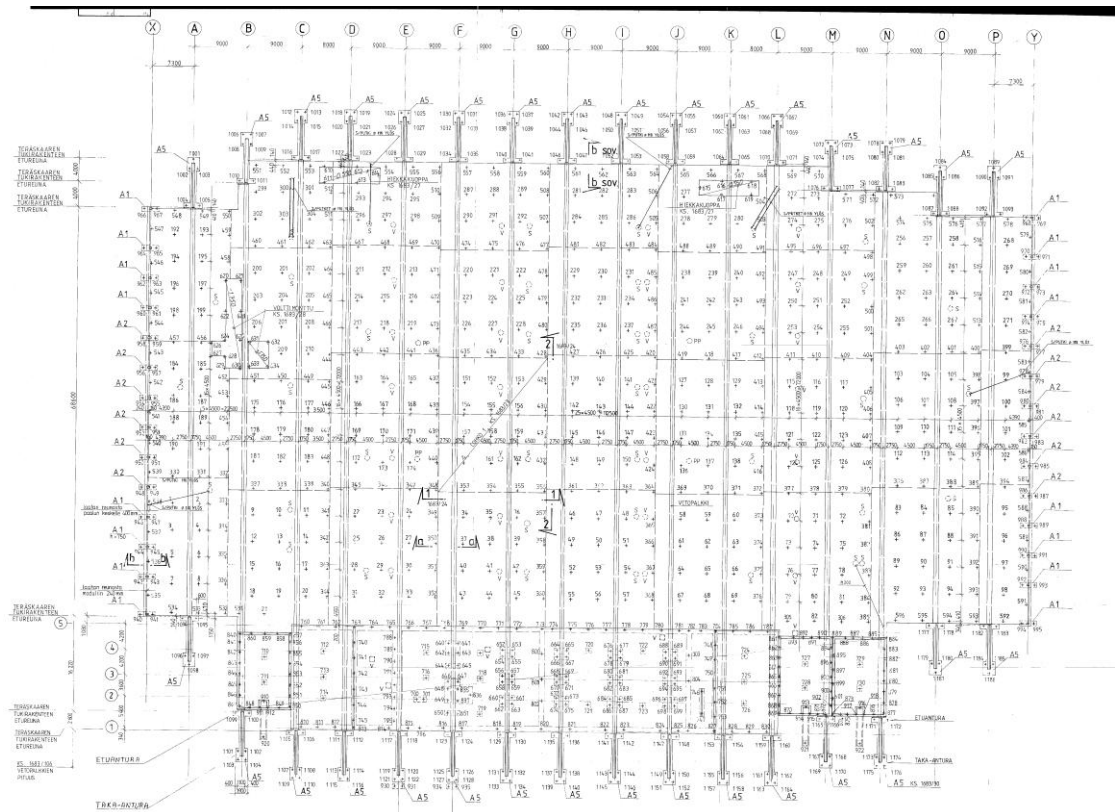


Kuva 1. Kuopio-halli. Kuva Petteri Kuokkanen

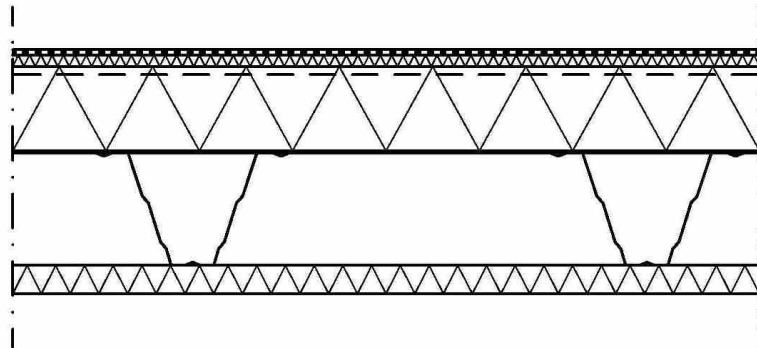
Halli on perustettu vanhan maankaatopaikan päälle teräsbetonipaaluilla. Alapohjalaatta on paalutettu kantava teräsbetonilaatta, joka on jaettu liikuntasaumoilla. Hallin kaareva muoto on tehty 16 teräksisellä avaruusristikolla, jotka on perustettu teräsbetonisten paaluanturoiden varaan. Teräsristikoiden aiheuttama vaakasuuntainen voima on otettu vastaan alapohjan alle maanvaraisesti perustetuilla esijännitetyillä palkeilla. Hallin päädyissä on tuulipilarit.



Kuva 2. Kuopio-halli 1. krs. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



Kuva 3. Kuopio-hallin alapohja, reikäpiirustus, moduulilinjat. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



RAKENNETYYPPI YP1

Vedeneristys: kumibitumikermikate, luokka C

20 mm Lämmöneriste KKL

150 mm Lämmöneriste AKLU, villan yläpinta uriettu

0,2 mm Höyrynsulku Euratex AL-3500 tai vast.

200 mm Teräsohutprofiili TRP 200 tai vast.

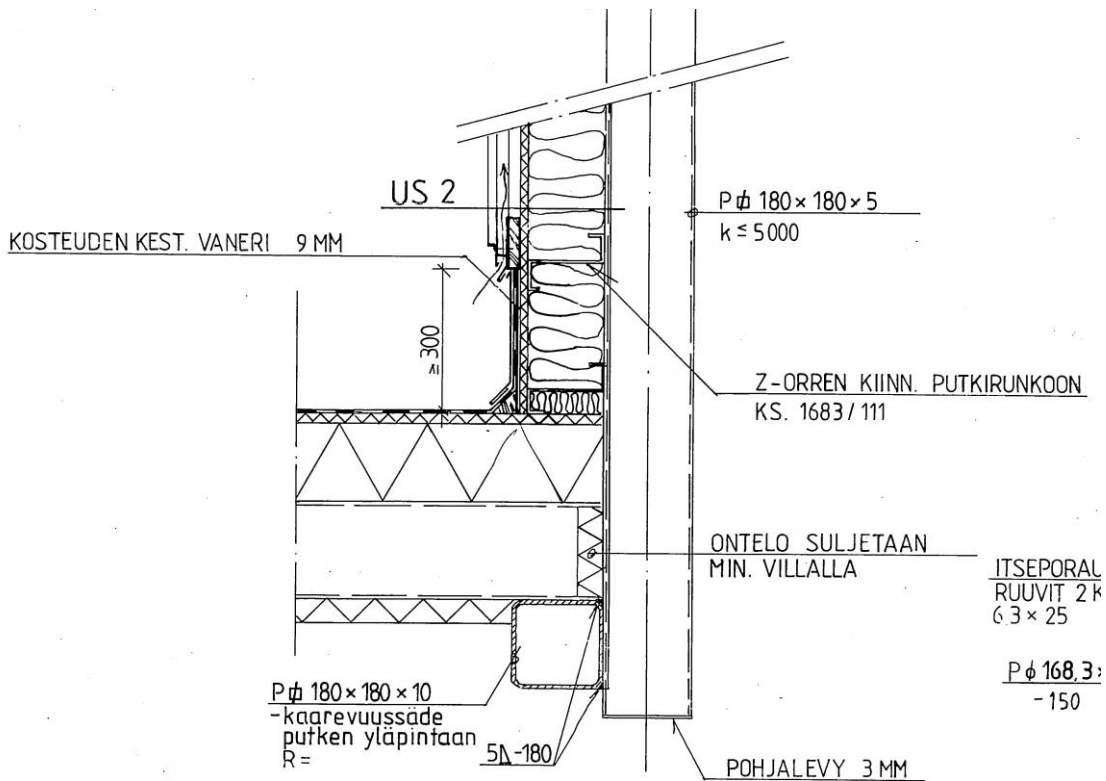
n.50 mm Akustinen min.villa verhouk.

Huom! Poimulevyn ja akustisen verhouksen välinen ontelo
katkaistaan min.villakaistaleella lev. = 600, k1800

Kuva 4. Rakennetyyppi YP1, nykytilanne. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

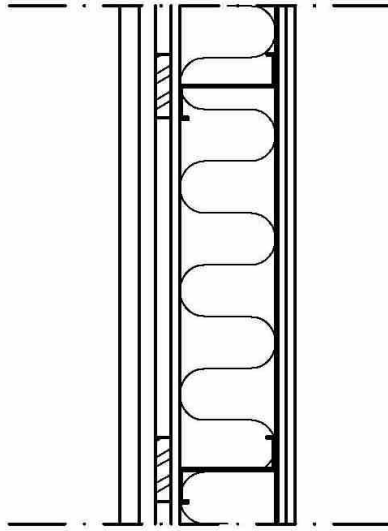
Yläpohja rakenne on kuvan 4 mukainen. Eristekerroksessa on tuuletusurat, ura on kooltaan noin 40 mm x 15 mm (päätelty valokuvasta). Yläpohjan tuuletus on suunniteltu siten, että ilmavirta pääsee räystäältä eristekerroksen tuuletusurista hallin harjalle, josta ilma poistuu tuuletuskanavasta takaisin ulkoilmaan. Rakenne on huonosti tuulettuva.

Kuopio-hallin muoto ei ole tasaisesti kaareva. Yläpohjarakenne on jaettu seitsemään pinta-alaltaan ja korkoasemaltaan erikokoiseen lohkoon kuvien 1, 7 ja 8 mukaan. Yläpohjan tasoerojen kohdalle on rakennettu ulkoseinärakenne kuvien 5 ja 6 mukaan. Ulkoseinän ja yläpohjan liittymä on suunniteltu kuvan 9 mukaan. Räystäiden rakenne on kuvien 10 ja 11 mukainen.



Kuva 5. Seinärakenne tasoerojen kohdalla. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

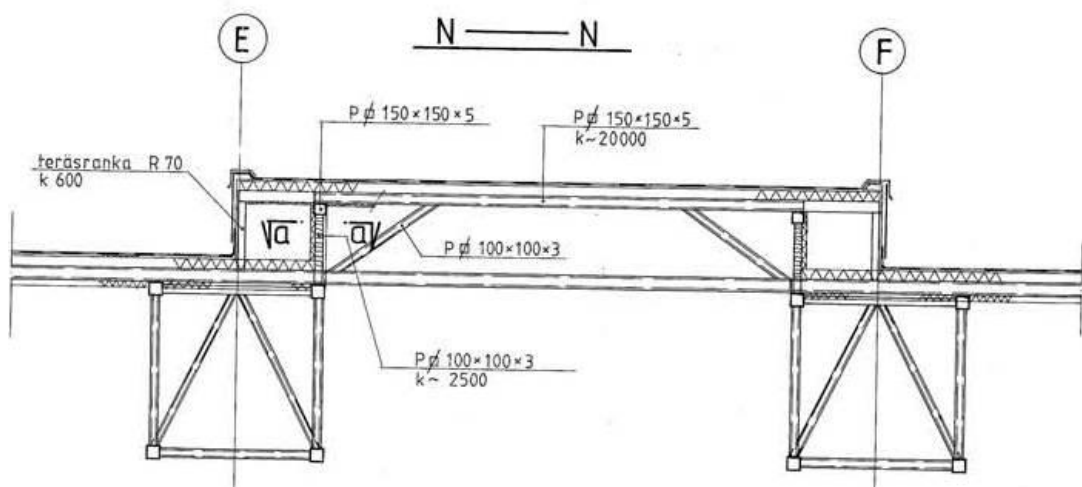
US2



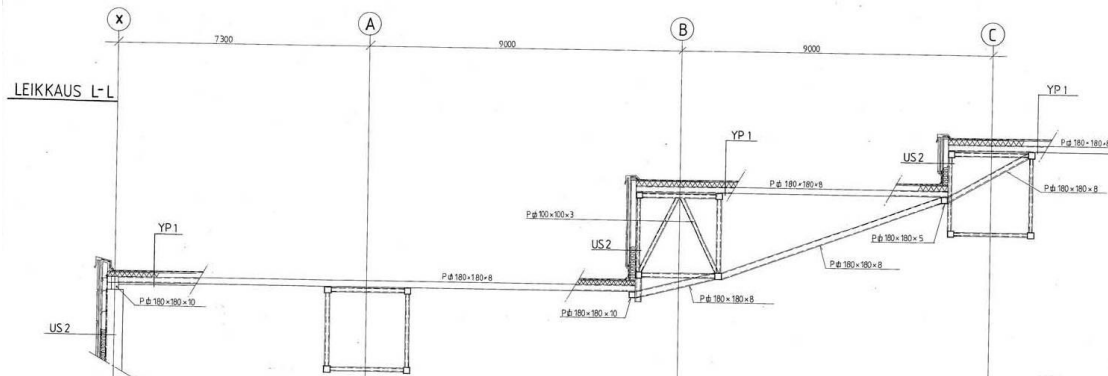
RAKENNETYYPPI US2

- 1,2 mm Teräsohutlevy (julkisivukasetti)
- 25 mm Pystykoolaus 25x100 k 600
- 25 mm Vaakakoolaus 25x100 k 600
- 13 mm Tuulensuojamin. villa
- 150 mm Lämmöneriste + Vaakaorret Z-150/2 k 600
- 0,2 mm Höyrynsulku, polyeteenikalvo
- 13+13 mm Kipsilevyt, pystysaumoihin teräsranka U-20/50/20, t=0,6 mm

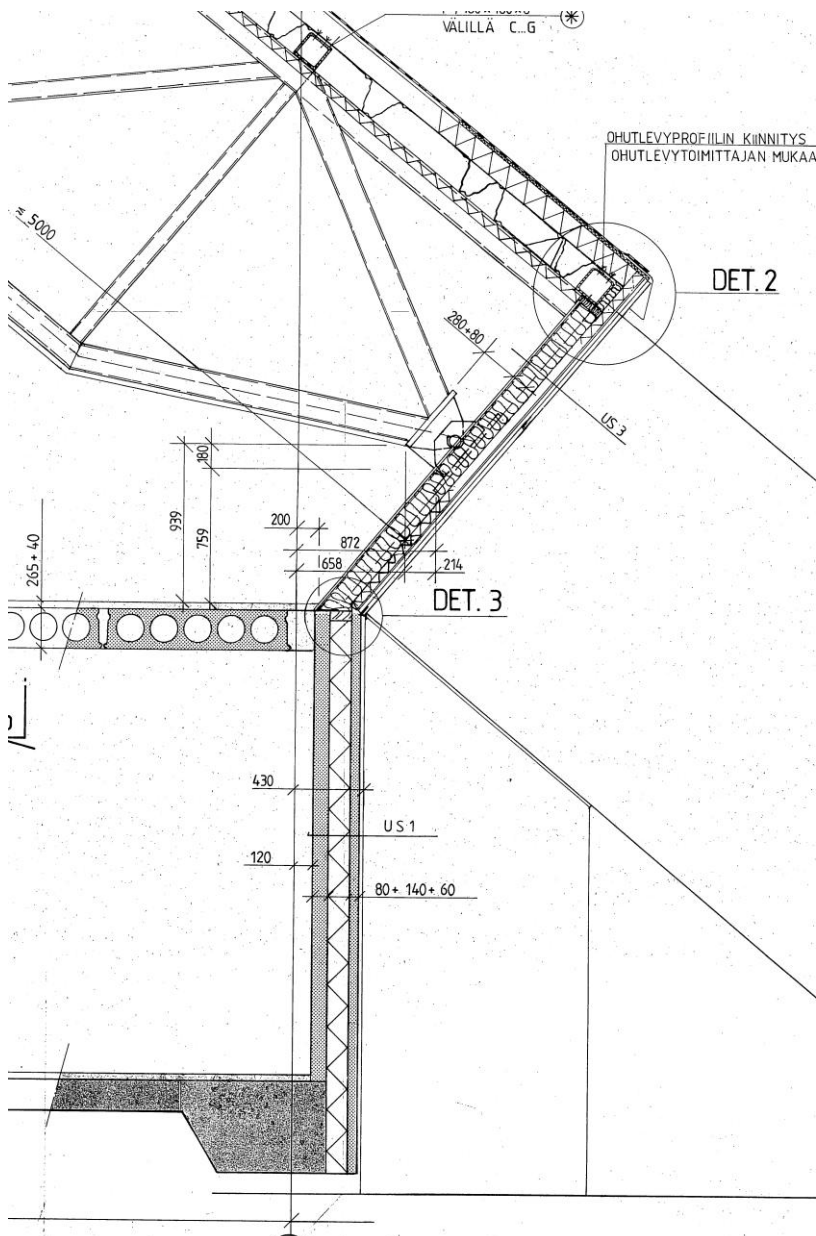
Kuva 6. Rakennetyyppi US2, nykytilanne. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



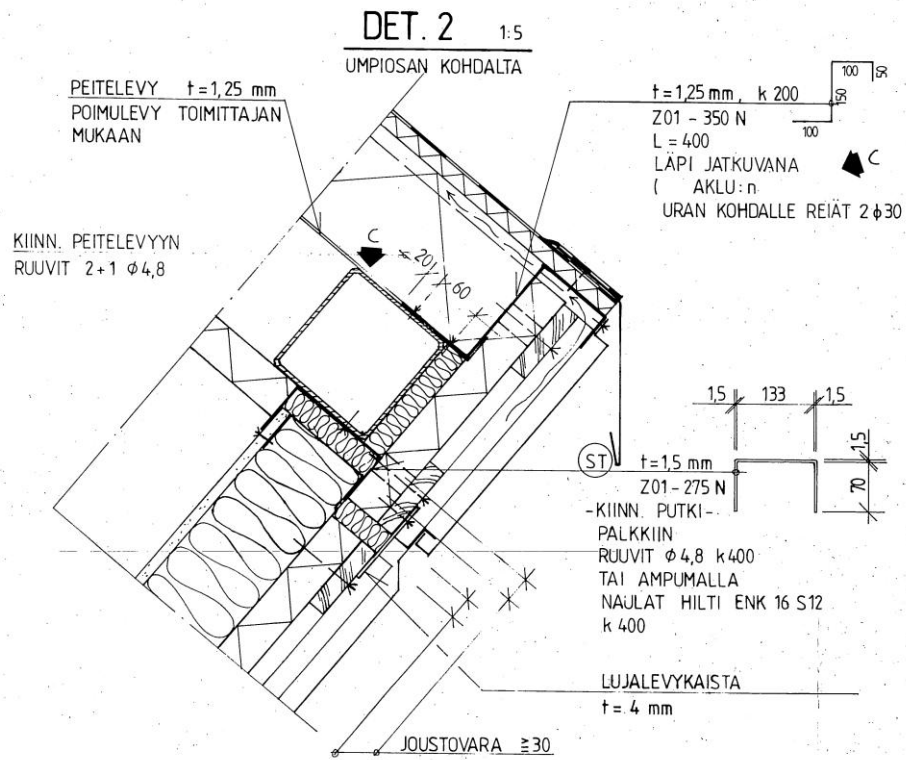
Kuva 7. Kotelorakenne sisäänkäynnin kohdalta. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



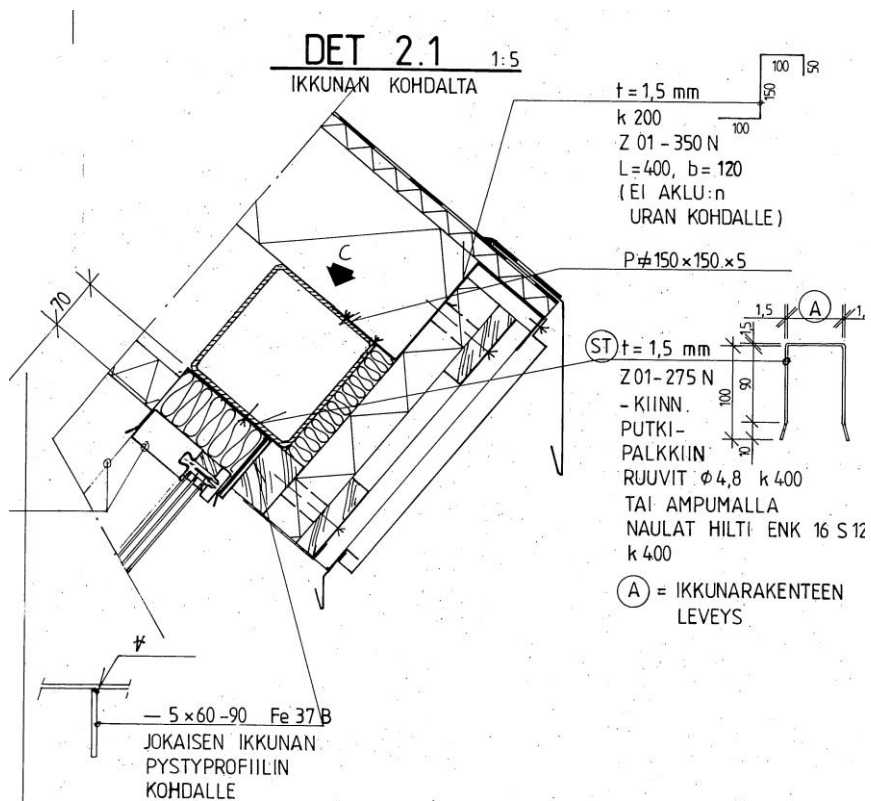
Kuva 8. Tasoerot. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



Kuva 9. Yläpohjan ja ulkoseinän liittymä. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



Kuva 10. Räystäs seinän kohdalta. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



Kuva 11. Räystäs ikkunan kohdalta. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

2.2 Monitoimihallien ongelmia

Monitoimihallien yläpohjien ongelmia muualla Suomessa pyrittiin selvittämään puhe-
linhaastatteluilla. Haastattelut kohdistettiin Pajulahti-hallin, Botniahallin, Impivaaran
jalkapallohallin ja Adidas-hallin huoltohenkilökunnalle. Kohteet valittiin rakenteen,
koon ja ulkomuodon perusteella vastaamaan Kuopio-hallia.

Koska hallit ovat noin 20 m korkeita, ilma kerrostuu väkisinkin hiukan lämpimän ilman
noustessa ylös kohti hallin korkeinta kohtaa. Mikäli hallien katoille kertyy talvella lunta
suuria määriä, lumi toimii katolla eristävänä kerroksena. Lumi alkaa sulaa vedeksi
pintakermin ja lumen välissä ja jäätyy tullessaan räystäälle. Veden jäätyminen polan-
teeksi on ongelma Kuopio-hallissa ja Pajulahti-hallin kiinteistöpäällikkö Esko Ihamäen
mukaan vuonna 2010 käyttöön otetussa Pajulahti-hallissa.

Botniahallissa sisäänkäynti on erotettu muusta hallista erillisenä siipenä. Tässä sii-
vessä katto on alempana kuin halliosassa. Sisäänkäynnin katto vaatii lumen poista-
mista katolta runsaslumisina talvina, katon räystääsalueille kertyy myös jäätä. Sisään-
käynnin katon ja halliosan liittymä vuotaa vettä sisään. /3/

Savunpoistoluukkujen tiiveydessä on ongelmia Kuopio-hallissa, Impivaaran jalkapal-
lohallissa ja Adidas hallissa. Savunpoistoluukuista pääsee vettä yläpohjarakenteisiin
ja vaarana on rakenteen turmeltuminen. /4/ Koska savunpoistoluukut eivät ole tiiviit,
luukuista tapahtuu ilmavuotoa hallista ulkoilmaan tai toisin päin hallin paine-erojen
vaikutuksesta.

3 YLÄPOHJARAKENTEEN ONGELMAT KUOPIO-HALLISSA

3.1 Lumi ja jää

Kuopio-hallissa muodostuu jäätä rakennuksen räystääsalueille. Jäätä muodostuu etenkin hallin tasoerojen kohdalle (kuva 12). Jään paksuus vaihtelee olosuhteesta riippuen. Jää aiheuttaa suuren kuormituksen yläpohjan rakenteille, etenkin kumibitu-mikermikatteelle. Lisäksi lumi ja jää uhkaa ihmisten turvallisuutta pudotessaan katolta maahan. Hallin katolla ei ole lumiesteitä lainkaan ja liikkumista vaara-alueella ei ole rajoitettu esimerkiksi aitaamalla. Mikäli jään paksuus on esim. 0,3 m noin 5 m:n matkalla, muodostuu räystääsalueella noin 2,7 kN / m² suuruinen jään aiheuttama lisäkuorma. Suunnitelmissa hallin muodon aiheuttamat lisälumikuormat on otettu huomioon, mutta jään aiheuttamaa lisäkuormaa ei ole huomioitu.



Kuva 12. Lunta ja jäätä kertyy runsaasti tasoerojen kohdalle. Kuva Kuopion kaupunki, Tilakeskus

Lunta joudutaan poistamaan katolta runsaslumisina talvina. Lumityökustannukset Kuopio-hallin tontilla talvelta 2010 - 2011 olivat 80 109 euroa. /11/ Summa sisältää lumenkaatopaikkamaksun, kuljetukset, konetyönöt, käsilumityöt ja nostin kulut. Suu-

rin osa kustannuksista muodostuu katolta pudotettavasta lumesta. Kustannus on merkittävä.

Muutamana viime talvena lumenpudotuskustannukset ovat nousseet yhdeksi taloyhtiöiden merkittävimmistä kiinteistönhoito ja kunnossapito kustannuksista. Järkevillä rakenneratkaisuilla pystytään hallitsemaan lumen aiheuttama lisärasite rakennuksille ja niitä käyttäville ihmisille. Tämä edellyttää suunnitteluyhteistyötä kaikkien rakentamisessa tai rakennuksen korjauksessa mukana olevien osapuolten välillä. Lumenpudotuskustannuksia ei voi jättää huomioimatta myöskään Kuopio-hallin korjausta suunniteltaessa.

3.2 Yläpohja

Yläpohjarakenne on huonosti tuulettuva. Ilma liikkuu tuuletusurissa lämpötilan ja paine-erojen vaikutuksesta. Räystäsrakenteessa (kuva 10) ilmalla on reitti lämmöneristeen uritukseen, jossa ilma liikkuu harjalle, siitä kokoojakanavaan ja edelleen ulkoilmaan harjalla olevista alipainetuulettimista. Kuopio-hallin yläpohjan muotoa voidaan ajatella lentokoneen siipenä. Tuulisella ilmalla rakennuksen muoto ohjaa tuulta räystäältä harjan yli, harjalle muodostuu noste. Näin ollen tuuletuskanavistoon muodostuu alipaine harjan ja räystään välille. Rakenteen on tarkoitus toimia siten, että eristetilassa olevaa kosteutta siirretään ulkoilmaan tuuletusurissa käyvän ilmavirran mukana. Tällaisen rakenteen tarkoitus ei ole tuulettaa yläpohjaa.

Täysin tyynellä kelillä ratkaisu perustuu termisiin paine-eroihin. Lämmin ilma on kevyempää kuin viileä ilma. Lämmin ilma nousee ylös eli urassa kulkeva ilma lämmitessään liikkuu kohti harjaa, josta se pääsee kokoojakanavan kautta ulkoilmaan. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy kuljettamaan kosteutta urassa. Rakenteen rakennusfysikaaliseen toimivuuteen vaikuttaa vuodenaika, lämpötila, suhteellinen kosteus, rakenteen suunnittelu ja toteutus. Rakenteen kuivuminen tapahtuu suurimmalta osin kesäkuukausina.

Kuopio-hallin yläpohjassa käytetty rakenne on tarkoitettu tasakattoiseen rakennukseen, jossa vedenpoisto on sisäpuoleinen, eli sadevesiviemärit johdetaan lämpimän sisätilan kautta. Kuopio-hallissa yläpohjan muoto on kaareva ja vedenpoisto on ulkopuolinen.

Räystäältä tuuletusuraan tuleva ilma on kylmää. Ilma lämpenee noustessaan tuuletusurassa kohti harjaa. Yläpohjan lämpötila harja-alueella on lämpimämpi kuin räys-

täsalueella. Lumi alkaa sulaa ja valuvan veden saavuttaessa räystääsalueen nollan alapuolella olevan lämpötilan, vesi jäätyy polanteeksi. Lumen sulamista harja-alueella kiihdyttää paksu lumikerros ja yläpohjan lämpövuodot.



Kuva 13. Kermit, uritettueriste ja höyrynsulku *Euratex AL*. Kuva Antti Bäck

Sisäpuolisen kosteuden siirtyminen rakenteeseen tulisi tehokkaasti estää. Näin ollen höyrynsulun ja sen liittymien tiiveys on erittäin tärkeää. Mikäli höyrynsulku ei ole tiivis, tuuletuksen tehostaminen aiheuttaa sisäpuolisen kosteuden siirtymisen eristeeseen ja vaarana on rakenteen vaurioituminen. Kuopio-hallissa kantavana rakenteena on teräsohutpöimulevy. Ilmatiiveyden saavuttaminen on haastavaa, koska höyrynsulku *Euratex-AL* on asennettu teräsohutpöimulevyn päälle ilman taustatukea (kuva 4). Katteen rakennusvaiheessa höyrynsulun päällä kävellään. Kun toteutusaikana astutaan pöimulevyn pohjan kohtaan, höyrynsulku jää pussille ja höyrynsulun limitykset irtoavat toisistaan. Tämän seurauksena rakenteen höyryntiiveys heikkenee oleellisesti. Rakentamisvaiheessa lämmöneristeen urien on satuttava täysin vastakkain, eikä uriin saa joutua rakenteen toteutus aikana rakennusjätettä tai muuta sinne kuulumatonta. Muutoin ilma ei liiku eristekerroksessa vähäisestikään.

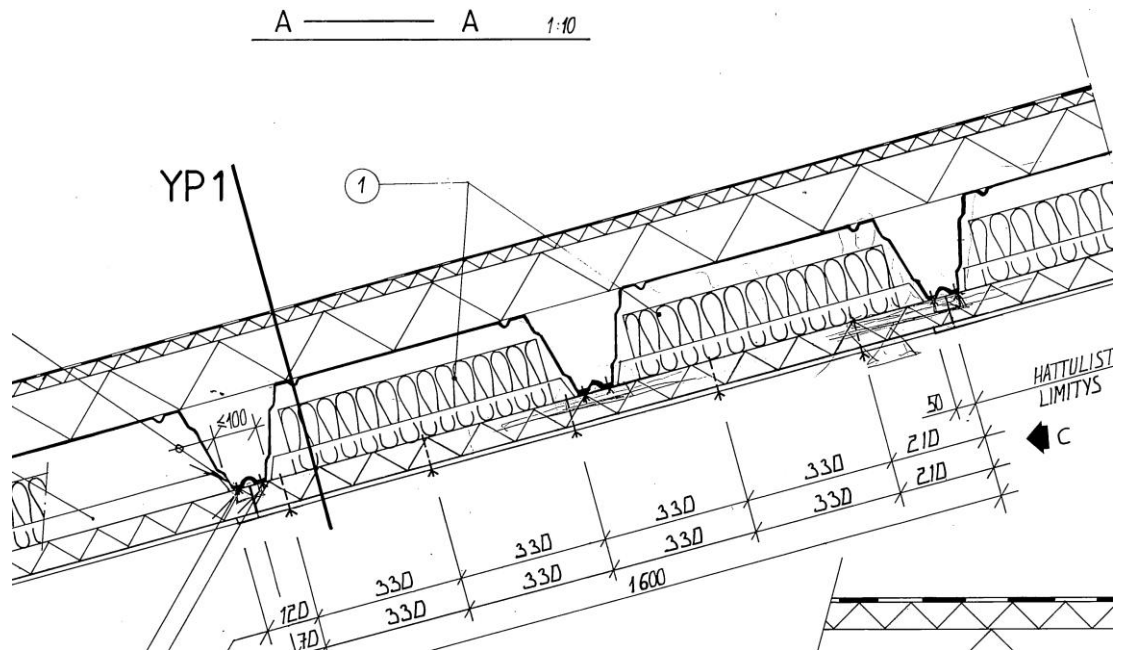
Kuopio-hallissa välimatka räystäältä harjalle on pitkä ja tuuletuskanavan karkeasta pintarakenteesta aiheutuva kitka hidastaa ilman liikettä. Harjalla on rakennuksen pituus suuntainen kokoojakanava, johon on asennettu alipainetuulettimet noin 8 m välein. Alipainetuulettimet ovat halkaisijaltaan 110 mm. Alipainetuulettimissa tapahtuvaa ilman liikettä ei voi havaita aistinvaraisesti eli esimerkiksi vedon tunteena iholla. Tämä on yleistä huonosti tuulettuvissa katoissa. Paikoin kokoojakanavien kohdalla vesikatton kermi on painunut montulle, näin ollen kanavan tilavuus pienenee entisestään. Uritetulla rakenteella suositeltu kokoon puristuma on korkeintaan 10% eristeen pak-suudesta. /10/

Harjalla olevat tuuletushormit nousevat kermin pinnasta noin 400 mm. Talvella kinosuva lumi tukkii tuuletushormit. Tästä johtuen talvisin tuuletuskanavissa ilmamäärä tuuletusurissa vähenee oleellisesti.

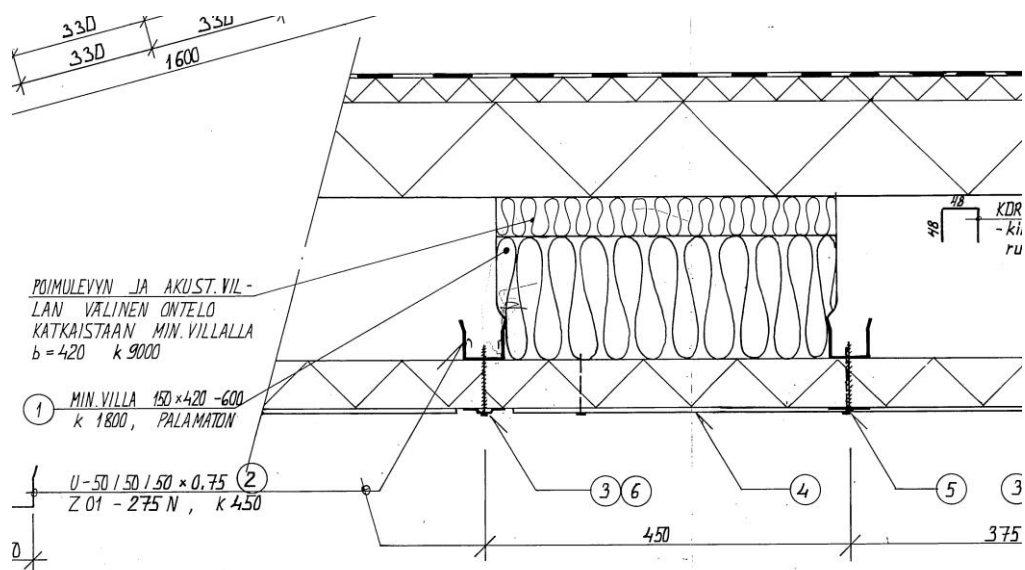
Hallihenkilökunnan mukaan katto on vuotanut useammasta kohdasta. Vuotokohta ei välttämättä ole kohta, josta vettä tulee sisään. Kaareva muoto saa veden liikkumaan yläpohjassa ja vuoto näkyy paikasta, josta vesi pääsee höyrynsulun ja kantavan teräsohutprofiilin läpi. Vuodon sattuessa on mahdollista, että yläpohjan eristeet ovat kastuneet laajaltakin alueelta. Eriste on huonosti tuulettuvassa kerroksessa, joten sen kuivuminen tapahtuu hitaasti.

3.2.1 Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu käsinlaskentana

Rakennepiirustusten mukaan kaarevien teräsristikoiden kohdalla kantavan poimulevyn poimujen väliin on asennettu palokatkoiksi palamatonta mineraalivillaa (kuvat 14 ja 15). Höyrynsulku jää kahden eristekerroksen väliin. Riskinä on, että tietyissä olosuhteissa vettä tiivistyy rakennekerroksiin. Rakenteen kosteuskäyttäytymistä on tarkasteltu käsin laskentana.



Kuva 14. Poimulevyn alle on asennettu palokatkoiksi palamatonta mineraalivillaa. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta



Kuva 15. Palokatko. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

Taulukko 1. 5.4.2011 mitatut arvot Kuopio-hallissa

Kuopio-hallin sisäilman suhteellisenkosteuden mittaus. Ilmanvaihto hallissa normaali. pvm. 5.4.2011 mittari: Vaisala mittaaja: Petteri Kuokkanen				
mittauspiste	RH (%)	lämpötila (°C)	kastepiste (°C)	ilman vesimäärä (g/m ³)
1	30,7	18,9	1,2	5,0
2	30,1	19,3	1,3	5,0
3 harjalta	29,4	19,6	1,1	4,9
ulkoilma	51,6	6,2	-3,0	3,8

Käytetään laskennassa sisätilan suhteellisenä kosteutena 30 % ja lämpötilana +19 °C. Ulkoilman suhteellinen kosteus on laskennassa 52 % ja lämpötila +6 °C. Rakenne lasketaan rakennetyypin YP1 (kuva 4.) mukaisen rakenteen mukaan siten, että rakenteessa on mukana palokatko.

Rakennekerros:

1. kaksinkertainen kumibitumikermi, käytetään laskennassa *TL2 (K-MS 170/3000)*
2. 20 mm lämmöneriste, *KKL*
3. 150 mm lämmöneriste, *AKLU*
4. 0,2 mm höyrynsulku, *Euratex-AI*
5. Teräsohutlevyprofiili, käytetään profiilin t:nä 1,0 mm
6. 200 mm palamaton mineraalivilla
7. 50 mm akustinen mineraalivilla

Lasketaan lämmönvastukset

$$R = \frac{d}{\lambda_n}, \text{ jossa} \quad (3.2.1.1)$$

d = kerroksen paksuus (m)

$$\lambda_n = \text{kerroksen lämmönjohtavuus} \left(\frac{W}{mK} \right)$$

lämmönjohtavuudet

$$\text{kerros 1.: } \lambda_n = 0,13 \left(\frac{W}{mK} \right) /13/$$

$$\text{kerros 2.: } \lambda_d = 0,041 \left(\frac{W}{mK} \right) /16/$$

$$\text{kerros 3.: } \lambda_d = 0,041 \left(\frac{W}{mK} \right) /16/$$

$$\text{kerros 5.: } \lambda_n = 45 \left(\frac{W}{mK} \right) /17/$$

$$\text{kerros 6.: } \lambda_d = 0,041 \left(\frac{W}{mK} \right) /16/$$

$$\text{kerros 7.: } \lambda_n = 0,055 \left(\frac{W}{mK} \right) /13/$$

lämmönvastukset

$$\text{pintavastus: } R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W} /14/$$

$$\text{kerros 1.: } R_1 = \frac{0,008 m}{0,13 \frac{W}{mK}} = 0,061538462 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 2.: } R_2 = \frac{0,02 m}{0,041 \frac{W}{mK}} = 0,487804878 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 3.: } R_3 = \frac{0,15 m}{0,041 \frac{W}{mK}} = 3,658536585 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{höyrinsulku, kerros 4.: } R_4 = 0,02 \frac{m^2K}{W} /15/$$

$$\text{kerros 5.: } R_5 = \frac{0,001 m}{45 \frac{W}{mK}} = 0,00002222 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 6.: } R_6 = \frac{0,2 m}{0,041 \frac{W}{mK}} = 4,87804878 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 7.: } R_7 = \frac{0,05 \text{ m}}{0,055 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,90909090 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{pintavastus: } R_{si} = 0,1 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} /14/$$

$$\sum R = 10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Lämpötilan muutos/kerros

$$T_i = \frac{R_i}{\sum R} \Delta T \quad (3.2.1.2)$$

$$\Delta T = 19^\circ\text{C} - (+6^\circ\text{C}) = 13^\circ\text{C}$$

ulkoilma: $+6^\circ\text{C}$

$$T_{R_{se}}: \frac{0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 13^\circ\text{C} = 0,051206091 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_{R_1}: \frac{0,061538462 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 13^\circ\text{C} = 0,078778602 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_{R_2}: \frac{0,487804878 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 13^\circ\text{C} = 0,624464529 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_3: \frac{3,658536585 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 13^\circ\text{C} = 4,683483965 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_4: \frac{0,02 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{10,15504184 \dots \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 13^\circ\text{C} = 0,025603046 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_5: \frac{0,00002222 \dots \frac{m^2K}{W}}{10,15504184 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 13^\circ C = 0,00002844 \dots ^\circ C$$

$$T_6: \frac{4,87804878 \dots \frac{m^2K}{W}}{10,15504184 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 13^\circ C = 6,244645287 \dots ^\circ C$$

$$T_7: \frac{0,90909090 \dots \frac{m^2K}{W}}{10,15504184 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 13^\circ C = 1,163774804 \dots ^\circ C$$

$$T_{R_{st}}: \frac{0,1 \dots \frac{m^2K}{W}}{10,15504184 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 13^\circ C = 0,128015228 \dots ^\circ C$$

Lämpötilat kerroksittain

ulkoilma: $+6^\circ C$

ulkopinta: $(6 + 0,051206091 \dots)^\circ C = 6,051206091 \dots ^\circ C$

kerros 1.: $(6,051206091 + 0,078778602 \dots)^\circ C = 6,129984693 \dots ^\circ C$

kerros 2.: $(6,129984693 + 0,624464529 \dots)^\circ C = 6,754449222 \dots ^\circ C$

kerros 3.: $(6,754449222 + 4,683483965 \dots)^\circ C = 11,43793319 \dots ^\circ C$

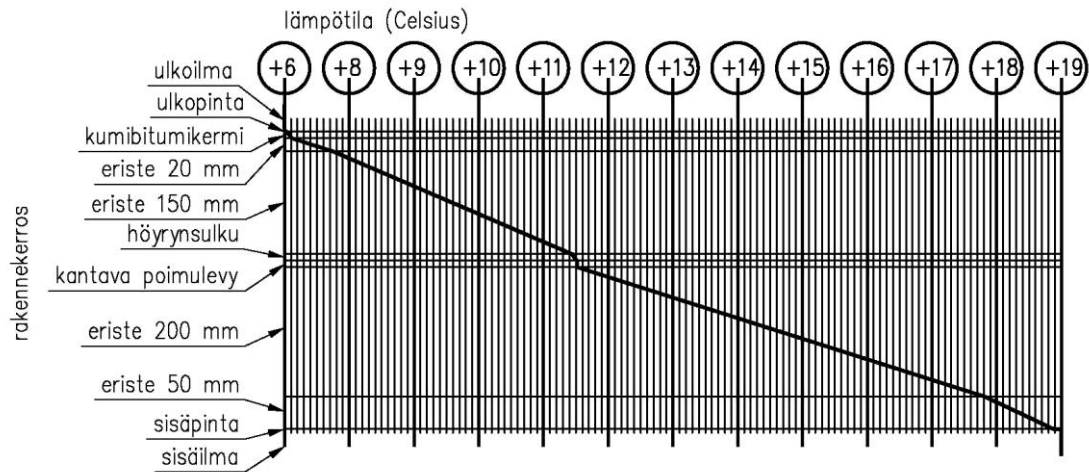
kerros 4.: $(11,43793319 + 0,025603046 \dots)^\circ C = 11,46353623 \dots ^\circ C$

kerros 5.: $(11,46353623 + 0,00002844 \dots)^\circ C = 11,46356468 \dots ^\circ C$

kerros 6.: $(11,46356468 + 6,244645287 \dots)^\circ C = 17,70820997 \dots ^\circ C$

kerros 7.: $(17,70820997 + 1,163774804 \dots)^\circ C = 18,87198477 \dots ^\circ C$

sisäpinta: $(18,87198477 + 0,128015228 \dots)^\circ C = 19^\circ C$



Kuvio 16. Lämpötilan muutos kerroksessa. Kuvio Petteri Kuokkanen

Vesihöyryn kyllästyspainet lasketaan interpoloimalla taulukosta /2/

$$\text{ulkoilma: } +6^{\circ}\text{C} \rightarrow p_{vk} = 941 \text{ Pa}$$

$$\text{ulkopinta: } 6,051206091 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1008 - 941) \text{ Pa} \cdot 0,051206091 \dots] + 941 \text{ Pa} = 944,4308 \dots \approx 944 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 1.: } 6,129984693 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1008 - 941) \text{ Pa} \cdot 0,129984693 \dots] + 941 \text{ Pa} = 949,7089 \dots \approx 950 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 2.: } 6,754449222 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1008 - 941) \text{ Pa} \cdot 0,754449222 \dots] + 941 \text{ Pa} = 991,5480 \dots \approx 992 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 3.: } 11,43793319 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1408 - 1318) \text{ Pa} \cdot 0,43793319 \dots] + 1318 \text{ Pa} = 1357,4139 \dots \approx 1357 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 4.: } 11,46353623 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1408 - 1318) \text{ Pa} \cdot 0,46353623 \dots] + 1318 \text{ Pa} = 1359,7182 \dots \approx 1360 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 5.: } 11,46356468 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(1408 - 1318) \text{ Pa} \cdot 0,46356468 \dots] + 1318 \text{ Pa} = 1359,7208 \dots \approx 1360 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 6.: } 17,70820997 \dots^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow p_{vk} = [(2064 - 1939) \text{ Pa} \cdot 0,70820997 \dots] + 1939 \text{ Pa} = 2027,5262 \dots \approx 2028 \text{ Pa}$$

kerros 7.: 18,87198477 ... °C

$$\rightarrow p_{vk} = [(2197 - 2064) \text{ Pa} \cdot 0,87198477 \dots] + 2064 \text{ Pa} = 2179,9739 \dots \approx 2180 \text{ Pa}$$

sisäpinta: +19°C $\rightarrow p_{vk} = 2197 \text{ Pa}$

Lasketaan vesihöyrynvastukset

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p}, \text{ jossa} \quad (3.2.1.3)$$

$d = \text{kerroksen paksuus (m)}$

$\delta_p = \text{kerroksen vesihöyrynläpäisevyys} \left(\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right)$

vesihöyrynläpäisevyudet

$$\text{kerros 2.: } \delta_p = 1,05 \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right) / \mathbf{18/}$$

$$\text{kerros 3.: } \delta_p = 1,05 \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right) / \mathbf{18/}$$

$$\text{kerros 6.: } \delta_p = 1,05 \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right) / \mathbf{18/}$$

$$\text{kerros 7.: } \delta_p = 1,05 \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right) / \mathbf{18/}$$

vesihöyrynvastukset

$$\text{kerros 1.: } Z_{p1} = 1000 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}} / \mathbf{19/}$$

$$\text{kerros 2.: } Z_{p2} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,05 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}} = 0,1904761905 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}$$

$$\text{kerros 3.: } Z_{p3} = \frac{0,15 \text{ m}}{1,05 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}} = 1,428571429 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}$$

$$\text{kerros 4.: } Z_{p4} = 5000 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}} / \mathbf{20/}$$

kerros 5.: ei huomioida laskennassa, ks kohta 3.2.2

$$\text{kerros 6.: } Z_{p6} = \frac{0,2 \text{ m}}{1,05 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}} = 1,904761905 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}$$

$$\text{kerros 7.: } Z_{p7} = \frac{0,05 \text{ m}}{1,05 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}} = 0,4761904762 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}$$

$$\sum Z_p = 6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}$$

Lasketaan sisäilman ja ulkoilman vesihöyryn osapaineet

$$\text{sisäilma: } \frac{RH}{100\%} \cdot p_{vk} = \frac{30\%}{100\%} \cdot 2197 \text{ Pa} = 659,1 \text{ Pa}$$

$$\text{ulkoilma: } \frac{RH}{100\%} \cdot p_{vk} = \frac{52\%}{100\%} \cdot 941 \text{ Pa} = 489,32 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 659,1 \text{ Pa} - 489,32 \text{ Pa} = 169,78 \text{ Pa}$$

Lasketaan vesihöyryn osapaineen muutos kerroksittain

$$\Delta P_i = \frac{Z_{pi}}{\sum Z_p} \cdot \Delta P \quad (3.2.1.4)$$

$$\Delta P_{\text{kerros1}} = \frac{1000 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 28,277814 \dots \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{kerros2}} = \frac{0,1904761905 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 0,00538625 \dots \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{kerros3}} = \frac{1,428571429 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 0,040396878 \dots \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{kerros4}} = \frac{5000 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 141,3890739 \dots \text{Pa}$$

kerros 5.: ei huomioida laskennassa, ks kohta 3.2.2

$$\Delta P_{\text{kerros6}} = \frac{1,904761905 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 0,053862504 \dots \text{Pa}$$

$$\Delta P_{\text{kerros7}} = \frac{0,4761904762 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}}{6004 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{sPa}}{\text{kg}}} \cdot 169,78 \text{ Pa} = 0,013465626 \dots \text{Pa}$$

Lasketaan vallitseva paine kerroksessa

$$\text{ulkoilma: } p_{v,\text{ulkoilma}} = 489,32 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 1.: } p_{v,1} = 489,32 \text{ Pa} + 28,277814 \dots \text{Pa} = 517,597814 \dots \text{Pa} \approx 518 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 2.: } p_{v,2} = 517,597814 \dots \text{Pa} + 0,00538625 \dots \text{Pa} = 517,603201 \dots \text{Pa} \approx 518 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 3.: } p_{v,3} = 517,603201 \dots \text{Pa} + 0,040396878 \dots \text{Pa} = 517,643597 \dots \text{Pa} \approx 518 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 4.: } p_{v,4} = 517,643597 \dots \text{Pa} + 141,3890739 \dots \text{Pa} = 659,032671 \dots \text{Pa} \approx 659 \text{ Pa}$$

kerros 5.: ei huomioida laskennassa, ks kohta 3.2.2

$$\text{kerros 6.: } p_{v,6} = 659,032671 \dots \text{Pa} + 0,053862504 \dots \text{Pa} = 659,086534 \dots \text{Pa} \approx 659 \text{ Pa}$$

$$\text{kerros 7.: } p_{v,7} = 659,086534 \dots \text{Pa} + 0,013465626 \dots \text{Pa} = 659,0999 \dots \text{Pa} \approx 659,1 \text{ Pa}$$

Kyllästyspaineet lämpötilan mukaan ja rakenteessa vallitsevat paineet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kyllästyspaineet ja vallitsevat paineet

rakennekerros:	kyllästyspaine (Pa)	vallitseva paine (Pa)
ulkoilma	941	489,32
ulkopinta	944	
kerros 1.	950	518
kerros 2.	992	518
kerros 3.	1357	518
kerros 4.	1360	659
kerros 5.	1360	659
kerros 6.	2028	659
kerros 7.	2180	659,1
sisäpinta	2197	
sisäilma	2197	

Kyllästyspaine on jokaisessa kerroksen rajapinnassa suurempi kuin vallitseva paine. Näin ollen vesihöyry ei tiivisty vedeksi missään kohtaa rakenteessa.

Kun olosuhteissa tapahtuu muutos, myös rakenteen rakennusfysikaalinen käyttäytyminen muuttuu. *Liitteissä 1 ja 2* on tarkasteltu rakennetta talvisissa olosuhteissa.

Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus vaikuttavat merkittävästi rakenteen kosteuskäyttäytymiseen. *Liitteessä 1* on tarkasteltu samaa rakennetta Excel-taulukkolaskentaohjelmalla siten, että ulkoilma on -20 °C suhteellisen kosteuden ollessa 90 %. Laskennassa sisäilma on $+20\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus 30 %. Tulokseksi saadaan, että kosteutta tiivistyy vedeksi kerroksissa 1,2, ja 4. Kerroksien 1 ja 2, eli kermiin ja *KKL* eristeeseen tiivistyvä kosteus on vähäisempää, kuin kerrokseen 4, eli höyrynsulun pintaan. Kerroksien 1 ja 2 tilannetta helpottaa tuuletusurien kuivattava vaikutus, jota laskennassa ei ole huomioitu.

Palokatkon kohdalla höyrynsulun pintaan kosteutta tiivistyy *liitteessä 1* esitetyissä olosuhteissa varmasti (sivuilla 29 ja 30 olevan laskelman mukaan 14 vuorokaudessa 107 g / m^2). Rakenne on rakennusfysikaalisesti toimimaton. Höyrynsulku jää kahden eristekerroksen väliin palokatkona käytetyn mineraalivillan vuoksi. Tiivistyvän kosteuden määrä ei kuitenkaan ole hälyttävä ottaen huomioon, ettei palokatko aluetta ole koko yläpohjan alueella. Laskenta on suoritettu ääriolosuhteessa. Todellisuudessa olosuhde voi vaihdella kahdessa viikossa paljonkin.

Liitteessä 2 on tarkasteltu rakennetta, jossa palokatkoa ei ole. Olosuhteena on käytetty vastaavaa kuin *liitteessä 1*. Laskelmasta huomataan, että tiivistymistä tapahtuu kerroksissa 1 ja 2, mutta ei höyrynsulun pintaan. Kerroksien 1 ja 2 tilannetta parantaa

tuuletusurat. *Liitteessä 2* tarkasteltu rakennetyyppi on vallitseva Kuopio-hallin yläpohjassa.

Lasketaan palokatkon kohdalta koko yläpohjarakenteen läpi virtaava kosteus kahden viikon aikana *liitteessä 1* käytetyillä arvoilla, oletetaan olosuhteen pysyvän samana.

$$g = \frac{\Delta p}{\sum Z_p \frac{m^2 s Pa}{kg}} \quad (3.2.1.5)$$

$$g = \frac{609,3 Pa}{6004 \cdot 10^9 \frac{m^2 s Pa}{kg}} = 1,01482345 \dots \cdot 10^{-10} \frac{kg}{m^2 s}$$

kahdessa viikossa

$$14 \text{ vrk} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} \cdot 1,01482345 \dots \cdot 10^{-10} \dots \frac{kg}{m^2 s} = 1,227530446 \dots \cdot 10^{-4} \frac{kg}{m^2}$$

$$eli \approx 0,12 \frac{g}{m^2}$$

Lasketaan palokatkon kohdalta höyrynsulun pintaan tiivistyvän kosteuden määrä kahden viikon aikana *liitteessä 1* käytetyillä arvoilla, oletetaan olosuhteen pysyvän samana.

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}, \text{ jossa} \quad (3.2.1.6)$$

p_s = sisäpinnan vallitseva paine (Pa)

$p_B = p_A$ = kyllästyspaine (Pa)

p_u = ulkopinnan vallitseva paine (Pa)

Z_B = vesihöyrynvastukset sisäpinnasta höyrynsulkuun $\left(\frac{m^2 s Pa}{kg} \right)$

Z_A = vesihöyrynvastukset höyrynsulusta ulkopintaan $\left(\frac{m^2 s Pa}{kg} \right)$

$$g = \frac{701,1 Pa - 491,2 Pa}{(0,4761904762 \cdot 10^9 + 1,904761905 \cdot 10^9)} - \frac{491,2 Pa - 98,1 Pa}{5000 \cdot 10^9 + 1,428571429 \cdot 10^9 + 0,1904761905 \cdot 10^9 + 1000 \cdot 10^9}$$

$$= 8,8157999999 \dots \cdot 10^{-8} \frac{kg}{m^2 s} - 6,549899233 \dots \cdot 10^{-11} \frac{kg}{m^2 s}$$

$$= 8,80925010 \dots \cdot 10^{-8} \frac{kg}{m^2s}$$

kahdessa viikossa vettä tiivistyy

$$14 \text{ vrk} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} \cdot 8,80925010 \dots \cdot 10^{-8} \frac{kg}{m^2s} = 0,1065566 \dots \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{eli} \approx 107 \frac{g}{m^2}$$

Tarkastellaan lumikerroksen vaikutusta yläpohjan lämpötilajakaumaan. Luodaan keväinen olosuhde, jossa ulkolämpötila on -3° . Laskennassa käytetään hallin sisälämpötilana $+19^\circ$. Käytetään laskennassa rakennetyyppiä, jossa palokatkoa ei ole mukana eli rakennetyyppi on vallitseva Kuopio-hallin yläpohjassa.

Lasketaan lämmönvastukset

$$R = \frac{d}{\lambda_n}, \text{ jossa} \quad (3.2.1.1)$$

d = kerroksen paksuus (m)

λ_n = kerroksen lämmönjohtavuus $\left(\frac{W}{mK}\right)$

Käytetään sivulla 21 esitettyjä lämmönjohtavuuksia. Lumikerroksen lämmönjohtavuus $0,12 \text{ W/(mK)}$. /13/ Lumikerros ajatellaan rakennekerroksena, joten pintavastusta R_{se} käytetään normaalisti. Kuopio-hallin arvioitu lumikerroksen paksuus tasaisella katon osuudella on noin 1 metri. Tasoerojen kohdalla lunta on kinostuman vuoksi enemmän.

$$\text{pintavastus: } R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W} /14/$$

$$\text{kerros, lumi.: } R_l = \frac{1 \text{ m}}{0,12 \frac{W}{mK}} = 8,3333333 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 1.: } R_1 = \frac{0,008 \text{ m}}{0,13 \frac{W}{mK}} = 0,061538462 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 2.: } R_2 = \frac{0,02 \text{ m}}{0,041 \frac{W}{mK}} = 0,487804878 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{kerros 3.: } R_3 = \frac{0,15 \text{ m}}{0,041 \frac{W}{mK}} = 3,658536585 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{höyrynsulku, kerros 4.: } R_4 = 0,02 \frac{m^2K}{W} /15/$$

$$\text{kerros 5.: } R_5 = \frac{0,001 \text{ m}}{45 \frac{W}{mK}} = 0,00002222 \dots \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{pintavastus: } R_{si} = 0,1 \frac{m^2K}{W} /14/$$

$$\sum R = 12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}$$

Lämpötilan muutos/kerros

$$T_i = \frac{R_i}{\sum R} \Delta T \quad (3.2.1.2)$$

$$\Delta T = 19^\circ\text{C} - (-3^\circ\text{C}) = 22^\circ\text{C}$$

ulkoilma: -3°C

$$T_{R_{se}}: \frac{0,04 \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ\text{C} = 0,069284598 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_{R_{lumi}}: \frac{7,69230769 \dots \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ\text{C} = 14,43429134 \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_{R_1}: \frac{0,061538462 \dots \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 0,10659169 \dots ^\circ C$$

$$T_{R_2}: \frac{0,487804878 \dots \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 0,844934127 \dots ^\circ C$$

$$T_3: \frac{3,658536585 \dots \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 6,337005955 \dots ^\circ C$$

$$T_4: \frac{0,02 \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 0,034642299 \dots ^\circ C$$

$$T_5: \frac{0,00002222 \dots \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 0,00003491 \dots ^\circ C$$

$$T_{R_{st}}: \frac{0,1 \frac{m^2K}{W}}{12,70123548 \dots \frac{m^2K}{W}} \cdot 22^\circ C = 0,173211496 \dots ^\circ C$$

Lämpötilat kerroksittain

ulkoilma: $-3^\circ C$

ulkopinta: $((-3) + 0,069284598 \dots)^\circ C = -2,930715402 \dots ^\circ C$

lumi: $((-2,930715402) + 14,43429134 \dots)^\circ C = 11,50357594 \dots ^\circ C$

kerros 1.: $(11,50357594 + 0,10659169 \dots)^\circ C = 11,61016763 \dots ^\circ C$

kerros 2.: $(11,61016763 + 0,844934127 \dots)^\circ C = 12,45510176 \dots ^\circ C$

kerros 3.: $(12,45510176 + 6,337005955 \dots)^\circ C = 18,79210771 \dots ^\circ C$

kerros 4.: $(18,79210771 + 0,034642299 \dots)^\circ C = 18,82675001 \dots ^\circ C$

kerros 5.: $(18,82675001 + 0,00003491 \dots)^\circ\text{C} = 18,8267885 \dots^\circ\text{C}$

sisäpinta: $(18,8267885 + 0,173211496 \dots)^\circ\text{C} = 19^\circ\text{C}$

Lumikerroksen ja kermin välisessä rajapinnassa lämpötila on $+11,5^\circ\text{C}$. Eli lumen sulaminen on voimakasta. *Liitteessä 3* on tarkasteltu samaa rakennetta samoissa olosuhteissa, mutta lumikerroksen paksuutena on käytetty 200 mm. Tuolloinkin lumikerroksen ja kermin välisen rajapinnan lämpötila on $+3,2^\circ\text{C}$, eli lumen sulamista tapahtuu. Lumen eristävä vaikutus on merkittävä. Laskelmassa on huomioitava, ettei urissa kulkevan ilman jäähdyttävää vaikutusta ole otettu huomioon, vaikka jäähdyttävä vaikutus on olematon ottaen huomioon suuret jäämassat Kuopio-hallin katolla talvisin.

Siven Uvslokkin (2011) tutkimuksessa *Drying out capacity and snow melting risk for ventilated wooden roofs – a parameter study* otetaan kantaa jään syntymiseen puurunkoiselle tuuletetulle tiilikatolle. Tutkimuksen mukaan $1,4$ asteen kulmassa olevalle 20 m pitkälle tiilikatolle, jonka tuuletusrako on tehty koolaamalla ristiin 36 mm puutavara, eriste paksuuden ollessa 300 mm, muodostuu noin 250 kg/m jäätä kuukaudessa. Tuulenoisuus on 1 m/s, ulkoilma lämpötila -2°C ja lunta on katolla 0,5 m. /21/ Jään muodostuminen on erittäin voimakasta, vaikka rakenteessa on tuuletusrako. Huomioitavaa tutkimuksessa on olosuhteen kesto. Olosuhde tuskin pysyy kuukautta samana. Ottaen huomioon, että Kuopio-hallin yläpohja on heikommin tuuletettu, jään muodostuminen on vieläkin voimakkaampaa.

Kokemuksien ja laskelmien perusteella voidaan todeta, että tietyissä olosuhteissa tietyntyyppisillä katoilla jään muodostumista ei voida estää. Kuopio-hallin nykyinen kattorakenne kuuluu kattoihin, joille jäätä muodostuu tietyissä olosuhteissa väistämättä.

3.2.2 Käsinlaskennan tulkinta

Rakenteiden rakennusfysikaalinen tarkastelu käsinlaskennalla tai laskentaohjelmilla on teoriaan pohjautuvaa. Todellisuudessa rakenteen rakennusfysikaaliseen käyttäytymiseen vaikuttaa paitsi materiaali myös rakenteen toteutus tapa. Mikäli esimerkiksi rakennusvaiheessa höyrynsulkujen saumat on limitetty siten, että niistä pääsee ilmaa vuotamaan, ei laskennasta saatu tulos pidä täysin paikkaansa. Kuopio-hallin yläpohjan tutkimuksissa on selvinnyt rakennusvirhe katteen kermien asennuksessa (sivu 36

ja 37). Näin ollen kermin vesihöyryn vastusta on mahdoton määrittellä tarkasti. Laskelmien tulokset ovat suuntaa antavia.

Rakennetyypin eristekerroksessa olevien tuuletusurien tarkoitus on poistaa rakenteesta kosteutta. Urissa kulkevan ilman kosteutta poistavaa vaikutusta ei ole huomioitu kosteuskäyttäytymistä laskettaessa. Urat parantavat rakenteen rakennusfysikaalista toimivuutta. Myöskään kantavan poimulevyn vaikutusta vesihöyryn vastuksissa ei ole huomioitu, koska poimulevyn asennustarkkuus ja kiinnikkeiden määrä vaikuttavat vesihöyrynvastukseen. Poimulevyjen valmistajat eivät anna vesihöyrynvastuksia tuotteilleen samasta syystä. Tuloksien tulkinnassa kannattaa keskittyä höyrynsulun toimivuuteen rakenteessa.

3.3 Vesikatto

Katolla olevien savunpoistoluukkujen liittymä kermiin on liian matala kuvan 18 mukaan. Kermin ylösnosto on 100-200 mm, kun sen tulisi olla ≥ 300 mm. Savunpoistoluukkujen vedenpoisto on hoidettu savunpoistoluukun päällä menevällä vesikourulla. Kourujen maalipinta on lohkeillut ja kouruihin on kertynyt ruostetta ja roskaa kuvan 19 mukaan. On mahdollista, että sateella savunpoistoluukkujen vesikourut täyttyvät ja vettä tulvii luukuista halliin. Savunpoistoluukkujen alareunojen vastapellitys on väärin päin kuvan 20 mukaan. Vettä voi päästä rakenteeseen pellitysten saumoista.



Kuva 17. Alipainetuulettimet ja savunpoistoluukut. Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 18. Savunpoistoluukun kermin ylösnosto on liian matala. Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 19. Savunpoistoluukun vedenpoistokouru on ruostunut ja se kerää roskaa. Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 20. Savunpoistoluukun alareunan vastapellitys on väärin päin. Kuva Petteri Kuokkanen

Kermien limitykset ovat heikosti kiinni toisissaan kuvan 21 mukaan. Rakennusvaiheessa kermit hitsataan saumoista toisiinsa kiinni. Kuopio-hallin katossa alla olevassa kermissä ei ole sauman kohdalla sirotteetonta osaa tai alimmainen kermit on kokonaan sirotteellinen. Näin ollen alimmaisen kermin sirote jää päällimmäiseksi tulevan kermin alapintaan kiinni, eivätkä kermien saumat hitsaannu toisiinsa tarpeeksi lujasti. Pintakermit irtoavat alustastaan käsin vetäisemällä. Katto on pesty painepesurilla vuosien 2006-2009 välisenä aikana. Kermien hitsisaumoja on saattanut aueta katon pesun yhteydessä.



Kuva 21. Kermi irttavat saumoistaan. Kuva Petteri Kuokkanen

Alimmainen kermi on kiinnitetty kantavaan teräsohutpoimulevyyn mekaanisilla kiinnikkeillä kuvan 22 mukaan. Kiinnikkeiden tarkoitus on sitoa aluskermi ja eristeet yhtenä pakettina poimulevyyn. Kiinnike lävistää kermin, eristeet, höyrynsulun ja poimulevyn.

Pintakermin ja aluskermin välistä on mitattu suhteelliseksi kosteudeksi 99,9 %. /8/ Tämä tarkoittaa, että kosteus kermien välissä on nestemäisessä muodossa. Vesi pääsee mekaanisen kiinnikkeen reiästä kermien läpi eristeisiin ja aina höyrynsulkuun asti. Eristeiden voidaan olettaa kastuneen näiltä kohdilta. Kastuneet eristeet aiheuttavat otolliset olosuhteet homeen kasvulla. Höyrynsulun pitäisi estää veden pääsy poimulevyyn ja siitä sisätilaan mutta tämä edellyttää, että höyrynsulku on ehjä. Huomioitava on, että mekaaninen kiinnike lävistää myös höyrynsulun. Koska katon on havaittu vuotavan, ei voida pois sulkea mahdollisuutta, että vesi pääsee sisätiloihin mekaanisten kiinnikkeiden kohdalta.



Kuva 22. Aluskermin mekaaninen kiinnike. Kermi on sirotteellinen. Veden valuma jälkiä havaittavissa kermissä. Kuva Petteri Kuokkanen

Kattokatselmuksessa 28.7.2011 havaittiin reikä Kuopio-hallin katossa, Savonia-ammattikorkeakoulun päädyssä (kuva 23). Reikä ulottui villoihin asti lävistäen molemmat kermit. (20.8.2011 reikä on paikattu.) Katselmuksessa havaittiin katolla ruuvinkantoja, puukonterä ja puutavaraa. Ylimääräinen katolle kuulumaton tavara aiheuttaa tarpeetonta kuormitusta kermille.

Ylimääräiset tavarat eivät joudu katolle itsestään. Kermissä oleva reikä saattaa olla peräisin lumen- ja jäänpudotuksen seurauksena syntynyt, esimerkiksi jäätä murrettessa rautakangella tai vastaavalla. Laadunvalvonta ja työntekijöiden ohjeistus vähentävät katon ylimääräistä räsitusta.

Kattoon ei ole asennettu kattopollareita lainkaan. Katon huolto, tarkistus ja korjaus vaikeutuvat ilman turvallisia kattovarusteita. Lumiesteet puuttuvat molemmilta lappeilta. Toisaalta mikäli lumiesteet olisi asennettuna katolle, suuri jäämäärä aiheuttaisi lumiesteille ja koko räystääsaluueelle suuren lisäkuorman. Lumiesteet ja räystääsaluueet eivät kestä niin suuria kuormia. Kuopio-hallin takapuolella on 13 ulko-ovea, jotka toimivat poistumisteinä (kuva 24). Lumi ja jää putoavat suoraan ulko-ovien eteen aiheuttaen vaaraa ovien käyttäjille. Katolle ei voi asentaa lumiesteitä, joten lumen ja jään putoaminen on huomioitava maan tasolla tehtävillä järjestelyillä.



Kuva 23. Molemmat kermit lävistävä reikä. Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 24. Lumi ja jää putoavat poistumistien eteen. Kuva Petteri Kuokkanen

3.4 Tasoerot, seinärakenteet ja räystäät

Kuopio-hallin yläpohja on porrastettu seitsemään erisuuruiseen lohkoon. Porrastuksen kohdalla on tasoero, jonka seinärakenne on suunniteltu rakennetyypin US2 (kuva 6) mukaan, lukuun ottamatta moduulilinjojen E ja F kohdalla olevaa kotelorakennetta (kuva 7). Rakennuksen tasoerot aiheuttavat talvisin lumen kinostumista tasoeron kohtaan (kuva 12). Lunta voi pahimmillaan olla useita metrejä tasoerojen kohdalla. Suuri lumimassa aiheuttaa lisäkuormaa rakenteille, mutta se toimii myös eristekerroksena, joka edistää lumen sulamista ja veden jääytymistä räystäällä.

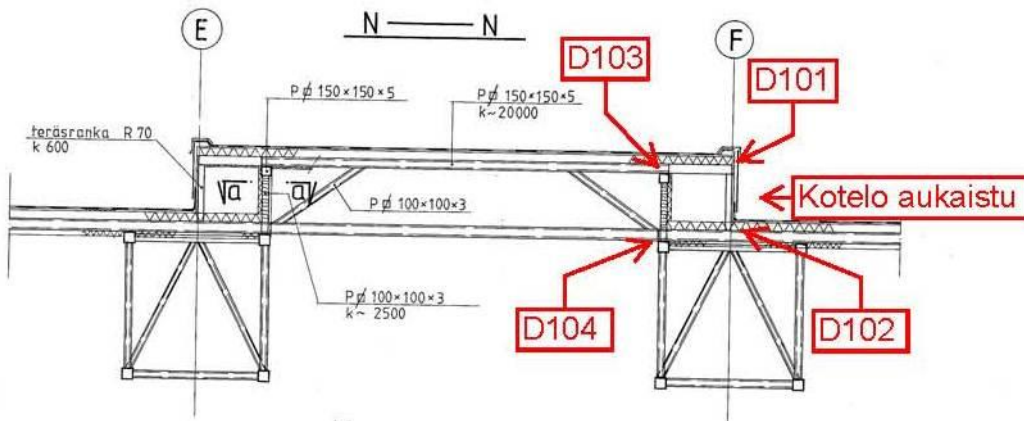
Tasoeron kohdalla yläpohjan ja ulkoseinän liittymä on tehty kuvan 5 mukaan. Yläpohja on tehty ensin ja tämän jälkeen yläpohjan päältä on rakennettu ulkoseinärakenne. Lukuisista ilmavuodoista voidaan epäillä yläpohjan ja seinän höyrynsulun liittymän olevan avonainen. Kuvassa 5 esitetyssä rakenteessa kermin ylösnosto kiinnitetään vesivanerin pintaan. Vaneri jää kermin ja tuulensuojamineraalivillan väliin ilman tuuletusrakoa. Vaarana on, että vaneri kostuu ja ajan myötä turmeltuu. *Hometutkimus raportin* mukaan 7.6.1996 vesivaneri todettiin märeksi. /5/

Icopal Katto Oy on aukaissut ulkoseinärakennetta tasoeron kohdalta räystäältä. /9/ Rakenteen aukaisu on dokumentoitu valokuvaamalla rakennetta (kuva 25). Valokuvasta voidaan päätellä, että ulkoseinärakennetta ei ole rakennettu suunnitelman mukaan. Valokuvan mukainen rakenne on ulkoapäin lukien: kermin ylösnosto, vaneri, teräsranka, tuulensuoja mineraalivilla, teräsranka ja eriste (ei näy kuvassa, oletetaan olevan), koolaus ja tuulensuoja mineraalivilla tai kipsilevy. Höyrynsulkua ei näy kuvassa lainkaan. Höyrynsulun puuttuessa sisäilman kosteus pääsee seinärakenteeseen. Vaarana on rakenteen turmeltuminen. Tällainen rakenne on rakennusvirhe.



Kuva 25. Ulkoseinä tasoeron kohdalta. Rakenne ei noudata rakennetyypin US2 mukaista rakennetta. Höyrynsulkua ei näy kuvassa lainkaan. Kuva Antti Bäck

Hallin sisäänkäynnin kohdalla on kylmät kotelot leikkauksen N-N, moduulinjoilla E ja F (kuva 26). Moduulilinjan F kohdalta kotelorakennetta on aukaistu. Kotelon rakenne on detaljien D101 (kuva 28), D102 (kuva 29), D103 (kuva 30) ja D104 (kuva 31) mukainen.



Kuva 26. Kotelo aukaistu. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

Kotelossa on rakennusjätettä kuten puutavaraa, kermin palasia ja eristettä. Seinän eristeissä on ilmavuotojen aiheuttamia tummumia. Ulkoseinän ja yläpohjan välinen höyrynsulku ei liity toisiinsa lainkaan detaljin D103 (kuva 30) ja kuvan 27 mukaan. Höyrynsulku jää kantavan poimulevyn alapuolelle täysin avonaiseksi. Liittymä ei ole ilmatiivis.

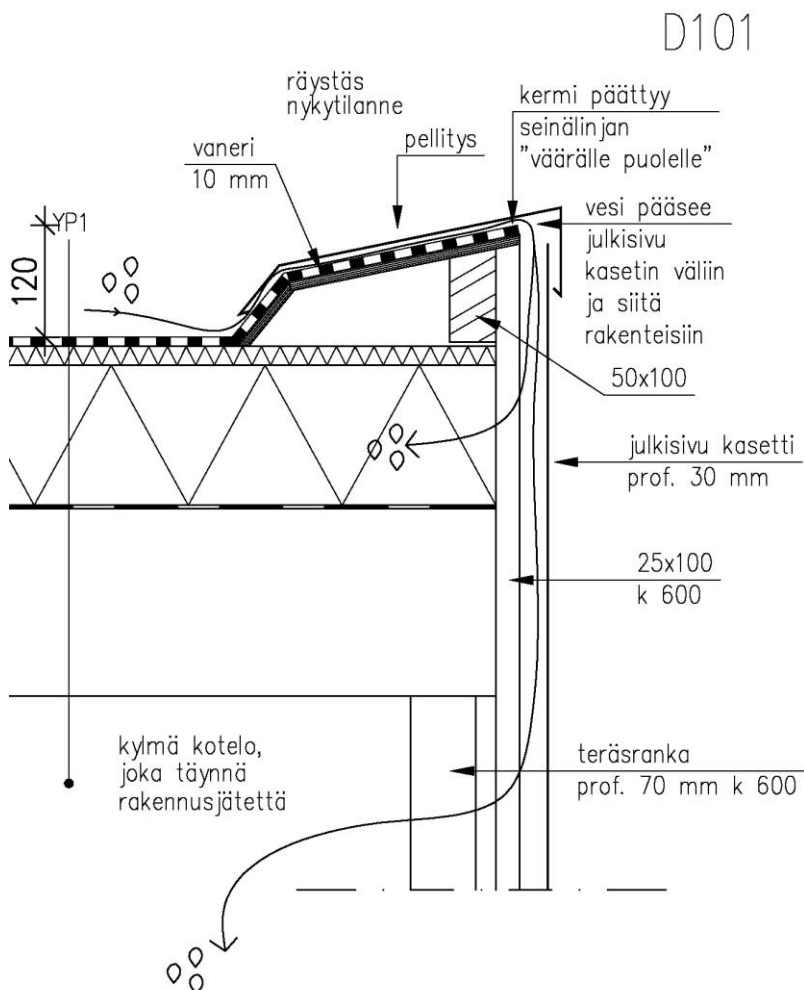
Kotelon ulkopinnan rakenne on detaljien D101 (kuva 28) ja D102 (kuva 29) mukainen. Julkisivukasetin alareunasta rakenne on avonainen. Kermin ylösnosto on ainoastaan 280 mm ja talvisin tuiskulumi pääsee nousemaan kotelorakenteeseen. Sulaessaan lumi kastelee rakenteita kotelon sisällä.

Räystäärakenne kotelon kohdalla on detaljin D101 (kuva 28) ja kuvien 32 ja 33 mukainen, myrskypeltejä ei ole. Kermi jää seinän ulkolinjan sisäpuolelle. Räystäällä kermin nosto kattopinnasta on ainoastaan 120 mm. Kovalla sateella vesi pääsee räystääpellityksen alle. Koska kermiä ei tuoda seinälinjan yli, vesi jatkaa matkaansa yläpohjan eristeeseen ja julkisivukasettia pitkin kotelorakenteeseen.

Katon muulla osalla tasoerojen kohdalla rakenne on detaljin D106 (kuva 34) mukainen, myrskypeltiä ei ole. Räystäärakenteessa on sama ongelma kuin kotelorakenteen räystäässä. Detaljin D106 (kuva 34) mukaisessa tasoeron räystäärakenteessa vesi pääsee seinän eristeisiin.

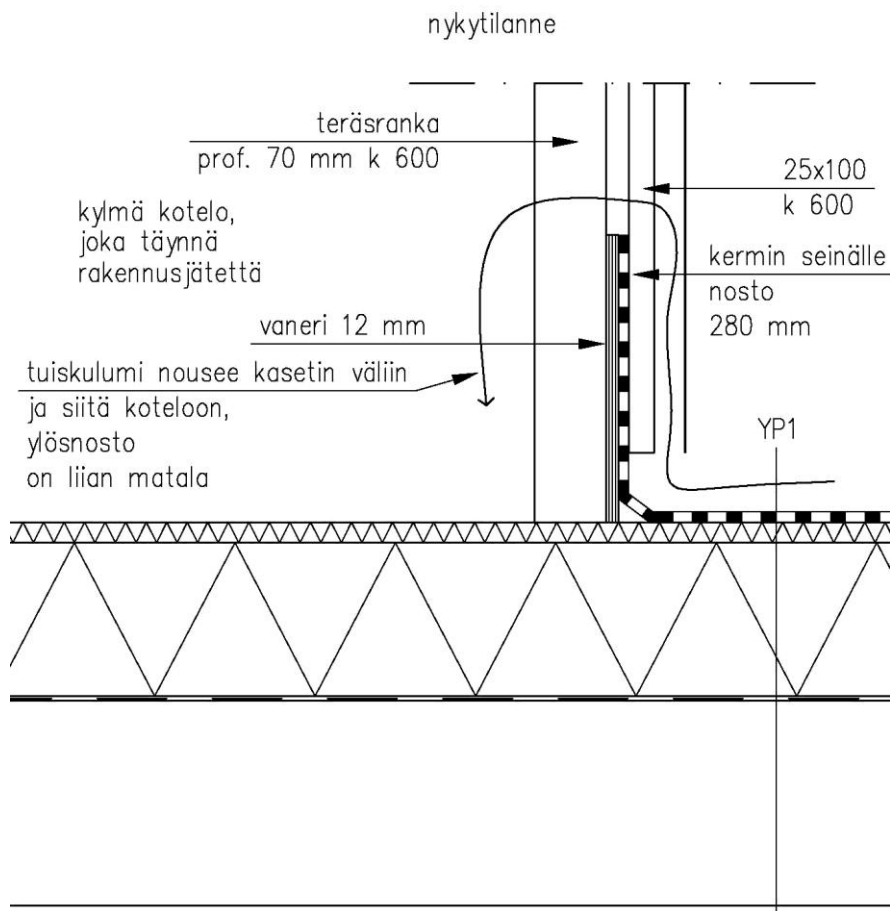


Kuva 27. Seinän höyrinsulku ei liity yläpohjan höyrinsulkuun. Eristeissä ilmavuodon aiheuttamia tummumia, ks. myös detalji D103 (kuva 30). Kuva Petteri Kuokkanen



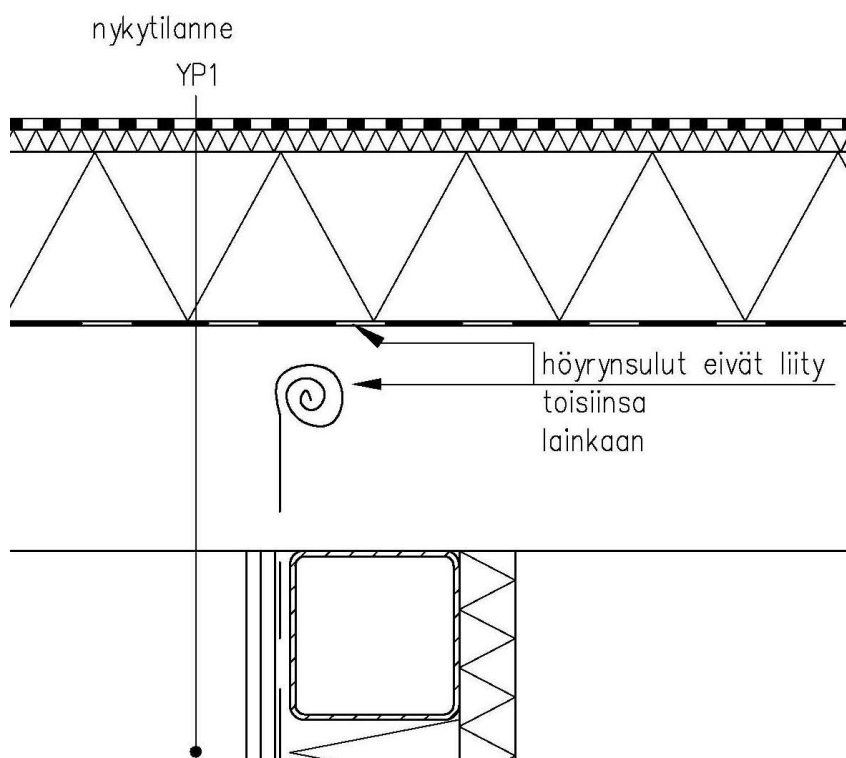
Kuva 28. Kotelorakenne D101, ks. myös kuva 32. Kuva Petteri Kuokkanen

D102



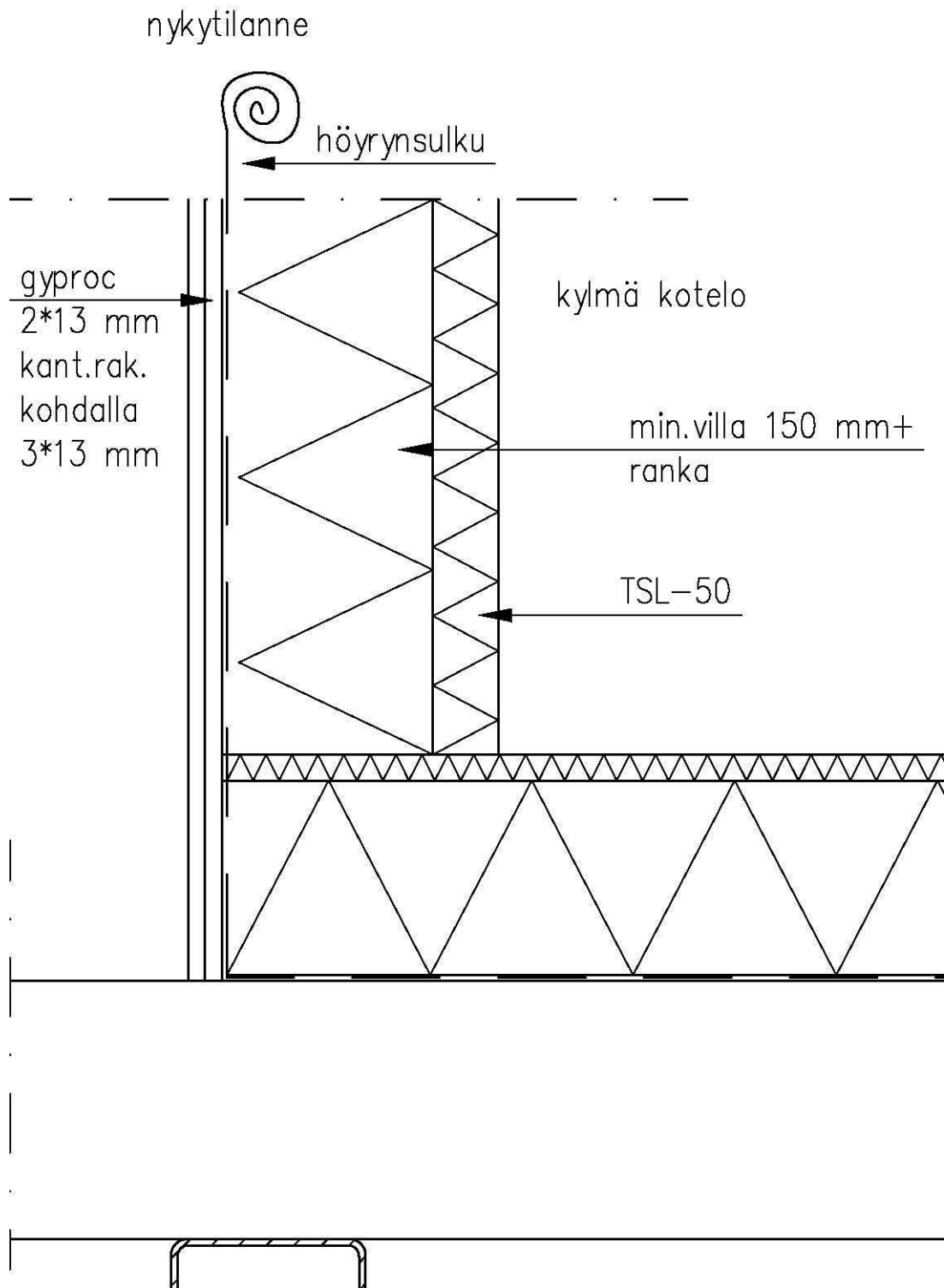
Kuva 29. Kotelorakenne D102. Kuva Petteri Kuokkanen

D103



Kuva 30. Kotelorakenne D103, ks. myös kuva 27. Kuva Petteri Kuokkanen

D104



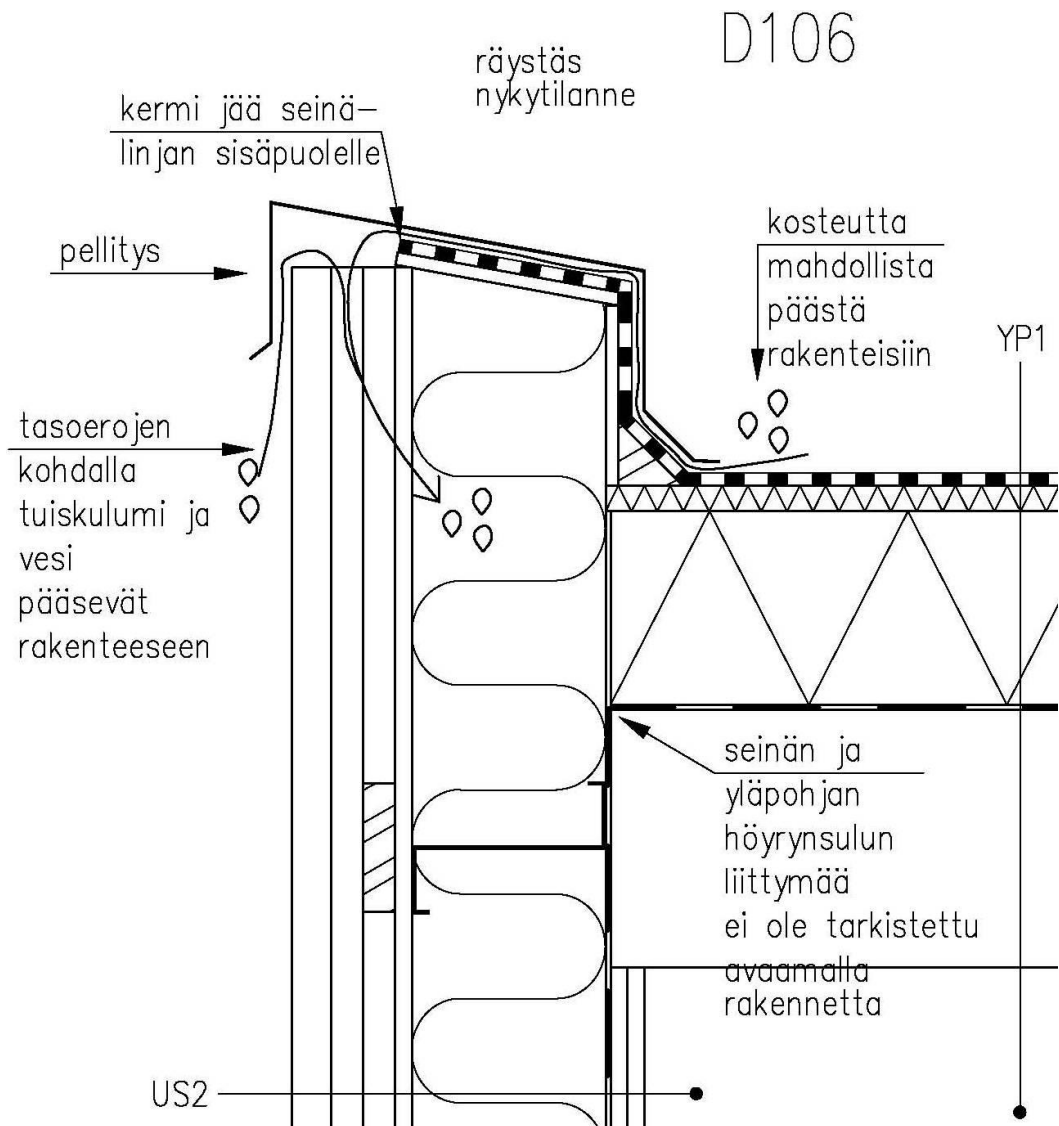
Kuva 31. Kotelorakenne D104. Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 32. Kermi ei ulotu räystäällä seinälinjan yli, vesi pääsee julkisivukasetin välistä kotelorakenteeseen. Kuva Petteri Kuokkanen

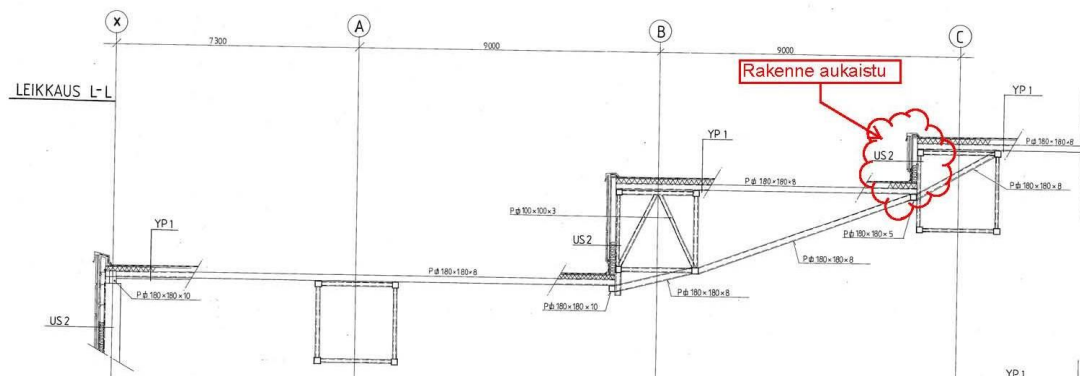


Kuva 33. Reikä räystääspellityksen alla. Kuva Antti Bäck



Kuva 34. Detalji D106. Kuva Petteri Kuokkanen

Rakennetta on aukaistu myös harjalta leikkausta L-L, moduulilinjaa C vastaavasta kohdasta (kuvat 35 ja 36). Rakenne aukaistiin höyrinsulkuun saakka. Avattu rakenne on detaljien D107 (kuva 39) ja D108 (kuva 40) sekä kuvien 37 ja 38 mukainen.



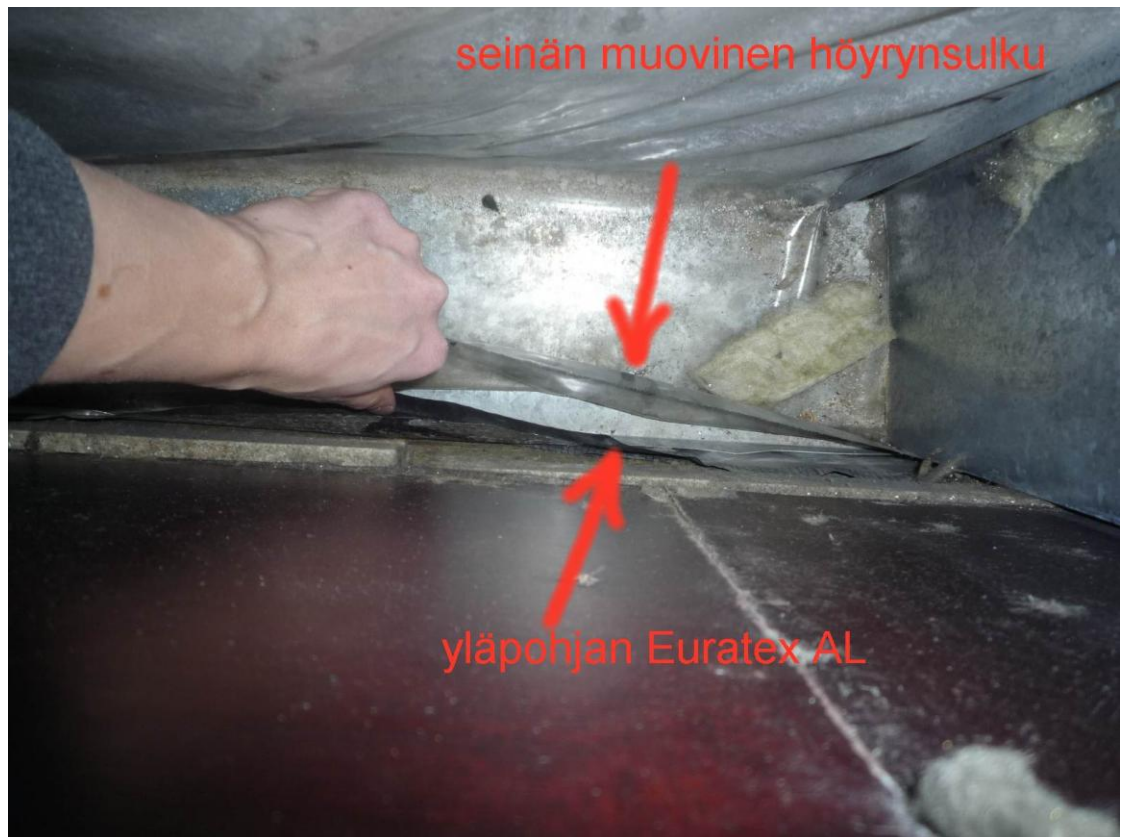
Kuva 35. Rakenne aukaistu moduulilinjaa C kohdalta. Kuva Kuopion kaupunki, rakennusvalvonta

Yläpohjan höyrynsulku *Euratex-AL* ja seinän muovinen höyrynsulku on liitetty toisiinsa detaljin D107 (kuva 39) ja kuvan 37 mukaan. Höyrynsulkujen liittymässä ei ole käytetty teippiä tai liimaavaa ainetta. Seinärakenteen eriste painaa höyrynsulut toisiinsa vasten. Liittymä ei ole täysin ilmatiivis. Voidaan olettaa, että ilmavuotoa pääsee hieman tapahtumaan. Lumen sulamista vedeksi seinärakenteen rakenneratkaisulla ei voida selittää.

Seinärakenteen yläosa on toteutettu detaljin D108 (kuva 40) ja kuvan 38 mukaan. Höyrynsulkujen limitys näyttää tiiviiltä. Yläpohjan höyrynsulku jää seinärakenteen muovisen höyrynsulun alle, kun taas seinän muovinen höyrynsulku työntyy yläpohjan uritetun eristekerroksen alle. Ilmavuotoa tällaisesta liittymästä ei pääse tapahtumaan.



Kuva 36. Rakenne aukaistu moduulilinjan C kohdalta. Kuva Petteri Kuokkanen



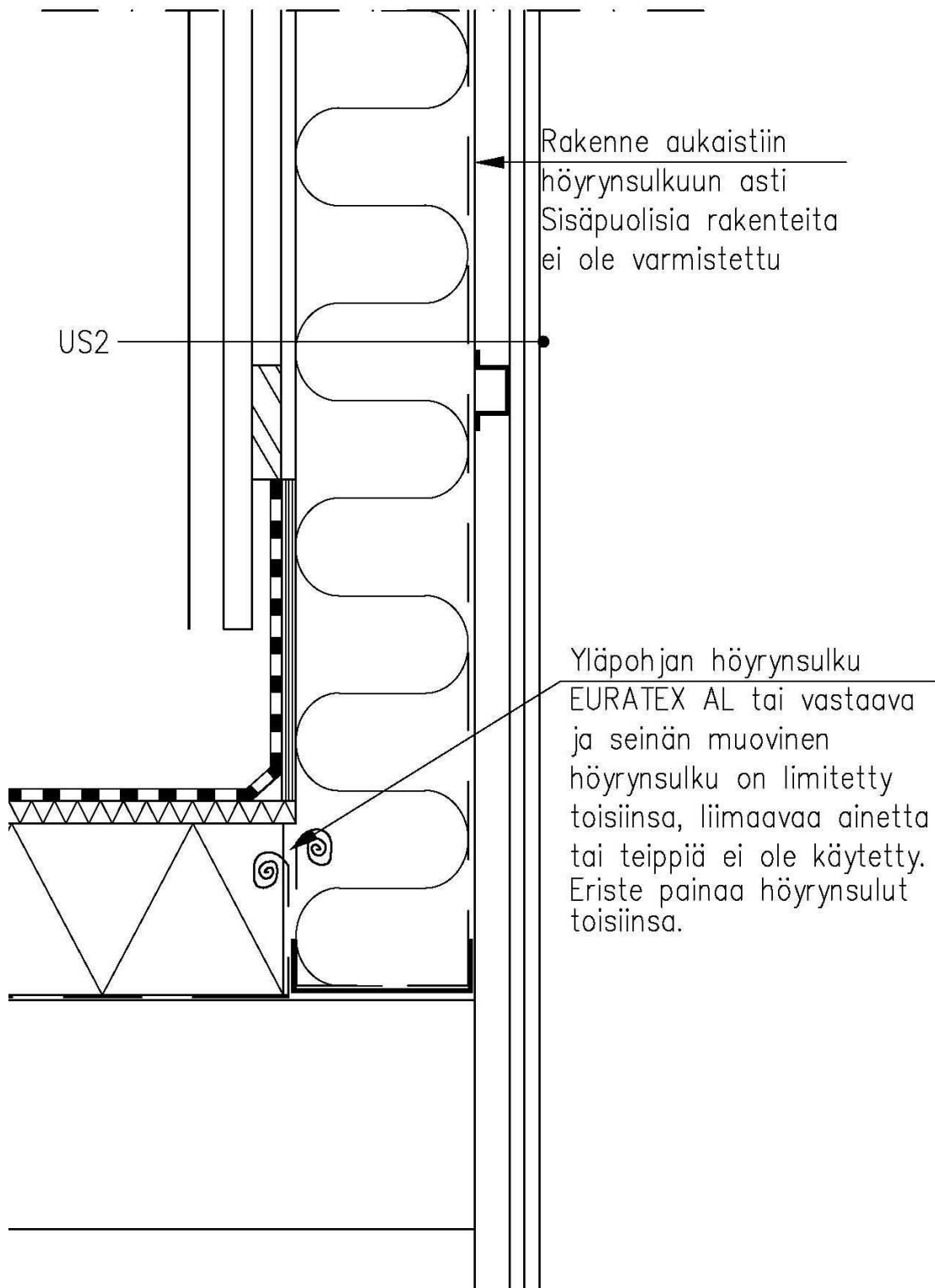
Kuva 37. Yläpohjan höyrynsulun ja seinän höyrynsulun liittymä, ks. myös D107 (kuva 39). Kuva Petteri Kuokkanen



Kuva 38. Seinärakenteen yläosa. Kuva Petteri Kuokkanen

D107

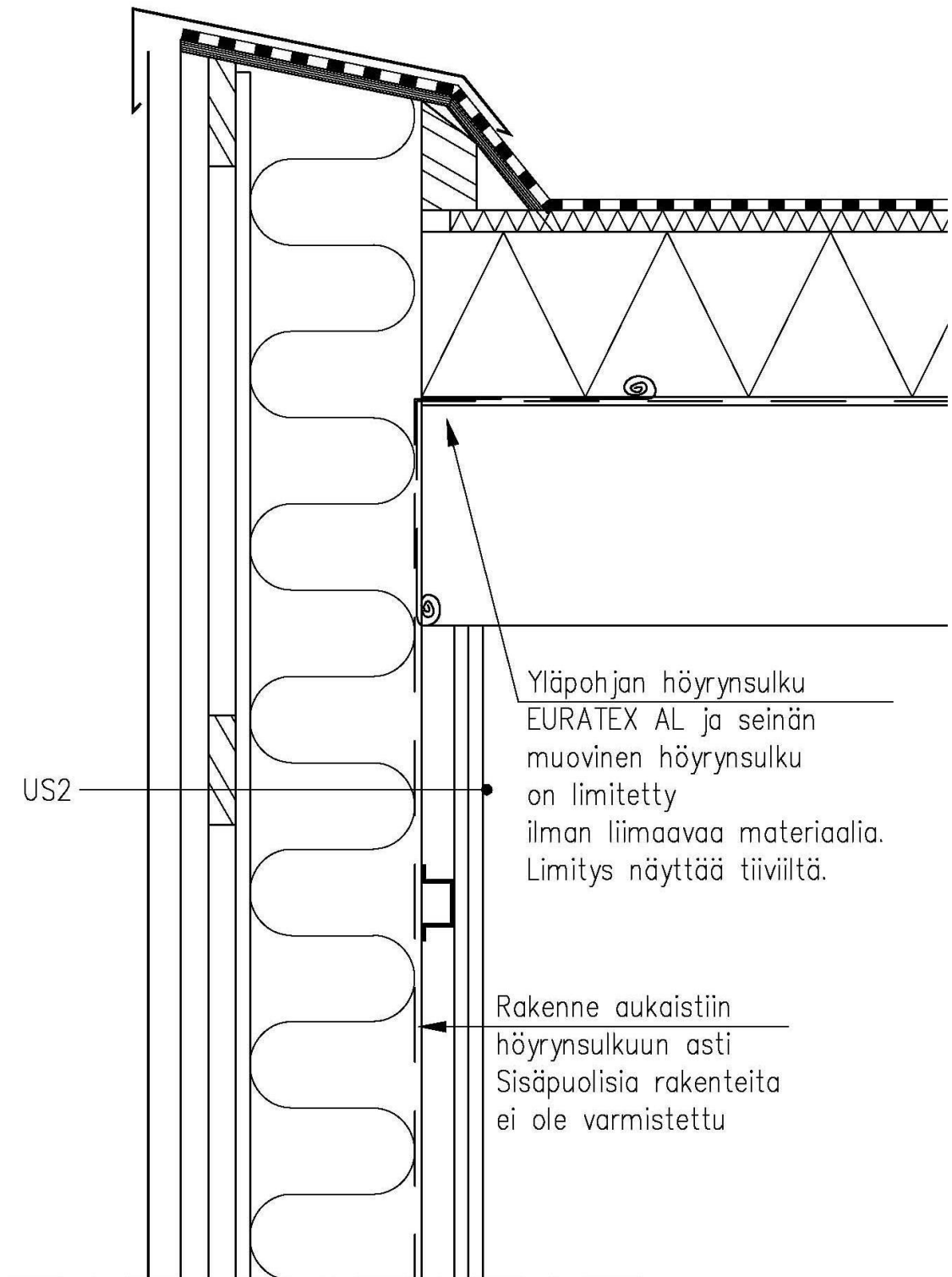
Rakenne aukaistu harjalta
Tasoeron kohdalta



Kuva 39. D107 moduulilinjan C kohdalta. Kuva Petteri Kuokkanen

D108

Rakenne aukaistu harjalta
Tasoeron kohdalta



Kuva 40. D108 moduulilinjan C kohdalta. Kuva Petteri Kuokkanen

Kuopio-hallin pitkien sivujen räystäät on rakennettu kuvien 10 (DET 2) ja 11 (DET2.1) mukaan. Räystäällä umpiosan kohdalla yläpohjan eristeiden kuorma otetaan vastaan räystäsdetaljin mukaan jatkuvalla teräsprofiililla (kuva 10). Uritetun *AKLU* eristeen tuuletusurien kohdalle on merkattu teräsprofiiliin reiät 2 kpl 30 mm reikiä. Teräsprofiili estää ilman pääsyä tuuletusuriin rei'istä huolimatta. Ilmavirtauksella tulisi olla esteetön pääsy tuuletusuraan. Reikien tulisi olla täysin oikealla kohdalla, jotta ilmaa pääsisi tuuletusuraan edes nimellisesti.

Tällainen rakenne herättää epäilyn, onko teräsprofiiliin tehty suunniteltuja reikiä lainkaan? Ikkunan kohdalla räystääs on muuten samanlainen kuin umpiosan kohdalla, mutta rakennedetaljin DET 2.1 (kuva 11) mukaan teräsprofiilia ei laiteta lainkaan *AKLU* eristeen uran kohdalle. Kuvassa 10 on muutos nuoli C teräsprofiilia käsittelevän tekstin kohdalla. Tästä voidaan päätellä, että teräsprofiilin rei'itys on lisätty detaljiin jälkeinpäin. Muutosnuolta ei ole detaljissa DET 2.1. Räystäsrakenteet ovat ristiriidassa keskenään tai rakenne on erilainen ikkunan ja umpiosan kohdalla. Rakenne tulisi selvittää avaamalla räystästä.

3.5 Kuopio-hallin lämpökuvaus 31.5.1996

Kuopio-hallista on tehty aikaisemmin raportteja ja tutkimuksia. Martti Niskanen Savonia-ammattikorkeakoulusta on suorittanut lämpökuvauksen Kuopio-halliin 6.2.1996. Kuvauksella pyrittiin selvittämään lämpövuotoja hallin yläpohjan ja seinärakenteiden liittymissä.

Niskasen tekemän lämpökuvaus raportin *Kuopio-hallin hometutkimukseen liittyvä lämpökuvaus 31.5.1996* mukaan ulkolämpötila oli $-18,0$ °C. Hatsalan koulun puoleisella seinällä ristikon ja ulkoseinän liittymässä lämpötila oli $-4,0$ °C. Ilmastointia oli säädetty siten, että poistoilma oli päällä ja tuloilma oli pois päältä. Näin ollen hallissa vallitsi alipaine. Lämpötiloista voidaan päätellä, että liittymä ei ole tiivis. Voidaan olettaa myös, että vastaavissa kohdissa ongelma toistuu. Teräskaaren liittymää perustuksiin ei ole toteutettu tiiviisti. /6/

Raportin mukaan lämpövuotoa esiintyy myös toisen kerroksen ikkunaseinän ja yläpohjan välisessä liitoksessa, toimistohuoneiden väliseinien ja yläpohjan liitoskohdissa, pääsisäänkäynnin yläpuolella oleva seinän ja yläpohjan liittymässä, päätyjen ulkoseinien ja yläpohjan liittymäkohdissa, hallin molemmilla pitkillä sivuilla, yläpohjassa olevien tasoerojen kohdissa ja pääporrashuoneen molemmat sivuseinät ovat osoittautuneet kylmiksi. /6/

Raportin mukaan normaaliolosuhteissa eli poisto- ja tuloilman ollessa päällä, lämpökameralla ilmavuotoja ei havaita. Normaaliolosuhteissa hallin yläosa on ylipaineinen, joten lämmin sisäilma pyrkii siirtymään rakenteen läpi ulkoilmaan. Lämmin ilma lämmittää ilmavuotokohdan ja näin ollen kamera ei havaitse lämpötilaeroa. Lämpövuodot kiihdyttävät lumensulamista katolla. /6/ Ylipaineisuuden vuoksi yläpohjan höyrynsulun tulisi olla ehdottoman tiivis, jottei sisäilman kosteus pääse siirtymään yläpohjan eristeisiin.

4 KORJAUSVAIHTOEHDOT

4.1 Korjauksen tavoite

Korjausvaihtoehtoja ja korjauksen laajuutta suunniteltaessa tulisi määritellä korjauksen tavoitteet. Kuopio-hallin suuren koon vuoksi myös korjattava alue on laaja. Yksinkertaista ja helppoa ratkaisua ei ole. Korjauksesta aiheutuvat kustannukset määrittelevät korjauksen laajuutta. Opinnäytetyön tarkoitus ei ole suunnitella korjausta, vaan selvittää korjauksen tarve ja antaa ehdotus korjaustavasta.

Yläpohjan ja seinärakenteiden korjauksen ensisijaisena tavoitteena on vähentää jään muodostumista Kuopio-hallin räystääsalueelle ja vesikaton vuodot on saatava hallintaan.

4.2 Korjauksen aikainen suojaus

Kuopio-hallin laajuuden vuoksi korjauksen aikainen suojaus on haastavaa ja kallista. Sääsuoja koko rakennuksen päälle tuskin tulee kysymykseen, koska sen kustannus tulisi olemaan samaa luokkaa kuin itse korjaus, ellei jopa enemmän. Suojauksen suunnittelu ja kustannukset on otettava huomioon suunnittelussa. Suojaustapa on valittava korjaustavan mukaan. Kuopion kaupungin rakennusvalvonta vaatii korjauksen aikaisen suojaussuunnitelman.

4.3 Koekorjaus

Korjaushankkeen ensimmäisessä vaiheessa korjataan yläpohjaa tasoeron kohdalta ennalta sovitulla alueella koekorjauksena. Korjatun alueen toimivuutta seurataan mittauksin kohdan 4.4.2 mukaan esimerkiksi vuoden ajan. Näin varmistetaan korjausmenetelmän toimivuus käytännössä. Mikäli korjaus havaitaan onnistuneeksi, voidaan siirtyä toiseen vaiheeseen ja jatkaa korjausta koko yläpohjan alueelle. Jos taas korjausmenetelmä ei toimi tai siinä havaitaan puutteita, pystytään menetelmää kehittämään tai vaihtamaan toiseen aiheuttamatta suuria kustannuksia.

Koekorjaus tulisi suorittaa sisäänkäynnin kohdalla olevan tasoeron molemmilla puolilla kuvan 41 mukaan, koska koekorjausalueessa tulisi olla tasoeroa, yläpohjarakennetta ja räystästä. Sisäänkäynnin kohta on ollut myös jään muodostumisen kannalta ongelmallisimpia. Korjausalue ulotetaan Kuopio-hallin harjan yli siten, että molempien puolien räystäät sisältyvät korjausalueeseen.



Kuva 41. Koekorjausalue. Kuva Petteri Kuokkanen

4.4 Vesikate ja yläpohja

Bitumikermikatteiden elinkaari vaihtelee toteutustavan mukaan 20 vuodesta 50 vuoteen. /12/ Katon käyttöikä voidaan pidentää merkittävästi säännöllisellä huollolla. Kuopio-halli on otettu käyttöön vuonna 1992 eli käyttöikä on kertynyt noin 19 vuotta. Vesikatteen toimivuudessa on puutteita, joten voidaan todeta, että vesikate on tulossa elinkaarensa päähän.

4.4.1 Korjausvaihtoehto 1

Vesikatteen käyttöikä voidaan pidentää muutamia vuosia käymällä läpi kaikki saumat siten, että pintakermin ja aluskermin limitetty sauma aukaistaan ja aluskermin pinta käsitellään bitumiliuoksella. Tämän jälkeen aluskermi ja pintakermi liimataan toisiinsa kumibitumilla. Saumasta tulee oikein tehtynä vesitiivis. Kuopio-hallin pintakermin alta on mitattu kosteudeksi 99,9 %. /9/ Tämä tarkoittaa, että kermin alla vesi on nestemäisessä muodossa. Kun saumat liimataan ilmatiiviiksi ja kesällä aurinko kuumentaa kattoa, vesi höyrystyy ja katolle syntyy höyrytaskuja. Tämän vuoksi korjaustapa on riskialtis käytettäväksi Kuopio-hallissa. Jotta korjaustapa toimisi, tulee

aluskermin ja pintakermin välissä oleva kosteus kuivattaa pois. Tämä tapahtuu kesällä poutajaksona auringon lämpösäteilyn lämmittäessä kattoa. Kermien on havaittu vuotavan saumoista, joten korjausmenetelmässä kosteuden tulisi poistua kermien liitoksista. Kosteuden poistuminen kermien välistä tulee varmistaa mittaamalla kosteudet korjattavalta alueelta. Tämä korjaustapa ei poista räystääsalueille syntyvää jääkerrosta.

4.4.2 Korjausvaihtoehto 2

Pintakermi poistetaan koko katteen alueelta. Aluskermin pinta puhdistetaan ja kosteus pinnasta kuivatetaan. Aluskermin pinta käsitellään bitumiliuoksella, jonka jälkeen uudet kumibitumikermit *VE80 PTL2 + PTL2* asennetaan kattoon.

Vanhassa rakenteessa kulkee kokoojakanavat savunpoistoluukkujen molemmin puolin. Kokoojakanavien välistä puretaan molemmat kermi ja päällimäinen 20 mm paksu eriste. Mikäli tuuletusurat eivät ole vastakkain koko katon alueella, täytyy rakenne kokoojakanavien välistä harja-alueella purkaa höyrynsulkuun saakka.

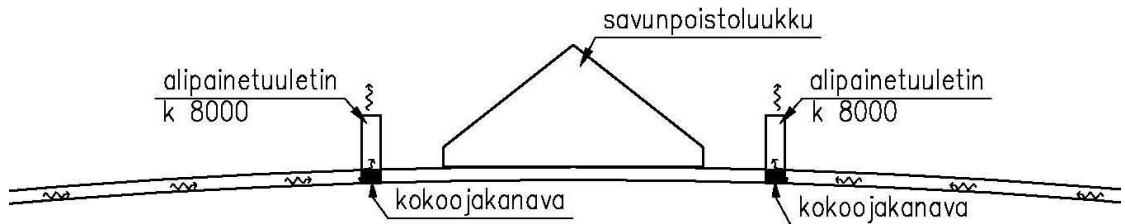
Harjalle rakennetaan rakennusaineinen tuuletushormi jatkuvana rakennuksen pituus suunnassa ja alipainetuulettimet sijoitetaan hormin kanteen. Savunpoistoluukkuja tulee korottaa vähintään siten, että kermi saadaan nostettua 300 mm kattopinnasta. Savunpoistoluukkujen kohdalla tuuletushormi haaroittuu kahdeksi hormiksi, jotka kiertävät savunpoistoluukut. Tällainen hormisto parantaa yläpohjan urissa käyvää ilmavirtausta. Jatkuva hormi on myös talvella käytännöllisempi, koska alipainetuulettimet saadaan nostettua ylemmäksi, jolloin ne eivät jää lumen alle.

Koekorjaus tehdään kohdan 4.3 mukaan. Korjattavalle alueelle asennetaan lämpöanturit harjalle keskialueelle ja räystäällä päällimmäisen kermin alle. Yhteen alipainetuulettimeen asennetaan kanavapuhallin portaattomalla säädöllä. Hormistoon asennetaan ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittarit. Mittauslaitteistolla seurataan yläpohjan rakennusfysikaalista käyttäytymistä. Kanavapuhaltimella voidaan säädellä tuuletusurissa liikkuvaa ilmavirtaa. Havaintoja yläpohjan käyttäytymisestä tehdään myös aistinvaraisesti, eli käytännössä seuraamalla muodostuuko jäätä räystäälle. Mikäli yläpohjan pinnan lämpötilaa saadaan laskettua parantamalla tuuletusurissa kulkevaa ilmaa, jäätä ei pitäisi muodostua entiseen tapaan.

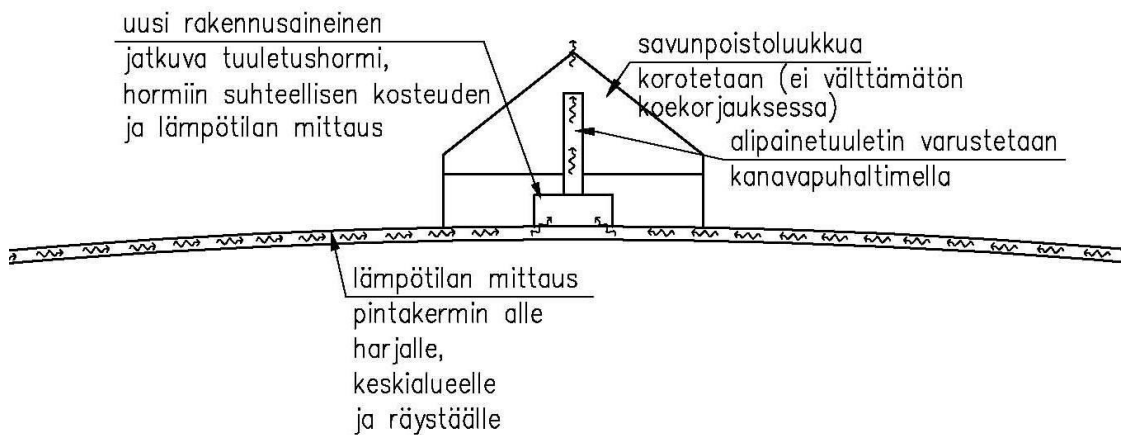
Koekorjauksella pystytään selvittämään höyrynsulun toimivuutta yläpohjassa purkamatta rakennetta. Kun lisäämme tuuletusurassa kulkevaa ilmavirtaa, alipaine tuule-

tusurassa sisätilaan nähden kasvaa. Hormissa oleva ilman suhteellisen kosteuden mittausta paljastaa, mikäli höyrynsulku vuotaa ilmaa, eli ilman suhteellinen kosteus hormissa kasvaa.

havainnekuva harjalta, nykytilanne
kuva ei mittakaavassa



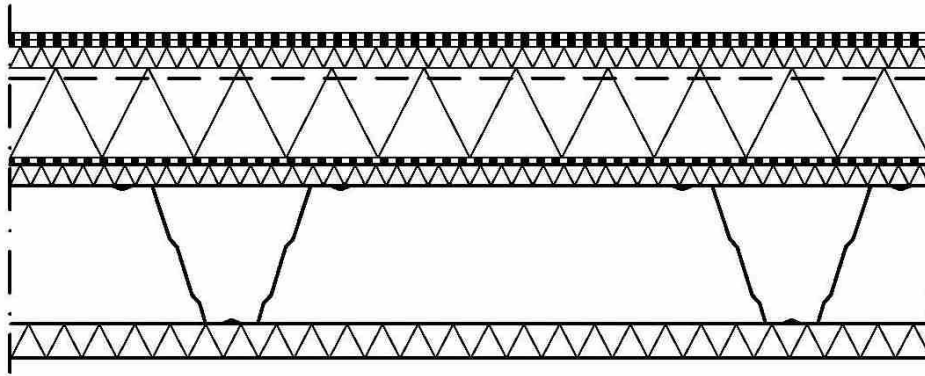
havainnekuva harjalta, koekorjaus
kuva ei mittakaavassa



Kuva 42. Havainnekuva nykytilanteesta ja koekorjauksesta. Kuva Petteri Kuokkanen

4.4.3 Korjausvaihtoehto 3

Mikäli höyrynsulku on epätiivis, pitäisi nykyinen yläpohjarakenne purkaa höyrynsulku myöten. Toimiva rakenne olisi esimerkiksi kuvan 43 kaltainen. Myös uuteen rakenteeseen tulisi rakentaa jatkuva tuuletushormisto, ks. kohta 4.4.2.



ESIMERKKI UUDESTA YP RAKENTEESTA:

Vedeneristys: 2 krt kumibitumikermi, aluskermi sirotteeton.

Kova mineraalivillalevy

Uritettu eriste

Höyrynsulkuna bitumikermi

Höyrynsulun alustana kova mineraalivillalevy

Nykyinen teräsohutprofiili

Akustinen min.villa verhous.

Kuva 43. Esimerkki uudesta yläpohjarakenteesta. Kuva Petteri Kuokkanen

4.4.4 Korjausvaihtoehto 4

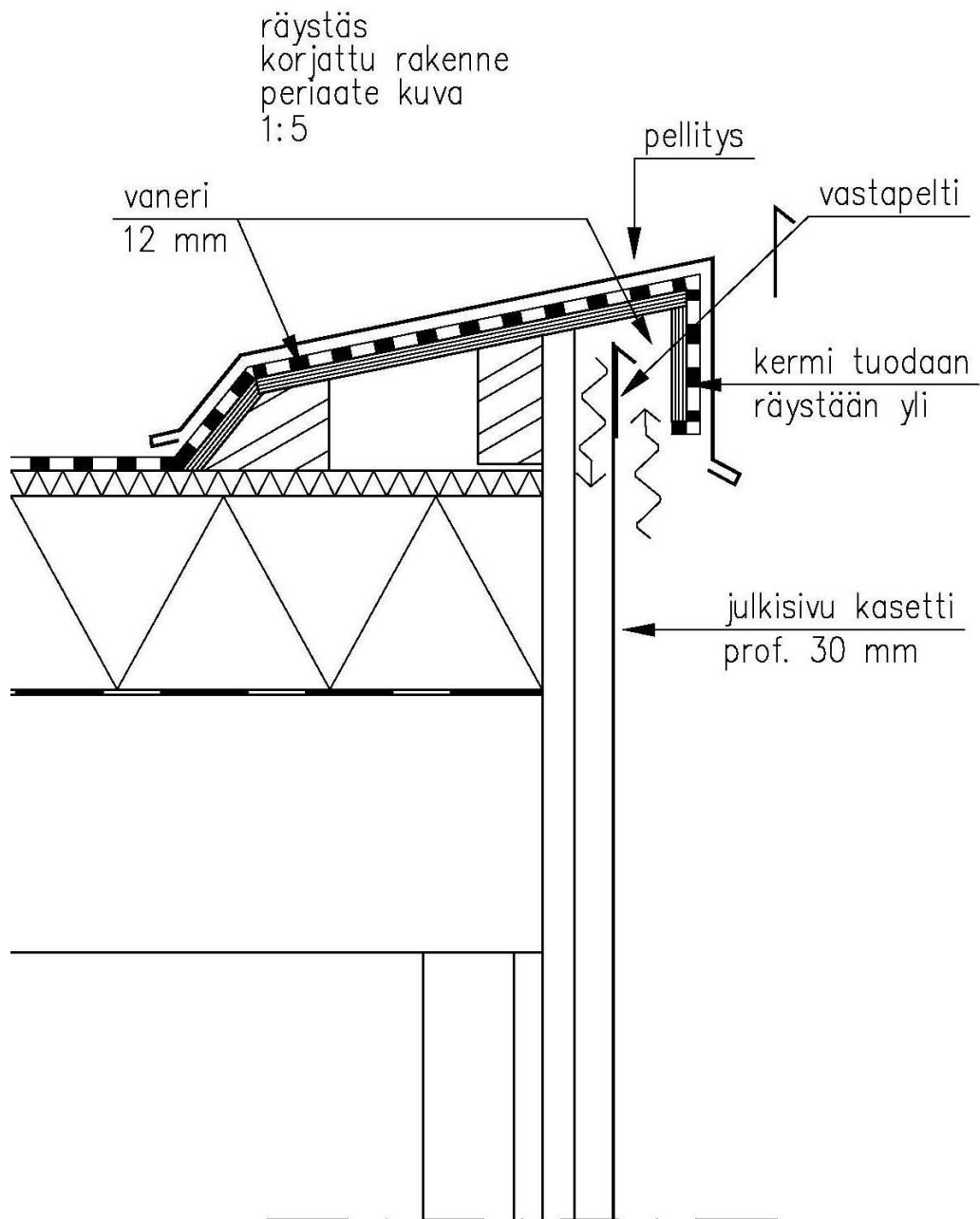
Mikäli jään muodostumisesta räystääsalueelle halutaan kokonaan eroon, tulee nykyinen yläpohjarakenne purkaa ja rakentaa kokonaan uudelleen siten, että rakenteessa on reilu tuuletusrako. Lisäksi tasoerot on hävitettävä kohdan 4.5.2 mukaan. Kuopiohallin arkkitehtoninen olemus muuttuisi korjauksen myötä radikaalisti ja kustannukset olisivat todella merkittävät.

4.5 Tasoerot

4.5.1 Tasoerojen säilyttäminen

Tasoerojen ongelmat on kerrottu kohdassa 3.3. Tasoerojen ilmavuodot tulisi saada hallintaan. Tämä edellyttää höyrnsulkujen korjausta. Tasoerot on purettava ja rakenne on suunniteltava uudelleen toimivaksi. Tasoerojen räystäsrakenteet tulisi korjata kuvan 45 mukaan.

D105



Kuva 44. Korjatturakenne tasoeron räystäältä. Kuva Petteri Kuokkanen

4.5.2 Tasoerojen poistaminen

Mikäli kohdan 4.4.4 mukainen korjausvaihtoehto 4 toteutetaan, tulee tasoerot poistaa kokonaan. Tämä tapahtuu loiventamalla tasoerojen seinärakenteet loivasti kalteviksi tasoiksi. Korjauksella saadaan lumen kinostumista rajoitettua. Hallin ulkomuoto tulee muuttumaan oleellisesti.

4.6 Räystäät

Räystäät on tehty kuvien 10 ja 11 mukaan. Räystäälle tulisi tehdä avaus, jossa selvitetäisiin räystäärakenne ja onko jää vaurioittanut räystäärakennetta. Kuvien 10 ja 11 mukaan räystäällä eristeet tukeutuvat teräsprofiiia vasten. Suunnitelmien mukaan profiileihin on tehty reikiä tuuletusurien kohdalle tai profiileja ei ole asennettu tuuletusuran kohdalle. Räystääsalueella pitäisi varmistaa, pääseekö ilma tuuletusuriin vapaasti. Mikäli ongelmia räystään toimivuudessa havaitaan, tulisi räystäärakenne suunnitella toimivaksi.

4.7 Lumiesteiden korvaaminen

Katon tasoerojen vuoksi katolle kinostuu lunta väistämättä. Lumi tulee keväällä katolta pois kiinteässä tai nestemäisessä muodossa. Katolla ei ole lumiesteitä, joten lumi pääsee putoamaan katolta vapaasti (kuva 24). Katon suurien lumi ja jää massojen vuoksi lumiesteitä ei voi katolle asentaa. Lumen ja jään putoamisesta aiheutuvat vaaratilanteet vältetään rajoittamalla liikkumista maassa räystäiden välittömässä läheisyydessä.

Kuopio-hallin takapuolella on 13 ulko-ovea, jotka toimivat poistumisteinä. Poistumistiet on pidettävä vapaasti kuljettavissa ympäri vuoden. Talvisin poistumisteiden edustat on pidettävä lumesta puhtaana. Lumitöiden tekijöille ja poistumistien käyttäjille ei saa koitua vaaraa putoavasta lumesta ja jäästä. Ratkaisu ongelmaan on erillinen katosrakenne poistumisteiden kohdalle.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mistä jäänmuodostuminen Kuopio-hallin räystäsalueille johtuu ja miten ongelma pystytään korjaamaan. Lisäksi yläpohjan havaittiin paikoin vuotavan. Vuotokohtia paikannettiin ja syitä vuodoille etsittiin. Yläpohjassa esiintyvät vuodot otettiin huomioon korjausehdotuksia laadittaessa. Tutkimuksissa havaittiin rakennusvirheitä seinä- ja räystäsrakenteiden sekä yläpohjan osalta.

Opinnäytetyö osoittautui haastavaksi projektiksi sekä tutkimuksien että korjausehdotuksien osalta. Tutkimuksissa haastavinta oli käsinlaskenta. Laskujen lähtötietojen kokoaminen nykyistä tilannetta vastaavaksi oli tutkimustyö itsessään, koska vanhojen rakenteiden lämmönjohtavuuksia ei löydy esimerkiksi valmistajien sivuilta sähköisesti. Tämä on ymmärrettävää, koska tieto on vanhentunutta, eivätkä rakenteet vastaa nykyisiä vaatimuksia. Arvot löytyvät vanhoista paperisista esitteistä.

Käsinlaskennassa ei ole huomioitu myöskään tuuletusurissa kulkevan ilman vaikutusta. Ilmavirran vaikutukselle ei ole kaavoja taulukoissa, joten ne olisi pitänyt itse johtaa. Ilmavirtaukseen uritetussa rakenteessa vaikuttaa rakennedetaljien toteutus ja materiaalit. Nämä vaihtelevat jokaisessa rakennuksessa, joten laskennassa olisi otettava huomioon myös nämä muuttujat, mikäli tuloksesta halutaan tarkka.

Korjausehdotuksissa haastavinta oli löytää järkevä kokonaisuus. Jäätymisongelman laajuuden vuoksi helppoa, yksinkertaista ja halpaa ratkaisua ei ole. Korjausehdotuksissa 1-3 on riskinä, että jäätymisongelmasta ei päästä eroon, ainakaan kokonaan. Nykyinen yläpohjarakenne on yksinkertaisesti toimimaton kyseiseen rakennukseen.

Tavoitteessa onnistuttiin melko hyvin, kuitenkin rakennuksen laajuuden ja ongelman haastavuuden vuoksi on syytä suorittaa lisätutkimuksia ja laskelmia korjaukseen liittyen. On olemassa ohjelmia, joilla pystytään tarkastelemaan yläpohjassa liikkuvien ilmavirtauksien vaikutusta yläpohjan rakennusfysiikkaan, esimerkiksi *Comsol*. Kuopio-hallin mallintaminen ohjelmalla on kuitenkin niin työlästä ja haastavaa, ettei hallin tarkastelu ohjelmalla ole järkevää. /22/ Ohjelmia kehitetään koko ajan. Työn onnistumista on helpompi arvioida, kun rakennus on korjattu ja se on ollut käytössä muutamia vuosia.

LÄHTEET

- 1 Kuopion kaupungin www-sivu [viitattu 6.4.2011]. Saatavissa: <http://www.kuopio.fi/web/liikunta-ja-ulkoilu/kuopio-halli>
- 2 Dunkel, Harry. 17.11.2009. Taulukko 1. Rakennusfysiikka. Savonia-ammattikorkeakoulu. Oppimateriaali.
- 3 Kokko, Mika. 2011. Botniahalli. 15.3.2011. Puhelinkeskustelu.
- 4 Vanne, Markku. 2011. Impivaaran jalkapallohalli. 16.3.2011. Puhelinkeskustelu.
Salo, Petri. 2011. Adidashalli. 16.3.2011. Puhelinkeskustelu
- 5 Höyhtyä, Matti. 1996. *Kuopio-halli, hometutkimukset, raportti*. Kuopio 7.6.1996.
- 6 Niskanen, Martti. 1996. *Kuopio-hallin hometutkimuksiin liittyvä lämpökuvaus*. Kuopio 31.5.1996.
- 7 Bäck, Antti. 2009. Icopal Katto Oy. Kuntoraportti. Kuopio 12.8.2009.
- 8 Pelli, Risto. 2010. Icopal Katto Oy. Kuopiohallin vesikaton kosteusmittaus. Kuopio 31.3.2010.
- 9 Bäck, Antti. 2009. Icopal Katto Oy. Pikaraportti. Kuopio 11.8.2009.
- 10 Nieminen, Jyri. Kouhia, Ilpo. 1999. *Hyvin eristetyn loivan katon toimivuus ja vaatimukset*. VTT Rakennustekniikka.
- 11 Väätäinen, Marko. Kuopion Kaupunki. Kuopio-hallista [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Petteri Kuokkanen. Lähetetty 29.9.2011 [viitattu 1.10.2011].
- 12 *Toimivat Katot*. Kattoliitto Ry 2007 [verkkojulkaisu]. [viitattu 29.9.2011]. Saatavissa: http://www.kattoliitto.fi/files/238/Toimivat_Katot_07.pdf.
- 13 *Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä*. 30.10.2002. Helsinki. Taulukko 1. Ohjeet 2003. Lämmöneristys. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. [viitattu 5.10.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/pdf/normit/1931-C4s.pdf>.

- 14** *Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä*. 30.10.2002. Helsinki. Taulukko 2. Ohjeet 2003. Lämmöneristys. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. [viitattu 5.10.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/pdf/normit/1931-C4s.pdf>.
- 15** *Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä*. 30.10.2002. Helsinki. Taulukko 5. Ohjeet 2003. Lämmöneristys. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. [viitattu 5.10.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/pdf/normit/1931-C4s.pdf>.
- 16** *Paroc, rakennuseristeet*. 1997. Käytetään laskennassa AKLU $\lambda_d = 0,041$ W/mK. [Esite]
- 17** Vallius, Mika. Plannja AB. Teknistä tietoa Plannja 200/200. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Petteri Kuokkanen. Lähetetty 10.10.2011 [viitattu 14.10.2011].
- 18** Dunkel, Harry. 17.11.2009. Taulukko 2. Rakennusfysiikka. Savonia-ammattikorkeakoulu. Oppimateriaali.
- 19** *Thermisol EPS-vesikattorakenteet suunnitteluohje*. 15.4.2002. Taulukko 6. [Esite].
- 20** RT 37981. 2010. Euratex Al -monikerroslaminaatti ilman- ja höyrynsulku. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- 21** Uvslokk, Siven. 2011. *Drying out capacity and snow melting risk for ventilated wooden roofs – a parameter study*. Tampere University Of Technology. Proceedings Volume 1 (3). 9th Nordic Symposium on building Physics. Tampere. 29.5-2.6.2011
- 22** Stagnäs, Magnus. Finnmap Consulting. Opinnäytetyö/Comsol [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Petteri Kuokkanen. Lähetetty 12.10.2011 [viitattu 13.10.2011].

Liite 1

Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, rakenne palokatkon kohdalta

Liitteessä 1 on tarkasteltu yläpohjaa YP 1 excelillä (kuva 45) siten, että ulkoilma on -20 °C suhteellisen kosteuden ollessa 90 %. Laskennassa sisäilma on +20 °C ja suhteellinen kosteus 30 %. Tulokseksi saadaan, että kosteutta tiivistyy vedeksi kerroksissa 1, 2, 4 ja 5. Kerroksien 1 ja 2, eli kermiin ja *KKL* eristeeseen tiivistyvä kosteus on vähäisempää, kuin kerrokseen 4, eli höyrynsulun pintaan. Kerroksien 1 ja 2 tilannetta helpottaa tuuletusurien kuivattava vaikutus, jota laskennassa ei ole huomioitu. Varsinkin veden tiivistyminen höyrynsulun pintaan on hälyttävää.

Taulukko 3. Kyllästyspaineet ja vallitsevat paineet

rakennekerros:	kyllästyspaine (Pa)	vallitseva paine (Pa)
ulkoilma	102	91,8
ulkopinta	106	91,8
kerros 1.	108	193
kerros 2.	129	193
kerros 3.	484	193
kerros 4.	487	701
kerros 5.	487	ei huomioida
kerros 6.	1851	701
kerros 7.	2315	701
sisäpinta	2337	
sisäilma	2337	

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1 YP1 (palkkatulo kokonaisto)	2 palkatulo (€)	3 jokainen (€/m ²)	4 lämpöteho (W/m ²)	5 lämpöteho (m ² /V)	6	7	8 lämpöteho / kerros / kerros C	9 lämpöteho kerroksittain	10	11 YP1 (palkkatulo kokonaisto)	12	13	14	15
kerros:										kerros:				
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														
60														
61														
62														
63														
64														
65														
66														
67														
68														
69														
70														
71														
72														

Kuva 45. Kosteustarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla YP1, jossa palokatko mukana. Kuva Petteri Kuokkanen

Liite 2

Yläpohjan kosteustekninen tarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, rakenne ilman palokatkoa

Liitteessä 2 on tarkasteltu excelillä (kuva 46) rakennetta, jossa palokatkoa ei ole. Olosuhteena on käytetty vastaavaa kuin *liitteessä 1*. Laskelmasta huomataan, että tiivistymistä tapahtuu kerroksissa 1 ja 2, mutta ei höyrynsulun pintaan. Kerroksien 1 ja 2 tilannetta parantaa tuuletusurat. *Liitteessä 2* tarkasteltu rakennetyyppi on vallitseva Kuopio-hallin yläpohjassa.

Taulukko 4. Kyllästyspaineet ja vallitsevat paineet

rakennekerros:	kyllästyspaine (Pa)	vallitseva paine (Pa)
ulkoilma	102	91,8
ulkopinta	110	91,8
kerros 1.	115	193
kerros 2.	174	193
kerros 3.	1351	193
kerros 4.	1359	701
kerros 5.	1359	ei huomioida
sisäpinta	1359	
sisäilma	1359	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	YP1 (paloaluetalon koidat)	Palomäärä (Pa)	johtavuus (W/mK)	liminointikerroin (k _l)	liminointikerroin (k _l)	liminointikerroin (k _l)	liminointikerroin (k _l)	liminointikerroin (k _l)	liminointikerroin (k _l)	YP1 (paloaluetalon koidat)	YP1 (paloaluetalon koidat)	vakuumattomuuskerroin (μ _v)	vakuumattomuuskerroin (μ _v)	vakuumattomuuskerroin (μ _v)	vakuumattomuuskerroin (μ _v)
1															
2															
3															
4	Res														
5	1														
6	2														
7	3														
8	4														
9	5														
10	6														
11	7														
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															
72															

Kuva 46. Kosteustarkastelu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla YP1, ilman palokatkoa. Kuva Petteri Kuokkanen

Liite 3

Kermin ja lumikerroksen välinen lämpötila Excel-taulukkolaskentaohjelmalla

Olosuhde, jossa ulkolämpötila on -3 °C ja ulkoilman suhteellinen kosteus 50 %. Laskennassa käytetään hallin sisälämpötilana $+19\text{ °C}$ ja sisäilman suhteellisenä kosteutena 30 %. Käytetään rakennetyyppiä, jossa palokatkoa ei ole mukana eli rakennetyyppi on vallitseva Kuopio-hallin yläpohjassa.

Lumikerroksen paksuutena on käytetty 200 mm. Lumikerroksen ja kermin välisen rajapinnan lämpötila on $+3,2\text{ °C}$, eli lumen sulamista tapahtuu (kuva 47). Lumen eristävää vaikutusta on merkittävä. Laskelmassa on huomioitava, ettei urissa kulkevan ilman jäädyttävää vaikutusta ole otettu huomioon.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Yp1 (palokatkon kohdalta)	paksuus (m)	lämmönjohtavuus (W/mK)	lämmönvastus, R (m ² K/W)			ulkotila	Lämpötilan muutos / kerros °C	lämpötilat kerroksittain
1								
2	kerros:							
3								
4								
5	Rse							
6	lumi	0,2	0,12	0,04			0,145826492	-2,854173508
7	1. kermi x 2 (laskennassa käytetään TL2)	0,008	0,13	0,061538452			6,076103827	3,221930319
8	2. lämmöneriste KKL	0,02	0,041	0,487804878			0,224348449	3,446278768
9	3. lämmöneriste AKLU	0,15	0,041	3,658536585			1,778371852	5,22465062
10	4. höyrynsalku EURATEX AL	0,0002		0,02			13,33778889	18,56243951
11	5. teräsohuttilevyprofiili	0,001	45	2,2222E-05			0,072913246	18,63535276
12	Rsi			0,1			8,10147E-05	18,63543377
13						sisättila		19
14								
15								
16								
17				ΣR				
18								
19				ΔT				
20								
21	olosuhde:							
22		ulko	sisä					
23	lämpötila (°C)	-3	19					
24	RH (%)	90	30					

Kuva 47. Lämpötila kermin ja lumikerroksen välissä, lumikerroksen paksuus 200 mm. Kuva Petteri Kuokkanen