

Tapani Tornberg

KATTORAKENTEET JA NIIDEN TOIMINTA TEOLLISUUSYMPÄRISTÖSSÄ

Insinööri
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syksy 2006

ALKUSANAT

Tämän insinööriyön tilaaja UPM-Kymmene Oyj Kajaanin paperitehdas halusi selvittää ongelmia paperikone neljän konosalin katossa. Tarkoituksena oli tehdä insinööriyönä selvitys ja tutkimuksia katon kunnosta, katon rakenteista, mahdollisista virhekohdista sekä antaa korjaus ehdotuksia katon ongelmien korjaamiseksi. Insinööriyön onnistumista ovat edesauttaneet UPM:n puolelta Esa Rantanen ja Matti Moilanen sekä tehtaan suunnitteluosasto, siitä suuri kiitos heille. He ovat ohjanneet insinööriyötä siihen suuntaan, josta heille on eniten hyötyä. Koulun puolesta insinööriyötä ensisijaisesti on ohjannut ja luodannut syvällisillä keskusteluilla ja asiantuntevilla lausunnoilla Matti Tiainen. Suuret kiitokset Matille oivallisesta ohjauksesta.

Kaikkein eniten haluan kiittää puolisoani Päiviä tuesta, kannustamisesta ja jaksamisesta opintojeni ja varsinkin insinööriyön teon aikana.



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Tapani Tornberg	
Työn nimi KATTORAKENTEET JA NIIDEN TOIMINTA TEOLLISUUSYMPÄRISTÖSSÄ	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Matti Tiainen
	Toimeksiantaja UPM-Kymmene Oyj Kajaanin paperitehdas
Aika Syksy 2006	Sivumäärä ja liitteet 72 + 48
<p>Tämän insinööriyön tilaajana oli UPM-Kymmene Oyj Kajaanin paperitehdas. Tehtaalla haluttiin selvittää paperikone neljän koneosalin kosteusvaurioiden aiheuttaja katto- ja seinärakenteissa. Lisäksi haluttiin saada selvitys korjausvaihtoehdoista.</p> <p>Työssä käsitellään kattoja, kattorakenteita ja niiden toimintaa aluksi yleisesti. Katto on rakennuksen viides ja tärkein julkisivu. Siitä tulee pitää hyvää huolta. Huonosti toimiva katto aiheuttaa ongelmia muille rakennuksen osille.</p> <p>Tutkimuksen kohteena olivat koneosalin katto- ja seinärakenteet. Rakenteita tutkittiin lämpökamera-kuvauksin ja tehtiin kuntotutkimus sekä kosteusteknisiä laskelmia.</p> <p>Tutkimuksissa huomattiin rakenteissa olevan runsaasti virhekohtia. Näitä olivat esimerkiksi kylmäsilat. Havaittiin myös, että koneosalin ilmanvaihto on erittäin huono.</p> <p>Ongelmien korjaamiseksi ehdotettiin ensimmäisenä ilmanvaihdon korjaamista. Kattorakenteiden korjaamiseksi annettiin kaksi vaihtoehtoa: uritettu mineraalivillarakenne ja tuulettuva kattorakenne. Seinä- ja kattorakenteiden liittymäkohtien kylmäsilat korjataan eristämällä rakenne paremmin.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Katot, kylmäsilat, kylmäsiltojen korjaus
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Tapani Tornberg	
Title Roof Structures and Their Operation in Industrial Environment	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Matti Tiainen
	Commissioned by UPM-Kymmene Oyj Kajaani paper mill
Date August 2006	Total Number of Pages and Appendices 72 plus 48 appendices
<p>The commissioner of this Bachelor's thesis was UPM-Kymmene Oyj Kajaani. The purpose of the thesis was to clarify the reason for the moisture damage in the roof and wall structures of Machine Hall 4. Furthermore, a report on the repair alternatives was needed.</p> <p>In the thesis, roofs, roof structures and their operation were first dealt with. The roof is the fifth one in the building and the most important facade. A good care has to be taken of it. The roof which functions poorly causes problems to the other parts of the building. The structures were studied with a thermo camera. A condition study and moisture technical calculations were conducted.</p> <p>It was noticed that there are many mistakes in the structures. These were, for example, the heat bridges of the structures. It also was noticed that the ventilation of Machine Hall 4 is extremely bad.</p> <p>To solve the problems, the repair of the ventilation was first suggested. To repair the roof structures two alternatives were given: a notched mineral wool structure and an airing roof structure. The heat bridge of the structures can be repaired by insulating the structure better.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	Roofs, heat bridge of structures, correction
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	3
2 YLEISTÄ KATTORAKENTEISTA	4
2.1 Katon määritelmät	6
2.2 Yleisimmät kattomuodot	6
3 ERILAISET KATTORAKENTEET	8
3.1 Tuulettuvat yläpohjarakenteet	8
3.2 Tuulettuvat umpirakenteet	9
3.3 Tuulettumattomat yläpohjarakenteet	10
3.3.1 Suljettu rakenne	10
3.3.2 Ylipainerakenne	11
3.4 Kattorakenteen tuuletus	13
3.4.1 Loivan katon tuuletus	13
3.4.2 Jyrkän katon tuuletus	14
3.5 Katealustat	14
3.5.1 Lauta- ja rakennuslevyalustat	15
3.5.2 Betonialustat	16
3.5.3 Lämmöneristyslevyalustat	16
4 VEDENERISTÄMINEN	20
5 HÖYRYNSULUN MITOITUS	23
6 VEDENPOISTOJÄRJESTELMÄT	25
6.1 Ulkopuolinen vedenpoisto	25
6.2 Sisäpuolinen vedenpoisto	26
6.3 Sadevesiviemärit	28
7 KATON TARKASTAMINEN JA HUOLTO	29
8 KOSTEUSTEKNIikka	32
9 PAPERIKONE NELJÄN KATTO- JA SEINÄRAKENTEET	36
9.1 Paperikone neljän katto	36
9.1.2 Olosuhteet	40

9.1.3 Kosteuden tiivistymislämpötilalaskelma	40
9.2 Katon rakenne	42
9.3 Katon kosteustekninen toiminta	43
9.4 Kattoon tehdyt korjaukset	45
9.5 Konesalin seinät	46
9.5.1 Seinärakenteen ongelmat	47
9.5.2 Seinärakenteen kosteustekninen toiminta	49
9.6 Katon ja seinän liittymä- ja detaljikohdat	50
10 KORJAUSVAIHTOEHDOT	53
10.1 Uritettu mineraalivillarakenne katon korjausvaihtoehtona	53
10.2 Tuulettuva yläpohja korjausvaihtoehtona	57
10.3 Seinärakenteiden korjaus	60
11 POHDINTAA	62
12 YHTEENVETO	63
LÄHDELUETTELO	65
LIITEIDEN LUETTELO	67

1 JOHDANTO

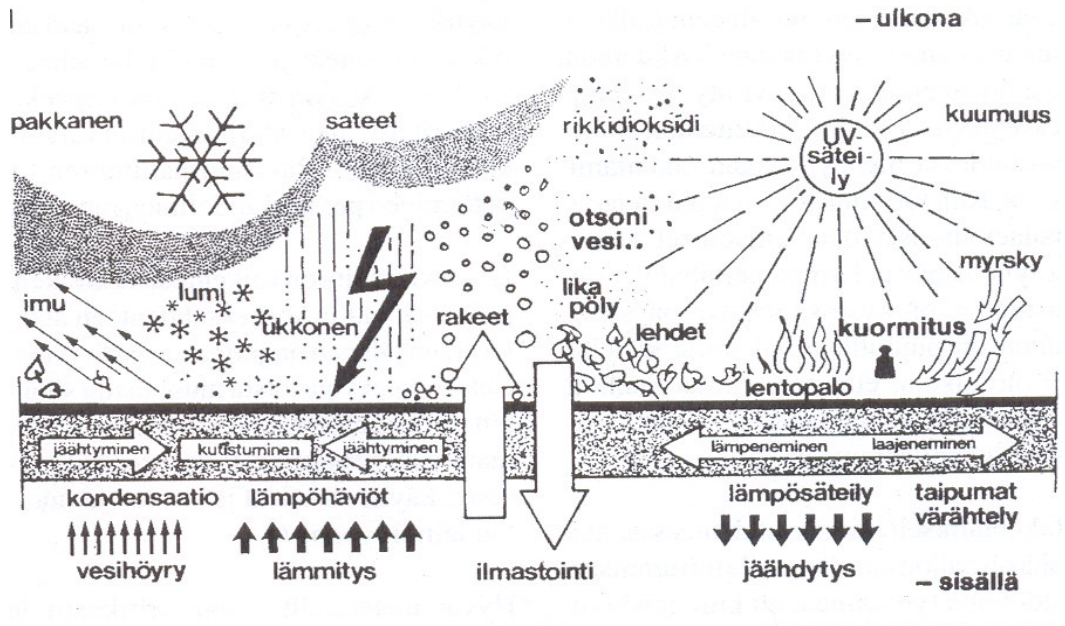
Tämän insinööriyön tilaajana oli UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin paperitehdas. Tehtaalla haluttiin selvittää ensisijaisesti paperikone neljän kattorakenteissa havaitut kosteusvauriot, lämpövuodot, virhekohdat sekä seinärakenteiden kylmäsilat ja vauriokohdat, koska konealissa näkyvät kosteusvauriot alkoivat olla laajuudeltaan sitä luokkaa, että huoli kattorakenteiden kunnosta alkoi olla todellinen. Tarkoituksena oli selvittää vauriokohdat, niiden laajuus, mahdolliset korjausvaihtoehdot ja eri menetelmien kannattavuus.

Tavoitteena oli saada kattorakenteet toimimaan olosuhteisiin nähden niille asetettujen vaatimusten mukaisesti ja mahdolliset kylmäsilat ja niiden aiheuttamat kosteus ja lämpövuodot korjattua mahdollisimman taloudellisesti ja oikein.

Ensimmäisenä tässä insinööriyössä käsitellään kattorakenteita yleisesti, jotta saadaan hyvä yleiskuva erilaisista katoista, niiden rakenteista ja toiminnasta. Seuraavaksi tarkastellaan vedeneristämistä, höyrynsulun mitoitusta, sekä kosteustekniikkaa yleisellä tasolla, koska se liittyy hyvin tärkeänä osana katon kuntoon ja toimintaan. Kyseiset asiat käsitellään luvuissa yhdestä kahdeksaan. Luvuissa yhdeksästä kahteentoista, pureudutaan paperikone neljän kattorakenteisiin, niiden ongelmiin ja vauriokohtiin sekä annetaan korjausvaihtoehdot, ja selvitetään kyseisten rakenteiden kosteusteknistä toimintaa.

2 YLEISTÄ KATTORAKENTEISTA

Katto on rakennuksen viides julkisivu. Samalla katto on julkisivuista tärkein, sillä sen kunto vaikuttaa hyvin paljon koko rakennuksen kuntoon. Vesikattoon kohdistuu eniten rasituksia verrattuna rakennuksen muihin osiin. Rasitukset ovat yleensä joko lyhytkestoisia, mutta rajuja tai jatkuvavaikuttavia. Rasitukset voidaan ajatella jakaantuvan kolmeen osaan: ulkopuolisiin, sisäpuolisiin ja rakenteen sisäisiin. Ulkopuolisia rasituksia ovat esimerkiksi sade- ja sulamisvedet, ulkoilman lämpötilan vaihtelut sekä erilaiset kuormitukset katolla. Jos katossa on pieniäkin vuotoja, siitä voi seurata suuria vaurioita ja kalliita korjauksia. Sisäpuolisia rasituksia voivat olla lämmitys, ilmastointi, jäähtytys, vesihöyry, kondensaatio ja konvektio. Rakenteen sisäisiin rasituksiin vaikuttavat hyvin paljon rakenteen ulkoiset rasitukset, kuten lämpölaajeneminen, kylmästä johtuva kutistuminen tai koneiden värähtelystä aiheutuva rasitus. Kuva 1 havainnollistaa edellä kuvattuja kattoon kohdistuvia rasituksia. [1.] [2.]



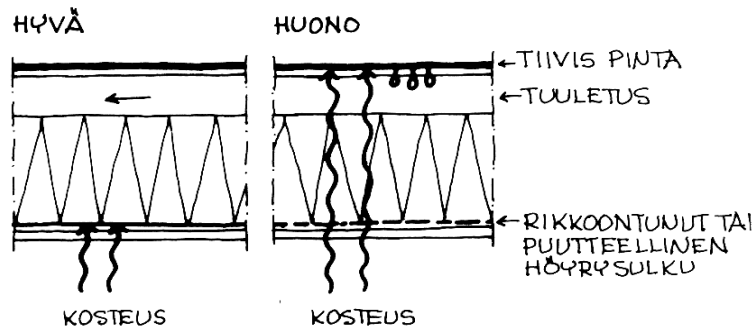
Kuva 1. Kattoon kohdistuvat rasitukset [1, s. 2].

Yläpohjarakenne muodostuu kantavasta rakenteesta, ilmansulusta, höyrynsulusta, lämmön-eristyksestä, vedeneristyksestä sekä toimivasta tuuletuksesta. Rakenteiden materiaalit ja toteutus suunnitellaan kunkin käyttökohteen tarpeita vastaaviksi. [3.]

Vesikattorakenteisiin ei saa kerääntyä sisätiloista kosteutta haitallisia määriä. Lisäksi rakennekosteuden tulee voida poistua rakenteista vaurioita aiheuttamatta.

Ongelmia esiintyy, kun rakenteessa on kastepisterajan kylmällä puolella tiivis rakenne (esim. vedeneriste), jonka johdosta kosteus ei pääse sen läpi vaan jää rakenteeseen. Mikäli tuule- tusta ei tällöin ole riittävästi, voi puurakenteissa pahimmillaan esiintyä lahoamista. Muissa rakenteissa ongelmia ovat veden kerääntyminen rakenteeseen, jäätyminen, veden tippumi- nen takaisin rakennuksen sisätiloihin, lämmöneristeiden eristyskyvyn heikkeneminen, kat- teen rikkoutuminen jne. [4.]

Kosteus voi siirtyä rakenteen läpi tai rakenteeseen ilmavuotojen eli konvektion vaikutuk- sesta, mikäli rakenteissa on rakoja tai huonosti tiivistettyjä kohtia ja ilmanpaineessa raken- teen eri puolilla on eroja. Tämän lisäksi kosteus voi siirtyä rakenteisiin rakenteen kerrosten läpi diffuusion vaikutuksesta, riippuen eri materiaalien vesihöyryn läpäisevyydestä. Rakentei- siin on asennettava ilmansulku estämään ilman virtaus rakenteen läpi. Jos rakennuksessa on paljon kosteudentuottoa, on ilmansulku toimittava myös höyrynsulkuna. Kuvassa 2 on esi- teltty hyvä ja huono höyrynsulku. [3.]



Kuva 2. Hyvä ja huono höyrynsulku [6, s. 35].

Vesikaton suunnittelussa ja toteutuksessa onkin kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden tiivyyteen. Rakenteissa olevat saumat ja liitoskohdat on oltava tiiviit ja täten estettävä haital- liset ilmavuodot rakenteiden läpi. [4.]

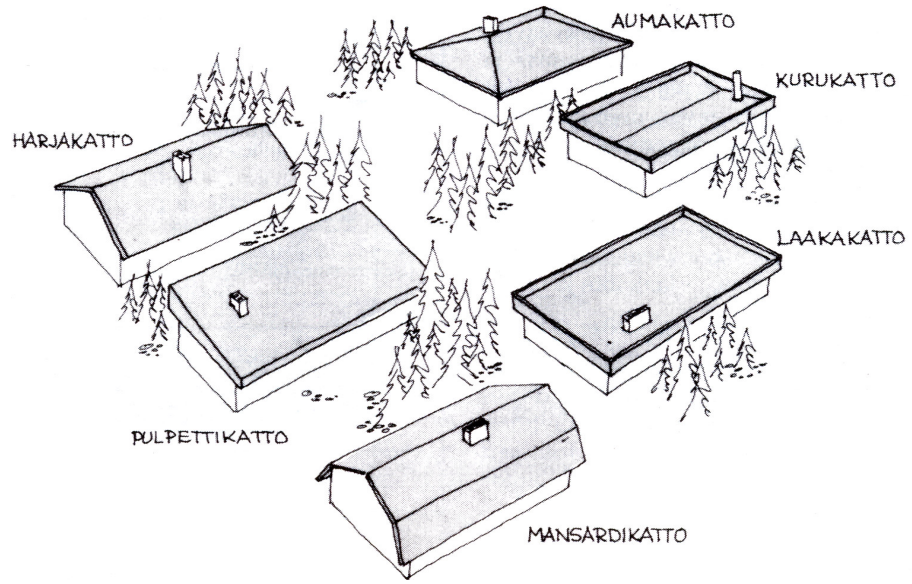
Vesikatolla on oltava riittävä kaltevuus, jotta sade- ja sulamisvedet voidaan ohjata turvallisesti pois katolta. Katteen tulee estää sade- ja sulamisvesien sekä lumen tunkeutumisen alapuolisiin rakenteisiin. Katteen alusta tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että se antaa mahdollisuuden sadevesien poisjohtamiselle katteen päältä. Itse katteella kallistuksia ei enää voida tehdä. [4.]

2.1 Katon määritelmät

Katot jaetaan usein ryhmiin veden pitävyyden, muodon ja kaltevuuden mukaan. Vedenpitävyyttä tarkasteltaessa kattorakenne voidaan suunnitella juoksevan veden pitäväksi ja/tai seisovan veden pitäväksi. Juoksevan veden pitävä katto on yleensä veden pitävä, mutta ei vesitiivis. Katteena voi olla bitumikermikate rimakiinnityksellä, bitumikerminen kattolaatta, tiilikatto, poimutettu teräsohutlevykatto, saumattu sileä peltikatto, paanukatto tai pärekatto. Seisovan veden vesitiivis kate voi olla tiivissaumainen bitumikermikate, useampikertainen bitumikate ja muovi- tai kumikate. Kuitenkaan vesitiiviillä katolla ei saa olla seisovaa vettä, koska hetkellinen vedenpaine voi aiheuttaa liian suuren rasituksen katemateriaalille. Tämän johdosta katemateriaali voi vaurioitua ja tällöin menettää vedeneristysominaisuutensa. [1]

2.2 Yleisimmät kattomuodot

Yleisimpiä kattomuotoja ovat harjakatto, pulpettikatto, aumakatto, kurukatto ja laakakatto. Harjakatto on yksiharjainen ja kaksilapainen. Pulpettikatossa on yksi lape ja kaltevuus yhteen suuntaan. Aumakatto on nelilapainen, jossa on kaksi viistoa taittuvaa lapetta. Sisäänpäin kaltevassa kurukatossa on kaksi tai useampia lappeita ja sisäpuolinen vedenpoisto. Laakakatto on vähäkaltevuuksinen ja vedenpoisto tapahtuu sisäkautta. Havainnolliset kattokuvat on esitelty kuvassa 3. [1.]



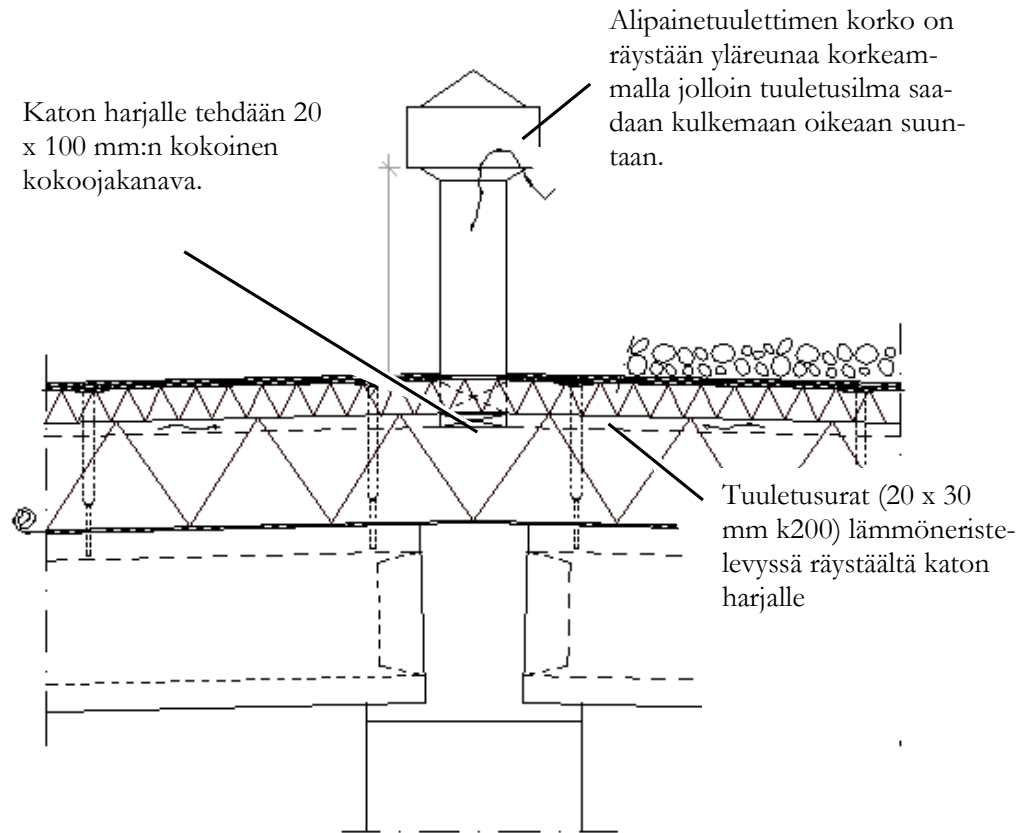
Kuva 3. Erilaisia kattomuotoja [1, s. 7].

3 ERILAISET KATTORAKENTEET

3.1 Tuulettuvat yläpohjarakenteet

Tuulettuvilla yläpohjarakenteilla tarkoitetaan lähinnä yläpohjarakenteita, joissa on selkeästi havaittava tuuletustila yläpohjan ja vesikaton välissä. Tuulettuvassa rakenteessa rakenteiden läpi siirtyvä vesihöyry poistetaan tuuletuksen avulla luonnollisesti tai koneellisesti. Tuulettuvassa rakenteessa on tuuletusväli tai tuulettuva lämmöneristyskerros. Tuulettuva rakenne tehdään ilmanpitäväksi sisätiloista tapahtuvien ilmavuotojen ehkäisemiseksi. Tuuletuksen tarve riippuu sisä- ja ulkoilmasta. [3.]

Tuuletusvälin tulee olla tuulettuvissa yläpohjarakenteissa vähintään 200 mm katto- kaltevuuden ollessa pienempi kuin 1:20 ja vähintään 100 mm tätä jyrkemmillä katoilla. Tuule- letustilan minimiarvoja ei saa koskaan alittaa. Poistoilma-aukon ollessa mahdollisimman yl- hällä ja korvausilman tuloaukkojen alhaalla saadaan korkeuseron ja lämmön vaikutuksesta yläpohjaan luonnollinen ilmanvaihto. Tuuletusmatkan ollessa pitkä, mutkainen tai siinä on paljon esteitä, voidaan tuulettusta parantaa suurentamalla vapaata tuuletustilaa, asentamalla koneellinen alipainetuuletus tai tekemällä katon harjalle harjatuuletus. [4.]

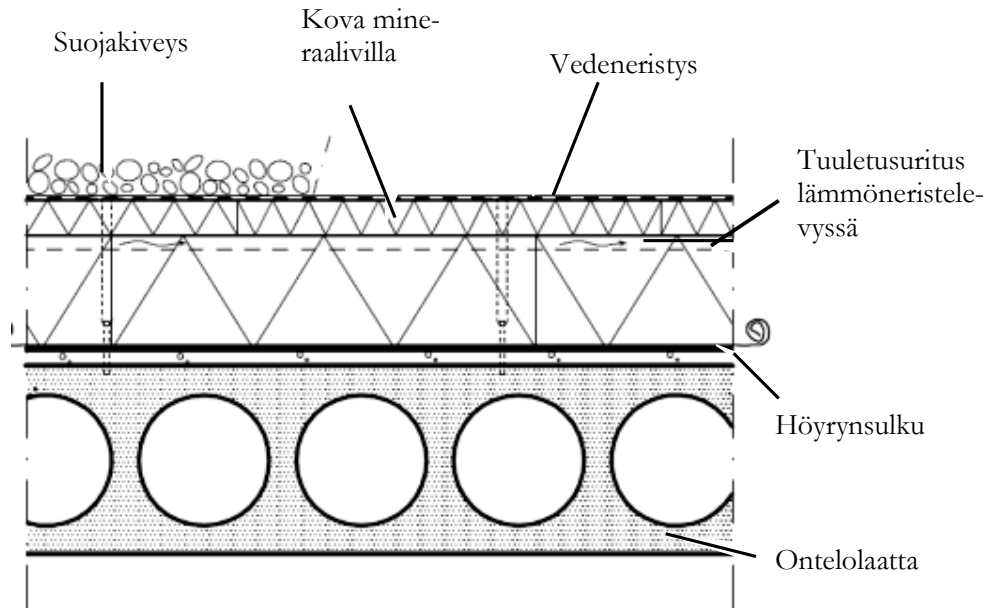


Kuva 4. Alipainetuuletin katon harjalla. [10].

3.2 Tuulettuvat umpirakenteet

Tuulettuvia umpirakenteita ovat mineraalivilla-, EPS- ja kevytsorakatot. Rakenne koostuu sisäpuolisesta höyrynsulusta, ulkopuolisesta vedeneristeestä sekä näiden väliin jäävästä lämmöneristyskerroksesta. Rakenteellinen kosteus poistetaan mineraalivilla- ja EPS-levykatoissa uritettujen lämmöneristyslevyjen ja alipainetuulettimien sekä räystäsrakojen avulla.

Kevytsorakatoissa rakenteellinen kosteus poistuu kevytsorakerroksen tuuletuksen avulla. Jotta tuulettuva umpirakenne toimisi oikein, tulee höyrinsulun olla ehdottoman tiivis. Kuivuminen perustuu urista virtaavan ilman vesihöyryn pitoisuuden kyllästysvajauteen eli tuuletusurissa virtaava ilma on kuivempaa kuin rakenteista poistuva kostea ilma. Kuvassa 5 on rakennekuva tuulettuvasta umpirakenteesta. [1.] [3.]

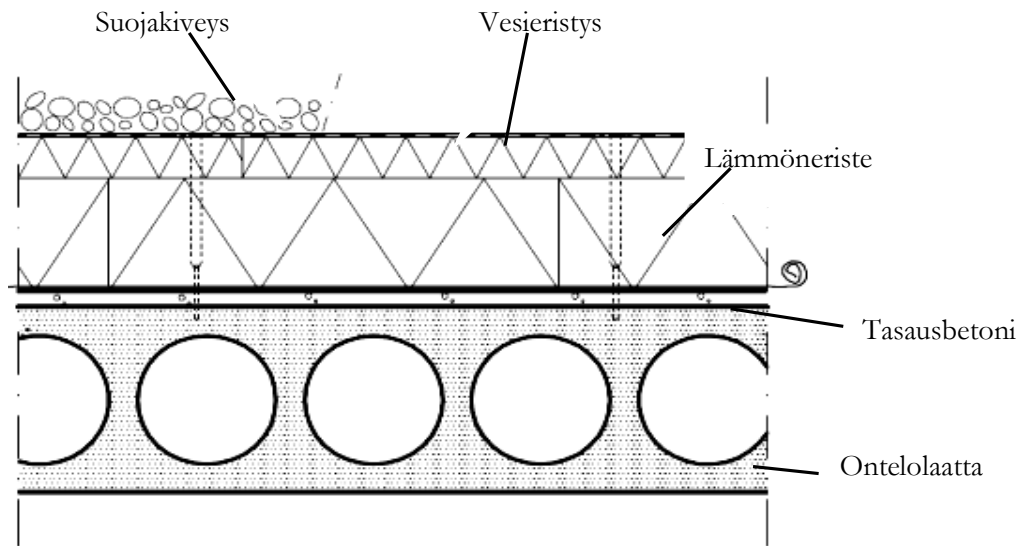


Kuva 5. Tuulettuva umpirakenne [10].

3.3 Tuulettumattomat yläpohjarakenteet

3.3.1 Suljettu rakenne

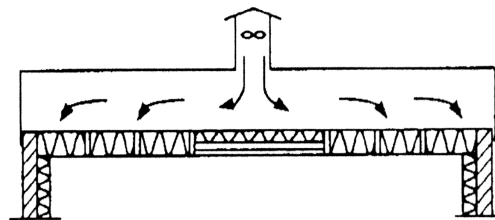
Suljettu rakenne eli niin sanottu pakettikatto koostuu kantavasta ontelolaatasta, höyrinsulusta, lämmöneristeestä sekä vedeneristyksestä. Katon toiminnan kannalta on erityisen tärkeää, että höyrinsulku on vesihöyryvastukseltaan vähintään ulkopintaa vastaava, kun kyseessä on peltikasettiratkaisu. Muussa tapauksessa tulee höyrinsulun olla ulkopintaan nähden vähintään viisinkertainen vesihöyryn vastukseltaan. Suljetussa rakenteessa tulee ehdottomasti käyttää lahoamattomia rakennusaineita. Suljetun rakenteen rakennekuva on esitelty kuvassa 6. [4.]



Kuva 6. Suljettu rakenne [10].

3.3.2 Ylipainerakenne

Ylipainekatossa yläpohjarakenne on sisäänpäin ilmaa ja vesihöyryä läpäisevä. Haitalliset ilma-
vuodot vesikatossa estetään tuuletustilan ylipaineella. Tuuletustilan ylipaineistuksella saadaan
aikaan tasainen ilmavirtaus rakenteen läpi tuuletustilasta sisätilaan. Rakennerekaisussa kate
ja räystäät on oltava ilmanpitävät. Ylipainerakenteen on toimittava myös kesällä. Täten este-
tään likaantumis-, kosteus- ym. vauriot. Ylipainerakenne on käytännössä harvinainen, koska
se on riskialtias. Kuvassa 7 on esitelty ylipainetuuletuksen toimintaperiaate. [4.]

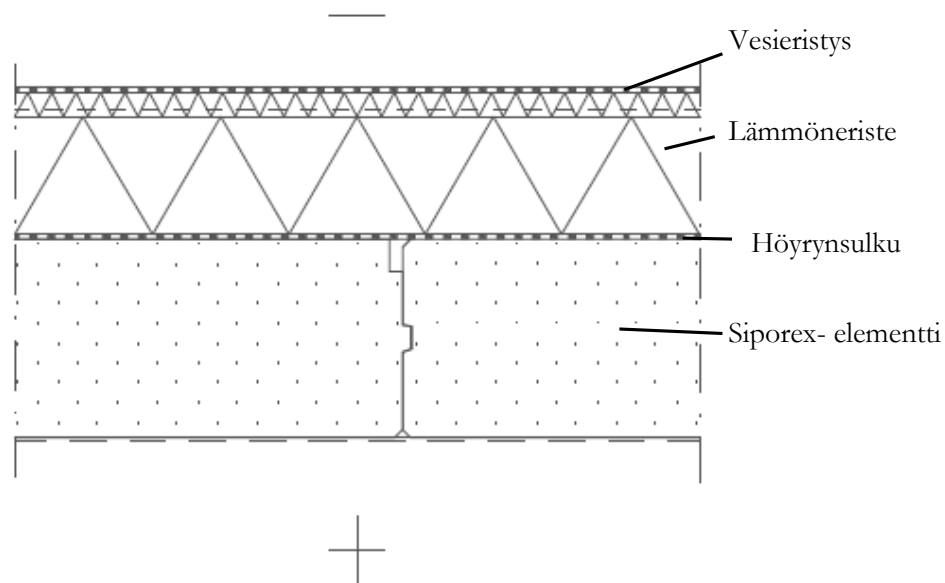


Kuva 7. Ylipainetuuletuksen periaatekuva [12].

3.3.3 Lämpimään avoin rakenne

Tyypillinen lämpimään avoin rakenne on esim. Siporex-yläpohja (kuva 8). Siinä kosteus pääsee liikkumaan sisätilan ja rakenteen välillä. Rakennetta ei suositella kohteisiin, joissa sisätilan kosteus on tavanomaista suurempi. Rakenteessa sisätilasta ulos kulkeutuva ilmavirtaus on estettävä. Rakennekosteuden on voitava poistua mahdollisimman nopeasti ja on tarkistettava, että kosteuden kerääntymistä rakenteisiin ei tapahdu haitallisia määriä. Jos rakennekosteutta ei saada poistumaan rakenteesta, voi se vaurioitua esimerkiksi pakkasen johdosta.[3.]

Katon tehtävänä on suojata rakennuksen rakenteet sekä ulkoa että sisältä tulevalta kosteudelta. Tiivis kate pitää sadeveden loitolla, mutta rakennuksen sisältä tulevan kosteuden poistaminen edellyttää kattotilan alla olevan ilmatilan ja ullakon tuulettamista. Asuintiloista rakenteen läpi nouseva vesihöyry ja kattoon tiivistyvä vesihöyry on johdettava ulos, jotta kattorakenteet eivät vaurioituisi. Kesäisin tuuletus viilentää sisätiloja ja talvella kuivattaa ja parantaa yläpohjan eristeiden lämmöneristyskykyä.



Kuva 8. Lämpimään avoin rakenne [11].

3.4 Kattorakenteen tuuletus

Katon tuuletuksessa on eräitä perusolettamuksia, joista yksi on, että ilma ei liiku itseltään vaan se on jollain tavalla saatava liikkeelle. Ilma saadaan liikkeelle luonnollisen paine-eron tuulenpaineesta ja imusta, painovoimaerolla, joka saadaan lämpötilojen vaikutuksesta tai koneellista puhallusta tai imua apuna käyttäen. Puutteellinen tuuletus on usein syynä niin sanottuihin vuotoihin. Tuuletustilan avulla vesikattorakenne pidetään mahdollisimman samassa lämpötilassa ja kosteuspitoisuudessa kuin ympäröivä ilma. Tällä onkin erittäin suuri merkitys talvikautena, jolloin sisäilman ja ulkoilman lämpötilaerot voivat olla suuria. Yleensä tuuletustila vaaditaan kaikkiin kattorakenteisiin katemateriaalista ja kattokaltevuudesta riippumatta. Lähes kaikissa vesikatoissa on jonkinasteisia tuuletusongelmia. Kun ne korjataan oikealla suunnittelulla ja toteutuksella, poistuu samalla suurin osa niin sanotuista vesikaton vuodoista. [1.]

3.4.1 Loivan katon tuuletus

Loivissa vesikatoissa tuuletustila on oltava vähintään 200 mm. Tuuletusaukkojen keskinäinen etäisyys tuuletetuissa katoissa on yleensä suuri, jolloin rakenteellinen tuuletus on huono, vaikka tuuletusaukkoja on reilusti enemmän, kuin määräykset vaativat. Tuuletusilman tulo- ja poistoaukkojen etäisyys toisistaan ei saa olla suurempi kuin 6-8 metriä. [1.]

Tuuletukselta suunniteltaessa on huomioitava luonnollinen paine-ero ja käytettävä sitä hyödyksi mahdollisimman paljon, jotta välttyttäisiin kalliimmilta koneellisilta tuuletusratkaisuilta. Jos kantavat kattorakenteet ovat rakennukseen nähden poikkisuunnassa ja rakennuksen rungon leveys pieni, alle kahdeksan metriä, riittää räystäällä olevat tuuletusaukot. Jos taas kantavat kattorakenteet ovat rakennuksen pituussuunnassa tai rakennuksen runkoleveys on enemmän kuin kahdeksan metriä, on lappeen molemmille puolille rakennettava mahdollisuus tuuletukselle. Tällöin rakennetaan katon harjalle tuuletusilman kokoojakanava, josta tuuletusilma poistetaan alipainetuulettimien avulla. Kokoojakanava jakaa lappeen kahdeksi eri ”lohkoksi”, jotka tuuletetaan. Tällöin saadaan tuulettuvan matkan pituus puolitettua ja tuuletus toimimaan luontevammin. [1.]

Loivissa kattoratkaisuissa on yleensä virheenä suljettu rakenne, joka ei tuuleteta tai tuuletetaan erittäin huonosti. Aikaisempina vuosina, kun teollisuuden rakentamisessa alettiin käyttää niin sanottuja pakettikattoja, laskettiin, että rakennukseen kertyy haitallinen määrä kosteutta tietyssä ajassa ja tällä tavalla mitoitettiin rakenteelle käyttöikä. [1.]

Kuitenkin todellisuus on osoittanut, että rakennekosteudesta johtuvat vauriot ovat heikentäneet rakenteiden kestävyyttä ja käyttöikää huomattavasti nopeammin kuin laskelmat osoittivat rakenteen elinkaaren alkuvaiheessa. [1.]

3.4.2 Jyrkän katon tuuletus

Jyrkät katot voidaan jakaa kahteen ryhmään: ullakollisiin ja kattoihin joissa lämmöneriste seuraa vesikaton suuntaa. Jyrkissä katoissa tuuletuksen hoitaminen on helpompaa verrattuna loiviin kattoihin. Mitä suurempi kattokaltevuus on, sitä parempi on katon tuuletus. Tuuletuksen korjaaminen lähtökohdissa, joissa se on joko huonosti toteutettu tai sitä ei ole lainkaan, on hyvin kallista ja suuritöistä. [1.]

3.5 Katealustat

Vesikatto tulee suunnitella siten, että katteen alustan, niihin liittyvien rakenteiden ja katteen liikkeet eivät aiheuta vaurioita katteelle. Näitä liikkeitä voivat aiheuttaa katteen alustan taipuminen, alustan kosteuden muutokset, alustan lämpötilan muutokset, bitumi-liimauksella kiinnitettyjen lämmöneristyslevyjen siirtyminen toistuvien lämpötilamuutosten johdosta, lämmöneristyslevyjen tilavuuden muutokset, kosteuden ja lämpötilan vaihteluiden aiheuttamat katteen liikkeet. [4.]

Alustastaan irralleen laakeroidussa ja reunoiltaan kiinnitettyssä katteessa katteen omat lämpötilan muutokset aiheuttavat liian suuria rasituksia katteeseen, ellei sillä ole lujuuden lisäksi riittäviä venymäominaisuuksia. [4.]

Katteen alusrakenteen tulee olla kiinteä ja tasainen. Siinä ei saa olla rakoja eikä jyrkkäreunaisia hammastuksia. Rakenne tulee olla riittävän jäykkä, jotta katolle ei synny painumia, jotka vahingoittavat vedeneristystä tai estävät veden poistumista katolta. [3.]

Alusta tulee tehdä riittävän kaltevaksi. Kallistukset yleensä tehdään jo kantavaan rakenteeseen. Katteen avulla kallistuksia ei voi tehdä. Vedeneristyskermit valitaan kattokaltevuuden mukaan. Mitä loivempi on katto, sitä suuremmat vaatimukset asetetaan kateen vesieristykselle. Riittävän suuri kaltevuus varmistaa hyvän ja taloudellisen lopputuloksen. [3.]

Alusmateriaalia valittaessa on suunniteltava koko rakenteen toiminta ja otettava huomioon myös tuuletuksen ja höyrynsulun tarpeellisuus. Alustan tulee olla kuiva, puhdas, lumeton ja jäätön. [1.]

3.5.1 Lauta- ja rakennuslevyalustat

Alustan tulee olla tasainen ja notkumaton ja se tehdään yleensä ristiin tuulettuvaksi. Tuuletusvälin on oltava riittävän suuri, vähintään 100 mm.

Lauta-alusta tehdään enintään 95 mm leveästä raakaponttilaudasta. Vähimmäispaksuus on oltava 20 mm. Lautojen tulee olla täyskantaisia ja kuivia. Kosteus ei saa ylittää 20 % kuivapainosta. Lautojen tulee olla vähintään vientisahatavaran lajitteluohjeiden mukaisesti luokiteltu. Lautojen jatkokset sijoitetaan tukien kohdille ja laudan pituuden on oltava vähintään kaksi tukiväliä. Lautojen kosteuden- ja lämmönvaihtelun aiheuttama laajeneminen otetaan huomioon jättämällä lautojen väliin riittävä rako.

Levyalustana voidaan käyttää tähän tarkoitukseen valmistettua rakennuslevyä, joka kiinnitetään valmistajan ohjeiden mukaisesti. Tukien suuntaiset saumat sijoitetaan tukien kohdalle. Tukia vastaan kohtisuoraan olevien saumojen tulee olla pontatut tai reunojen hammastus/painuminen estetään muulla tarkoituksenmukaisella tavalla.

Levyt asennetaan niin, että poikittaiset saumakohdat eivät asetu kohdakkain. Levyjen tulee ulottua vähintään kahden kannakevälin yli. Saumoissa tulee ottaa huomioon kosteuden- ja lämmönvaihtelun aiheuttama pituus- ja leveyslaajeneminen. Levykoot tulee valita siten, että kosteus ja lämpöliikkeet eivät aiheuta haittaa vedeneristykselle. Lauta- ja rakennuslevyalustan minimikaltevuus on 1:40. [1.]

3.5.2 Betonialustat

Betonialusta voi olla betonia, kevytbetonia tai kevytsorabetonia. Rakenne voi olla paikalla valettu tai elementti. Pinnan tulee tasaisuudeltaan vastata vähintään puuhierrettyä betonipintaa.

Katteen ja vedeneristyksen suunnittelussa on otettava erityisesti huomioon betonialustan lämpöliikkeet ja liikuntasaumot. Lisäksi suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon rakenteen tuuletus ja rakennekosteuden poistuminen sekä betonielementtien saumakohtat ja niiden liitokset ja kiinnittyminen muihin rakenteisiin.

Jos rakennekosteutta ei tuuleteta pois, se jää betonialustan ja katteen väliin muodostaen hyvin alkalisen vesikerroksen, joka vaurioittaa katetta liuottamalla tukikudoksen materiaaleja. Alimmaksi kermiksi ei tämän johdosta suositella esim. lasikuitupohjaista kermiä. Kevytsoran päällä betonivalun tehokas paksuus täytyy olla alle 40 mm, betonin lujuusluokka k15 – k20 ja sementtimäärän on oltava alle 250 kg/m³. [4.]

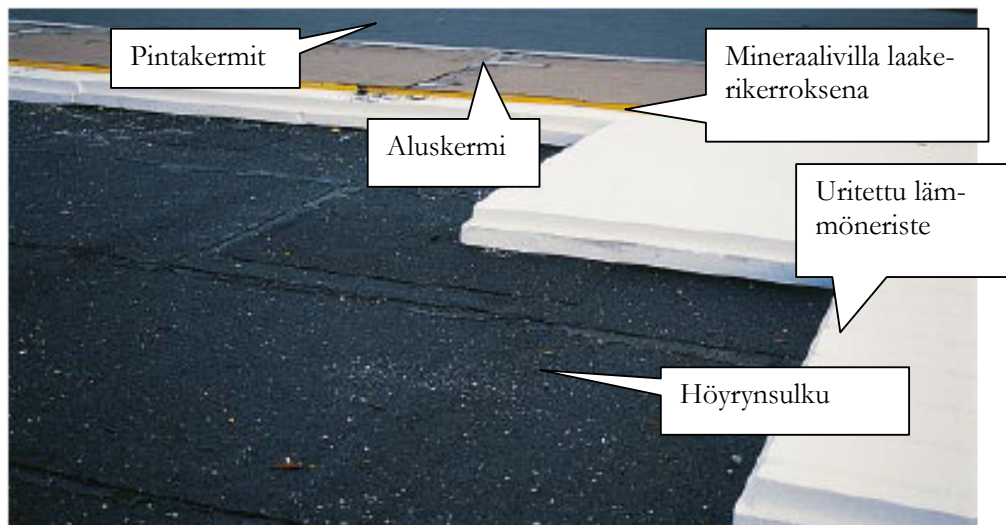
Kevytsorakatoissa tuuletuksen mitoituksessa sovelletaan VTT:n laatimia mitoitus-taulukoita tai valmistajan ohjeita. Vaikeissa olosuhteissa on hyvä käyttää tuuletusputkia, jotka on lämmöneristettävä.

Betonialusta jaetaan tarvittaessa alueisiin halkeamajohteilla eli kutistumissaumoilla. Kutistumissaumojen väli on yleensä 10–20 m, huomioiden valettavien alueiden koko ja muoto. Eri rakennusosien ja kattoalueiden liittymäkohdissa on käytettävä kutistumissaumoja. Betonialustalla kermikate tulee jättää irti alustastaan käyttäen riittävää suoja-kiveystä tai kermi kiinnitetään pisteliimauksella alustaan. [1.]

3.5.3 Lämmöneristyslevyalustat

Lämmöneristyslevyjä käytettäessä alusrakenteina on aina käytettävä riittävän tiivistä höyrynsulkua, jotta rakenne toimisi oikein Suomen olosuhteissa. Tuulen aiheuttaman imukuorman johdosta eristelevyt kiinnitetään alustaan mekaanisesti tai bitumiliimauksella, ellei pintakerrosten paino ole riittävä levyjen paikallaan pysymiseksi. Pääosin kiinnikkeet suositellaan asennettaviksi aluskermin läpi. Kiinnitystiheyden vesikaton keskialueilla on oltava sellainen, että jokainen lämmöneristelevy tulee kiinnitetyksi vähintään kahdesta kohti. Korkeiden rakennusten reuna-alueilla tai muissa erityiskohteissa kiinnitystiheys

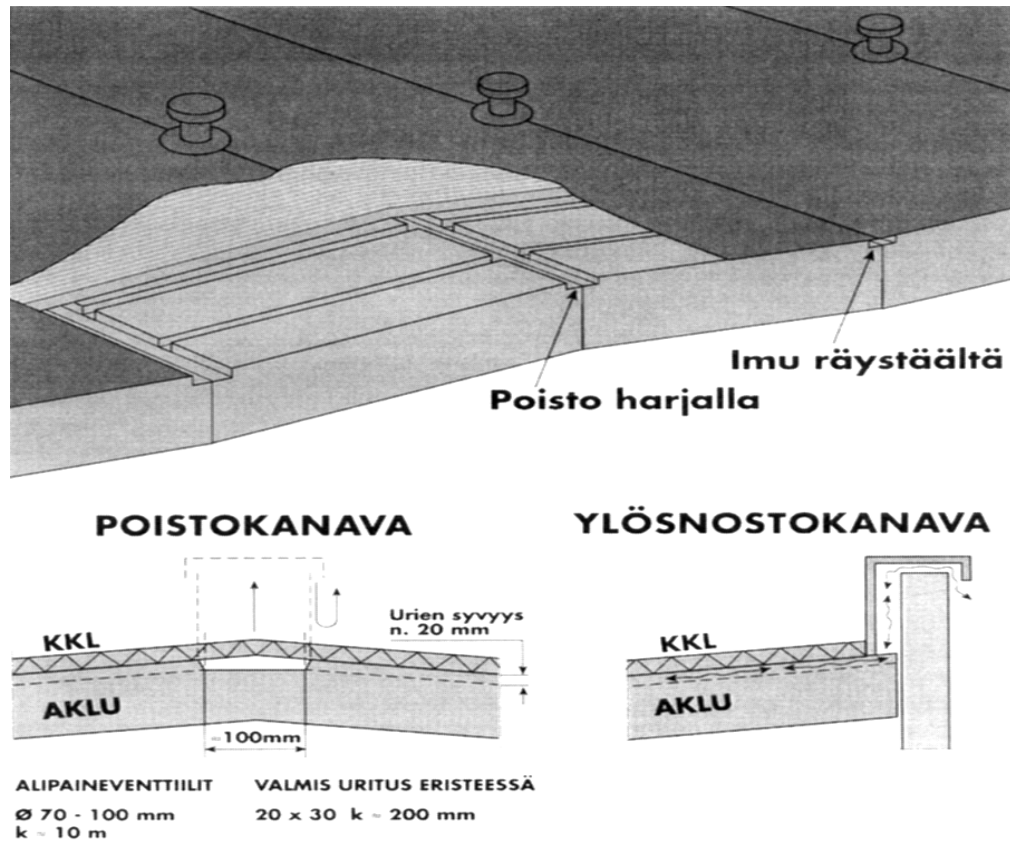
tulee olla vähintään neljä kappaletta jokaista neliometriä kohden. Lämmöneristelevyjen saumat eivät saa muodostaa ristikuvioita ja eri kerrosten saumojen tulee olla limittäin. [1.]



Kuva 9. Uritettu lämmöneristelevyrakenne [16].

Kattorakenteen tuuletus voidaan rakentaa uritetuista lämmöneristelevyistä (kuva 16). Uritus tulee tehdä koko lappeen matkalle harjalta räystäälle saakka. Uritukset on kohdistettava, ja harjalle on tehtävä kokoojakanava, jonka kohdalle asennetaan alipainetuuletin. Kokoojakanavan syvyys on sama kuin tuuletusurissa eli 20 mm ja leveys 50–100 mm. Myös korvausilman saanti uritukseen on järjestettävä räystäiden puolelta ylösnoton yhteydessä.

Kokoojakanavien avulla varmistetaan tuuletus erilaisten kattorakenteiden kohdalla, kuten esimerkiksi kattoikkunoiden, ilmastoinnin konehuoneiden ja muiden suurempien läpivientien ympärille, jolloin tuuletusilmalla on esteetön pääsy katon joka osalle. VTT:n tekemien tutkimusten mukaan kattorakenteista voi poistua parhaimmassa tapauksessa kosteutta neljän kuukauden aikana yli 20 litraa, katoneliometriä kohti. [1.]



Kuva 10. Periaatekuva lämmöneristelevyn tuuletusurista [1, s. 43].

Mineraalivilla-alusta

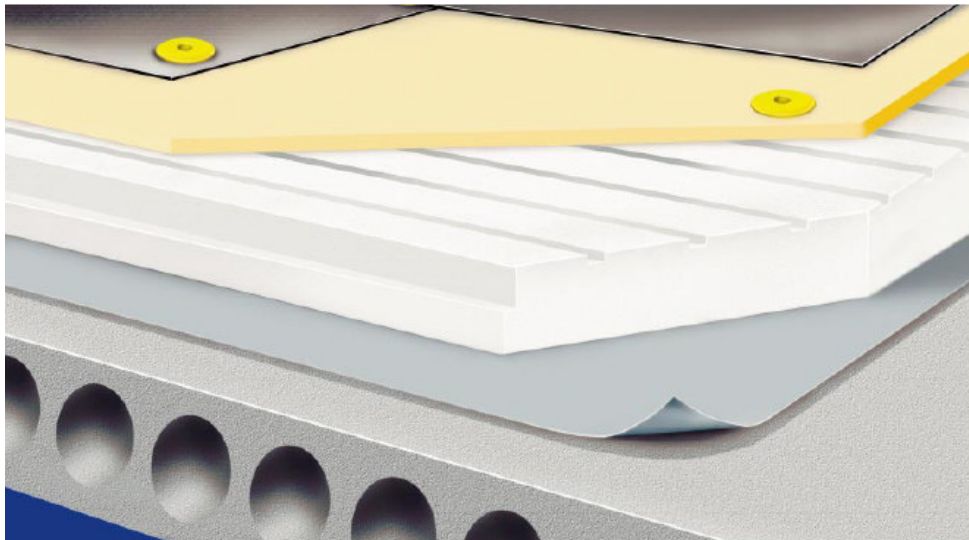
Käytettäessä mineraalivillalevy- yhdistelmää on päällimmäisen kerroksen oltava kovaa villaa paksuudeltaan vähintään 20 mm. Suomessa käytettävillä eristyspaksuuksilla voi esiintyä enintään 20 mm:n lyhytaikaisia, paikallisia painumia, joista ei vedeneristykselle aiheudu vaurioita.

Mineraalivillaeristeen asennuksessa ei saa syntyä avonaisia saumoja. Jos kuitenkin saumoja jostain syystä tulee, on ne täytettävä mineraalivillasuikaleilla. Kun eristelevyjä liimataan alustaan, on otettava huomioon se seikka, että hyvin onnistunut kauttaaltaan tehty bitumiliimaus saattaa muodostaa ylimääräisen höyrynsulun, jonka ansiosta rakenne saattaa käyttäytyä arvaamattomasti. [4.]

Muovieristyslevyt

Katoilla käytettävien muovipohjaisten eristyslevyjen, kuten EPS, XPS ja PUR, tulee täyttää ISO 4898-standardi. Levyjen ja vedeneristyskerroksen väliin on hyvä laittaa erillinen laakerointikerros, esimerkiksi mineraalivillalevy. Eristelevyjen liimauksessa käytettäessä kylmäliimausta on liiman soveltuvuus muovipohjaisille eristelevyille tarkistettava. Rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa on huomattava, että myös muovieristeiden yhteydessä vaaditaan hyvä ja toimiva höyrynsulku. [1.]

XPS- ja PUR-levyjä käytetään yläpohjarakenteissa vastaavalla tavalla kuin EPS-levyjä. XPS-levyjä suositellaan pääasiassa käännettyihin rakenteisiin, kuten liikennöidyille taasoille, kun taas EPS- ja PUR-levyt eivät niihin sovellu. XPS-levyt kestävät hyvin kosteutta ja ne eivät mätäne. Lisäksi levyihin ei pesiydy sieniä tai muita mikro-organismeja. XPS-levyjä on saatavilla myös tehdaspinnoitteisina, jolloin levyn pinnassa on valettu 10 mm:n erikoisbetonikerros, joka suojaa rakennetta mekaanisilta rasituksilta, on palamaton ja on riittävä lisäpaino, jotta levyt pysyvät paikoillaan. [1.]



Kuva 11. EPS- lämmöneristelevyalusta [16].

4 VEDENERISTÄMINEN

Vedeneristykset muodostavat rakennuksessa yhdessä toimivien perustusten ja lämmön-eristyksien kanssa peruskokonaisuuden, joiden varassa rakennus turvallisesti toimii. Vedeneristyksessä voidaankin tehdä suuria virheitä johtuen puutteellisista tiedoista. Kun suunnitelmissa tehdään virheitä tai niissä on puutteita, aiheuttavat ne ongelmia, joita on vaikeaa jälkeinpäin selvittää.

Helposti voidaan ajatella, että hankitaan halvin rakenneratkaisu, joka uskalletaan toteuttaa suunnitelmien puitteissa. Suuria kohteitakin on toteutettu maininnalla, että työ annetaan ulkopuoliselle kattofirmalle ja työstä on saatava takuu kymmeneksi vuodeksi. Jälkikäteen onkin tullut vaikeita tilanteita eteen huolimattomuuden ja suunnitelmien puutteellisuuden vuoksi.

Vedeneristyksen täydellisen onnistumisen tae on yksityiskohtien tarkka suunnitteleminen ja toteutus. Katon vuodot johtuvatkin usein huonosti onnistuneista yksityiskohdista. [1.]

Viralliset määräykset veden- ja kosteuden eristämiseksi antaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2. Määräysten kohdassa yksi sanotaan, että rakennuksen on tarkoituksenmukaisesti suojattava sisätiloja veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta ja tehtävä terveellisen sisäilmaston ylläpitäminen mahdolliseksi. [8.]

Kun eristystyö aloitetaan, on suoritettava esivalmistelut huolella, jotta työsuoritus voidaan toteuttaa mahdollisimman hyvin. Eristystyö suoritetaan yleensä yhtäjaksoisesti alusta loppuun, jos olosuhteet sen suinkin sallivat. Huonoissa olosuhteissa voidaan kattorakenteiden suojaamiseksi levittää alus- ja välikermi väliaikaiseksi katteeksi. Pintakermi voidaan sitten kiinnittää, kun olosuhteet ovat paremmat. Työjärjestys suunnitellaan siten, että työn aikana ja työn jälkeen rakennekosteus pääsee poistumaan rakenteista. [1.]

Sisäpuolelta tulevan kosteuden lisäksi on otettava huomioon sateet, joita voi työn suorituksen aikana olla, sekä katteen rikkoutumisen vaikutukset. Jos ilmenee tarvetta, voidaan työmaalle järjestää luonnollinen tai koneellinen tuuletus rakennuskosteuden poistamiseksi. [1.]

Lämmöneristyslevyt on suojattava välittömästi työn salliessa vedeneristyskerroksella tai tilapäisesti esim. suojamuovilla. Eristetyn alueen päällä tapahtuvan kulun aiheuttaman eristelevyjien rikkoutumisen estämiseksi on alueelle asennettava suojalevytys, joka jakaa kuormitukset laajemmalle alueelle.[1.]

Ennen kuin vesikaton eristystyöt aloitetaan, työn aikana ja työn valmistuttua tulee suorittaa riittävässä määrin katselmuksia ja tarkastuksia, joissa todetaan ovatko alusta, eristyskerrokset, erityiskohdat ja suojaukset asennettu ohjeiden mukaisesti. Kun eristystyö on saatu valmiiksi, suoritetaan katolle 72 tuntia kestävä vesikoe. Vesikokeita suositellaan kohteissa, joissa katteen vuotaminen voi aiheuttaa huomattavia vahinkoja ja joiden korjaus on vaikeaa ja kallista. [1.]

Kermit tulee asettaa vesikatolle siten, että katon muoto ja kaltevuus huomioon ottaen vesi valuu kaikkialta suuntaan, johon veden poisto on suunniteltu. Räystäät, harjat sekä kuve ja rintataitteet katetaan aina näiden suuntaisilla kermeillä, huomioimatta sitä miten lape on muuten katettu. Kermit tulee limittää saumakohdissa vähintään 100 mm. Lisäksi kermit on jaotettava siten, että alimmaisten kerrosten saumakohdat eivät satu kohdakkain päällimmäisten kermien saumojen kanssa. [9.]

Kermit voidaan kiinnittää alustaansa usealla eri tavalla. Esisivelyssä bitumiliuossively tehdään puhdistetulle, tasoitetulle ja kuivalle kattopinnalle. Liuos levitetään siten, että se ei lammikoidu. Työn aikana on huolehdittava riittävästä tuuletuksesta siihen asti kunnes liuos on kuivunut. [9.]

Jos aluskermi kiinnitetään pisteliimauksella, tehdään esisively myös pisteittäin. Liimattaessa bitumikermit kauttaaltaan alustaansa tulee bitumikerroksen olla yhtenäinen ja mahdollisimman samanvahvuinen. Bitumi levitetään alustalle kermirullan eteen tarkoitukseen sopivalla työvälineellä. Bitumiliuoksen lämpötila ei saa laskea liian paljon ennen liimausta.[9.]

Kun bitumikermit liimataan alustaan pisteittäin, tulee liimatun alan olla noin 20 % koko alasta. Liimauspisteen koko saa olla enintään 300 mm x 300 mm. Yhtenäisiä raitoja ei saa tehdä. Liimauspisteet eivät saa osua alustan saumojen kohdalle. Kuumentamalla saa kiinnittää vain siihen tarkoitukseen valmistettuja kermejä. Aluskermi kiinnitetään kuumentamalla sekä bitumisivelyä että kermiä. Kuumentaminen tehdään koko kermin le-

veydeltä. Työn edetessä saumojen kiinnittymiseen tulee kiinnittää erityisen tarkkaa huomiota. [9.]

Kermien kiinnittämiseen nautoilla käytetään kuumasinkittyjä nautoja. Naulaväli kermin reuna- alueella tulee olla 70 mm. Jos huovan tai maton leveys on yli 700 mm, naulataan se lisäksi keskikohdalta noin 150 mm:n välein. Kiinnitettäessä kermi alustaansa vain nautoilla, tulee naulamäärän olla vähintään 25 kpl/m². [9.]

Katteen lävistyksiset

Kermikatteen lävistyksiä ei saa sijoittaa sisätaitteisiin, lähelle toisiaan tai lähelle seinää. Lävistyksiset tulee liittää vedenpitävästi katteeseen. Putkissa, jotka lävistävät katteen, tulee olla joustavat läpivientitiivisteet. Muissa vesikaton läpivienneissä tulee vedeneristys nostaa vähintään 300 mm katosta ja vähintään 100 mm katon padotuskorkeuden yläpuolelle. Katon lävistyksissä tulee kiinnittää erityistä huomiota läpivientien ilmatiheuteen. Mahdollinen höyrynsulku tiivistetään kaikissa lävistyskohdissa siten, ettei ilmavuoja pääse syntymään rakenteen sisään tai sen läpi. [9.]

5 HÖYRYNSULUN MITOITUS

Höyrynsulun ja tuuletuksen tarve riippuu koko rakenteen toiminnasta. Periaatteessa tuulettuva rakenne on aina turvallisempi kuin tuulettumaton. Mitä heikompi tuuletus, sitä suurempi on höyrynsulun tarve. Rakennuksen sisällä oleva lämmin ilma sisältää aina kosteutta. Tämä kosteus pyrkii vesihöyrynä rakenteen läpi kuivempaan ulkoilmaan, varsinkin kylminä vuodenaikoina. Kosteuden siirtymistä rakenteen läpi tai rakenteeseen itseensä tapahtuu ilmavuotojen vaikutuksesta, mikäli rakenteissa on rakoja tai epätiivitä kohtia, ja ilmanpaineessa rakenteen eri puolilla on eroja, tai rakenteen kerrosten läpi, riippuen eri materiaalien erilaisesta kyvystä läpäistä tai estää höyryn kulkua. Tällöin rakenteen eri puolilla on erilainen vesihöyryn osapaine ja se pyrkii tasaantumaan, jolloin höyry tunkeutuu rakennekerrosten läpi.

Ongelmia alkaa muodostua silloin, kun rakenteessa on kastepisterajan kylmällä puolella niin tiivis rakenne (esim. vedeneriste), että kosteus ei pääse sen läpi vaan jää rakenteeseen. Mikäli tuulettusta ei tällöin ole riittävästi, voi puurakenteissa pahimmillaan esiintyä lahoamista. Muissa rakenteissa ongelmia ovat veden kerääntyminen rakenteeseen, jäätyminen, veden tippuminen takaisin rakennuksen sisätiloihin ja lämmöneristeiden eristyskyvyn heikkeneminen.

Höyrynsulun tulee estää rakennuksen sisältä vesihöyryn siirtyminen rakenteiden läpi. Höyrynsulku onkin mitoitettava järkevästi vallitsevien olosuhteiden ja käytettävien materiaalien mukaan. Rakennuksen vaipan tiiviiden tulee olla ilmavuotojen suhteen niin tiivis, että ilmanvaihdolla on mahdollisuudet pitää rakennus alipaineisena tai paineettomana verrattuna ulkoilmaan.

Höyrynsulkuna käytetyn tarvikkeen kestävyys saumoineen tulee vastata muun rakennuksen käyttöikä. Mitoittavana käyttöikä ei käytetä katteen käyttöikää vaan kantavalle rakenteelle asetettua käyttöikävaatimusta.

Mikäli laskelmin tai muilla selvityksillä tarkemmin muuta osoiteta, tulee höyrynsulun vesihöyrynvastuksen normaalihuonetiloissa olla vähintään $15 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$. Kosteammassa tiloissa sekä suljetuissa rakenteissa tulee höyrynsulun vesihöyrynvastuksen olla suurempi. [4.]

Taulukko 1. Suositeltavia höyrynsulkumateriaaleja [4, s. 53].

TUOTE	Vesihöyrynvastus [m ² s Pa/kg] *10 ⁹
1. Muovikalvo 0,2 mm	500
2. Euratex Al	2 500
3. Butyylikumi 0,5 mm tai BTL2	1 600
4. Modifioitu bitumikermi BTL4 kauttaaltaan bitumilla liimaten	500
5. Modifioitu bitumikermi BTL4 + Al kauttaaltaan bitumilla liimaten	10 000
6. Höyrynsulkumaalit: kloorikautsumaali	500

Taulukko 2. Höyrynsulkumateriaalin valintataulukko [4, s. 53].

Kantava rakenne	Katon alapuolisen sisätilan suhteellinen kosteus talvikausina		
	alle 30 %	30...50 %	yli 50 %
Kevytrakenteinen puu/levy-yläpohja	1,2	2	-
Teräspoimulevy	1,2	2	-
Ontelolaatta, ei kallistusbetonivalua	1,2	2,4	5
Ontelolaatta, kallistusbetonivalu	2,4	2,5	5
Paikallavalurakenne, kuorilaatta + valu	4	5	5

6 VEDENPOISTOJÄRJESTELMÄT

Jotta vesikatto toimisi oikein ja häiriöttömästi, täytyy katolle tulevat sade- ja sulamisvedet johtaa katolta pois. Katon muoto ja käytetyt menetelmät huomioon ottaen vedenpoisto voidaan toteuttaa joko ulko- tai sisäpuolisella vedenpoistolla. Lisäksi hyvä vedenpoisto antaa lisää aikaa katteen moitteettomalle toiminnalle sen varsinaisia vaatimuksia silmälläpitäen. [1.]

6.1 Ulkopuolinen vedenpoisto

Ulkopuolinen vedenpoisto soveltuu lähes kaikkiin vesikattoihin, joissa on kaltevuus ulospäin. Näissä sade- ja sulamisvedet johdetaan räystäällä olevien kourujen kautta sadevesiviemäriin tai muulla tavalla pois katoilta ja rakennusten vierustoilta. Räystäskourujen kiinnitys on suunniteltava ja toteutettava siten, että veden virtausta häiritseviä painaumuksia ei pääse syntymään. Kallistukset räystäskouruissa on oltava n. 1:100 siten, että vesi ohjautuu syöksytorviin. Esimerkki ulkopuolisesta vedenpoistosta on kuvassa 12. [4.]



Kuva 12. Ulkopuolinen vedenpoisto [3].

Ulkopuolisia vedenpoistojärjestelmiä on saatavana useina eri sarjoina, joissa on kaikki tarvittavat osat ja joiden asennus on helppoa. Kourujen ja syöksytorvien tulee olla galvaanisen syöpymisen estämiseksi samaa materiaalia tai syöpymätöntä ainetta. [4.]

Ulkopuolisessa vedenpoistossa on yleensä haittana järjestelmän jäätyminen, joka rikkoo kourut tai syöksytorvet. Jäätymishaitat voidaan torjua kouruihin ja syöksytorviin asennettavilla vastuskaapeleilla, joita tulee käyttää, kun on vaarana, että järjestelmä voi jäättyä. Rästaskouruihin kertyy usein myös lehtiä, neulasia ja muuta epäpuhtautta, joka haittaa veden vapaata virtaamista syöksytorviin. Kouruihin on saatavana UV-suojattuja ja säänkestäviä PU-muovista valmistettuja ritilöitä, joiden johdosta kouruihin ei pääse epäpuhtauksia ja kourut on helpompi pitää puhtaana.[1.]

Sadevesikourut voivat vaurioitua katolta tippuvan lumen ja jään takia varsinkin jyrkillä teräsohutlevykatoilla. Tästä johtuen rästaskourut onkin asennettava lappeen pinnan alapuolelle niin, että katolta valuva lumi ja jää valuvat kourun yli, mutta ei niin alas, ettei vesi mene kourun yli. [1.]

6.2 Sisäpuolinen vedenpoisto

Sadevesiputket sijoitetaan sisäpuolisessa vedenpoistossa rakennuksen sisälle lämpimään tilaan. Katoille, jotka on rakennettu siten, että lappeat muodostavat kouruja tai kallistuksilla saadaan aikaan erillisiä vedenkertymisalueita, asennetaan kattokaivot, jotka on liitetty kattomateriaaliin vedenpitävästi. Kattorakenne on suunniteltava siten, että kattokaivon tukkeutuessa vesi pääsee virtaamaan joko toiseen kattokaivoon tai se ohjataan seinälinjan ulkopuolelle ulosheittäjän avulla. Kuvassa 13 on sisäpuolisen vedenpoiston kattokaivo. [1.]



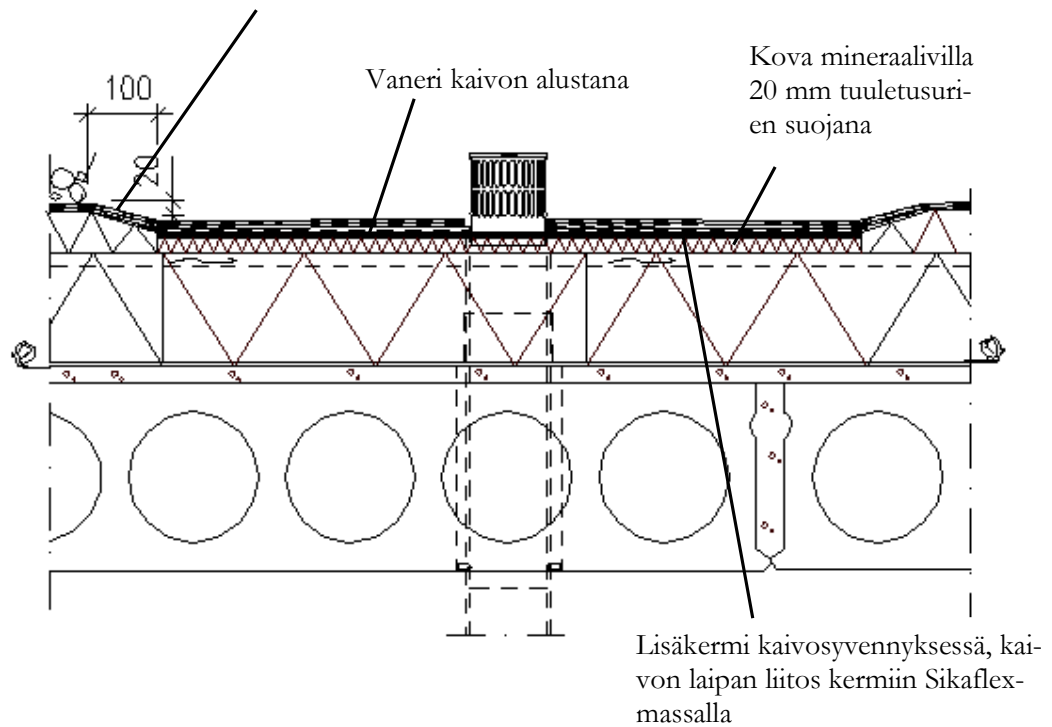
Kuva 13. Sisäpuolisen vedenpoiston kattokaivo [3]

Ulosheittäjän lähtötaso tulee olla 20...50 mm kattopinnan yläpuolelle. Kattokaivot tulee liittää vähintään 150 mm leveällä laipalla vedeneristykseen. Höyrinsulun kohdalle tulee myös tehdä laipoitus, jos höyrinsulkua ei muuten saada tiiviisti liittymään läpivientiin. Kattokaivoissa tulee olla helposti puhdistettava siivilä. Veden jäätyminen kattokaivoissa tulee estää johtamalla niihin lämpö rakennuksen sisältä tai varustamalla ne riittävillä sähkösaatoilla. [5.]

Kattokaivon ympärille suositellaan käytettävän rengassiivilää jonka halkaisija on vähintään 400 mm ja korkeus 50 mm. Kaivon kohdalla kattopinta tulee tehdä n. 20 mm alempana ympäristöään 1000 x 1000 mm:n alueella. Pudotuksen reunat tehdään loiviksi. [5.]

Jokaisessa kaltevuuden muodostamassa altaassa tulee olla vähintään yksi kaivo. Katoilla joiden kaltevuus on 1:40 tai loivempi tulee kattokaivoja sijoittaa siten, että matka jonka vesi virtaa katolla on mahdollisimman lyhyt maksimissaan 15 m. Kattokaivot tulee sijoittaa siten, että ne voidaan riittävällä varmuudella kiinnittää vesikaton rakenteisiin ja katteeseen. [5.]

Kaivosyvennys 20 mm (noin 1 x 1 m²) Eristeen reunojen viistoaminen noin 100 mm:n leveydeltä



Kuva 14. Kattokaivon liittäminen kattorakenteisiin [10].

6.3 Sadevesiviemärit

Kattokaivojen sadevesiviemärointi tulee johtaa lämpimien tilojen kautta, viemärit lämpöeristetään ja tarvittaessa varustetaan sähkösaatoilla jäätymisen estämiseksi. Vaakasuoria kattovetoja tulee välttää etenkin vesikaton eristekerroksissa. Sadevesiviemärit mitoitetaan kattopinta-alojen ja kaivoon virtaavien vesimäärien mukaan. Viemäriin halkaisija tulee olla vähintään 70 mm. Pienempiä kuin 50 mm halkaisijaltaan olevia sadevesiviemäreitä ei saa missään tapauksessa käyttää. [4.]

7 KATON TARKASTAMINEN JA HUOLTO

Katon hyvä hoito pidentää sen ikää useilla vuosilla. Vesikatto on yksi tärkeimmistä rakennuksen osista, jota ei pidä jättää huoltamatta. Katon säännöllinen tarkastaminen ja huoltaminen ovat keinoja, joilla varmistetaan katon toimivuus ja pitkäikäisyys. Näiden lisäksi säästetään tuntuvia summia selvää rahaa. [2.]

Vesikaton kunto tulee tarkastaa vähintään kaksi kertaa vuodessa. Yleensä tarkistusajankohdat ajoittuvat kevääseen ja syksyyn. Tarkastuksissa on kiinnitettävä huomiota kattojen yleiskuntoon, kuten pudonneiden esineiden tai muiden kolhujen aiheuttamiin vaurioihin, katteen saumoihin ja suojakerrokseen. Lisäksi on tarkistettava sadevesien esteetön poistuminen katoilta, kattokaivojen, ulosheittäjien, kourujen ja syöksytorvien puhtaus ja kunto. Tarkistetaan, että suojapellitykset ovat ehjät ja kiinnikkeet ja naulat ovat paikoillaan. Samalla tarkistetaan myös suojapeltien saumojen ja tiivistysten kunto, ovatko ne ehyet ja asianmukaisesti paikoillaan. Putkien ja muiden läpivientien, kuten huippuimureiden ja sähköjohtojen tiiviyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Katteen alusrakenteen tarkastuksessa tulee kiinnittää huomiota asiaankuulumattomiin kohoumiin, rakenteessa oleviin painaumiin ja taipumiin sekä katon epätavalliseen notkumiseen. Tuuletusrakojen, -aukkojen ja poistokanavien puhtaus tulee varmistaa, jotta tuuletusilma pääsee esteettömästi kulkemaan. [5.]

Katolla tulee välttää tarpeetonta liikkumista. Katolla suoritettavien korjaus- ja huolto-toimenpiteiden ajaksi kate on suojattava esimerkiksi pahvilla, kovalevyllä tai muulla vastaavalla materiaalilla. Etenkin töiden aikana, jolloin syntyy kipinöintiä, on kate suojattava hyvin. Raskaiden kappaleiden alle tulee asentaa suojalevyt tai –laudat. [5.]

Vesikatto tulee pitää aina mahdollisimman puhtaana ylimääräisistä tavaroista ja roskista. Roskat tulee poistaa pehmeällä katuharjalla. Teräslapiota tai muita vastaavia kovia työvälineitä ei saa käyttää katon puhdistamisessa. Terävasärmäiset esineet poistetaan noukkimalla. Katolle nousseet kasvustot sekä rakennuksen vierustoilla olevien puiden oksat tulee poistaa. [5.]

Lumen poisto katolta on tarpeetonta, ellei lumi aiheuta vaaratilannetta katon rakenteille tai jos lumen putoamisesta aiheutuu vaara rakennuksen läheisyydessä liikkuville. Jos lunta joudutaan kuitenkin poistamaan katolta, se tehdään hyvin varovasti käyttäen muovista lumikolaa tai muuta työhön soveltuvaa välinettä, joka ei riko katteen pintaa. Lumi poistetaan kerroksittain ja katolle jätetään n. 10 cm:n suojakerros. Lumien putoamista ylemmiltä tasanteilta alemmille katoille tulee välttää. Samalla poistetaan katetta vaarantavat jääpuikot ja veden virtausta estävä jää sulattavilla aineilla tai kuumalla vedellä, ei koskaan hakkaamalla. Jään muodostumien on yleensä merkki rakennevirheestä tai huonosta katon tuuleutuksesta, jotka on syytä korjata mahdollisimman pian. [5.]

Vesikatossa on usein levä-, jäkälä- tai sammalkasvua, joka on lähes aina harmitonta, mutta sitä pidetään kiusallisena ja se halutaan poistaa. Poistaminen tapahtuu torjunta-aineilla jotka kuitenkin lisäävät ympäristöongelmia. Torjunta-aineilla puhdistustulos on kuitenkin hyvin lyhytaikainen. [6.]

Seuraavassa tarkastellaan tasakattojen huoltamista ja bitumikatteen kunnon tarkastamista, koska UPM-Kymmene Kajaanin paperitehtaan katot ovat suurimmalta osin lähes tasakattoisia.

Tasakaton huolto

Sade- ja sulamisvedet poistuvat tasakatoissa kattokaivojen kautta sadevesiviemäriin. Kattokaivojen kuntoa tulee seurata jatkuvasti. Syksyisin kattokaivot voivat tukkeutua puista putoavista lehdistä sekä muista roskista niin, että ne menettävät merkityksensä. Tukkeutuminen riippuu suurelta osin käytettävän kattokaivon mallista. Umpivirtauskaivo on erittäin herkkä tukkeutumaan lehdistä ja muista roskista. Avovirtauskattokaivo voi myös tukkeutua, jos sen sihtiin tiivistyy paljon lehtiä ja neulasia. Usein kattokaivojen puhdistaminen laiminlyödään, jonka seurauksena katolle voi kerääntyä runsaastikin vettä. Siitä seuraa ylivuotoja räystäillä ja tarkistusluukkujen reunoilla, josta taas seuraa pahoja kosteusvaurioita rakennuksen sisäpuolella. Lisäksi katolle kertyvän veden paine voi rikkoa katemateriaalin vedeneristysominaisuuden.

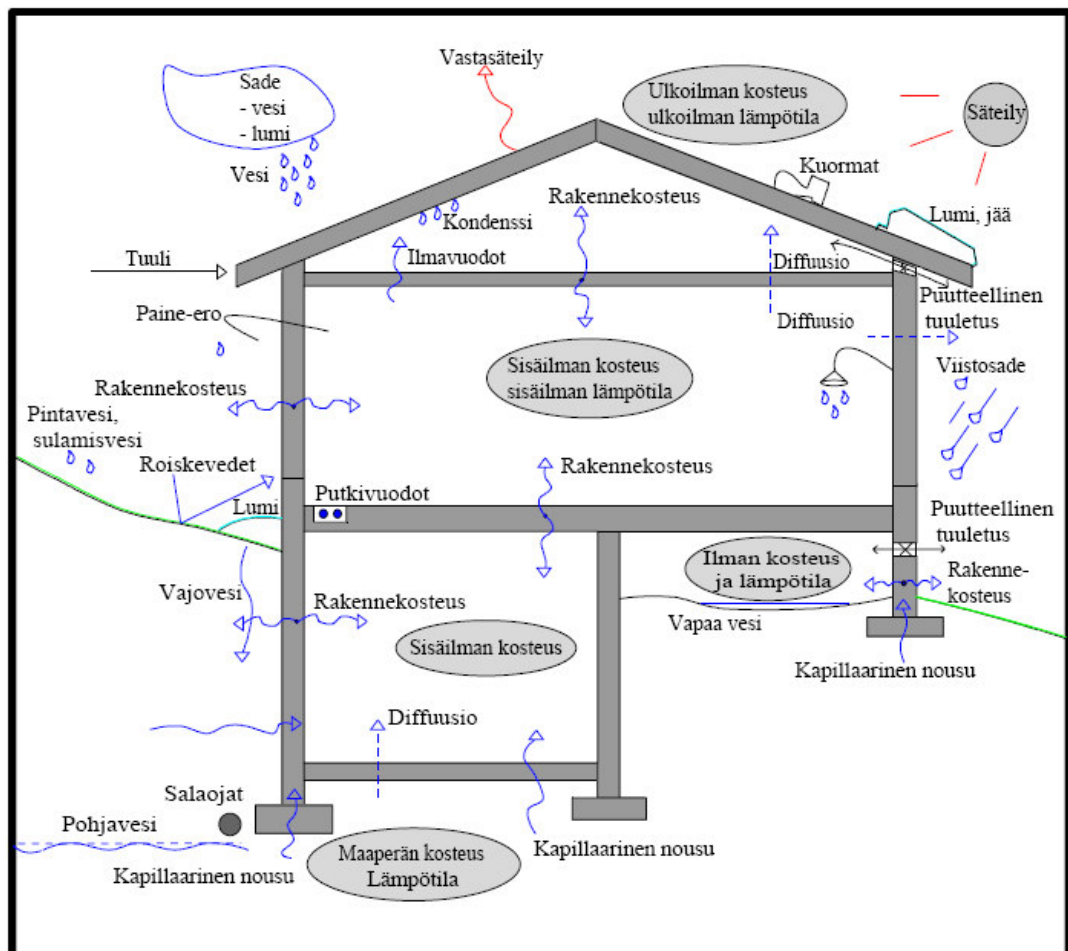
Talvella pakkas- ja suojasääjaksot useasti peräkkäin aiheuttavat patoavia jäämuodostumia, jotka estävät sulamisvesien pääsyn kattokaivoon. Sen vuoksi sulamisvesien kulkua katolla tulee tarkkailla ja poistaa mahdolliset jääpatoumat. Suomen kovissa olosuhteissa kattokaivot voivat jäätyä, jolloin niitä joudutaan keinotekoisesti pitämään sulana. [7.]

Bitumikatteen tarkastaminen

Keväällä lumen sulettua tarkastetaan katon vauriot. Havaintojen tekeminen on helppoa, jos pintakerminä on sirotepintainen huopa, koska tällöin huovan repeäminen ja saumojen aukeamiset näkyvät selvästi. Bitumihuovan suojana on yleensä teollisuuskatoissa n 30 mm:n vahvuinen kerros singeliä. Katon kuntoa on vaikea tarkistaa singelikerroksen alta, mutta ylösnostettujen reunahuopien ja niiden pellitysten kunto tulee tarkistaa. Suojapeltien kiinnitysnaulaukset ja -ruuvaukset tulee tarkistaa ja viat tai puutteet tulee korjata mahdollisimman pian. Bitumikermien kiinniliimaukset ja repeämien paikkaukset tulee myös korjata mahdollisimman nopeasti rakenteiden kosteusvaurioiden ennaltaehkäisemiseksi. [7.]

8 KOSTEUSTEKNIikka

Rakenteiden käytön aikainen kosteusrasitus riippuu ilmastosta, rakennuksen sijainnista, korkeudesta, muodosta sekä rakennevalinnoista, rakennuksen käyttötarkoituksesta ja sisäilmastosta. Kosteus kulkeutuu sisäilmasta rakenteisiin vesihöyryn osapaine-eron aiheuttamana vesihöyryn diffuusiona tai ilmavirtausten mukana (kuva 15). Kosteaa sisäilmaa voi virrata rakenteeseen sisäpuolisen ylipaineen vaikutuksesta. Koneellinen poistoilmanvaihto ei yksinään riitä ylläpitämään rakennuksessa alipainetta. Käytännössä tilapäistä ja paikallista sisäilman ylipaineisuutta esiintyy lähes poikkeuksetta kaikissa rakennuksissa.

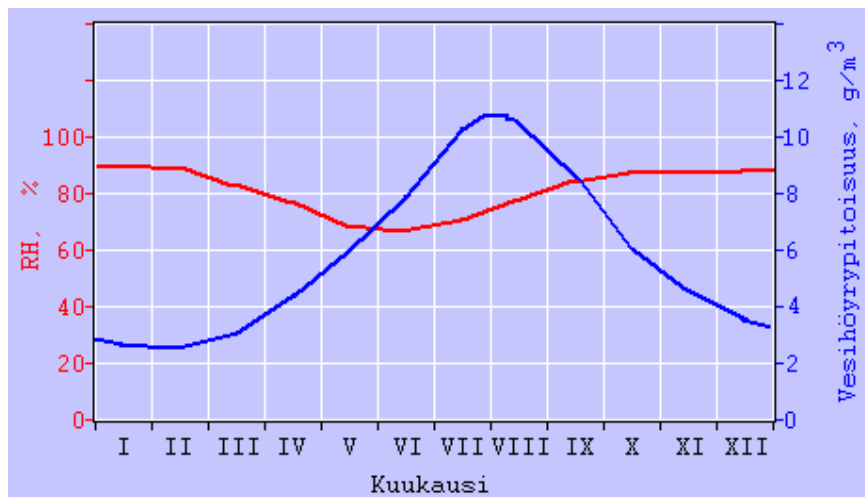


Kuva 15. Rakennuksen kosteuslähteet [13].

Ilman kosteus riippuu siinä olevan vesihöyryn määrästä. Ilman kyky sitoa kosteutta riippuu sen lämpötilasta. Mitä korkeampi ilman lämpötila on, sitä enemmän se voi sitoa kosteutta. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä voidaan ilmoittaa usealla eri tavalla.

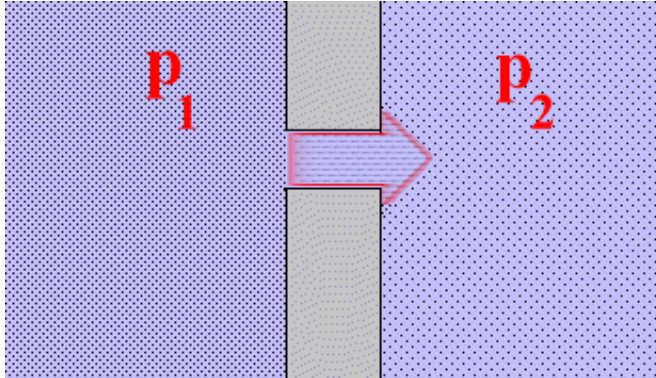
Absoluuttinen eli todellinen kosteus, joka ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn määrän grammoina yhtä kuutiometriä ilmaa kohden. Absoluuttisen kosteuden mittayksikkö on g/m^3 . [4.]

Suhteellinen eli relatiivinen kosteus ilmoittaa ilmassa olevan kosteuden prosentteina siitä kosteusmäärästä, jonka ilma kyseessä olevassa lämpötilassa korkeintaan voi sisältää, yksikkö on prosenttia (%). Ilma ollessa täysin vesihöyryn kyllästämä on sen suhteellinen kosteus 100 %. Täysin kuivan ilman suhteellinen kosteus on 0 %. [5.]



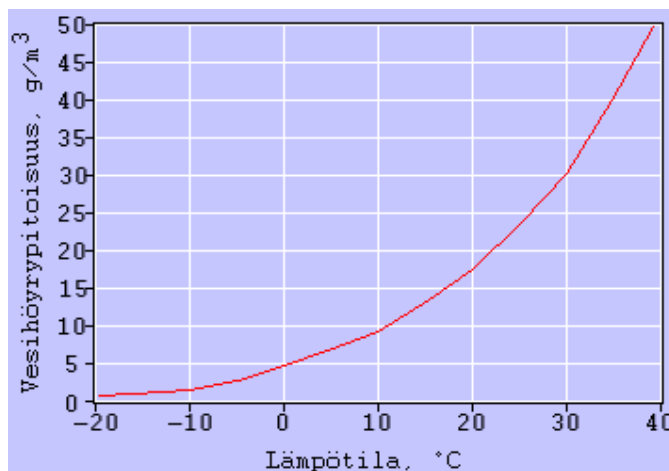
Kuva 16. Ilman vesihöyrypitoisuus eri kuukausina [14].

Ilmanläpäisy ilmoittaa tilavuusvirran, joka läpäisee aikayksikössä pinta-ala yksikön suuruisen rakennusosan, kun paine-ero rakennusosan eri puolilla yksikön suuruisen. Ilman läpäisevyyden yksikkö on $\text{m}^3/\text{m}^2\text{spa}$. [4.]



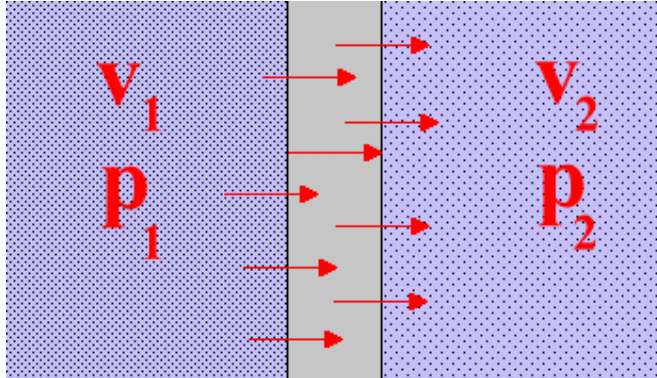
Kuva 17. Paine-eron rakenteiden eri puolilla [14].

Kastepiste tarkoittaa lämpötilaa, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Kun ilman lämpötila laskee, ilman kosteuden sitomiskyky pienenee ja saavutetaan lopulta tilanne, jolloin sen kosteusmäärä on suurin mahdollinen (=100 %). Tämä lämpötila on ilman kastepiste-lämpötila eli kastepiste ja se ilmoitetaan celsiusasteena (C°). Lämpötilan laskiessa edelleen ilma alkaa luovuttaa kosteuttaan ja tästä ilmiöstä käytetään nimitystä vesihöyryn tiivistyminen eli kondensoituminen. [4.]



Kuva 18. Lämmin ilma kykenee sitomaan enemmän kosteutta [14].

Vesihöyryn diffuusio on ilmiö, jolla tarkoitetaan vesihöyryn kulkeutumista osapaine-erojen johdosta joko ilmassa tai rakenteessa kohti sellaista tilaa, jossa absoluuttinen kosteus ja myös vesihöyryn osapaine ovat pienemmät. Osapaineella tarkoitetaan jonkin ilmassa olevan kaasun painetta. Ilman kokonaispaine on ilmassa olevien eri kaasujen osapaineiden summa. [15.]



Kuva 19. Vesihöyryn siirtyminen paine-eron vaikutuksesta [14].

Vesihöyryn läpäisevyys ilmoittaa sen vesimäärän, joka läpäisee aikayksikössä aineen pinta-yksikön suuruisen alan ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero ainekerroksien eri puolilla on paineyksikön suuruisen (Pa) tai vesihöyrypitoisuuksien ero on yksikön (kg/m^3) suuruisen. Vesihöyryn vastus on vesihöyryn läpäisyn käänteisarvo. Yksikkönä paine-eroon perustuvassa arvossa on $\text{m}^2 \text{ s Pa}/\text{kg} = \text{m}/\text{s}$. [4.]

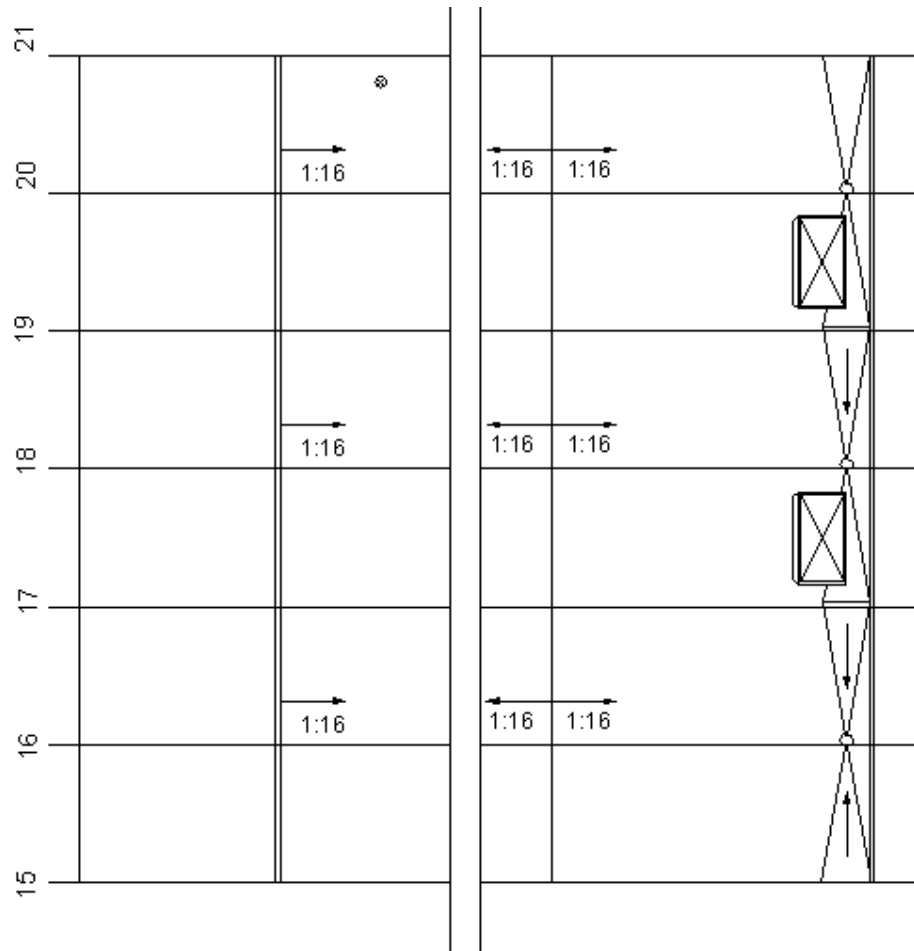
9 PAPERIKONE NELJÄN KATTO- JA SEINÄRAKENTEET

9.1 Paperikone neljän katto

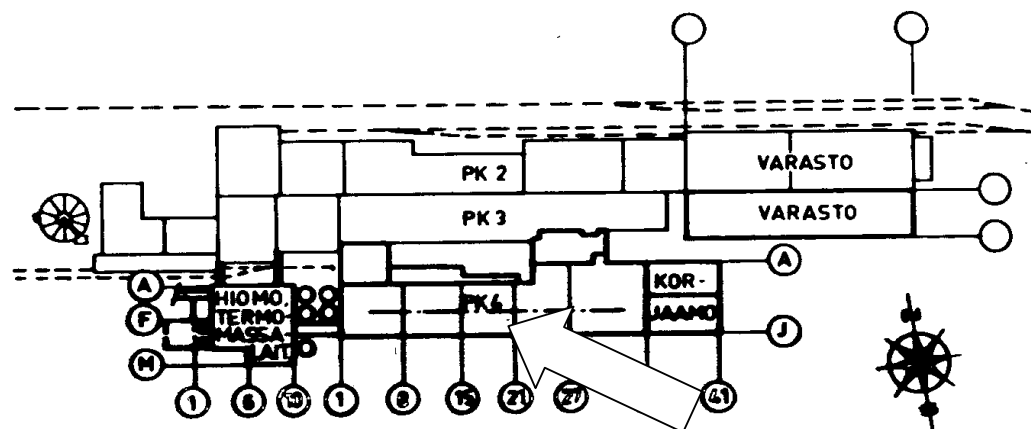
Pk 4:n katto on pinta-alaltaan 6900 m²:n suuruinen. Katto on loiva kurukatto, jossa on räystätien puolella kattokaivot, joista sadevesi johdetaan pois sadevesiviemäreitä pitkin. Katossa on useita läpivientejä mm. tuloilmakoneita 17 kappaletta sekä erilaisia putkiläpivientejä. PK 4:n pohjoispäädystä on telahiomo ja konekorjaamo, jonka harjakorkeus on kuusi metriä alempana PK4:n katon harjaa. Telahiomon katon pinta-ala on 2100 m². Kattojen rakenteissa ei ole tuulettuvaa ilmarakoa sisäilmasta nousevan kosteuden poistamiseksi kattorakenteesta. Katon harjalla on alipainetuulettimia osalla kattoa 12 m:n jaolla ja paperikoneen ”märässä päässä” kuuden metrin jaolla. PK 4:n vesikattoplaani on esitetty kuvassa 21. Kuvassa 22 näkyy PK 4:n sijainti UPM- Kymmene Oyj Kajaanin paperitehtaan tehdasalueella.



Kuva 20. UPM-Kymmene Oyj Kajaanin paperitehdas.



Kuva 21. Vesikattojaani pilariväliltä 15–21.



Kuva 22. Paperikone neljän sijainti tehdasalueella. [21].

9.1.1 Paperikone neljän katon kuntotutkimus

Konesalin katon kuntoarviossa (liite 1) tarkastettiin rakennuksen vesikatto, kattokaivot, läpiviennit ja katon varusteet. Lisäksi tarkastettiin rakennuksen seinät katon ja seinän liittymäkohtien alueelta. Kuntoarviossa ei otettu kantaa muihin rakennuksen osiin, koska lähtökohtana oli selvittää vesikaton ja seinärakenteiden kunto ja vauriokohtat. Konesalin pystypilareista otettiin kloridinäytteet, joilla haluttiin selvittää kloridin aiheuttamia rasituksia pystypilarien raudoitteille. WSP-Kortes Oy:llä tehtyjen aiempien tutkimusten [19] mukaan pystypilareissa ei ole betonin kiihdyttimenä käytetty klorideja, joten pilarien raudoitteiden paljastuminen ei johdu kloridirasituksista vaan konesalin ilmankosteudesta johtuvasta ainesosien erottumisesta.

Tarkastuksessa havaittiin selkeitä kylmäsiltoja, ilmavuotoja sekä rakenteellisia epäkohtia, kuten esimerkiksi katteen ylösnostojen puutteellisia kiinnityksiä. Lisäksi rakenteiden sisäpinoilla havaittiin runsaita kosteusvaurion jälkiä. Kattorakenteissa havaittiin myös lämpökamerakuvauksissa (liite 2) kylmäsiltoja rakennuksen J-linjalla olevan seinän ja kattoelementtien liitoskohdissa. Konesalin sisäilman suhteellista kosteutta ja lämpötiloja mitattiin Hobo H8 -dataloggerilla. Mittauksesta saatujen tietojen perusteella laskettiin Dof-lämpöohjelmalla katto- ja seinärakenteiden kosteuskäyttäytyminen. Laskelmista käy selvästi ilmi rakennuksen suuret lämpöhäviöt sekä kosteuden tiivistyminen höyrynsulun alapintaan. Rakenteiden kosteustekniset laskelmat on käsitelty kohdassa 9.3.



Kuva 23. Konesalin katon kosteusvaurioita sisäpuolelta.



Kuva 24. Kostuden aiheuttamia vaurioita pilarissa.



Kuva 25. Kostevauriojälkiä IV-kojeen ympärillä.

9.1.2 Olosuhteet

Konesalin ilmanvaihdolla on suuri merkitys katto- ja seinärakenteiden niin kutsuttuihin kosteusvaurioihin. Konesalissa tällä hetkellä oleva kattotuuletin on heikkotehoinen.

Kattotuuletin ei pysty pitämään konesalin katonrajassa olevaa ilman lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta sellaisena, että rakenteiden pinnoille ei kondensoituisi kosteutta. Kattorakenteen ”vuotoina” ilmenevät kosteusvauriot johtuvat suurimmalta osin tästä seikasta.

Tehostamalla tuuletusta, järjestämällä tulevan ilman kosteuden poisto tuloilmakanavaan sekä laajentamalla kanavisto kattamaan konesali suuremmalta alueeltaan kuin mitä se tällä hetkellä on, saadaan kosteusvaurioita vähennettyä huomattavasti. Laskennallisesti voidaan todeta, että jos konesalin ilman lämpötila saataisiin laskettua $\sim +20$ °C:een ja suhteellinen kosteus 50 %:iin vähenevät kosteuden tiivistymisestä aiheutuvat kosteusvauriot huomattavasti.

Konesalin ilman suhteellinen kosteus on noin 70 % sekä sisälämpötila noin 55 °C jolloin kosteuden tiivistymiseen rakenteiden pinoille tarvitaan vain $\sim +27,4$ °C:n lämpötila. Ohessa on laskelma kosteuden tiivistymislämpötilasta. Kattorakenteen avaamisen yhteydessä on todettu rakenteen höyrynsulun olevan Euratex Al – materiaalia jonka vesihöyrynvastus on 2500×10^9 (m²sPa/kg). RIL 107- 2000:n [4] mukaan suljetun rakenteen käyttö asettaa suuret vaatimukset höyrynsululle. Suljetun rakenteen höyrynsulun tulee olla vesihöyrynvastukseltaan viisinkertainen ulkopintaan nähden. Paperikone neljän kattorakenteessa tämä on kuitenkin lähes toisinpäin.

9.1.3 Kosteuden tiivistymislämpötilalaskelma

Tällä laskelmalla pyrin osoittamaan sen, miten jo korkeassa lämpötilassa rakenteiden pinnoille kertyy kosteutta.

Olosuhteet paperikone neljän konesalin määrässä päässä, katon rajassa, ovat seuraavat:

- Katon ja seinän sisäpinnan lämpötila $\sim +29$ °C (+28...+31)°C
- Katon ja seinärakenteen sisäpinnan lämpötila, min. $\sim +17,5$ °C
- Seinäelementin saumassa sisäpinnan lämpötila $\sim +24$ °C
- Sisälämpötila (T_s) = + 35 °C
- Suhteellinen kosteus (RH) = 70 %

Sisäilmassa oleva kosteus määrä (V_s) lasketaan seuraavasti:

$$V_s = 0,7 \times 39,56 \text{ g / m}^3 = 27,7 \text{ g / m}^3$$

Kun sisäilman kosteus määrä on laskettu, voidaan rakennusfysiikan taulukoista [15] katsoa, missä lämpötilassa (T_p) kosteuden kondensoitumista alkaa tapahtua rakenteiden pinnoilla:

$$V_k = 27,7 \text{ g / m}^3 \Rightarrow T_p \leq 27,4^\circ\text{C}$$

Lämpötilan ollessa $27,4^\circ\text{C}$ tai pienempi kondensoituu kosteus rakenteiden pinnoille. Konesalissa tehtyjen lämpökamerakuvausten (liite 2) perusteella havaittiin, että lämpötilat seinäpinnoilla ovat alhaisemmat kuin kriittinen tiivistymislämpötila, jolloin kosteus kondensoituu rakenteiden pinnoille.

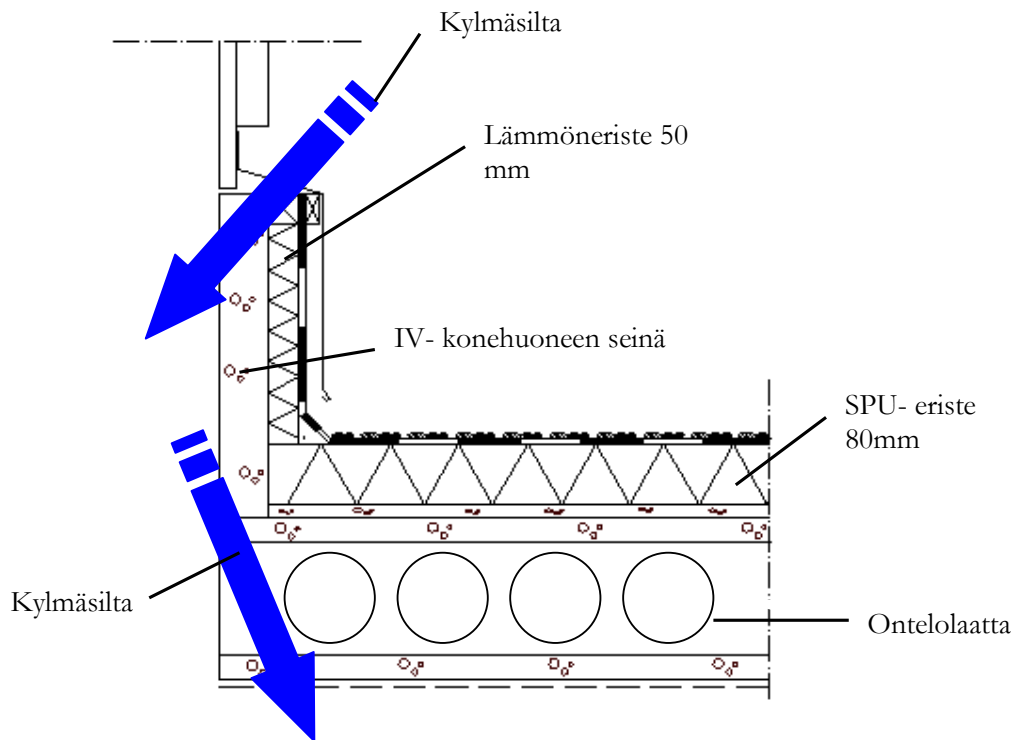
9.1.4 Kattorakenteiden ongelmakohdat

Pk4:n kattorakenteiden ongelmakohdiksi ovat muodostuneet kattojen läpiviennit, joita ovat kattokaivot, läpiviedyt erilaiset tuuletus- ja ilmanvaihtoputket, sekä lisäksi katolla olevien ilmastoinnin konehuoneiden läpiviennit. Läpivientien detaljikuva tarkasteltaessa voidaan todeta, että lämmöneristäminen on hyvin puutteellista. Tämän johdosta rakenteissa onkin havaittavissa kylmäsiltoja.

Putkistojen ja kanavien, sekä yleensä kattorakenteen läpi vietyjen rakenteiden eristäminen on puutteellista tai ne puuttuvat kokonaan. Rakennusvaiheessa onkin tehty virhe jätettäessä sadeveden poistoputket eristämättä. Lisäksi rakenteissa oleva lämmöneriste on painunut kaasaan tai kastunut rakenteiden läpi kulkeutuvan kosteuden johdosta sekä ilmaston rasituksesta.

Kattojen läpi kulkeutuu hallitsemattomasti hyvin suuria määriä ilmaa ja konesalista tulevaa vesihöyryä. Tähän on osasyllisenä konesalin erittäin huono ilmanvaihto, joka ei kykene vastaamaan haasteisiin joita paperinvalmistusprosessin yhteydessä syntyy. Etenkin talvella, mutta myös viileämmillä ilmoilla kesällä, on havaittavissa rakenteissa selvää kondenssin aiheuttamaa kosteutta. Ongelmakohdaksi on havaittu myös konesalin seinärakenteissa olevat ele-

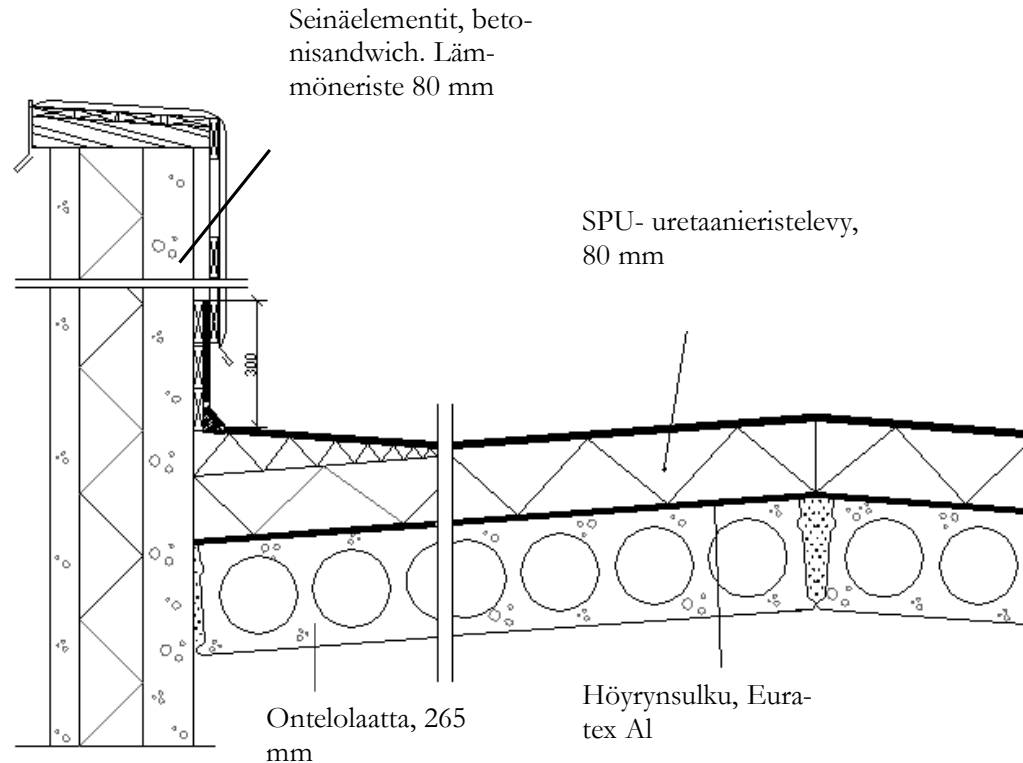
menttien liitoskohdat. Näissä rakenteissa on selkeä kylmäsilta, joka näkyy rakenteiden sisäpinoilla kondenssikosteutena.



Kuva 26. Tuloilmakoneen liittyminen kattorakenteisiin.

9.2 Katon rakenne

Katon rakenne koostuu ontelolaatasta jonka vahvuus 265 mm. Ontelolaatan päällä on 80 mm:n spu-uretaanieristelevy. Uretaanilevyn ja ontelolaatan välissä on höyrynsulkuna Euratex Al ja uretaanilevyn päällä on kolminkertainen bitumikermieriste, joka on liimattu paikoilleen bitumivalulla. Kermieristeen päällä on singeli koko katon alalla. Katossa on tuuletusta varten asennettu alipainetuulettimet katon lappelle 12 m:n välein, konesalin määrässä päässä kuuden metrin jaolla. Katossa on sisäpuoliset vedenpoistot. Vesikatossa ei ole varsinaisia räystäitä vaan rakennuksen ylimmät seinäelementit on nostettu vesikatkon räystääidenpuoleisesta kattopinnasta 1,2 metriä ylemmäs.



Kuva 27. Paperikone neljän katon rakenne.

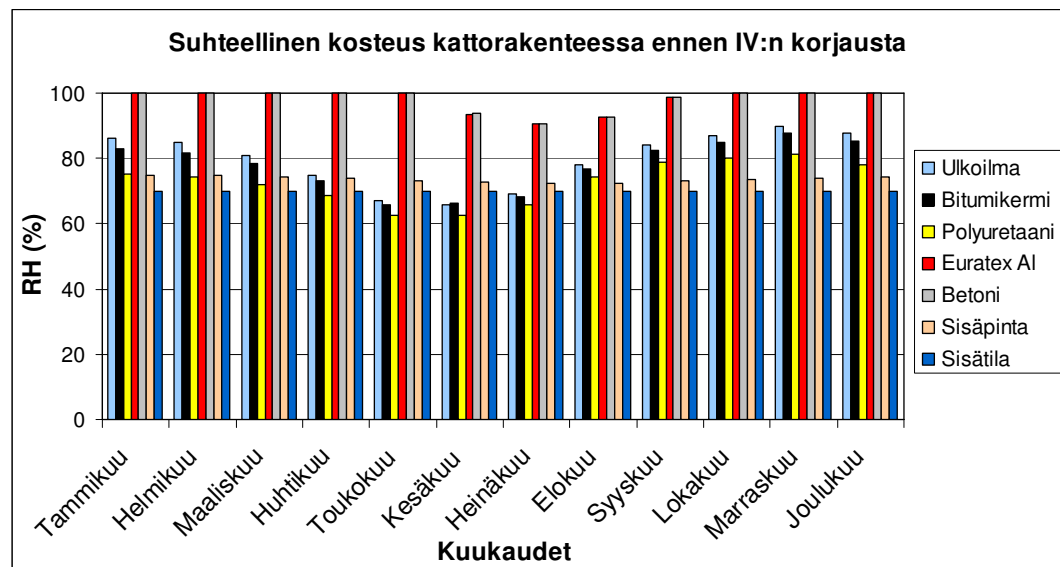
9.3 Katon kosteustekninen toiminta

Kosteus ja lämpö ovat suurimpia ongelmia, jotka aiheuttavat paperikone neljän katon rakenteille haasteita. Kattorakenteen tuulettumattomuus onkin ”pahin asia”, mikä voi turmella hyväkuntoisen katon. Rakenneteknisillä mittauksilla voidaan todeta kosteuden tiivistyvän vedeneristyksen alapintaan, josta kosteus valuu lapetta pitkin kohtaan, josta sillä on ensimmäinen mahdollisuus purkautua vapaaseen tilaan. Tästä syystä kattorakenteissa onkin havaittavissa runsaasti vuotokohtia, joita usein epäillään vedeneristyksen vuodoiksi.

Kosteusteknisten laskelmien perusteella havaittiin, että kattorakenteeseen tiivistyy kosteutta haitallisia määriä konesalin ilmasta. Kosteuden tiivistyminen on suurinta ontelolaatan ja höyrinsulun rajapintaan, jossa suhteellinen kosteus on 100 %. Kosteuden tiivistyminen rakenteisiin ei ole haitallista, jos se pääsee haihtumaan niin kutsuttuna kuivakautena eli kesäaikana. Kuitenkin voidaan todeta, että konesalin ilmankosteus on niin suuri, että rakenteeseen

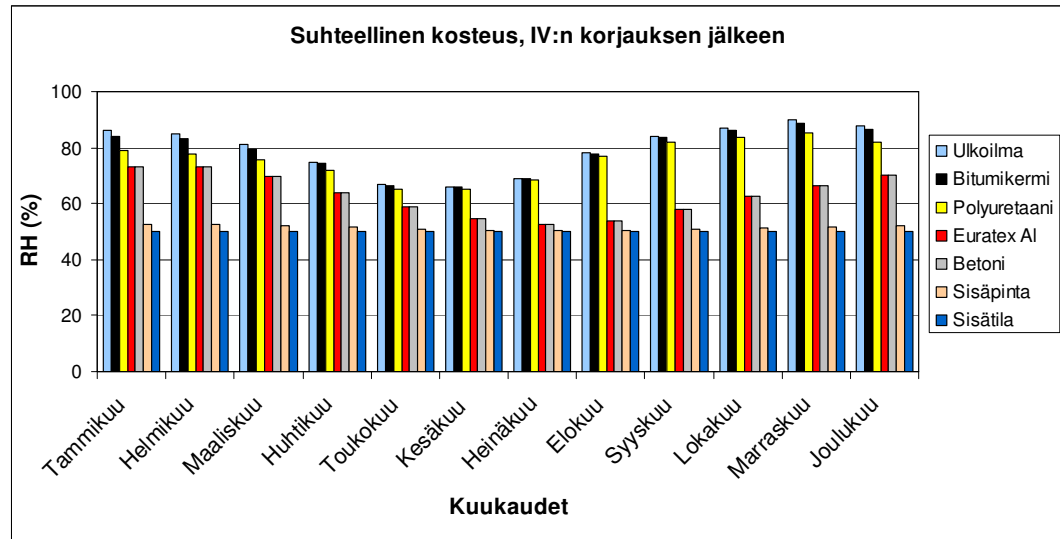
seen sitoutuu jatkuvasti kosteutta, jolloin se ei pääse kuivamaan rakenteen kuivumiskauden aikanaan pois.

Kuvassa 28 on kuvattu pylväsdiagrammina eri rakenneosien suhteellinen kosteus eri kuukausina vuodessa. Voidaan havaita, että punaisella merkityn höyrynsulun ja harmaalla merkityn ontelolaatan rajapinnassa suhteellinen kosteus on lähes koko vuoden ajan 100 %. Dof-ohjelmalla tehty kosteustekninen laskelma on liitteenä 3.



Kuva 28. Rakennetyypin kosteustekninen toiminta eri kuukausina ennen konesalin ilmanvaihdon korjausta.

Kuvassa 29 on esitetty nykyisen katon kosteustekninen toiminta, jos konesalin ilmanvaihto parannettaisiin niin, että ilman lämpötila saataisiin laskettua $\sim +20$ °C:seen ja suhteellinen kosteus 50 %:iin. Tätä ja edellistä kuvaa verratessa huomataan, että tilanne paranisi huomattavasti. Tarkempi kosteustekninen laskelma on liitteenä 4.



Kuva 29. Rakennetyypin kosteustekninen toiminta ilmanvaihdon korjauksen jälkeen.

9.4 Kattoon tehdyt korjaukset

Interbetonin tekemä kattojen kuntokartoitus [20] vuonna 1998, jossa he toteavat kattojen korjaustarpeen olevan ajankohtainen. Korjaussuosituksena on ehdotettu singelin poisto, vanhan huovan poisto, huovan alla olevat rakenteet tarkastetaan ja tarvittaessa korjataan. Asennetaan uusi kaksinkertainen bitumikermi.

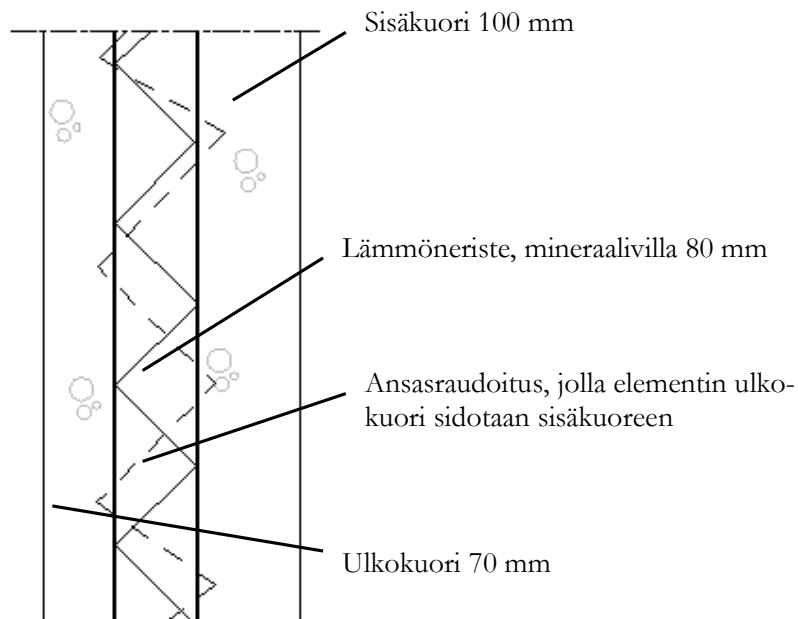
Paperikone neljän kattoa on tämän jälkeen korjattu vuosittain ns. paikkakorjauksilla vuoteen 2001 saakka. Kesällä 2005 on uusittu konesalin märänpään kattoon n. 690 m²:n alueelle pinta- huopa vanhaa huopaa poistamatta sekä asennettu katon harjalle alipainetuulettimilla varustettu tuuletuskanava. Vaikka viimeisin korjaus oli suuritöinen ja suhteellisen iso, se ei kuitenkaan parantanut juuri lainkaan katon kosteusteknistä toimintaa. Korjausta varten ei ole laadittu kunnollisia suunnitelmia katon kosteusongelmien syiden selvittämiseksi ja niiden poistamiseksi. Näin ollen voidaan todeta työn menneen hukkaan.



Kuva 30. Konesalin märänpään uusittua kattoa.

9.5 Konesalin seinät

Paperikone neljän konesalin seinärakenteena on betonisandwich- elementti. Rakenne koostuu 70 mm vahvasta ulkokuoresta, 80 mm:n lämmöneristeestä sekä 100 mm:n sisäkuoresta. Seinärakenteet on kiinnitetty pystypilareihin M16- pulteilla. Ulkokuori on kiinnitetty sisäkuoreen ansailla. Rakennuksen ylimpien seinäelementtien kiinnitys on tehty asentamalla saumakohtaan teräspalkki ylimmän seinäelementin matkalle. Elementti on tämän palkin kanssa sidottu pystypilariin sekä katon jännebetonipalkkiin.



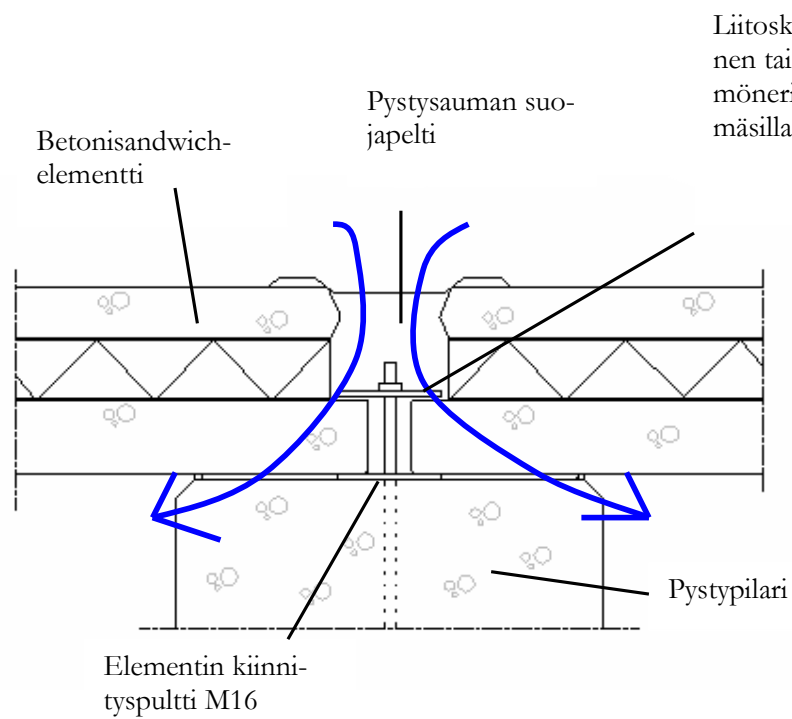
Kuva 31. Konesalin seinäleikkaus.

9.5.1 Seinärakenteen ongelmat

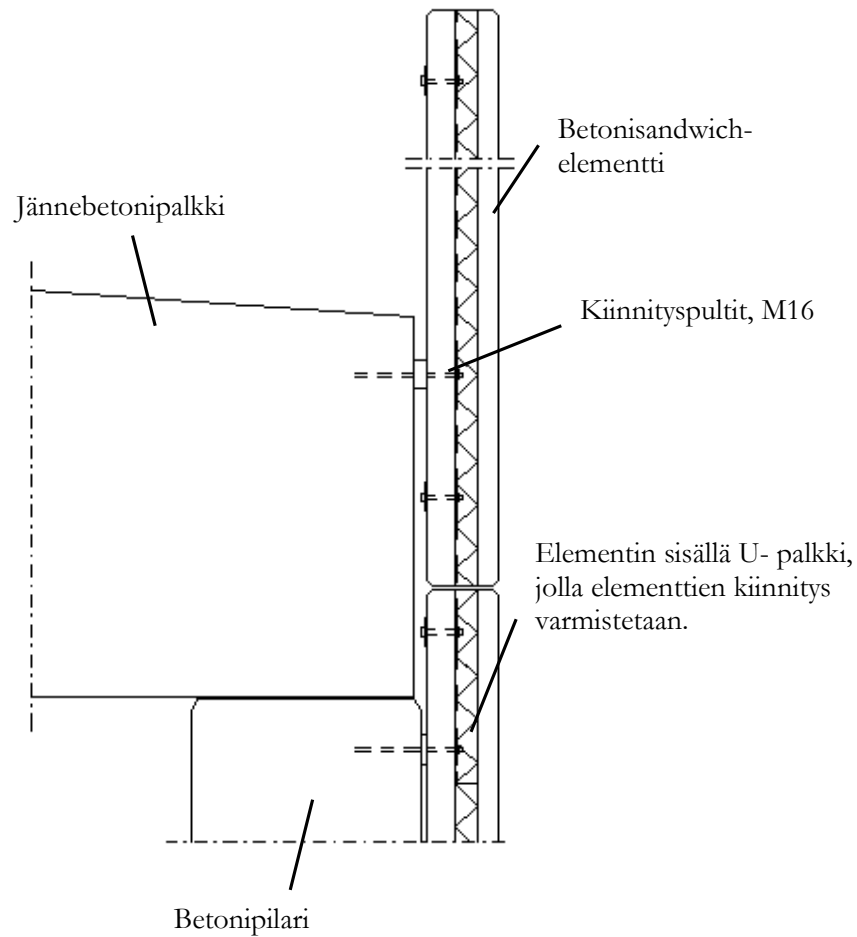
Konesalin seinärakenteiden kosteusongelmat ovat yhteneviä kattorakenteiden kosteusongelmien kanssa. Rakenteita tarkasteltaessa kosteusteknisin laskelmin voidaan todeta, että rakenteisiin konesalin ilmasta siirtyvä kosteus aiheuttaa samankaltaisia oireita. Seinärakenteissa ongelmat näkyvät seinäelementtien saumojen kosteusvaurioina. Kuitenkin suurimmat ongelmat ovat rakenteiden sisällä, jossa kosteus tuhoaa muun muassa betoni-sandwich- elementin eristekerroksien lämmöneristävyyden. Lisäksi seinäelementtien kiinnityskohdissa olevat lämmöneristeet ovat kastuessaan menettäneet lämmöneristyskykynsä, jonka johdosta syntyy elementtien kiinnityskohtiin kylmäsiltoja, jotka näkyvät sitten kosteuden kondensoitumisena konesalin seinäelementtien saumoihin. Lisäksi kylmäsiltaan vaikuttaa ylimmän seinäelementin kiinnitys rakennuksen pystypilareihin ja katon jännebetonipalkkiin, pystysaumaan asennetulla terästuella.



Kuva 32. Kosteus kondensoituu seinärakenteiden pinnoille.



Kuva 33. Betonisandwich- elementin kiinnittyminen pilaariin.



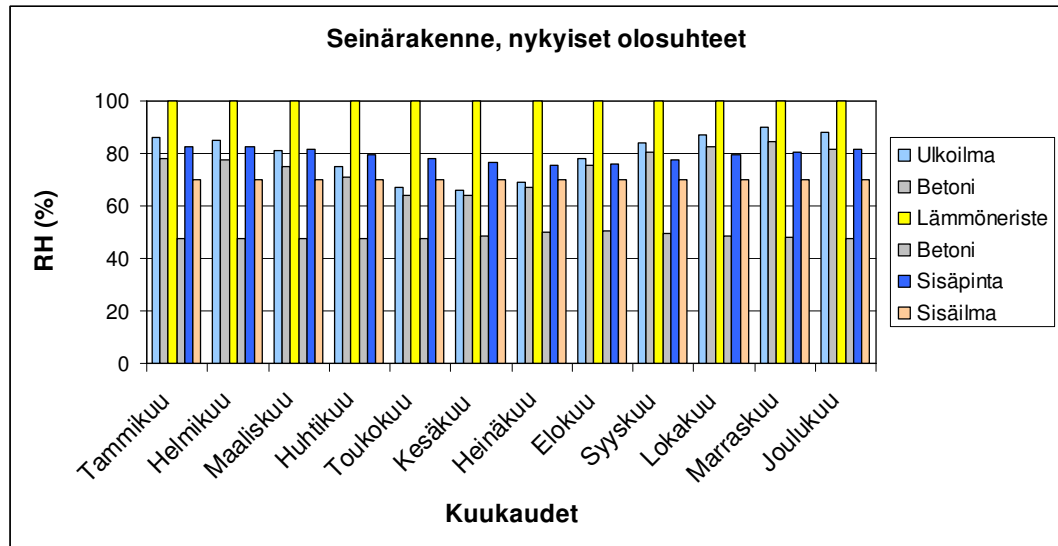
Kuva 34. Ylimpien seinäelementtien kiinnitys.

9.5.2 Seinärakenteen kosteustekninen toiminta

Konesalin ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan ollessa hyvin suurina, altistuvat seinien rakenteet rasituksille, jotka vaikuttavat huomontavasti rakenteiden lämpötekniiseen toimintaan. Jatkuvan suuren kosteusrasituksen johdosta seinärakenteessa oleva lämmöneristyskerros menettää eristävyytensä ja tällöin rakennuksen energiatalous kärsii.

Lämpölaskentaohjelmalla tehdyistä laskelmista voidaan todeta, että rakenteisiin sitoutuva kosteus ei haihdu edes niin kutsutun kuivumiskauden aikana, olosuhteiden ollessa nykyisen kaltaiset.

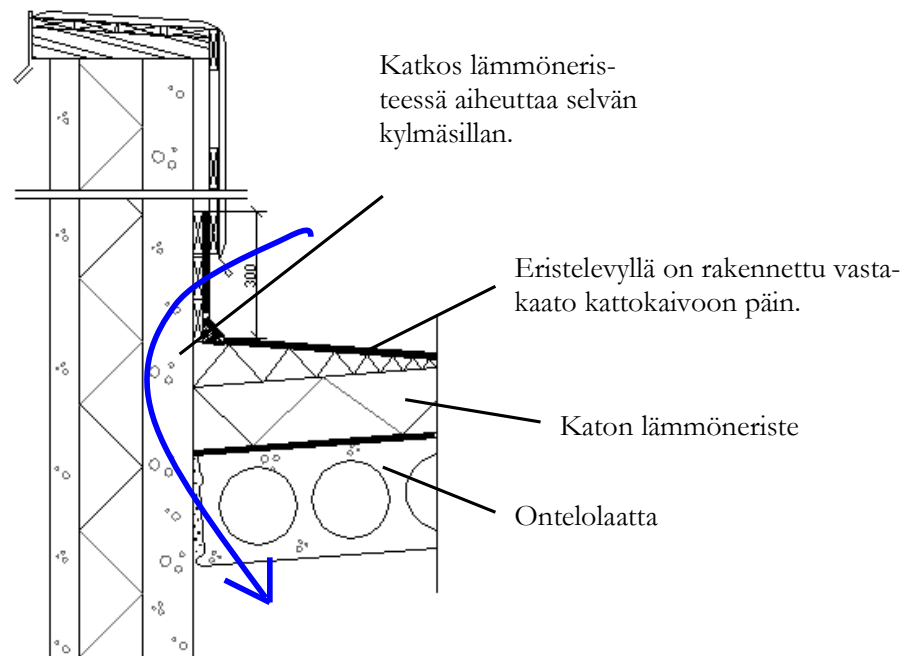
Kuvassa 35 on tarkasteltu kosteuden tiivistymistä eri rakenteisiin eri kuukausina vuoden ajan. Tarkastelut Dof-lämpöohjelmalla rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta on liitteenä 5.



Kuva 35. Seinärakenteen kosteustekninen toiminta nykyisissä olosuhteissa eri kuukausina.

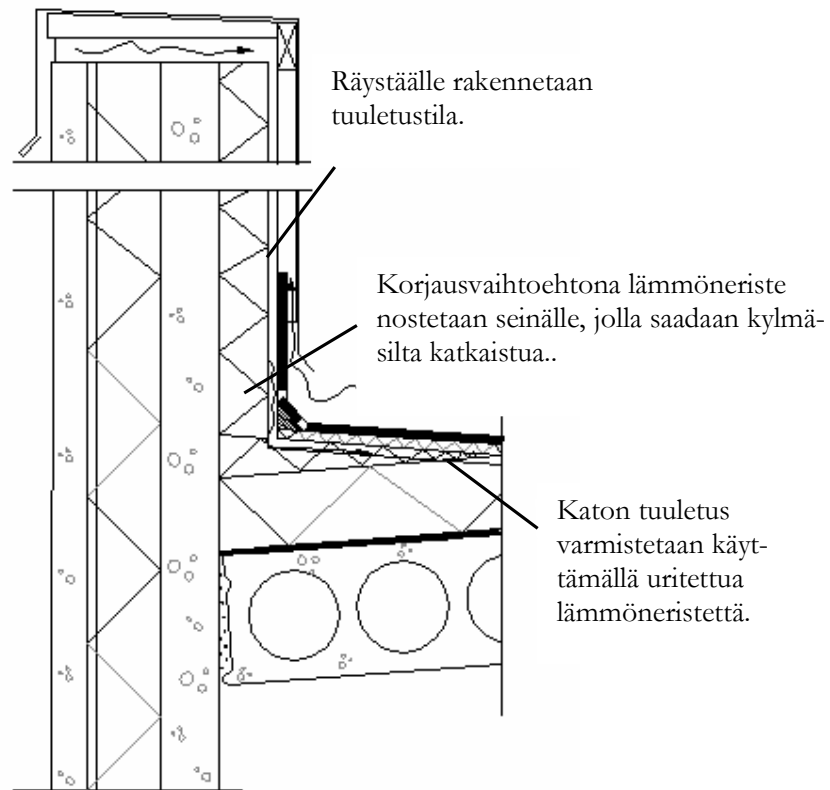
9.6 Katon ja seinän liittymä- ja detaljikohdat

Konesalin seinä- ja kattorakenteiden liittymäkohdat ovat ongelmallisimpia kylmäsiltojen ja sitä kautta kosteuden tiivistymisen kannalta. Huonosti toteutettu lämmöneristys liittymäkohdissa aiheuttaa lisäksi kosteuden tiivistymistä rakenteiden pinnoille.



Kuva 36. Seinä- ja kattorakenteen liittymäkohdan kylmäsilta.

Kuvassa 36 on esitetty kylmän siirtyminen rakenteissa. Kylmäsilan katkaisuna toimivan lämmöneristeiden puuttuminen katto- ja seinärakenteiden liittymäkohdasta aiheuttaa kylmän siirtymisen betonirakenteisiin ja sitä kautta rakennuksen sisäpuolelle. Tästä taas aiheutuu kosteuden tiivistymistä rakenteiden pinnoille. Kosteuden tiivistyessä rakenteet ovat alttiita laho- ja homevaurioille.



Kuva 37. Korjausvaihtoehto katon ja seinän kylmäsiltaan

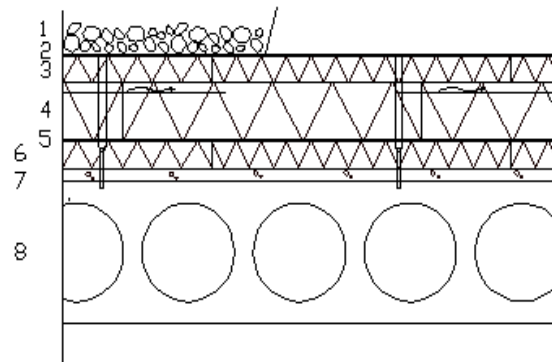
Kuvassa 37 on esitelty eräs vaihtoehto seinä- ja kattorakenteen liittymäkohdan kylmäsilan korjaamiseksi. Kylmän siirtyminen rakenteisiin estetään seinärakenteen yläosaan asennetulla lämmöneristeellä. Samalla rakennetaan seinä- ja kattorakenteeseen toimiva tuuletus.

10 KORJAUSVAIHTOEHDOT

10.1 Uritettu mineraalivillarakenne katon korjausvaihtoehtona

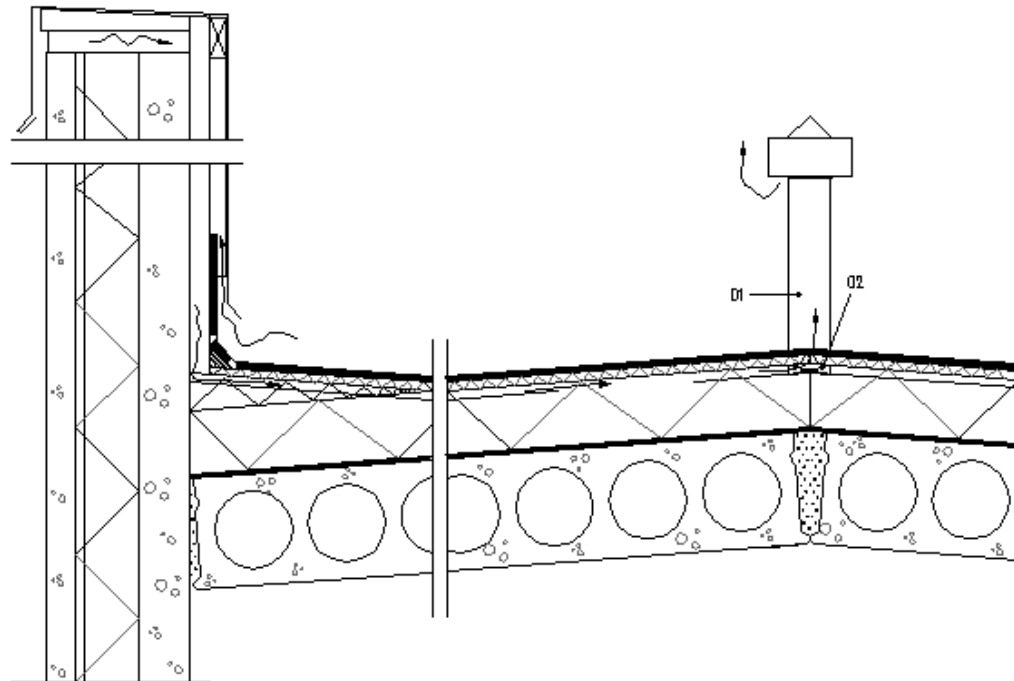
Uritettu mineraalivillarakenne on rakenteellisesti ja toteutukseltaan järkevin ratkaisu paperikone neljän kattorakenteeksi. Kattorakenteiden kylmäsilat on helppo korjata ja mahdolliset ilmavuodot höyrönsulussa läpivientien kohdalla on mahdollista tiivistää rakennusaikana. Kattorakenteen toteutuksessa tulee huomioida lappeen pituus, jotta tuuletus toimisi moitteettomasti. Jos tuuletusmatka on suurempi kuin kuusi metriä, täytyy lappeelle laittaa alipainetuulettimia, jotta tehokas tuuletus olisi mahdollista.

Uritettu mineraalivillarakenne pystytään toteuttamaan myös vanhan vesieristyksen päälle, mutta siinä tapauksessa on ehdottomasti varmistuttava vanhan lämmöneristeen kuivumisesta. Tässä ratkaisussa vanha vesieristys toimisi höyrönsulkuna. Kuitenkin rakenne on toiminnaltaan epävarma, koska ei voida tietää rakenteita avaamatta kosteuden käyttäytymistä vanhan vesieristyksen alla. Tätä ratkaisua ei kannata siis lähteä toteuttamaan.



- 1 Suojaklveys kahdekohtalsestl
 - 2 Vedeneristys RIL 107-2000 ohjelden mukaan
- kiinniketyyppi ja -määrä kahdekohtalsestl
 - 50 mm 3 Kattoeriste, kova mineraalivilla tai muu vastaava (paksuudet 50...180 mm)
- tuuletusurien yläpuolisen lämmöneristekerroksen paksuus ≤ 50 mm
 - 110 mm 4 Kattoeriste, SPU- polyuretaanilevy tai muu vastaava (paksuudet 50...200 mm)
- tuuletusurat, 20 mm x 30 mm k220 mm, ovat levyn lyhyemmän sivun suuntaiset
 - 5 Hdyrynsulku ja tybnalkainen sädsuojaus, vedeneristyskermi
 - 50 mm 6 Kattoeriste, SPU- polyuretaanilevy tai muu vastaava
 - 7 Tasauslaasti
 - 8 Kantava betonirakenne, rakenne kallistettu
Lämmöneristelevyt kiinnitetään alustaan aina mekaanisesti.
Kiinnitys tehdään erikseen tai vedeneristeen kiinnityksen yhteydessä.
- Lämmönläpäsyykerroin, U-arvo= 0,16 W/m²K

Kuva 38. Rakennekuva uritetusta mineraalivillarakenteesta. [11]



01 ALIPAINETUULETIN \varnothing min. 110 mm.

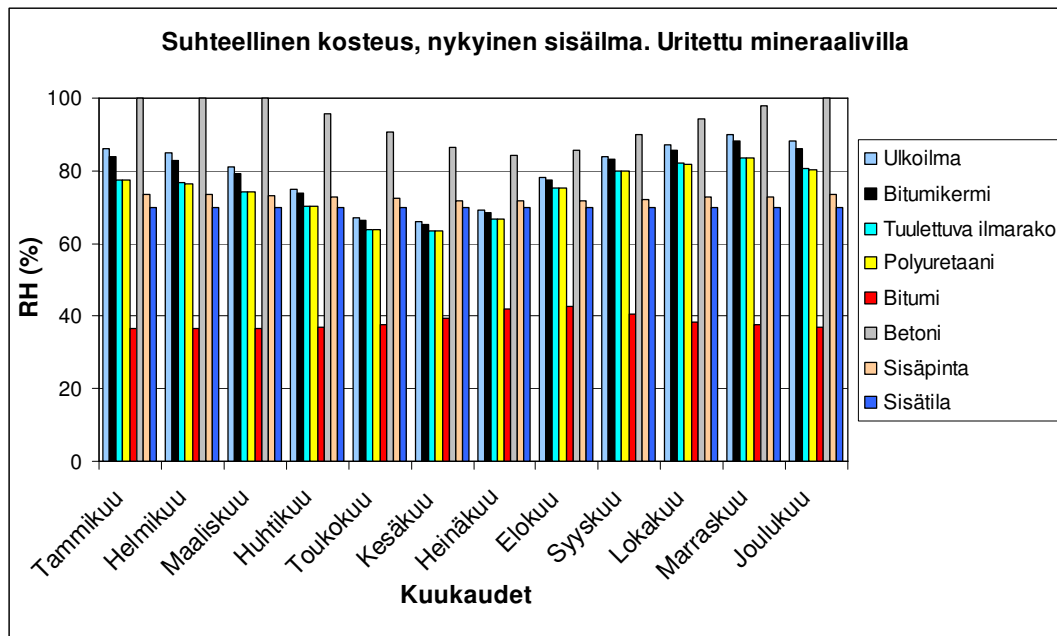
ALIPAINETUULETTIMEN YLÄREUNAN KORRO OLATAVA RÄYSTÄÄN YLÄREUNAN KORROA YLEMPÄNÄ

02 YHDYSKANAVA LEVEYS 120 mm

Kuva 39. Uritetun mineraalivillarakenteen tuuletuksen periaate.

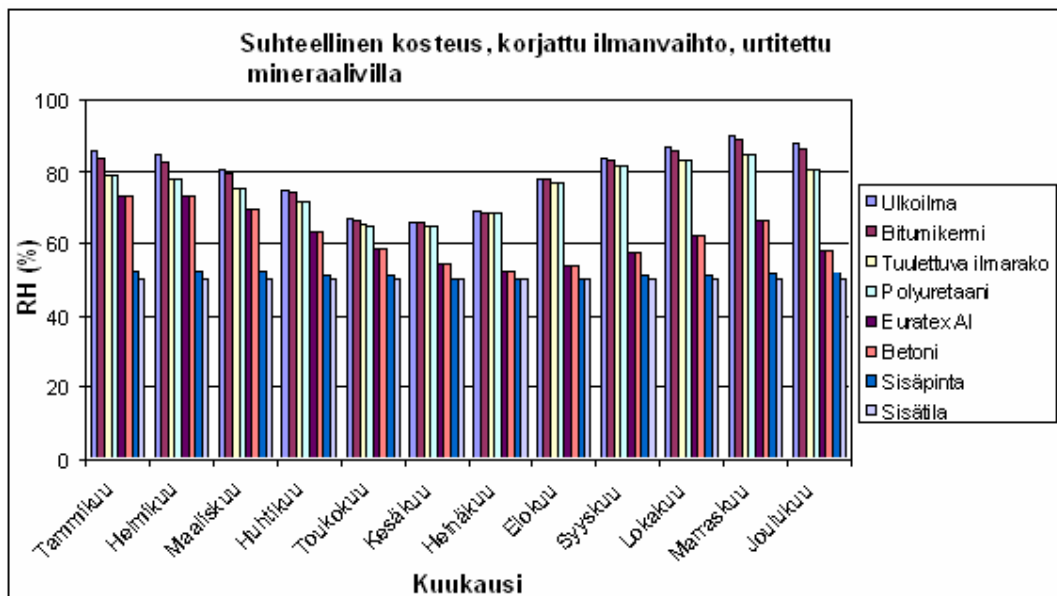
Uritetun mineraalivillarakenteen kosteustekninen toiminta

Uritetun mineraalivillarakenteen kosteustekninen toiminta tämänhetkisissä olosuhteissa on jo huomattavasti parempi, kuin suljetun rakenteen toiminta samoissa olosuhteissa. Kuvasta 40 nähdään, että eri rakenneosien kohdalla suhteellinen kosteus on pienempi, johtuen bitumista tehdystä höyrinsulusta, vahvemmassa lämmöneristekerroksesta sekä tuuletus-uritukselta. Dof-ohjelmalla tehty tarkempi kosteustekninen laskelma on liitteenä 6.



Kuva 40. Rakennetyypin kosteustekninen toiminta ennen konesalin ilmanvaihdon uusimista.

Kuvassa 41 on esitetty aiemmin esitetyn uritetun mineraalivillaisen kattorakenteen kosteustekninen toiminta olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus on saatu laskemaan 50 %:iin ja sisäilman lämpötila + 20 °C:een. Dof-ohjelmalla tehty tarkempi kosteustekninen laskelma on liitteenä 7.



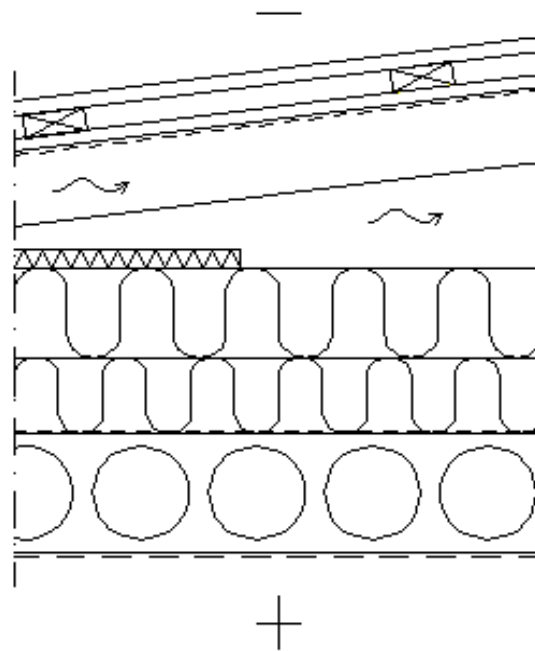
Kuva 41. Rakennetyypin kosteustekninen toiminta.

10.2 Tuulettuva yläpohja korjausvaihtoehtona

Tuulettuva yläpohjarakenne on lämpö- ja kosteustekniseltä toiminnaltaan varmin ratkaisu. Siinä saadaan erotettua yläpohjan lämmöneristyskerros ja vesikate erillisiksi osikseen, jolloin kosteuden tiivistymisongelmia vesikaton alapinnassa ei ole.

Rakenteellisella tuuletuksella voidaan hoitaa yläpohjan läpi siirtyvä kosteus pois rakenteista. Vesikaton ollessa erillisenä lämmöneristekerroksen kanssa saadaan aikaan se, että vesikaton lämpötila saatetaan ulkoilman lämpötilan kanssa samaan tasoon. Korjausvaihtoehtona tuulettuvan yläpohjan rakentaminen on suuritöisin ja eniten aikaa vievä toimenpide.

Eduiksi kuitenkin voidaan mainita vesikaton tarkastettavuus, lämmöneristekerroksen vahventaminen sellaiseksi, että energiahäviöt kattorakenteiden läpi voidaan minimoida, läpivientien ja kylmäsiltojen parempi eristettävyys sekä sade- ja sulamisvesien helpompi poisjohtaminen rakennuksen katolta. Lisäksi vesikaton pinnalle ei muodostu talvisaikaan samanlaista ilmiötä kuin niin sanotussa pakettikatossa. Pakettikatossa onkin lumipeitteen ja kattorakenteen rajapinnassa virtaava vesi talvisaikaan.



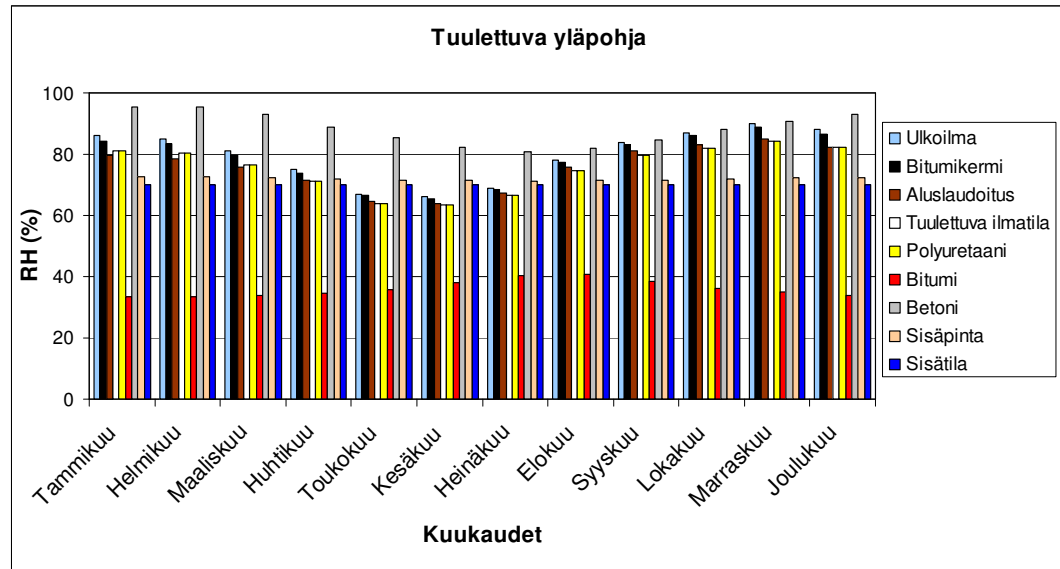
RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN

	Ruoteet ja vaivate aluskatteineen rakennesuunnitelmien mukaan
	Tuuletettu ilmatila
30 mm	Tuulensuojaverste 1,2 m leveällä reuna-alueella
275 mm	Lämmöneriste 125 + 150
	Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan
	Höyrynsulku, esim. kemieristys
285 mm	Kantava rakenne ontelalaatta rakennesuunnitelmien mukaan
	Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan
	U-arvo [W/m ² K] 0.14

Kuva 42. Rakennekuva tuulettavasta yläpohjasta [11].

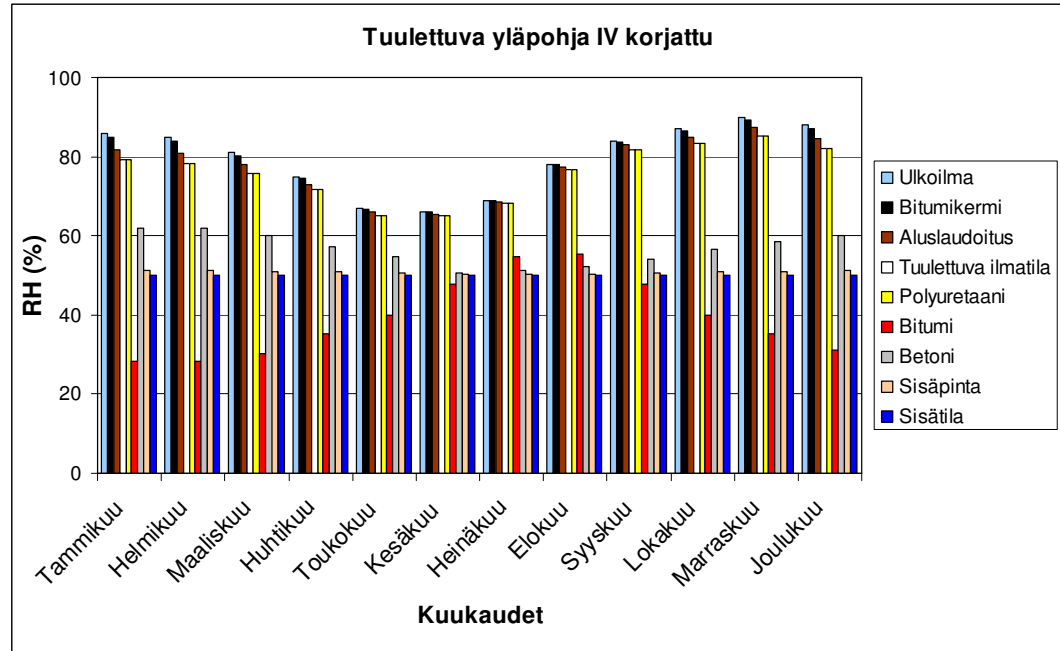
Tuulettuvan yläpohjan kosteustekninen toiminta

Tuulettuva yläpohjarakenne on kosteustekniseltä toiminnaltaan hyvä näissäkin olosuhteissa. Kaaviokuva 43 osoittaa, että suhteellinen kosteus rakennekerrosten pinnoilla ei koko tarkastelujakson aikana saavuta 100 %:a. Tähän seikkaan vaikuttavia tekijöitä on tiivis ja vahva höyrynsulku, lämmöneristekerroksen vahvuus ja tuulettuva ilmatila kattorakenteen ja yläpohjan välissä. Dof-ohjelmalla tehty tarkempi kosteustekninen laskelma tuulettavasta yläpohjarakenteesta on liitteenä 8.



Kuva 43. Rakennetyypin kosteustekninen toiminta eri kuukausina ennen konesalin ilmanvaihdon korjausta.

Kuvassa 44 on esitetty myös yllä mainitun kattorakenteen kosteustekninen toiminta olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus on saatu laskemaan 50 %:iin ja sisäilman lämpötila + 20 °C:een. Dof-ohjelmalla tehty tarkempi kosteustekninen laskelma on liitteenä 9.

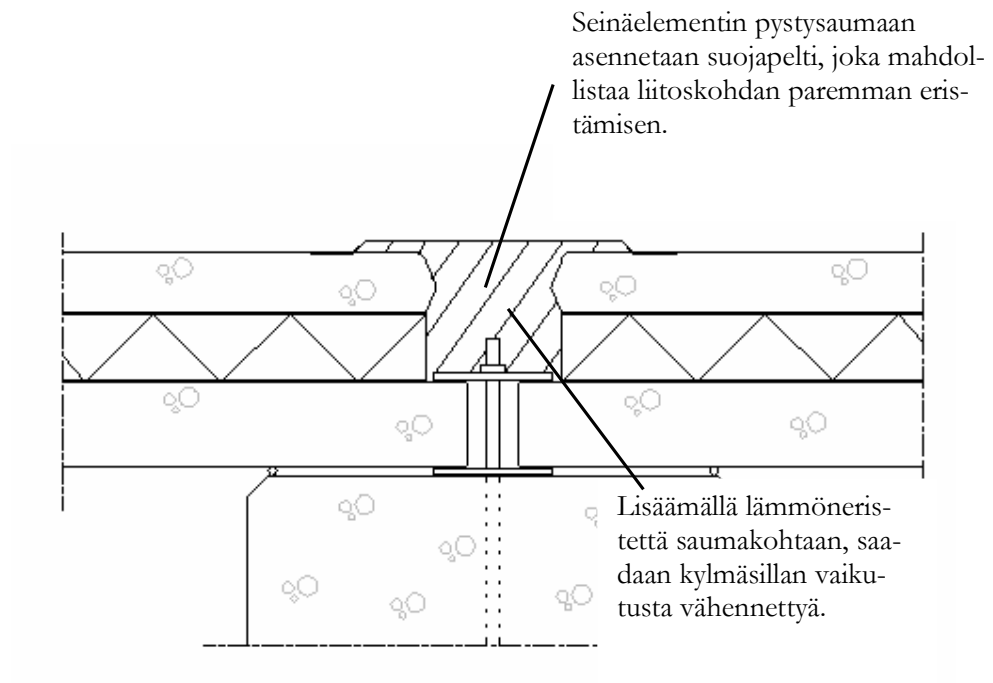


Kuva 44. Tuulettuvan kattorakenteen kosteustekninen toiminta eri kuukausina ilmanvaihdon korjauksen jälkeen.

10.3 Seinärakenteiden korjaus

Varsinaisten seinärakenteiden, eli betonisandwich- elementin korjaus jälkikäteen on isotöistä ja kallista. Tässä tilanteessa onkin syytä paneutua vain kohteisiin, joita on järkevää korjata ja jotka vaativat pikaista korjausta.

Seinäelementtien pystysaumojen pellitysten alla olevat lämmöneristeet tulee vaihtaa uusiin. Samalla tulee miettiä erityyppisen peltiprofiilin asentamista elementtien pystysaumaan. Uudentyyppisellä pellillä mahdollistetaan pystysauman parempi lämmöneristäminen. Seinäelementin kiinnityskohtaan, elementin ja pilarin liitokseen, asennetaan polyuretaanivahto tiivistämään myös elementtisauman kohta, johon on vaikeampi saada eristevillaa.



Kuva 45. Seinäelementin pystysauman kylmäsilan korjausohdotus.

11 POHDINTAA

Tehtyjen tutkimusten ja tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että pelkkä ilmanvaihto vaikuttaa konesalin ja konesalin katon kosteusongelmiin huomattavasti. Ilmanvaihdon korjaaminen sellaiseen kuntoon, että se voisi vastata haasteisiin, joita konesalin kostea ilmasto sille asettaa. Teknisesti pienillä korjauksilla voidaan saada aikaan jo selvästi näkyviä muutoksia.

Ilmanvaihto on kuitenkin niin suuri tekijä paperiprosessissa, että korjaukset, jotka voivat olla teknisesti pieniä, voivat vaikuttaa hyvin paljon kokonaisuuteen. Tällaisessa teollisuusympäristössä kuitenkin asetetaan muiden asioiden edelle vain pelkkä pääasia, tässä tapauksessa paperinvalmistusprosessi.

Ilmanvaihdon korjauksen jälkeen tai sen yhteydessä tulee korjata kuntoon vesikaton lämmöneristys, höyrynsulku ja tuuletus, rakentamalla kattoon esitellyistä korjausvaihtoehdoista toinen.

Konesalin katon ja seinäosan sekä IV-koneiden kosteusongelmiin saatiin selvyys tarkemmilla tutkimuksilla. Esimerkiksi konesalin rakennusvaiheessa IV-koneen ja kattorakenteen liittymäkohdassa on selkeä urakkaraja, jossa IV- ja rakennusurakka kohtaavat. Mahdollinen suunnitelmien puutteellisuus sekä valvonnan puute ovat aiheuttaneet sen, että rakenteiden liittymäkohtaan on syntynyt kylmäsilta, jonka korjaus on erittäin vaikeaa tai lähes mahdotonta kohtuullisilla kustannuksilla.

Katon ja seinärakenteen liittymäkohdan ongelmalle on esitetty korjausvaihtoehto. Korjauksella voidaan poistaa kuitenkin vain katon ja seinän liittymäkohdan kylmäsiltaongelma. Kuitenkin lämpölaskentaohjelmalla tehtyjen laskelmien perusteella voidaan todeta, että katon ja seinän lämmöneriste on puutteellinen. Pienellä lämmöneristeen lisäyksellä kattorakenteissa, saadaan aikaan huomattavia säästöjä energiamenoissa.

Seinärakenteiden puutteelliselle lämmöneristeelle on vaikeampaa ryhtyä tekemään mitään korjauksia. Mahdollisuutena on eristerappauksen tekeminen julkisivuun ja täten lisätä lämmöneristettä seinässä, mutta työn laajuuden ja työllä saavutetun hyödyn ero on kuitenkin niin suuri, että toimenpiteeseen ei kannata ryhtyä.

12 YHTEENVETO

Rakennuksen viidentenä julkisivuna vesikatto on hyvin haasteellisessa asemassa. Kattoon kohdistuvien rasitusten määrä on huomattavasti suurempi, kuin minkään muun rakennuksen julkisivun rasitus. Siksi onkin ensiarvoisen tärkeää tehdä katon suunnitelmat hyvin, ennen toteutuksen aloittamista.

Rakenteiden pitkäikäisyys ja katon toiminta ovat riippuvaisia suunnittelun onnistumisesta. Lähtökohtana kattorakenteiden suunnittelulle onkin ennakkotietojen kerääminen rakennukseen ja rakenteisiin kohdistuvista rasituksista. Rasituksia mietittäessä tulee myös huomioida rakennuksen elinkaari ja sen aikana tapahtuvat muutokset. Esimerkiksi tuotantolaitoksissa rakennuksen elinkaaren aikana voi toimia monia eri toimialoja, joiden tuotantoprosesseista syntyvät rasitukset tuovat erilaisia haasteita rakenteille.

Myös kiinteistön omistajalla tulee olla hallinnassa kiinteistönsä huolenpito. Usein kiinteistön omistaja on kiinnittänyt erittäin paljon huomiota rakennuksessa toimivan tuotannon toimintaan ja sen ylläpitämiseen kaikin keinoin ja itse kiinteistön kunnossapito ja huolehtiminen sen toiminnasta ovat jääneet taka-alalle. Tällaisista laiminlyönneistä seuraa usein hallitsemattomia ja suuria kertaluonteisia kustannuksia kiinteistön rapistuessa.

Suurin osa Suomen teollisuuden kattorakenteista on niin kutsuttuja pakettikattoja, joissa on kantava rakenne, lämmöneristekerroksena yleensä uretaani tai muu vastaava lämmöneriste ja vesieristysenä bitumikermi. Kattokaltevuudet näillä katoilla ovat hyvin pieniä ja ne ovat yleensä varustettu sisäpuolisella vedenpoistolla.

Kattorakenteena pakettikatto on hyvä kokonaisuus, jos rakennuksen muut olosuhteet, jotka kattoa rasittavat, ovat siedettäviä. Heikko tai olematon tuuletus kattorakenteissa on turmiksi itse itselleen, jos rakenteisiin tuleva ulkopuolisista rasituksista johtuva kosteus ei pääse tuulettumaan rakenteesta pois. Usein tällaisissa tilanteissa, joissa rakenteisiin sitoutuu suuria määriä kosteutta esimerkiksi huoneilmasta, tehdään virheellinen johtopäätös katon vedenieristyskunnosta. Ajatellaan usein, että vesieristyksessä on vuotokohtia, kun katosta tippuu vettä huonetilaan. Tällaisissa tilanteissa rakenteiden perusteellinen tutkiminen ja kosteustekniset laskelmat antavat rahanarvoista tietoutta rakennuksen vesikaton korjausta suunniteltaessa.

Tutkimusten perusteella voidaan ryhtyä toimenpiteisiin, jotka ovat tärkeitä rakenteiden pitkäikäisyyden varmistamiseksi sekä ovat toimenpiteinä halvempia kuin, että kattoa korjataan ilman minkäänlaista tutkimista.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä on monesti voitu todeta, että rakenteellisiin ongelmiin tulisi puuttua hyvissä ajoin jo ennen kuin tilanne ylitsepääsemätön. Hyvin toteutetulla ennakko-ohjelmalla ja sen käytännön toteutuksella voidaan ennalta ehkäistä piilevien vaurioiden räjähtämistä silmille.

LÄHDELUETTELO

- 1 Kuntsi, S., Opetushallitus, Katot ja vedeneristys, Helsinki: Saarijärven Offset, 1998. 116 s. ISBN 951-664-005-2.
- 2 Palamaa, E., Kiinteistön rakennustekninen kunnossapito, Jyväskylä: Gummerus, 1984. 227 s. ISBN 951-9378-12-X.
- 3 Kattoliitto. Toimivat katot 2001. Päivitetty helmikuu 2001. [WWW-dokumentti]
http://www.kattoliitto.fi/files/27/TK_Esite_01.pdf
- 4 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., RIL 107–2000 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, Helsinki: Pikapaino Paatelainen, 2004. 211 s. ISBN 951-758-404-0.
- 5 Kuntsi, S., Rakentajain kustannus Oy, Katot kuntoon, Jyväskylä: Gummerus, 1983. 187 s. ISBN 951-676-246-8.
- 6 Kuntsi, S., Rakennustieto Oy/Rakentajain kustannus, Katon korjaus ja huolto, Helsinki: Tammer-Paino, 1993. 119 s. ISBN 951-682-264-9.
- 7 Suomen kiinteistöliitto, Kiinteistönhoidon käsikirja, Jyväskylä: Gummerus, 2003. 302 s. ISBN 951-685-121-5.
- 8 Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet, Helsinki, 1998.
- 9 RT 85–10460, Monikermibitumikatteet, syyskuu 1991. Ohjetiedosto.
- 10 Rockwool. Rakennekirjasto. [WWW-dokumentti]
<http://www.rockwool.fi/sw47835.asp>
- 11 Isover. Rakennekirjasto/yläpohjat.
<http://www.isover.fi/fi/Rakennesuunnittelu/Rakennekirjasto/?intSearchProductCategoryID=71>
- 12 KH 95–00143. Bitumikattojen rakenne ja toiminta, marraskuu 1990. Ohjetiedosto.
- 13 Tampereen teknillinen korkeakoulu, toim. Virpi Leivo, Opas kosteusongelmiin, Tampere, 1998. [WWW-dokumentti]
<http://www.tut.fi/units/rka/rtek/tutkimus/rakennusfysiikka/raportit/Raportti95.pdf>

- 14 Lämpö ja kosteus rakentamisessa. Käsitteitä ja määritelmiä. [WWW-dokumentti]
<http://194.111.144.156/rakennusalanperustutkinto/lampo/kasitteet.htm#alku#alku>
- 15 Tiainen, M., Rakennusfysiikka, luentomuistiinpanot, 2004.
- 16 Lemminkäinen katto Oy. Rakenteet ja ohjeet. [WWW-dokumentti]
<http://www.lemminkainen.fi/productpage.asp?Section=8388>
- 17 Tiainen, M., Tekninen piirustus, luentomateriaali.
- 18 Haahtela, Y., Kiiras, J., Talonrakennuksen kustannustieto 2005, Helsinki: Haahtela-kehitys, 2005. 388 s. ISBN 952–5403-06-8.
- 19 TutkimusKortes Oy:n tekemät kloriditutkimukset 2006.
- 20 Interbetoni Oy, PK 4 katon kuntotarkastus 1998.
- 21 UPM-Kymmene Oyj, kattopiirustuksia.

LIITEIDEN LUETTELO

PK4 KONESALIN KATON RAKENNUSTEKNINEN KUNTOARVIO	LIITE 1
PK 4 KONESALIN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI	LIITE 2
NYKYINEN YLÄPOHJA	LIITE 3
NYKYINEN YLÄPOHJA, IV KORJATTU	LIITE 4
NYKYINEN ULKOSEINÄ	LIITE 5
URITETTU MINERAALIVILLA, NYKYISET OLOSUHTEET	LIITE 6
URITETTU MINERAALIVILLA, IV KORJATTU	LIITE 7
TUULETTUVA YLÄPOHJA NYKYISET OLOSUHTEET	LIITE 8
TUULETTUVA YLÄPOHJA, IV KORJATTU	LIITE 9

Tapani Tornberg

PK4 KONESALIN KATON RAKENNUSTEKNINEN KUNTOARVIO

Insinöörityön liite
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syksy 2006

SISÄLLYS

JOHDANTO	3
1 YHTEENVETO	4
1.1 Yhteenveto vesikaton kunnosta ja kiireelliset toimenpiteet	4
2.1 Kohteen perustiedot	6
2.2 Korjaushistoria	6
2.3 Asiakirjatilanne	6
2.5 Energiatalous	7
2.6 Sisäolosuhteet	7
2.7 Kosteusvauriot ja turvallisuusriskit	8
3 RAKENNUSTEKNINEN KUNTOARVIO	9
F41 Yläpohja	10
F43 Yläpohjavarusteet	11
F 45 Kattokonehuoneet	12
4 LISÄTUTKIMUKSET	13
4.1 Välittömästi tehtävät tutkimukset	13
4.2 Ennen kunnossapitosuunnittelua tehtävät tutkimukset	13
4.3 Ennen korjaussuunnittelua tehtävät tutkimukset	13
5 KUVIA VESIKATOSTA	14

JOHDANTO

Tämä kuntotarkastus on osa opinnäytetyötä, joka kertoo paperikone neljän katto-suunnitelmaa. Kuntotarkastus tehtiin PK 4 konesalin ja sen yhteydessä olevan telahiomon sekä konekorjaamon vesikatoille. Kuntotarkastuksen lähtökohtana on antaa perustiedot rakennuksen vesikaton kunnosta sekä alustava pohja rakenteiden korjausten ja uusimisten suunnittelulle. Kuntotarkastuksen tilaajana toimii UPM-Kymmene Oyj ja vastuuhenkilönä keskitetyn kunnossapidon päällikkö Esa Rantanen.

Vesikaton kunto tarkastettiin silmämääräisesti. Apuvälineinä oli kamera ja muistinpanovälineet. Lisäksi katto kuvattiin lämpökameralla ja konesalin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin hobo- loggerilla. Tarkastuksessa kiinnitettiin huomiota katteen kuntoon, kattokaivojen liittyminen katteeseen, ylösnostojen kunto ja vesipellitykset. Lisäksi tarkistettiin mahdolliset katon kylmäsilat ja kosteuden aiheuttajat sekä seinärakenteissa havaitut kylmäsilat ja vauriokohdat.

1 YHTEENVETO

1.1 Yhteenveto vesikaton kunnosta ja kiireelliset toimenpiteet

Rakennuksen vesikatto on pääsääntöisesti hyväkuntoinen. Muutamissa kohdin kuitenkin havaittiin vaurioita sekä huolimattomuudesta johtuvia virheitä, kuten esimerkiksi veden-eristyksen ylösnostot olivat paikoin puutteelliset.

Vesikaton kate on hyväkuntoinen ja ehyt. Katteen läpivientien tiivistykset ovat osissa kohdin puutteelliset, joka näkyy sateella läpivientien lähetyvillä vuotovesinä. Vesikatossa ei ole tuulettuvaa ilmatilaa, jonka johdosta rakenteen höyrynsululle asetetaan suuret vaatimukset. Rakenteita avaamattomalla menetelmällä ei voida todeta rakenteen sisäisiä muodonmuutoksia eikä kosteuskäyttäytymistä. Kuitenkin teoreettisesti voidaan laskea riittämättömän höyrynsulun tuomista ongelmista, joista yksi on kosteuden tiivistyminen umpirakenteen vesieristyksen alapintaan, josta se valuu alapuolisiin rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurion. Vesikaton rakenteellinen tuuletus tulee hoitaa kuntoon tekemällä joko tuulettuva ryömintätalallinen yläpohja tai muulla rakenneratkaisulla saada kosteus poistumaan rakenteista.

Vesikaton läpivientien tiiveyden lisäksi havaittiin rakenneyksityiskohdissa puutteita, joita olivat esimerkiksi erilaisten kattoläpivientien lämmöneristäminen kylmäsiltojen ehkäisemiseksi. Vesikaton sisäpinnassa havaittiin selkeää kosteuden tiivistymistä, joka aiheutuu kylmäsiltojen lisäksi rakennuksen ilmanvaihdon puutteellisuudesta. Koska kyseessä on tuotantolaitos, jossa toimiva prosessi tuottaa suunnattoman määrän kosteutta rakennuksen sisäilmastoon, asettaa se myös erityisen suuret vaatimukset rakennuksen ilmanvaihdolle ja rakenteiden toimivuudelle. Konesalin puutteellinen tuuletus tulee korjata lisäämällä sisäilmaa kuivattava järjestelmä konesalin kattoon. Lisäksi tulee samalla hoitaa kuntoon rakennuksen painesuhteet, jotta rakenteiden vaurioitumine konvektion vaikutuksesta saadaan estettyä.

Konesalin tuuletus tulee ulottaa koko konesalin alueelle, ei pelkästään keskittyä konesalin määrän pään ilmanvaihdon parantamiseen. Rakennuksen sisällä vallitsee suuri alipaine, joka ilmenee ulko-ovia avatessa. Tämän johdosta sisäpuolisen vedenpoiston sadevesiviemärien toiminta pakkastilanteissa on vääränlainen.

Kylmille putkipinnoille kertynyt kosteus tippuu sisätiloihin aiheuttaen haittoja paperituotannolle. Sadevesiviemärit on lämpöeristettävä kosteuden haitallisen tiivistymisen välttämiseksi. Betonisandwich- elementtien pystysaunojen pellitykset ja lämmöneristeet tulee korjata asianmukaiseen kuntoon. Kuntotarkastuksen yhteydessä tehdyssä lämpökamerakuvauksissa todettiin myös rajuja kylmäsiltoja rakennuksen seinäelementtien kiinnityskohdissa.

2 KUNTOARVION LÄHTÖTIEDOT

2.1 Kohteen perustiedot

Paperikone neljän tuotantorakennus ja sen yhteydessä olevat konekorjaamo ja telahiomo on rakennettu 1980-luvulla. Rakennuksen suunnittelijana on toiminut rakennusarkkitehtitoimisto O. Sillman & kumppanit. Rakennuksessa on kaksi kerrosta, joista käytetään nimityksiä konesali, jossa varsinainen paperikone on sekä 0-taso, jossa on koneen säiliöosastot sekä muut tarpeelliset koneen osat. Rakennuksen pohjan pinta-ala 12320 m². Rakennuksen tilavuus 225000 m³. Rakennuksen vesikatto on loiva kurukatto. Katon kaltevuus on 1:40. Vesikatto on varustettu sisäpuolisilla vedenpoistoilla. Kantavana rakenteena vesikatossa on jännebetonipalkkien päälle asennettu ontelolaatasto. PK 4 konesalin vesikaton pinta-ala on 6900 m². Lisäksi rakennuksen yhteydessä ovat konekorjaamo ja telahiomo. Näiden kattopinta-ala on 2100 m².

2.2 Korjaushistoria

Konesalin vesikattoon on tehty pitkin sen käyttöikää useita pienempiä korjauksia. Korjaukset ovat olleet etupäässä katteen uusimisia, läpivientien tiivistyksiä, pellitysten korjausta. Vesikattoon on rakennettu 2005 kesällä märkään päähän katon harjalle koeluonteisesti harjattuuletuskanava. Samalla uusittiin katemateriaali märänpään osalta. Vesikaton korjaushistoriasta on mahdotonta saada selvää käsitystä, sillä rakennuksesta ei ole tehty minkäänlaista huoltokirjaa eikä korjauksia ole muutenkaan millään tavalla dokumentoitu.

2.3 Asiakirjatilanne

Rakennuksesta on saatavilla hyvin asiakirjatietoutta, joista käy ilmi rakennuksen valmistusvuosi, rakennuksen pinta-ala, rakennuksen tilavuus ym. Kuntotarkastuksessa käytettiin apuna rakennekuvia katon erilaisista rakenteista ja läpivienneistä. Lisäksi apuna käytettiin Interbetoni Oy:n tekemää katon kuntotarkastusta sekä muistinvaraista tietoutta rakennukselle tehdyistä korjauksista.

2.4 Huoltotoimi ja kiinteistön käyttö

Rakennuksen huolto ja kunnossapito on lähes totaalisesti laiminlyöty, lukuun ottamatta pieniä korjauksia, joita on jouduttu tekemään rakennukselle pahimman hädän poistamiseksi. Rakennuksen tuotannollinen toiminta aiheuttaa monenlaisia rasituksia koko rakennukselle ja sitä kautta myös vesikatolle. Rasituksia ovat muun muassa tärinät ja värähtelyt, jotka aiheuttavat paperikoneen käynnistä. Lisäksi paperinvalmistusprosessissa syntyy runsaasti hukkalämpöä ja – kosteutta, joka aiheuttaa erittäin suuret rasitukset koko rakennukselle.

2.5 Energiatalous

Energiataloudeltaan rakennus on heikko. Rakennuksessa on runsaasti lämpövuotoja ja kylmäsiltoja sekä riittämättömät eristekerrokset. Kiinteistön lämmitykseen tarvittava energia saadaan prosessista vapautuvasta lämpöenergiasta, jolloin rakennuksen energiataloudella ei ole tilaajan mielestä niin suurta merkitystä kuten esimerkiksi asuinkerrostalossa, jossa jokainen rakennuksessa asuva joutuu osallistumaan energiakustannusten maksuun. Dof- lämpöohjelmalla laskettaessa todettiin rakenneratkaisulla, joka konesalin katossa on, energiankulutuksen olevan 44.410 kWh vuodessa. Laskentamallissa ei otettu huomioon rakenteiden mahdollista kastumista, joka osaltaan vaikuttaa heikentävästi rakennuksen lämpötalouteen. Seinärakenteiden kunto voi myös osaltaan vaikuttaa rakennuksen lämpöhäviöihin. Tutkimuksissa todettujen kylmäsiltojen suurimpana aiheuttajana seinärakenteissa on pilalle kastuneet lämmöneristeet seinäelementtien kiinnikkeiden kohdalla.

2.6 Sisäolosuhteet

Rakennuksen sisäolosuhteet ovat erittäin vaativat. Kosteusmittaukset tehtiin HOBO- loggerilla, jolla mitattiin sekä ilmankosteus, että sisäilman lämpötila. Lisäksi kattorakenteet kuvattiin lämpökameralla. Näistä tutkimuksista saatiin selville lämpötilat ja suhteellinen kosteus rakennuksen katonrajassa. Lämpötilat olivat suurilta osin lähes 40 °C ja sisäilman suhteellinen kosteus lähes 70 %, jolloin kosteuden tiivistyminen seinärakenteiden pinnoille voi tapahtua kohtalaisen korkeassakin lämpötilassa ilman, että rakenteessa edes olisi kylmäsiltaa.

2.7 Kosteusvauriot ja turvallisuusriskit

Jos kosteus pääsee tiivistymään nestemäiseen olotilaan, yleensä vaikeuksia on odotettavissa. Tämä ilmenee hajoamisena, rapautumisena ja kantavuuden menetyksenä, jotka voivat johtua pakkashalkeilusta, suolahalkeilusta, korroosiosta, lahoamisesta, kemiallisesta tai fysikaalisesta muuntumisesta. Lisäksi kosteudesta seuraa terveysriskit ja hajuhaitat, joiden syynä voi olla home yms. mikrobikasvusto, materiaalien emissiot eli päästöt (esimerkiksi lattiatasoitteesta tai liimasta).

Muita ongelmia voivat olla kasvanut energiantarve, joka johtuu huonontuneesta lämmön-eristyskyvystä kosteuden haihtuessa huonosti rakenteista. Esteettisiä haittoja ovat kosteusläiskät ja värimuutokset. Lisäksi ovat kosteusliikkeet, jotka voivat johtaa turpoamiseen ja kurtumiseen, kieroutumiseen ja kupertumiseen. Seinäelementtien betonin karbonatisoituminen voi aiheuttaa sandwich- rakenteen ulkokuoren kiinnikkeiden ruostumisen, jonka johdosta rakenne voi menettää kantavuutensa.

3 RAKENNUSTEKNINEN KUNTOARVIO

Rakennusteknisessä kuntoarviossa on käytetty talo- 90 nimikkeistön mukaista jaottelua. Kuntoarviossa on keskitytty vain rakennuksen vesikaton rakenteisiin, kattokaivoihin ja vesikaton varusteisiin. Lisäksi tarkastettiin rakennuksen seinien yläosat, sandwich- elementtien kiinnityskohdat ja niiden eristeet. Kuntoarviossa ei oteta kantaa rakennuksen kuntoon muilta osin. Kuntoarvio suoritettiin aistinvaraisiin havaintoihin perustuen. Apuvälineinä käytettiin kameraa, muistiinpanovälineitä, lämpökameraa ja kosteus ja lämpötilanmittauslaitteita.

F3 Julkisivu

Julkisivujen osalta tarkistettiin konesalin seinien ylimmät elementit ja niiltä osin alemmaa mistä päästiin kohtuudella elementtejä tarkastelemaan.

F31 Ulkoseinät

F31.1 Betonielementtiseinät

Ulkoseinärakenne on betoni sandwich- elementtiseinä, jossa lämmöneristeenä on kova mineraalivilla. Seinäelementtien liitoskohdissa havaittiin kosteusvaurion jälkiä sekä kylmäsiltoja. Rakenteista ei otettu poranäytteitä, mutta silmämääräisesti voitiin todeta lievän karbonatisoitumisen merkkejä. Elementit ovat sandwich- elementille tyypillisesti kaareutuneita ulospäin, joka on merkinä betonin pakkasrapautumisesta. Seinäelementtien kiinnityskohdissa olevat lämmöneristeet ovat kastuneita ja menettäneet täten eristyskykynsä. Lisäksi pystysaumojen kohdilla olevat pellitykset ovat irronneet paikoitellen. (KL 3)

Toimenpide- ehdotus

Seinäelementtien pystysaumojen lämmöneristeet tulee korjata. Pellitykset on korjattava.

F31.4 Pellitetyt ulkoseinät

Konesalin pellitetyissä ulkosinissä havaittiin kylmäsiltoja. Kylmäsiltoja olivat lähinnä pellitetyn seinän liittyessä betonipilarin kohdalla muuhun seinään. Muuten seinät ovat hyväkuntoiset. (KL 2)

Toimenpide- ehdotus

Ikkunaseinien kylmäsiltoja on tutkittava ja vikakohtat korjattava.

F4 Yläpohjarakenteet

F41 Yläpohja

Rakennuksen yläpohja on tuulettumaton umpirakenne. Kantavana rakenteena on jännebetonipalkkien varaan asennetut ontelolaatat. Höyrinsulkuna on Euratex Al höyrinsulkumuovi, lämmöneristeenä on 100 mm SPU-uretaanilevyt. Vedeneristeenä on kolminkertainen bitumikermieristys. Katteen suojana on singeli, jonka raekoko on n. 5-15 mm. Yläpohja on loiva kurukatto, jossa on keskellä kattoa harja ja laidoilla sisäpuolisen vedenpoiston katto-kaivot. Lisäksi katossa on useita läpivientejä kuten esimerkiksi tuloilmakonehuoneet. Yläpohjan kunto on kohtalainen. Rakenteiden sisäpinnoilla havaittiin kosteuden tiivistymistä. Kattoläpivientien ympärillä havaittiin runsasta kosteuden tiivistymistä, joka voi johtua huonosta höyrinsulusta tai kylmäsiltoista rakenteessa. Sadevesiviemäreitä ei ole eristetty rakennusasiakirjojen maininnasta huolimatta.

F41.1 Vesikatot

Vesikatto on loiva kurukatto. Katemateriaalina on kumibitumikermi. Katon kaltevuus on 1:16. Vesikaton kunto on kohtalainen. Katteessa havaittiin lievää kupruilua. Joissain paikoissa vedeneristyksen ylösnostot on tehty puutteellisesti. Pellitykset IV- konehuoneiden ja katon räystääiden puolella ovat hyväkuntoiset. Kosteutta kondensoituu katteen sisäpintaan, josta se valuu alas seinän vierustaa pitkin. Tämän johdosta rakenteissa on havaittu vaurion jälkiä. (KL 3)

Toimenpide- ehdotus

Vedeneristyksen ylösnostot korjataan. Rakenteiden sisäpinnoille kertyvän kosteuden aiheuttaja selvitetävä

F43 Yläpohjavarusteet

F43.2 Syöksytorvet

Sade- ja sulamisvesien poistoon tarkoitetut sadevesiviemärit ovat hyväkuntoiset. Rakennuksen sisäpuolella olevat sadevesiviemärit on asennettu virheellisesti vaakatasoon. Tämä voi johtaa sadevesiviemäreiden tukkeutumiseen ja jäätymiseen. (KL2)

Toimenpide- ehdotus

Sadevesiviemäreiden vaakavedot poistetaan. Sisäpuoliset sadevesiviemärit eristetään kosteuden kondensoitumisen estämiseksi putkien pinnoille.

F43.3 Kattokaivot

Kattokaivot ovat hyväkuntoiset ja toimivat oikein. Katemateriaalin liittyminen kattokaivoihin on hyvä. Kattokaivojen sihdit ovat huonokuntoiset. Osassa kaivoista sihtiä ei ole olleenaan tai ne ovat puristuneet lähes kasaan jolloin sade- ja sulamisvedet eivät pääse virtaamaan vapaasti kattokaivoihin. (KL 2)

Toimenpide- ehdotus:

Kattokaivojen sihdit tulee korjata.

F43.5 Tikkaat katolla

Katolla olevat tikkaat ovat hyväkuntoiset.

Toimenpide- ehdotus

Ei toimenpiteitä

F 45 Kattokonehuoneet

Katolla on 12 kappaletta ilmastoinnin konehuoneita. Katteen kiinnittyminen ja ylösostot ovat hyväkuntoiset. Kattokonehuoneiden kohdalla rakennuksen sisäpuolella havaittiin kosteuden kondensoitumista. Rakennekuvien perusteella voidaan sanoa, että kattokonehuoneen liittyminen muihin rakenteisiin voi aiheuttaa kylmäsilan. Kattokonehuoneen lämmöneristeenä on vain 50mm: n lämmöneriste.

Toimenpide- ehdotus

Kattokonehuoneen kylmäsilan mahdollisuus on selvitettävä ja korjattava.

4 LISÄTUTKIMUKSET

4.1 Välittömästi tehtävät tutkimukset

Kattorakenteiden perusteellisen kunnan selvittämiseksi tulee tehdä selvitys kylmistä silloista, kattorakenteen kosteusteknisestä toiminnasta sekä selvittää tarkasti kosteuden lähteet. Lisäksi tulee tehdä, jos mahdollista, kosteusmittauksia kattorakenteiden ja etenkin ontelolaatan kosteuspoitoisuuden selvittämiseksi. Lisätutkimuksissa tulee myös ottaa huomioon sadevesien poisjohtaminen vesikatolta. Vaihtoehtoiset tavat ovat joko ulkopuolinen poisto tai vanha sisäpuolinen poisto. Ulkopuolisen poiston vaikeutena on veden jäätyminen poistoputkessa. Konesalin kattotuuletuksen korjaaminen ja vanhan järjestelmän tehostaminen tulee suunnitella myös kaikkien edellä mainittujen asioiden yhteydessä.

4.2 Ennen kunnossapitosuunnittelua tehtävät tutkimukset

Rakenteiden perusteellinen selvittäminen tulee tehdä ennen kuin aletaan suunnitella kunnossapitoa. Lisäksi tulee tehdä tutkimukset mahdollisista korjaustarpeista sekä selvitys eri vaihtoehtojen kustannuksista.

4.3 Ennen korjaussuunnittelua tehtävät tutkimukset

Korjaussuunnittelua varten kerätään tietoa mahdollisten korjausvaihtoehtojen järkevyydestä, selvitetään kattorakenteiden tuuletuksen tarve ja kartoitetaan pahimmat vauriokohdat. Lisäksi tulee selvittää kylmäsiltojen aiheuttajat ja mahdolliset muut vaikutukset katon toiminnalle, kuten esimerkiksi konesalin ilmanvaihdon vaikutus kattorakenteiden toiminnalle ja ilmanvaihdon korjauksen vaikutus rakenteiden toimintaan.

5 KUVIA VESIKATOSTA



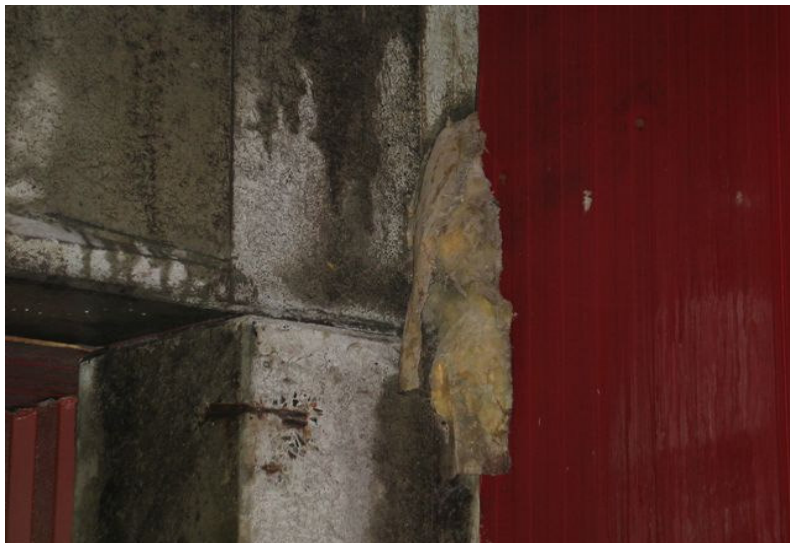
Kuva 1. Konesalin katon kosteusvaurion jälkiä.



Kuva 2. Tuloilmakanavat pilarien välissä (kanavien pintaan kondensoituu kosteutta)



Kuva 3. Konesalin kuivatusilmakanava.



Kuva 4. Kostuden aiheuttamia vaurioita rakenteissa.



Kuva 5. Katon sisäpinnalle kertynyt likaa.



Kuva 6. Sadevesiviemäreissä ei saa olla vaakavetoja. (tukkeutumisvaara)



Kuva 7. Ontelolaatan saumakohta.



Kuva 8. Katto- ja seinärakenteet joutuvat kovalle rasitukselle etenkin talvella.



Kuva 9. Kosteus tiivistyy rakenteiden pinnoille.



Kuva 10. Vanhoja kosteusvaurion jälkiä.



Kuva 11. IV- koneiden poistopuhalluksesta puuttuu pisanerotin, jonka johdosta katoille puhallettava ilma on hyvin kostea.



Kuva 12. Konesalin alipaineen johdosta kylmä ulkoilma kulkeutuu sadevesiviemäreihin. Tästä seuraa herkempi kosteuden kondensoituminen putkien pinnoille.



Kuva 13. Seinäelementtien pystysaumojen pellitykset ovat irrallaan.



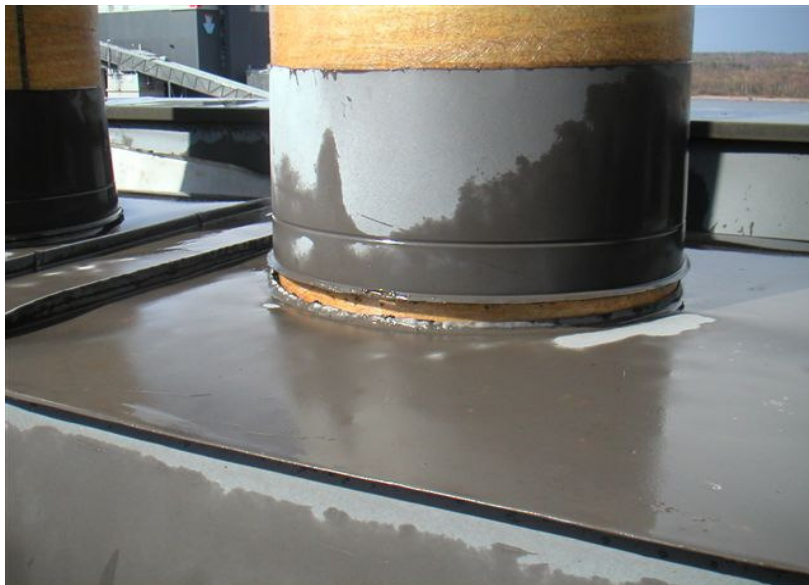
Kuva 14. Betonisandwich- elementtien saumojen lämmöneristeet ovat kastuneet.



Kuva 15. Huono lämmöneriste.



Kuva 16. Katon vedeneristyksen ylösnostot on irronnut paikoitellen.



Kuva 17. Kattoläpivihti on irronnut alustastaan.

Tapani Tornberg

PK 4 KONESALIN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

Insinööri­työn liite
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syksy 2006



UPM-Kymmene Oyj Kajaani	
Mittaava kunnossapito	
Antero Immonen	20.01.2006
Lämpökuvaus	
PK-4 rakennuksen seinät	

Yhteenveto: Kuvaushetkellä ulkoilman lämpötila - 26 Celsiusta. Sisäilman lämpötila ~ +30 astetta celsiusta. Rakenteissa havaittiin lieviä kylmäsiltoja. Alimmat lämpötilat mitattiin ikkunaseinän yläpuolisesta osasta jossa pinnan lämpötila oli + 17 Celsiusta. Muissa paikoissa lämpötilat olivata + 20...+ 30 Celsiusta. Kuvaukset suoritettiin ainoastaan konesalin määrässä päässä perälaatikolta puristinosan loppupäähän.

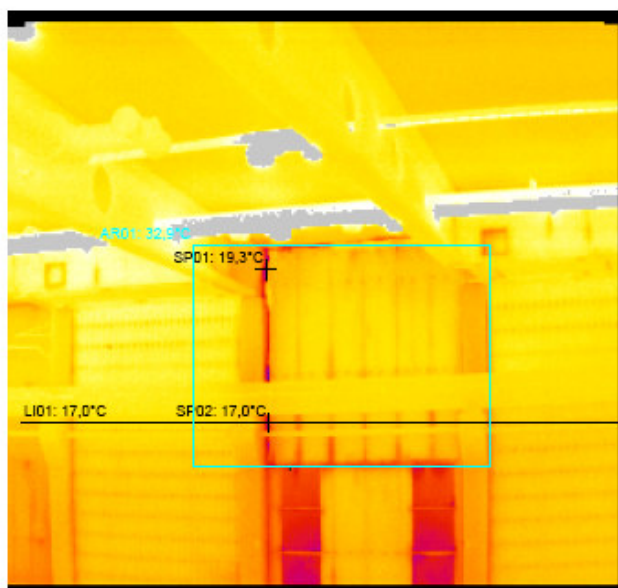
Kuvatut kohteet

Kuvan kohde	Päivä	Aika	Sivu
PK-4	20.01.2006	12:58:00	2
	20.01.2006	12:59:25	3
	20.01.2006	13:01:14	4
	20.01.2006	13:02:18	5
	20.01.2006	13:07:06	6
	20.01.2006	13:10:35	7
	20.01.2006	13:11:02	8
	20.01.2006	13:14:07	9
	20.01.2006	13:16:00	10

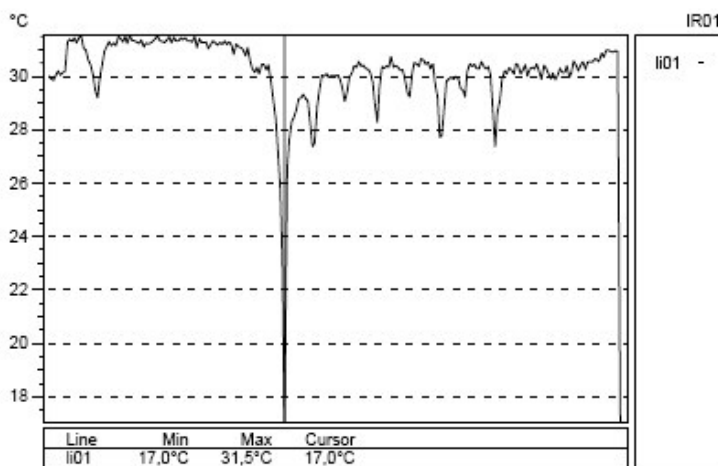


UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 2
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde: PK-4		
Kuvattu: 20.01.2006	12:58:00	Kuva: D04.tif

Kommentit: Ikkunaseinän yläpuolinen alue jossa havaittiin selvä ilmavuoto linjalla SPO1-SPO2. Kylmin pinta + 17 astetta celsiusta.



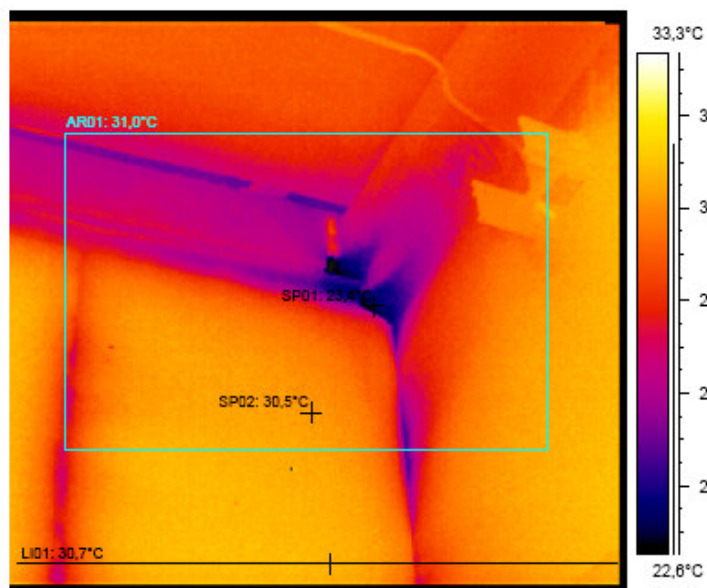
Label	Value
SP01	19,3°C
SP02	17,0°C
LI01 : cursor	17,0°C
LI01 : max	31,5°C
LI01 : min	17,0°C
LI01 : avg	30,2°C
LI01 : stdev	1,3°C
AR01 : max	32,9°C
AR01 : min	17,0°C
AR01 : avg	30,1°C
AR01 : stdev	1,5°C



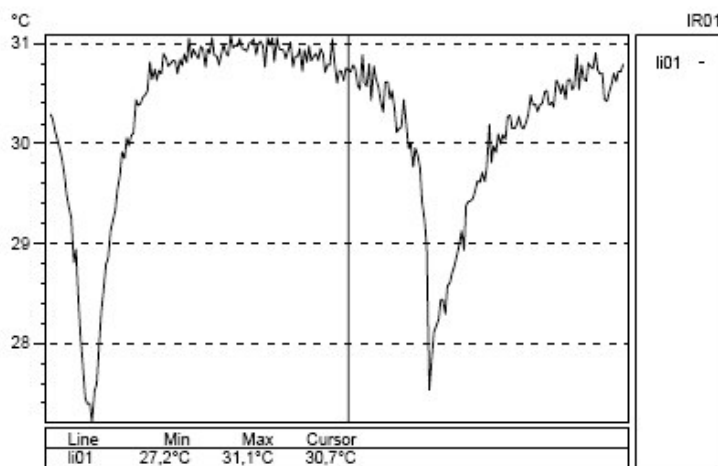


UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 3
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	12:59:25	Kuva: D05.tif

Kommentit: Kylmin kohta +21,7 astetta celsiusista.



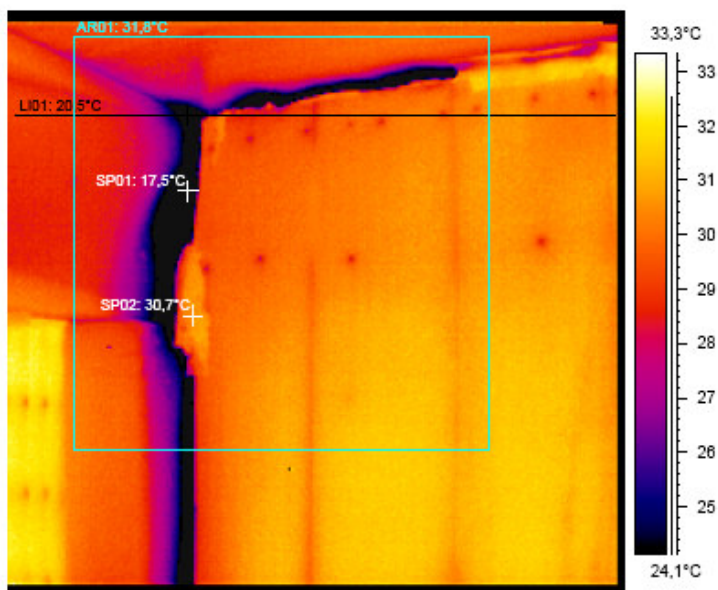
Label	Value
SP01	23,4°C
SP02	30,5°C
LI01 : cursor	30,7°C
LI01 : max	31,1°C
LI01 : min	27,2°C
LI01 : avg	30,2°C
LI01 : stdev	0,9°C
AR01 : max	31,0°C
AR01 : min	21,7°C
AR01 : avg	28,3°C
AR01 : stdev	1,7°C



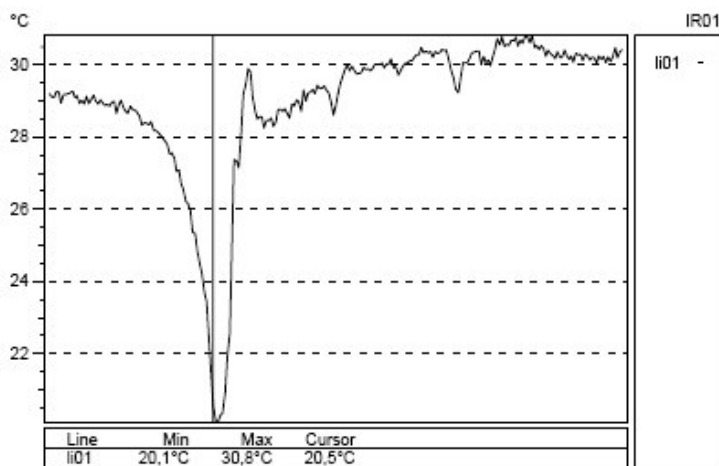


UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 4
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:01:14	Kuva: D06.tif

Kommentit: Lämpötila alle + 20 Celsiusta. Seinästä pursuaa eristevillaa SPO2:n kohdalla.



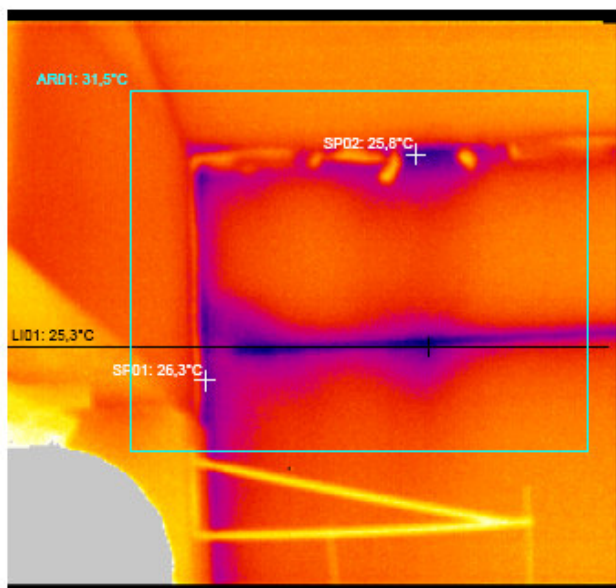
Label	Value
SP01	17,5°C
SP02	30,7°C
LI01 : cursor	20,5°C
LI01 : max	30,8°C
LI01 : min	20,1°C
LI01 : avg	29,0°C
LI01 : stdev	2,1°C
AR01 : max	31,8°C
AR01 : min	16,9°C
AR01 : avg	29,2°C
AR01 : stdev	2,2°C



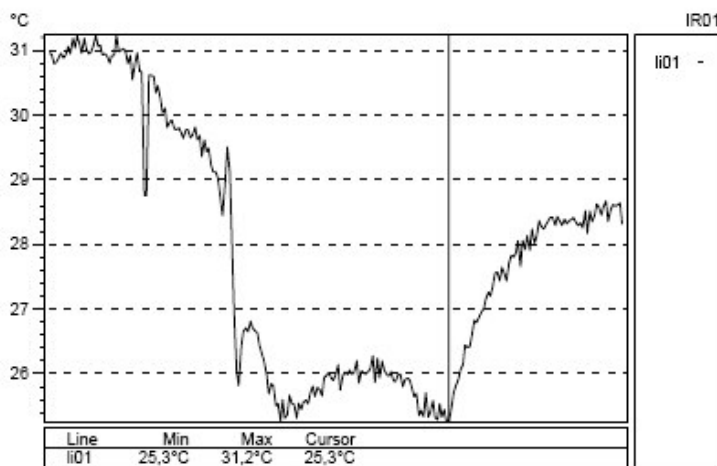


UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 5
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:02:18	Kuva: D07.tif

Kommentit: Kylmin kohta +24,9 astetta celsiusista.



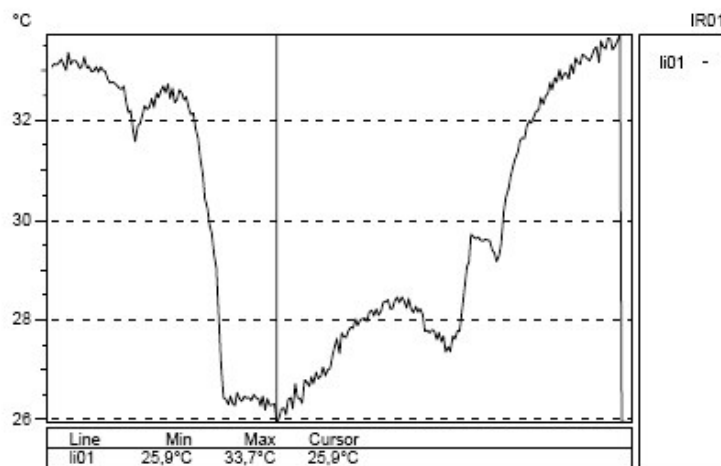
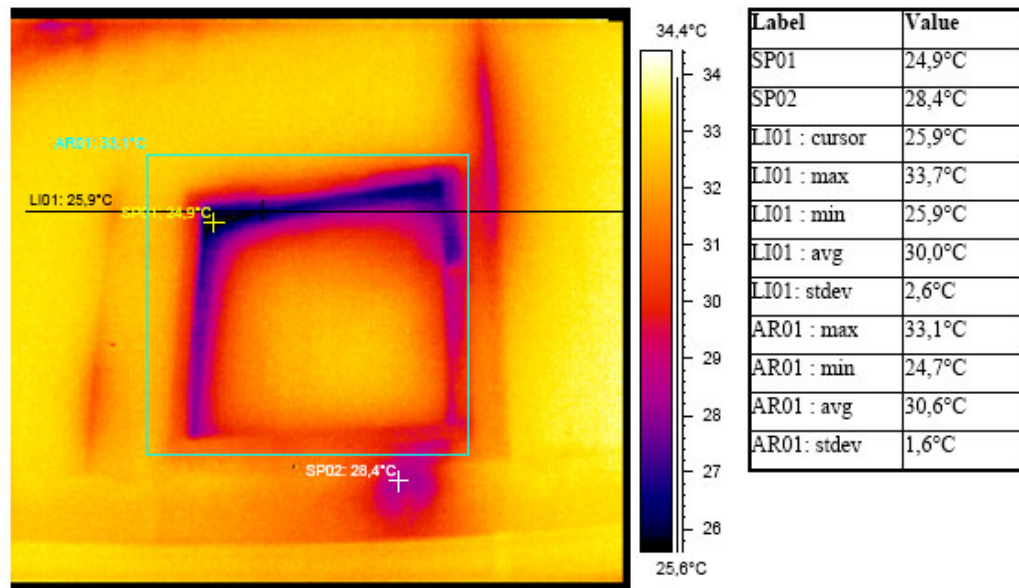
Label	Value
SP01	26,3°C
SP02	25,8°C
LI01 : cursor	25,3°C
LI01 : max	31,2°C
LI01 : min	25,3°C
LI01 : avg	27,9°C
LI01 : stdev	2,0°C
AR01 : max	31,5°C
AR01 : min	24,9°C
AR01 : avg	29,1°C
AR01 : stdev	1,1°C





UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 6
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:07:06	Kuva: D08.tif

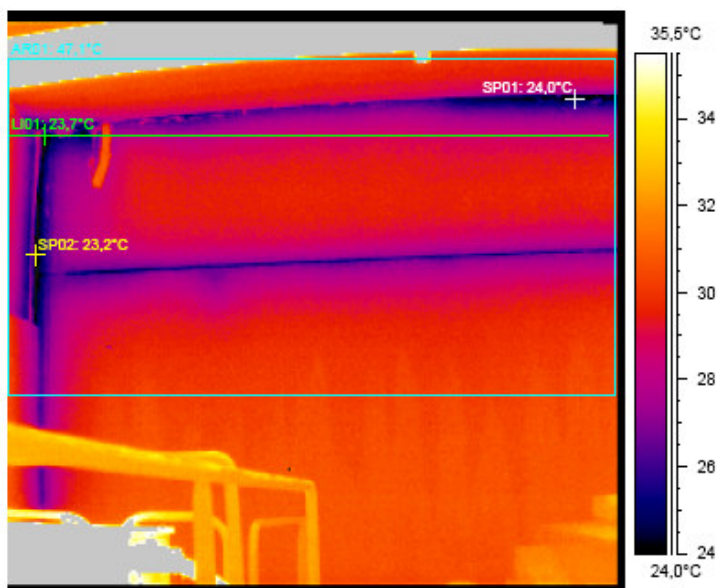
Kommentit: Ilmanvaihtokonehuoneen kyljessä oleva luukku hieman raollaan.



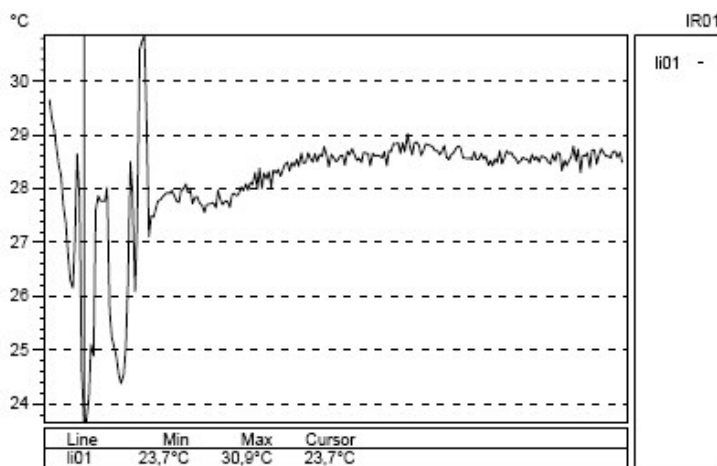


UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 7
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:10:35	Kuva: D09.tif

Kommentit: Kylmin kohta + 23,1 astetta celsiusta.



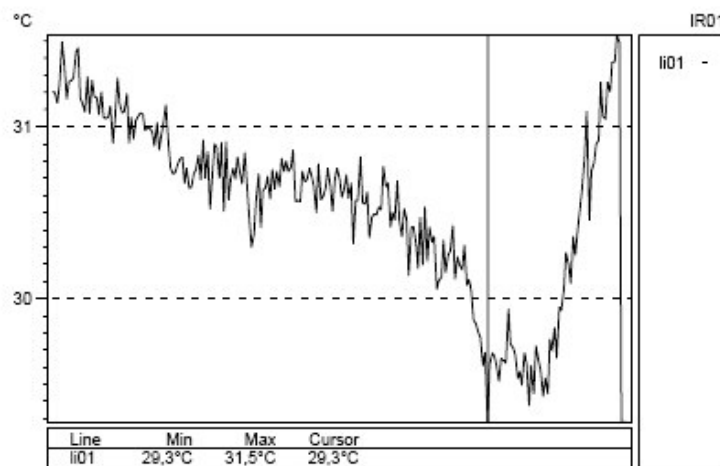
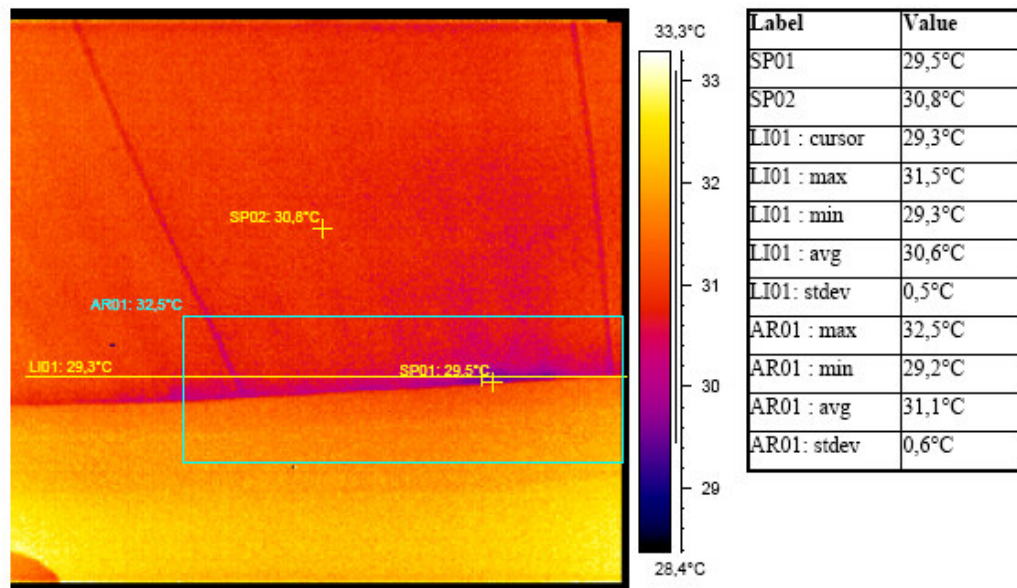
Label	Value
SP01	24,0°C
SP02	23,2°C
LI01 : cursor	23,7°C
LI01 : max	30,9°C
LI01 : min	23,7°C
LI01 : avg	28,2°C
LI01 : stdev	1,0°C
AR01 : max	47,1°C
AR01 : min	23,1°C
AR01 : avg	29,2°C
AR01 : stdev	2,5°C





UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 8
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:11:02	Kuva: D10.tif

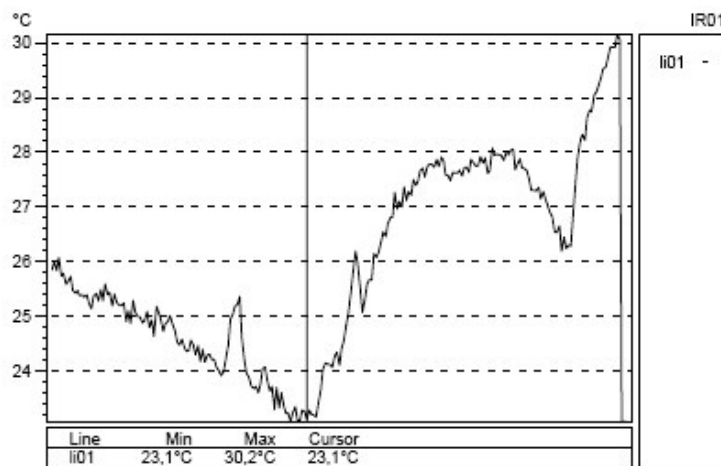
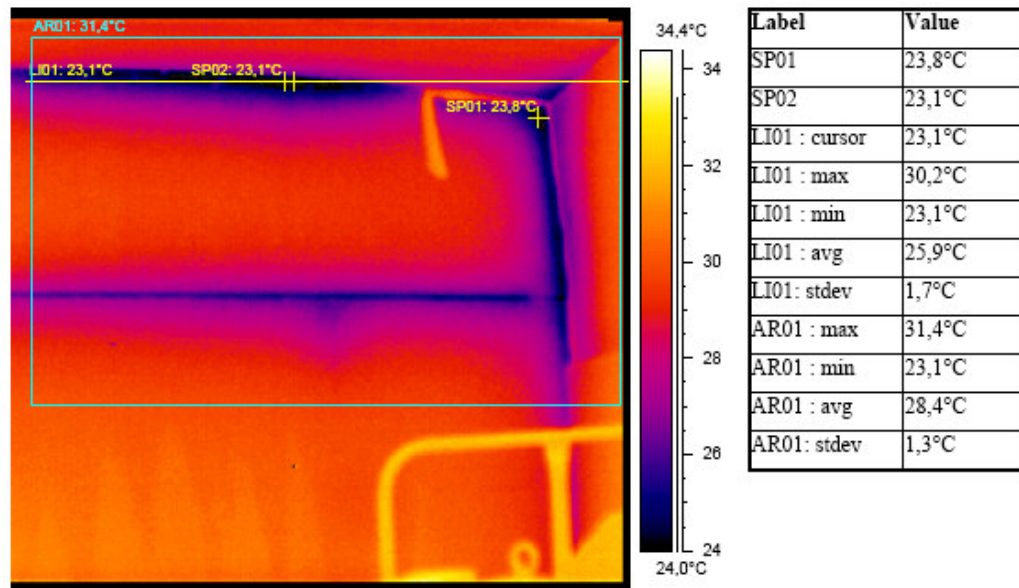
Kommentit: Kuvattu keskempää kattoa jossa ei havaittu kosteutta.





UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 9
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:14:07	Kuva: D11.tif

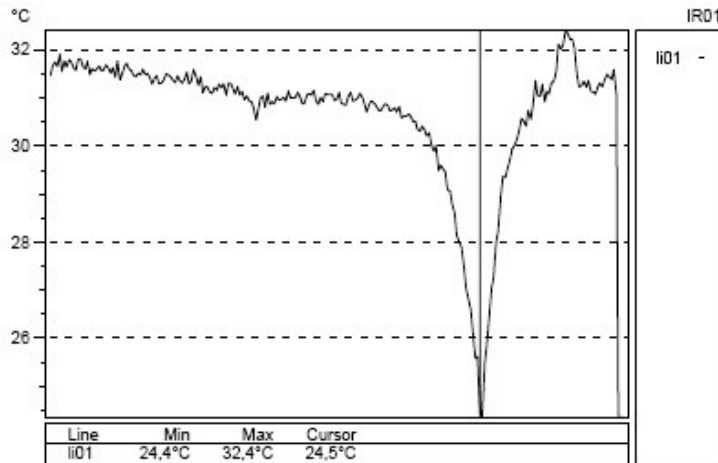
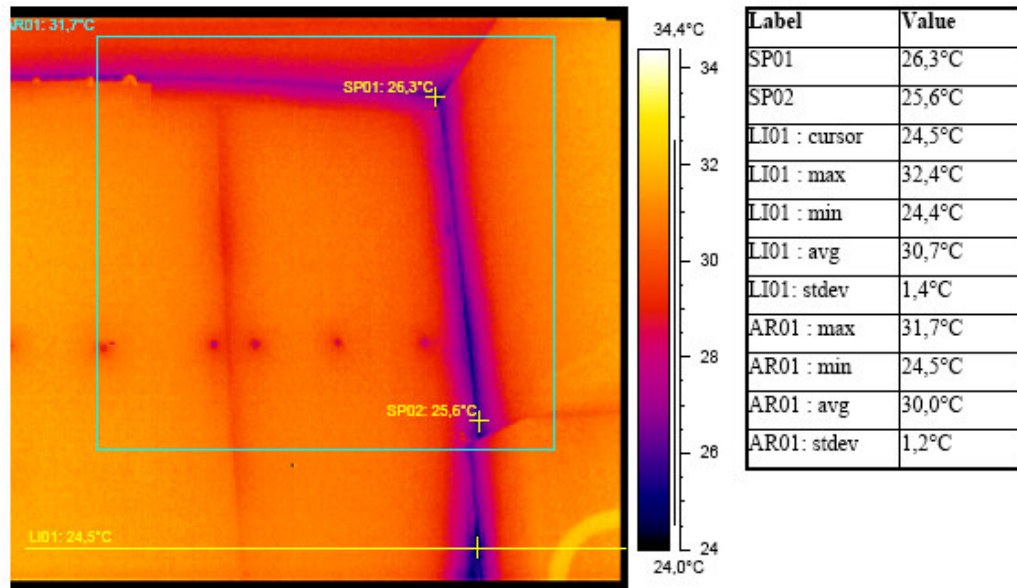
Kommentit: Kylmin kohta + 23,1 astetta celsiusista.





UPM-Kymmene Oyj Kajaani		
Mittaava kunnossapito		
Antero Immonen		20.01.2006
Lämpökuvaus		Sivu: 10
PK-4 rakennuksen seinät		
Kohde:		
Kuvattu: 20.01.2006	13:16:00	Kuva: D12.tif

Kommentit:



Tapani Tornberg

KOSTEUSTEKNISET LASKELMAT DOF- OHJELMALLA

Insinööriön liite
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syksy 2006

NYKYINEN YLÄPOHJA

Nykyisen yläpohjan kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa nykyisissä olosuhteissa

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Nykyinen YP- rakenne	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP1

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.204 W/m2K		
Paksuus:	370.200 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	646.43 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	125833.333		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	4.910 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Polyuretaani	100.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
3 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	1.0000	2.500000e+08	0.00	900.00
4 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	-10.60	2.08	1.79	86.0	0.00
1	-10.19	2.16	1.79	82.9	0.00
2	-8.93	2.41	1.81	75.1	0.00
3	29.24	29.09	35.60	100.0	0.00
4	29.24	29.09	35.62	100.0	1171.43
5	38.66	47.81	35.81	74.9	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\DOF- vanha YP UPM.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Nykyinen YP- rakenne	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP1

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.204 W/m2K		
Paksuus:	370.200 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	646.43 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	125833.333		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	4.910 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Polyuretaani	100.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
3 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	1.0000	2.500000e+08	0.00	900.00
4 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	13.00	11.38	7.51	66.0	0.00
1	13.22	11.54	7.51	65.1	0.00
2	13.89	12.02	7.53	62.6	0.00
3	34.26	38.06	35.64	93.6	0.00
4	34.26	38.06	35.65	93.7	0.00
5	39.29	49.35	35.81	72.6	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättyö\DOF- vanha YP UPM.LAM

NYKYINEN YLÄPOHJA, IV KORJATTU

Nykyisen yläpohjan kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa ilmanvaihdon korjauksen jälkeen

Rakennuskohde: UPM- kymmene OY, PK4		Sisältö: Nykyinen YP- rakenne (Ilmanvaihto korjattu)	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP4

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 0.204 W/m ² K Paksuus: 370.200 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 646.43 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 125833.333 Vesih. läpäisykerroin: 0.000008 g/m ² hPa Lämmönvastus: 4.910 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 0.000			
--	--	--	--

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Polyuretaani	100.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
3 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	1.0000	2.500000e+08	0.00	900.00
4 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	2.08	1.79	86.0	0.00
1	-10.35	2.13	1.79	84.1	0.00
2	-9.59	2.28	1.79	78.8	0.00
3	13.49	11.74	8.60	73.3	0.00
4	13.49	11.74	8.60	73.3	0.00
5	19.19	16.49	8.64	52.4	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Nyk kones katto IV\korjattu.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Nykyinen YP- rakenne (Ilmanvaihto korjattu)	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP4

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.204 W/m2K		
Paksuus:	370.200 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	646.43 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	125833.333		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	4.910 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Polyuretaani	100.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
3 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	1.0000	2.500000e+08	0.00	900.00
4 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	13.00	11.38	7.51	66.0	0.00
1	13.06	11.43	7.51	65.8	0.00
2	13.23	11.55	7.51	65.1	0.00
3	18.51	15.85	8.64	54.5	0.00
4	18.51	15.85	8.64	54.5	0.00
5	19.81	17.10	8.64	50.5	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättöttyö\Nyk kones katto IVkorjattu.LAM

NYKYINEN ULKOSEINÄ

Ulkoseinän kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa nykyisissä olosuhteissa

Rakennuskohde: UPM- kymmene OY, PK4		Sisältö: Betonisanwich- elementti	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.433 W/m2K		
Paksuus:	250.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	410.05 kg		
Hinta:	0.01 euro		
Vesihöyryn vastus:	7539.681 m2hPa/g		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000133 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	2.311 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Betoni	70.00	1.7000	1.333333e+10	0.00	2400.00
2 Mineraalivilla	80.00	0.0460	4.761905e+08	0.00	30.00
3 Betoni	100.00	1.7000	1.333333e+10	0.00	2400.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2 Ansaat	0.0006	15.0	1.00	1.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	-10.60	2.08	1.79	86.0	
1	-9.59	2.28	1.79	78.6	
2	-8.56	2.49	18.50	100.0	
3	35.24	40.08	19.10	47.7	
4	36.73	43.29	35.81	82.7	
S	40.00	51.16	35.81	70.0	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Konesalin seinä vanha.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Betonisanwich- elementti	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.433 W/m2K		
Paksuus:	250.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	410.05 kg		
Hinta:	0.01 euro		
Vesihöyryn vastus:	7539.681 m2hPa/g		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000133 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	2.311 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Betoni	70.00	1.7000	1.333333e+10	0.00	2400.00
2 Mineraalivilla	80.00	0.0460	4.761905e+08	0.00	30.00
3 Betoni	100.00	1.7000	1.333333e+10	0.00	2400.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2 Ansaat	0.0006	15.0	1.00	1.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	13.00	11.38	7.51	66.0	0.00
1	13.54	11.77	7.51	63.8	0.00
2	14.09	12.17	21.41	100.0	547.43
3	37.46	44.97	21.91	48.7	0.00
4	38.25	46.82	35.81	76.5	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Konesalin seinä vanha.LAM

URITETTU MINERAALIVILLA, NYKYISET OLOSUHTEET

Uritetun mineraalivillarakenteen kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa, nykyisissä olosuhteissa.

Rakennuskohde: UPM- kymmene OY, PK4		Sisältö: Uritettu mineraalivilla, nykyiset olosuhteet	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP2

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.147 W/m2K		
Paksuus:	445.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	654.00 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	403541.669		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	6.791 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00	
2 Tuulettuva ilmarako	20.00	10.0000	7.200000e+03	0.00	0.00	
3 Polyuretaani	150.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00	
4 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00	
5 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	-10.60	2.08	1.79	86.0	0.00
1	-10.30	2.14	1.79	83.7	0.00
2	-9.39	2.32	1.80	77.5	0.00
3	-9.38	2.32	1.80	77.4	0.00
4	32.02	33.78	12.33	36.5	0.00
5	32.22	34.17	35.75	100.0	377.01
6	39.03	48.71	35.81	73.5	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötty\Uritettu minvillaUPM.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Uritettu mineraalivilla, nykyiset olosuhteet	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP2

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.147 W/m2K		
Paksuus:	445.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	654.00 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	403541.669		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	6.791 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Tuulettuva ilmarako	20.00	10.0000	7.200000e+03	0.00	0.00
3 Polyuretaani	150.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
4 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00
5 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

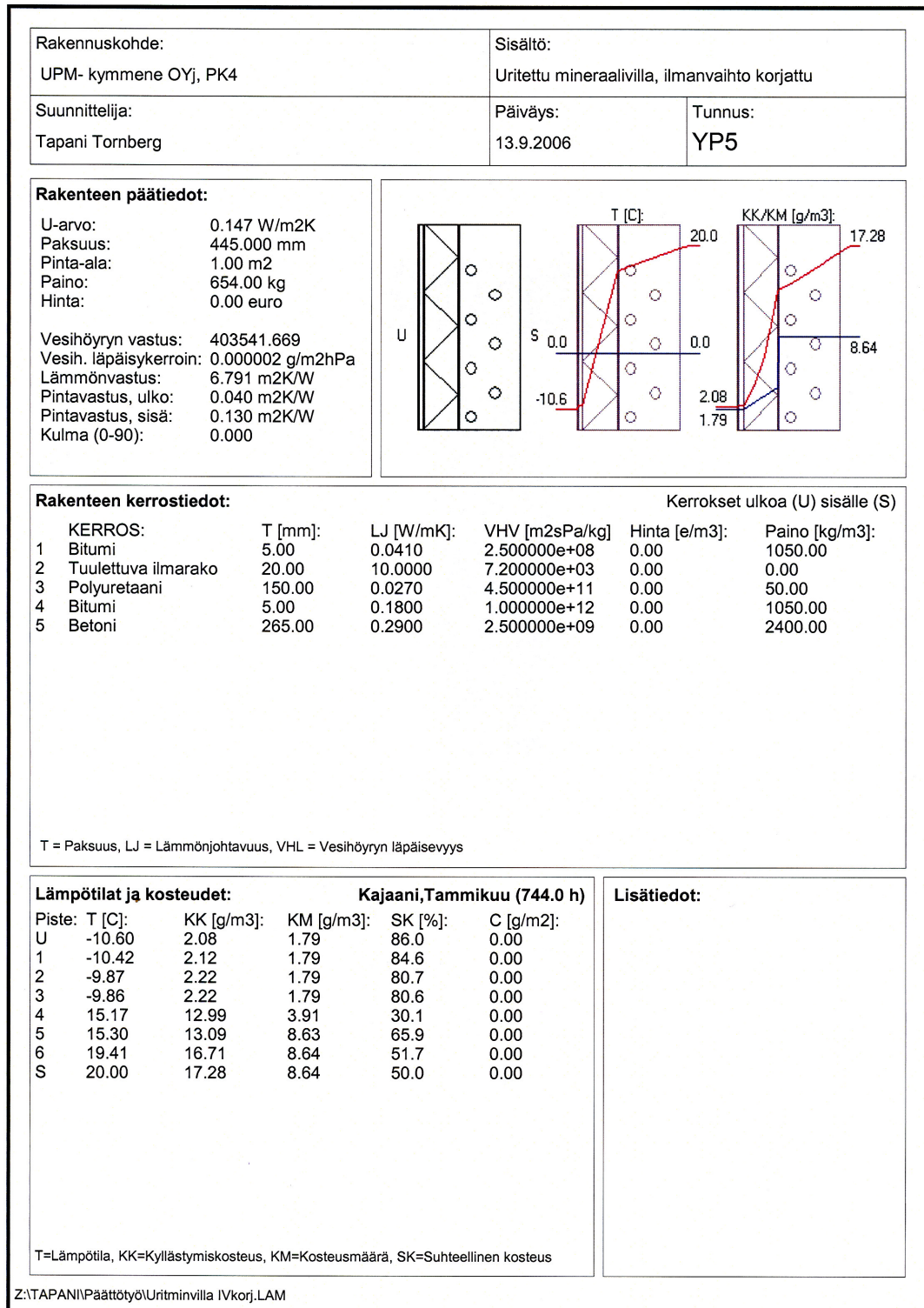
Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:		C [g/m2]:
U	13.00	11.38	7.51	66.0		0.00
1	13.16	11.50	7.51	65.3		0.00
2	13.64	11.85	7.52	63.5		0.00
3	13.65	11.85	7.52	63.4		0.00
4	35.74	41.13	16.28	39.6		0.00
5	35.85	41.36	35.76	86.5		0.00
6	39.48	49.85	35.81	71.8		0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0		0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötöy\Uritettu minvilla\UPM.LAM

URITETTU MINERAALIVILLA, IV KORJATTU

Uritetun mineraalivillarakenteen kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa ilmanvaihdon korjauksen jälkeen



Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Uritettu mineraalivilla, ilmanvaihto korjattu	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP5

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.147 W/m2K		
Paksuus:	445.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	654.00 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	403541.669		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	6.791 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00	
2 Tuulettuva ilmarako	20.00	10.0000	7.200000e+03	0.00	0.00	
3 Polyuretaani	150.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00	
4 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00	
5 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:		C [g/m2]:
U	13.00	11.38	7.51	66.0		0.00
1	13.04	11.41	7.51	65.8		0.00
2	13.17	11.50	7.51	65.3		0.00
3	13.17	11.51	7.51	65.3		0.00
4	18.90	16.21	7.86	48.5		0.00
5	18.92	16.23	8.64	53.2		0.00
6	19.87	17.15	8.64	50.4		0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0		0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Uritminvilla IVkorj.LAM

TUULETTUVA YLÄPOHJA NYKYISET OLOSUHTEET

Tuulettuvan yläpohjarakenteen kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa nykyisissä olosuhteissa

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYJ, PK4		Sisältö: Tuulettuva yläpohja	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP3

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.113 W/m2K		
Paksuus:	600.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	667.50 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	406041.667		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	8.820 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Puu (kuusi)	25.00	0.1400	9.000000e+09	0.00	440.00
3 Tuulettuva ilmarako	100.00	1000.0000	1.000000e-19	0.00	0.00
4 Polyuretaani	200.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
5 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00
6 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	-10.60	2.08	1.79	86.0	0.00
1	-10.37	2.13	1.79	84.3	0.00
2	-9.67	2.26	1.80	79.5	0.00
3	-8.65	2.47	2.01	81.2	0.00
4	-8.65	2.47	2.01	81.2	0.00
5	33.85	37.25	12.48	33.5	0.00
6	34.01	37.56	35.75	95.2	0.00
7	39.25	49.27	35.81	72.7	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyöt\Tuulettuva YP UPM.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Tuulettuva yläpohja	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP3

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.113 W/m2K		
Paksuus:	600.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	667.50 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	406041.667		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	8.820 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Puu (kuusi)	25.00	0.1400	9.000000e+09	0.00	440.00
3 Tuulettuva ilmarako	100.00	1000.0000	1.000000e-19	0.00	0.00
4 Polyuretaani	200.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
5 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00
6 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	13.00	11.38	7.51	66.0	0.00
1	13.12	11.47	7.51	65.5	0.00
2	13.50	11.74	7.52	64.0	0.00
3	14.04	12.13	7.69	63.4	0.00
4	14.04	12.13	7.69	63.4	0.00
5	36.72	43.27	16.40	37.9	0.00
6	36.80	43.46	35.76	82.3	0.00
7	39.60	50.15	35.81	71.4	0.00
S	40.00	51.16	35.81	70.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Tuulettuva YP UPM.LAM

TUULETTUVA YLÄPOHJA, IV KORJATTU

Tuulettuvan yläpohjarakenteen kosteustekninen toiminta tammi- ja kesäkuussa ilmanvaihdon korjauksen jälkeen

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYJ, PK4		Sisältö: Tuulettuva yläpohja	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP6

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.113 W/m2K		
Paksuus:	600.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	667.50 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	406041.667		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	8.820 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Puu (kuusi)	25.00	0.1400	9.000000e+09	0.00	440.00
3 Tuulettuva ilmarako	100.00	1000.0000	1.000000e-19	0.00	0.00
4 Polyuretaani	200.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
5 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00
6 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:		Kajaani, Tammikuu (744.0 h)			Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:		C [g/m2]:
U	-10.60	2.08	1.79	86.0		0.00
1	-10.46	2.11	1.79	84.9		0.00
2	-10.04	2.19	1.79	81.9		0.00
3	-9.42	2.31	1.83	79.3		0.00
4	-9.42	2.31	1.83	79.3		0.00
5	16.28	13.89	3.94	28.4		0.00
6	16.38	13.97	8.63	61.8		0.00
7	19.55	16.84	8.64	51.3		0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötyö\Tuulettuva YP IVkorj.LAM

Rakennuskohde: UPM- kymmene OYj, PK4		Sisältö: Tuulettuva yläpohja	
Suunnittelija: Tapani Tornberg		Päiväys: 13.9.2006	Tunnus: YP6

Rakenteen päätiedot:			
U-arvo:	0.113 W/m2K		
Paksuus:	600.000 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	667.50 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	406041.667		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000002 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	8.820 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	0.000		

Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [€/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Bitumi	5.00	0.0410	2.500000e+08	0.00	1050.00
2 Puu (kuusi)	25.00	0.1400	9.000000e+09	0.00	440.00
3 Tuulettuva ilmarako	100.00	1000.0000	1.000000e-19	0.00	0.00
4 Polyuretaani	200.00	0.0270	4.500000e+11	0.00	50.00
5 Bitumi	5.00	0.1800	1.000000e+12	0.00	1050.00
6 Betoni	265.00	0.2900	2.500000e+09	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:					Kajaani, Kesäkuu (720.0 h)					Lisätiedot:					
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:										
U	13.00	11.38	7.51	66.0	0.00										
1	13.03	11.41	7.51	65.9	0.00										
2	13.13	11.48	7.51	65.5	0.00										
3	13.27	11.58	7.52	65.0	0.00										
4	13.27	11.58	7.52	65.0	0.00										
5	19.15	16.45	7.87	47.8	0.00										
6	19.17	16.47	8.64	52.5	0.00										
7	19.90	17.18	8.64	50.3	0.00										
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00										

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Z:\TAPANI\Päättötö\Tuulettuva YP IV\korj.LAM