



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Janne Asuintupa

KATTORAKENTEIDEN
KOSTEUSMITTAUKSET ICOPAL
KATTO OY:SSÄ

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Janne Asuintupa
Opinnäytetyön nimi	Kattorakenteiden kosteusmittaukset Icopal Katto Oy:ssä
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	74 + 2 liitettä
Ohjaaja	Heikki Paananen

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää vesikattojen yläpohjarakenteisiin suoritettavia kosteusmittauksia, sekä tutkia miten lämpökamera soveltuu kuntotutkimusten ja kosteuskartoituksen apuvälineeksi kuvattaessa rakenteita kylmältä puolelta.

Työssä käsitellään erilaisia yläpohjarakenteita ja yleisesti kosteutta kattorakenteissa. Opinnäytetyössä on hyödynnetty Icopal Katto Oy:n kokemuksia suoritetuista vesikattojen kuntotutkimuksista, joissa on rakenteita avaamalla suoritettu kosteusteknisiä mittauksia sekä tutkittu lämpökameran käyttöä rakenteiden kosteustekni- sen tarkastelun työkaluna.

Tutkimuksessa laadittiin ohje Icopal Katto Oy:lle kosteusmittausten teknisestä suorittamisesta sekä malli kosteusmittausraportista ja annettiin ohjeet raporttien laatimiseen. Lisäksi työssä pohdittiin lämpökameran tuomaa lisäarvoa vesikattojen kuntotutkimusten suorittamiseen.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Rakennustekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Janne Asuintupa
Title	Moisture Measurements of the Roof Structures in Icopal Katto Oy
Year	2012
Language	Finnish
Pages	74 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Heikki Paananen

The thesis has been made for Icopal Katto Oy and the purpose of the thesis was to improve the roofing condition survey carried out in the context of moisture measurement, and to explore the suitability of the thermal camera as a condition survey tool when shooting the structures on the cold side.

Thesis concerns about the variety of the roof structures and the moisture in the roof structures in general. Work is focused on ordered roof condition surveys from Icopal Katto Oy where structures have been opened for the technical measurements of humidity and thermal image cameras have been used for exploring as humidity technical analysis tool.

The Purpose of the thesis was to prepare a humidity measurement manual and an example of humidity measurement reports for Icopal Katto Oy, as well as to explore added value of the thermal camera carrying out the investigations on different roof structures.

Keywords: moisture measurement, moisture damages, humidity survey by thermal imaging camera

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Tutkimuksen tausta: Icopal Katto Oy	10
1.2	Tutkimuksen tavoite.....	10
2	KOSTEUS KATTORAKENTEISSA	12
2.1	Kosteus kattorakenteissa	12
2.1.1	Sade: vesi, lumi	13
2.1.2	Vuodot; kattovuodot	13
2.1.3	Ilmankosteus	14
2.1.4	Rakennekosteus.....	17
2.2	Kosteuden siirtyminen kattorakenteisiin.....	17
2.2.1	Konvektio.....	18
2.2.2	Diffuusio	19
2.2.3	Kondensoituminen	22
2.2.4	Kapillaarisuus.....	24
2.2.5	Hygroskooppisuus.....	24
2.2.6	Veden siirtyminen ulkoisen paineen vaikutuksesta	26
3	MITTAUSLAITTEET	27
3.1	Pintakosteusmittari.....	27
3.2	Rakennekosteusmittari	28
3.3	Punnitus-kuivatusmenetelmä	29
3.4	Mikrobiologiset näytteenottomenetelmät.....	30
4	LÄMMÖN SIIRTYMISMUODOT	31
4.1	Johtuminen	31
4.2	Säteily	32

4.3	Virtaus (konvektio)	32
4.4	Rakenteiden U-arvo	33
4.5	Lämmöneristeet.....	34
4.5.1	Kevytsora	35
4.5.2	EPS (expanded polystyrene)	36
4.5.3	XPS (Extruded polystyrene)	36
4.5.4	Mineraalivilla	37
4.5.5	Polyuretaanilevyt.....	37
5	LÄMPÖKAMERA.....	39
5.1	Lämpökuvaus	39
5.2	Lämpökuvauksen perusteet.....	40
5.3	Rakennusten lämpökuvaus.....	42
5.3.1	Lämpövuodot	43
5.3.2	Ilmavuodot	43
5.3.3	Eristeviat	45
5.3.4	Kosteus- ja homevauriot	46
5.4	Yläpohjan lämpökuvauksen suoritus	46
5.5	Lämpökuvien tulkinta	48
6	KATTORAKENTEET	50
6.1	Yleistä kattorakenteista	50
6.2	Tuulettuvat yläpohjarakenteet.....	51
6.3	Tuulettuvat umpirakenteet	53
6.4	Tuulettumattomat yläpohjarakenteet.....	55
6.4.1	Ylipainerakenne	55
6.4.2	Lämpimään avoin rakenne	55

6.5	Käännetty katto	56
7	TOTEUTUSMALLIN SOVELLUS ICOPAL KATTO OY:SSÄ	57
7.1	Kosteusmittauksen suoritus.....	57
7.2	Mittausraportin laadinta	58
7.3	Mittaustulosten tulkinta.....	60
7.4	Lämpökameran käyttö kuntotutkimuksen apuvälineenä.....	65
8	YHTEENVETO	71
	LÄHTEET	73
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Rakennuksen kosteuslähteet	s. 12
Kuvio 2.	Konvektion vaikutukset rakenteisiin	s. 18
Kuvio 3.	Puun tasapainokosteuskäyrä	s. 25
Kuvio 4.	Mineraalivillan tiheys 18 kg/m^3 , tasapainokosteus- käyrä, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	s. 26
Kuvio 5.	Ilmanpaine-erojen muodostuminen	s. 45
Taulukko 1.	Ilman ominaisuuksia normaali ilmakehän paineessa	s. 16
Taulukko 2.	Loivien ja kaltevien kattojen höyrinsulkumateriaaleja	s. 19
Taulukko 3.	Höyrinsulkumateriaalien ohjeellisia soveltuvuuksia	s. 20
Taulukko 4.	Rakennusaineiden suuntaa antavia vesihöyrynläpäisykertoimia ja vesihöyrynvastuksia	s. 22
Taulukko 5.	Tyypillisempien rakennusmateriaalien keskimääräisiä emissiokertoimia $+20 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa	s. 42
Taulukko 6.	Tuuletusvälin korkeus sekä ilmanotto- ja poistoaukkojen poikkileikkausalojen ohjeet	s. 52
Taulukko 7.	Ulkoilmätietoja paikkakunnittain	s. 62
Taulukko 8.	Koetalon tarkastelujakson kosteuspitoisuudet paino- prosentteina kuivapainosta	s. 64

LIITELUETTELO

LIITE 1. Kattokuntotutkimus

LIITE 2. Mittausraportti

KÄSITTEITÄ

Vesikatto	tarkoittaa katteen ja aluskatteen sekä näitä välittömästi kannattavien rakenneosien muodostamaa rakennetta
Kermi	vedeneristystarkoituksiin käytettävä vettä läpäisemätön tuote, joka yksinään tai toisiinsa liitettynä muodostaa yhtenäisen vedeneristyskerroksen
Käyttöluokitus	kattorakenteet luokitellaan katon kaltevuuden mukaan neljään eri käyttöluokkaan: VE20, VE40, VE80, VE80R, jotka kuvaavat vesikaton minimikaltevuutta
Tuoteluokitus	määrittää kermeille minimivaatimukset ja käyttöluokitus kermiyhdistelmävaihtoehdot eri kattokaltevuuksilla. Bitumikermit jaetaan luokkiin BTL 1,2,3 ja 4, josta B tarkoittaa bitumia
Modifioitu bitumi	on massa, joka sisältää bitumin ominaisuuksia parantavia lisäaineita. SBS-kumibitumi ja APP-muovibitumi ovat yleisimpiä modifioituja bitumeja.
Lämpökamera	on lämpösäteilyn vastaanotin, se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyn voimakkuutta
Emissiivisyys	kertoo kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää
Lämpötilaindeksi	lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaiipan lämpötekniestä toimivuutta. Lämpötilaindeksi annetaan prosentin tarkkuudella ja se määritellään seuraavasti:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100[\%]$$

TI = lämpötilaindeksi, %

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta: Icopal Katto Oy

Icopal Katto Oy kuuluu kansainväliseen Icopal-konserniin, joka on maailman johtava vedeneristysmateriaalien tuottaja ja Pohjoismaiden johtava kattourakointialan yritys. Icopalin Suomen tuotantolaitos sijaitsee Espoon Juvanmalmilla, jossa sijaitsee myös Suomen yksikön pääkonttori. Icopal Katto Oy tarjoaa kokonaisvaltaisia ratkaisuja bitumikattourakointiin ja muuhun vedeneristysurakointiin liittyen. Icopal Katto Oy:n Huoltopalvelut on toiminut omana liiketoimintayksikkönään vuodesta 2008 lähtien, vaikka yritykseltä löytyykin vahvat perinteet vesikattojen huolloista jo vuosikymmenten takaa. Icopal Huoltopalvelut tarjoaa monipuolisia kattojen tarkastus- ja kunnossapitopalveluita. Huoltopalveluiden ydinpalveluihin kuuluvat vesikattojen kuntotutkimukset ja -kartoitukset, joihin liittyy oleellisesti rakenteiden kosteustekninen tarkastelu. Kattokuntotutkimuksia suoritetaan pääasiassa silloin, kun on havaittu vesivuoto, on epäily kosteusongelmasta tai rakennuksen kattoratkaisuun suunnitellaan peruskorjausta. Jos vesikattoa ei ole huollettu säännöllisesti, on perusteltua tutkia katon kunto ennaltaehkäisevänä toimenpiteenä. Tutkimuksen pohjalta asiakkaalle laaditaan kirjallinen raportti katon kunnosta sekä tarvittava korjaussuunnitelma työselityksineen.

Mittalaitteisto on uusiutunut viime vuosien aikana. Kuntotutkimustilausten määrän lisääntyttä Suomessa Icopal-konsernissa on syntynyt tarve kosteusmittausten kirjalliselle ohjeistukselle.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Icopal Katto Oy:n suorittamissa vesikattojen kuntotutkimuksissa kosteusmittaukset suoritetaan avaamalla vesikaton rakenteet rakenteiden riskiarvion perusteella. Tämän työn tavoitteena on tehdä mittaajalle selkeä työohje, joka antaa edellytykset mittausten suorittamiseen, kosteusmittausraporttien laatimiseen sekä auttaa mittaustulosten tulkinnassa eri kattorakenteissa. Työssä käsitellään yläpohjaraken-

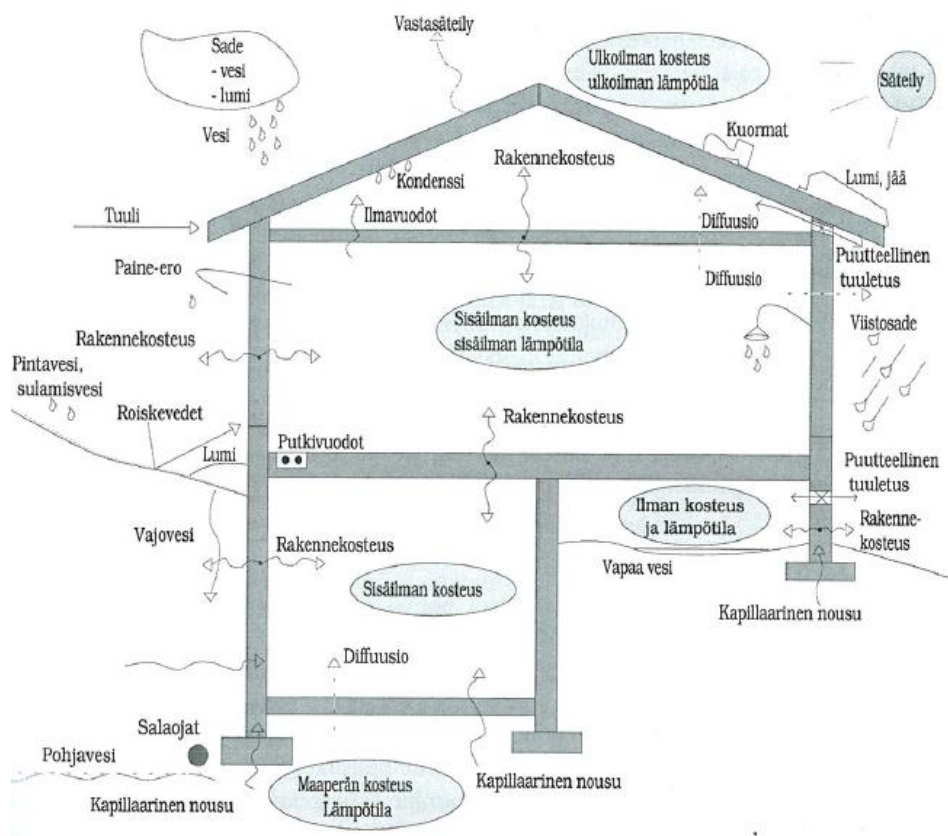
teiden kosteuslähteitä, kosteuden siirtymistä sekä kuvataan tyypillisimpiä yläpohjarakenteita ja niihin liittyviä riskitekijöitä. Työhön liittyy myös oleellisesti lämpökameran hyödyntäminen yläpohjan kosteusteknisessä tarkastelussa. Työssä selvitettiin, mitä lämpökameralla voidaan yläpohjarakenteiden kylmältä puolelta kuvata.

2 KOSTEUS KATTORAKENTEISSA

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu rakennuksen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveystarpeita kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinnoille. Rakennuksen näiden ominaisuuksien tulee normaalilla kunnossapidolla säilyä koko taloudellisesti kohtuullisen käyttöajan ajan.” (Ympäristöministeriö 1999, 10.)

2.1 Kosteus kattorakenteissa

Rakenteita rasittavat useat eri sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet. Rakenteissa kosteus esiintyy näkyvänä vetenä, vesihöyrynä tai rakenteisiin sitoutuneena kosteutena.



Kuvio 1. Rakennuksen kosteuslähteet. (Leivo 1998, 21)

2.1.1 Sade: vesi, lumi

Rakennuksiin kohdistuva näkyvin kosteusrasitus on sade, joka voi tulla vetenä, räntänä tai lumena. Sade voidaan jakaa rakentamisen aikaiseen sateeseen ja rakentamisen jälkeiseen sateeseen. Rakentamisen aikainen sade saattaa vahingoittaa rakennusmateriaaleja jo kuljetusvaiheessa tai rakennusvaiheessa, jos materiaaleja ei ole asianmukaisesti varastoitu tai suojattu. Rakentamisen jälkeinen sade kohdistuu rakennuksen vaakapinnoille, kuten vesikatolle, parvekkeille sekä terasseille. Vesikatoilla on oltava riittävä kaltevuus, jotta satanut pystysade saadaan johdettua pois rakennuksen sisä- tai ulkopuolisen vedenpoistojärjestelmän kautta. Kosteutta saattaa päästä rakenteisiin vesikaton tai julkisivujen kautta siitäkin huolimatta, että nykyaikaisten rakennusten räystäät suojaavat tehokkaasti ulkoseinien yläosia. Viistosade, johon aina liittyy myös voimakas tuuli, saattaa kuljettaa vettä tai lunta rakennuksen ulkoverhousta pitkin. Tästä syystä vesi tunkeutuu rakenteisiin tai sisätiloihin. Viistosateen määrä on suurin avoimilla alueilla. Talvella etenkin tuulisella säällä pakkaslumi pääsee helposti ullakkotiloihin tuuletusaukkojen kautta, joissa ilmanvirtaus on merkittävää. Sade vaikuttaa myös katon yläpuolelle nouseviin pystypintoihin, mikä viistosateen vaikutuksesta saattaa ilmetä vuotoina sisätiloissa. (Björholtz 1997, 40; Leivo 1998, 21; Salmi 1996, 18; Siikanen 1996, 52; Ympäristöministeriö 1998, 13)

2.1.2 Vuodot; kattovuodot

Yläpohjarakenteissa yleisimpiä kosteuden aiheuttajia loivissa ja jyrkissä katoissa ovat:

- Kate on rikkoutunut sään aiheuttamista rasituksista tai mekaanisesti aiheutetuista rei'istä, joita syntyy mm. katolla liikkumisesta ja työskentelystä.
- Läpivientien tai varusteiden liitosten vuodot

- Aluskatteen virheellinen asennus tai läpivientien puutteelliset tiivistykset
- Riittämättömät vesikaton kallistukset, mistä syystä katolle muodostuu lammikoita
- Matalat vedeneristeiden nostot, näiden mekaanisten kiinnikkeiden puutteet tai katon läpäisevien jäykkien rakenteiden muodonmuutokset.
- Räystäsrakenteiden mataluus tai näiden puuttuminen. Katolle muodostunut jää voi nostaa veden tulvakorkeuden katteen tasoa ylemmäksi
- Yläpohjarakenteiden läpi tapahtuu ilmavuotoja sisätilasta.
- Yläpohjarakenteen tuuletus on puutteellinen
- Kova tuulenpaine ja tästä johtuva veden kulkeutuminen rakenteisiin
- Lumen kerääntyminen ja sulaminen seinien vierustoilla
- Kattokaivojen tukkeutuminen, jolloin vedenpaineesta johtuen vesi saattaa päästä rakenteisiin mm. saumojen liitoskohdista. Lisäksi vesikatolle jäänyt vesi jäätyessään laajenee ja vaurioittaa vedeneristettä.
- Liian lyhyet räystäät, räystäskourujen tukkeutuminen, puute tai jäätyminen talvioloissa umpeen.
- Sisäpuolisten sadevesijärjestelmien putkivuodot tai kondenssiveden muodostuminen.
- Veden tunkeutuminen vesikatteen yläpuolisiin seinärakenteisiin.

(Salmi 1996, 18; Ympäristöministeriö 1998, 29-30)

2.1.3 Ilmankosteus

Kosteaa ilmaa on kahden kaasun välinen seos: kuivan ilman ja vesihöyryn. Kuivan ilman keskimääräinen moolipaino on $M_i = 28,96 \text{ kg/kmol}$ ja vesihöyryn moolipai-

no $M_v = 18,02$ kg/kmol. Näistä kahdesta vesihöyry on kevyempi kaasu kuin kuiva ilma eli ilma on sitä kevyempää mitä enemmän vesihöyryä se sisältää. Ilman kosteutilaa voidaan ilmaista seuraavin tavoin: vesihöyrymääränä kg/m^3 tai kg/kg kuivaa ilmaa, vesihöyryn osapaineena Pa tai suhteellisena kosteutena %. Kosteus-tarkastelun perustana käytetään seuraavaa ns. kaasujen tilan yhtälöä:

$$pV = m/M \cdot R \cdot T \quad (1)$$

p = kaasun (vesihöyryn) paine (pa)

V = kaasun tilavuus (m^3)

m = kaasun massa (kg)

M = kaasun normaalipaino (kg/kmol)

R = yleinen kaasuvakio $8314,3$ J/kmol $^\circ\text{C}$

T = lämpötila ($^\circ\text{C}$)

Kaasuseoksessa kuitenkin yhtälö pätee kullekin kaasulle erikseen.

Yhtälö ilmoittaa vesihöyrypitoisuuden ja vesihöyryn osapaineen välisen yhteyden.

$$v = p_v \cdot M_v / R \cdot T \quad (2)$$

$$v = p_v \cdot 18,02 / 8314,3 \cdot T = p_v / 461,4 \cdot T \quad (3)$$

(Björkholz 1997, 43; Siikanen 1996, 54)

Taulukko 1. Ilman ominaisuuksia normaali ilmankehän paineessa 101325 Pa (Björkholtz 1997, 44).

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Taulukko ilmoittaa tietyssä lämpötilassa t (°C) ilman kyllästyskosteuden V_k (g/m³) ja kyllästyspaineen p_k (Pa).

Tietyssä lämpötilassa ilma voi sisältää tietyn määrän kosteutta. Vesihöyrypitoisuuden kasvaessa ja lämpötilan pysyessä vakiona ilman kosteus saavuttaa kyllästystilan, jolloin ilmassa on suurin mahdollinen määrä vesihöyryä ja kosteus tiivistyy vedeksi. Tässä tapauksessa ilman suhteellinen kosteus on 100%. Mitä korkeampi lämpötila sitä enemmän kosteutta ilma voi sisältää. Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilman sisältämän vesihöyryn suhdetta ilman lämpötilaa vastaavan kyllästystilan vesihöyryn määrään. Suhteellinen kosteus ilmaistaan usein prosentteina. (Björkholtz 1997, 44; Siikanen 1996, 55; Ympäristöministeriö 1998, 48)

$$RH = \frac{v}{v_k} \quad (4)$$

Suhteellinen kosteus voidaan myös ilmoittaa ilman vesihöyryn osapaineen suhteella kyllästystilan vesihöyryn osapaineeseen.

$$RH = \frac{p}{p_k} \quad (5)$$

Taulukosta 1 voidaan lukea kyllästymiskosteudet (V_k) vastaaville lämpötiloille. Jos ilman suhteellinen kosteus on $RH = 60\%$, on tällöin 5°C lämpötilassa vesihöyryä.

$$v = 0,6 \cdot 6,84 \text{ g/m}^3 = 4,1 \text{ g/m}^3$$

Yhteenvedona voidaan todeta, että kosteus määrä voi olla suurempi, vaikka suhteellinen kosteus on pienempi.

2.1.4 Rakennekosteus

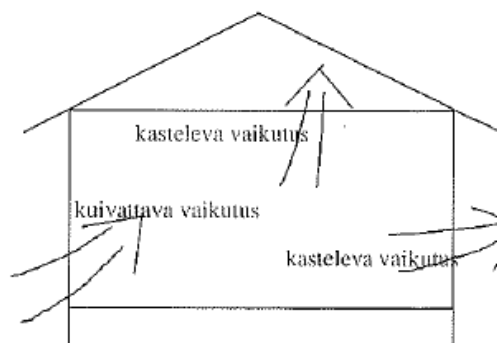
Rakennekosteudella eli rakennuskosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka rakenteista poistuu ennen kuin nämä asettuvat kosteustasapainoon ympäristönsä kanssa. Rakennusmateriaaleilla on erilainen kyky sitoa kosteutta ja rakentamisvaiheessa rakenteessa oleva vesimäärä riippuu materiaalien kuljetuksesta, suojauksesta ja varastoinnista, mutta rakenteissa saattaa myös olla tuotannosta peräisin olevaa vettä esim. betonissa. Usein rakentamisen tiukka aikataulu tai siitä jälkeen jääminen vaativat rakenteiden nopeaa kuivumista ja usein liian aikaisessa vaiheessa asennetut pintamateriaalit estävät tai heikentävät oleellisesti materiaalien kuivumista. (Björkholtz 1997, 51; Leivo 1998, 23)

2.2 Kosteuden siirtyminen kattorakenteisiin

Mahdollinen kosteus siirtyy rakenteisiin veden eri olomuodoissa, joita ovat vesihöyry, vesi ja jää. Kosteus siirtyy rakenteissa usein samanaikaisesti eri mekanismeilla, mutta pääasiassa vesihöyrynä ja vetenä. (RIL 2000, 26)

2.2.1 Konvektio

Konvektio on ilmavirtaus, jonka syntyminen edellyttää rakenteiden eri puolilla vallitsevia ilman kokonaispaine-eroja. Paine-eron yksikkö on pascal (Pa) ja ilmavirtaukset virtaavat suuremman paineen suunnasta pienempään. Erilaiset painesuhteet syntyvät lämpötilaerojen, ilmanvaihdon, tuulen tai näiden yhteisvaikutuksesta. Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan ilmavirran mukana siirtyvää vesihöyryä, joka johtuu rakenteiden saumojen, reikien, läpivientien ja rakojen puutteellisesta tiivistyksestä sekä huokoisista materiaaleista. Ilmanpitävyydellä on siis merkittävä vaikutus paine-eroihin sekä siirtyviin kosteusmääriin. Ilmansulun tehtävä on tiivistää vaippaa, joka oikein toteutettuna pitää lämpimän sisätilan alipaineisena ulkoilmaan nähden. Ongelma kohdistuu usein yläpohjaan, koska rakennuksen paine-suhteet ovat usein siten, että rakennuksen yläosa on ylipaineinen.



Kuvio 2. Konvektion vaikutukset rakenteisiin (Ympäristöministeriö 1998, 56).

Ilma jäähtyy virratessaan sisältä ulos, jolloin tuloksena on mahdollisesti kosteuden tiivistymistä tai kerääntymistä, jos ilma jäähtyy rakenteessa alle kastepisteen. Ilman virratessa ulkoa sisälle se lämpenee, jolloin sillä on rakenteeseen kuivattava vaikutus, koska ilman kosteuden sitomiskyky kasvaa. Lämmönsiirtymistä konvektion avulla käsitellään luvussa 5.3. (Björkholtz 1997, 58; Siikanen 1996, 56; Ympäristöministeriö 1998, 56)

2.2.2 Diffuusio

Diffuusio syntyy sisä- ja ulkoilman välisistä vesihöyrypitoisuuksien eroista, jolloin kaasumolekyylit pyrkivät jakaantumaan siten, että syntyy tasaisesti jakaantunut kaasuseos. Rakennustekniikassa diffuusio tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä rakenteen läpi suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta (kg/m^3) tai osapaineesta (Pa) pienempään. Yleisimmin diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin, mutta jos kylmän tilan kosteuspitoisuus on lämpöistä suurempi, saattaa diffuusion suunta olla myös päinvastoin. Rakenteet on suunniteltava siten, että lämmöneristeen ja lämpimän tilan välissä on oltava riittävä höyrynsulku, jolla estetään vesihöyryn tunkeutuminen rakenteisiin ja tästä mahdollisesti aiheutuvat kosteusvauriot. Jos vesihöyry tunkeutuu yläpohjarakenteisiin, on tuuletuksella ja rakenteen lämmöneristeellä merkittävä rooli, koska vesikatoilla uloimpana on vettä läpäisemätön kerros, jonka vesihöyrynvastus on suuri. Diffuusiotarkasteluisa kuitenkin yleisperiaatteena pidetään, että kerroksellisen rakenteen vesihöyrynvastuksen tulee pienentyä ulospäin mentäessä. (Siikanen 1996, 56; Ympäristöministeriö 1998, 55)

Taulukko 2. Loivien ja kaltevien kattojen höyrynsulkumateriaaleja (RIL 2000, 53).

TUOTE	Vesihöyrynvastus [$\text{m}^2\text{sPa/kg}$] · 10^9
1. Muovikalvo 0,2 mm	500
2. Euratex Al	2 500
3. Butyylikumi 0,5 mm tai TL2	1600
4. Modifioitu bitumikermi BTL4 kauttaaltaan bitumilla liimaten	500
5. Modifioitu bitumikermi BTL4 + Al kauttaaltaan bitumilla liimaten	10 000

Taulukko 3. Höyrinsulkumateriaalien ohjeellisia soveltuvuuksia, numerot viittaavat taulukon 2 materiaaleihin (RIL 2000, 53).

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

Diffuusiolla kulkeutuvan kosteuden määrä g voidaan laskea kosteuseron kautta kaavalla (Björkholtz 1997, 55):

$$g = \delta_v \frac{\Delta_v}{\Delta_x} \quad (6)$$

δ_v = vesihöyryn läpäisevyys (kg/m·s)/(kg/m³) = (m²/s)

Δ_v = kosteusero matkalla x (kg/m³)

Δ_x = diffuusiomatka (m)

tai kosteuden määrä g osapaine-eron kautta kaavalla (Björkholtz 1997, 55):

$$g = \delta_p \frac{\Delta_p}{\Delta_x} \quad (7)$$

δ_p = vesihöyryn läpäisevyys (kg/m·s·Pa)

Δ_p = vesihöyryn osapaineen ero matkalla x (Pa)

Δ_x = diffuusiomatka (m)

Vesihöyryn läpäisevyysarvojen δ_v ja δ_p välillä vallitsee seuraava yhteys (Björkholtz 1997, 55)

$$\delta_v = 461,4 \cdot (273 + t) \cdot \delta_p$$

t = lämpötila (°C)

Vesihöyryn läpäisevyys tarkoittaa vesimäärää, joka läpäisee aikayksikössä yksikön suuruisen pinta-alan ja yhden pituusyksikön paksuisen materiaalikerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero kerroksen yli on yksikönsuuruinen. Vesihöyrynläpäisy on sidottu tietyn paksuiseen materiaalikerrokseen ja vesihöyrynvastus tarkoittaaakin tämän käänteislukua eli diffuusiolla kulkevan vesihöyryn määrä on pieni silloin, kun vesihöyrynvastus on suuri. Esimerkiksi tuoteluokka kahden bitumikermillä on noin 1000 kertaa suurempi vesihöyrynvastus kuin kovalla mineraalivillalla. (Ympäristöministeriö 1998, 54)

Taulukko 4. Rakennusaineiden suuntaa antavia vesihöyrynläpäisykertoimia ja vesihöyrynvastuksia (RIL 2000, 39).

Materiaali	Paksuus [mm]	Vesihöyrynläpäisykerroin, W_p [kg/m ² s pa] · 10 ⁻⁹	Vesihöyryvastus, Z_p [m ² s Pa/kg] · 10 ⁹
Paperi	1	10	0,1
Kalkkilaasti	10	2	0,5
Kipsilevy	13	2	0,5
Ilma	100	2	0,5
Mineraalivilla, kevyt	100	2	0,5
Puolikova puukutulevy	10	1	1
Kevytbetoni	100	1	1
Kevytbetoni	100	0,7	1,5
Kova puukuitule-	3,5	0,7	1,5
Kuitusementtilevy	5	0,7	1,5
Mineraalivilla, kova	100	0,7	1,5
Bitumilla kylläs- tetty huokoinen puukuitulevy	12	0,9	1,1
Lastulevy	12	0,4	2,5
puu	10	0,2	5
Tiili	100	0,2	5
Kalkkiahiekkakivi	100	0,1	10
Bitumipahvi, tuulensuoja		0,4	25
Solumuovi, EPS	100	0,04	25
Betoni	100	0,02	50
Bitumikermi (BTL2)		0,0007	1500
Metalli, lasi		0	
Sementtimaali		2	0,5
Polyuretaanilakka		0,02	50

2.2.3 Kondensoituminen

Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100% voi rakenteen pintaan tai sen sisälle tiivistyä kosteutta. Tätä ilmiötä, jolloin vesihöyry tiivistyy vedeksi, kutsutaan kondensoitumiseksi. Jos kostea ilma joutuu kosketukseen pinnan kanssa, jonka

pintalämpötila on alhaisempi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila, tiivistyy ympäröivää ilmaa kylmemmälle pinnalle kosteutta. Konvektiokosteudesta aiheutuvat kondenssivuodot ovat mahdollisia, jos rakenteen lämpimällä puolella ei ole riittävän vesihöyrytiivistä kerrosta tai siinä on reikiä. Vesihöyry tiivistyy vedeksi, kun vesihöyryn osapaine ylittää vastaavan lämpötilan kyllästyspaineen. Pinnalle ei tiivisty kosteutta, jos

$$t_p > t_{kp} \quad (8)$$

t_p = pintalämpötila

t_{kp} = ympäröivän ilman kastepistelämpötila

(Björkholtz 1997, 64; Siikanen 1996, 57)

Kosteuden tiivistymisen kannalta ratkaisevia tekijöitä ovat: sisäilman kosteuspiitoisuus, ulkoilman lämpötila, sisäpinnan lämmönvastus ja rakenteen lämmönvastus. Koska rakenteiden lämmöneristyskyky on viime vuosina parantunut merkittävästi, mahdollisuus kosteuden tiivistymiselle rakenteen sisäpinnalle on vähentynyt. Mahdollinen kosteuden tiivistyminen voidaan todeta kaavalla (Björkholtz 1997, 30)

$$t_{sp} = t_s - \frac{u}{\alpha_s} \cdot (t_s - t_u) \quad (9)$$

t_s = sisäilman lämpötila (°C)

t_u = ulkoilman lämpötila (°C)

$\alpha_s = 1/m_s$ = sisäpinnan lämmönsiirtymiskerroin (W/m² · °C)

u = rakenteen lämmönläpäisykerroin (W/m² · °C)

Taulukosta 1 saadaan sisäilman kastepistelämpötila ja pintalämpötilaa vastaava kyllästymiskosteus.

Jos sisäpinnoille tiivistyy kosteutta, voidaan sitä ehkäistä lisäämällä ilmanvaihtoa, jolloin sisäilman kosteuspiitoisuus alenee, tai kohottamalla rakenteen pintalämpötilaa.

2.2.4 Kapillaarisuus

Huokoisen materiaalin ollessa kosketuksissa vapaan veden kanssa siirtyy siihen vettä kapillaarisella vedenliikkeellä. Vapaan veden höyrynpaine on suurempi kuin huokoiseen materiaaliin sitoutuneen veden höyrynpaine. Alipaine, jota kutsutaan huokosalipaineeksi, saa aikaan kapillaarisen vedenliikkeen, jonka suuruus riippuu huokosen koosta siten, että mitä pienempi huokonen sitä suurempi huokosalipaine. Huokoisten rakennusmateriaalien kapillaarisen kosteuden liikkeet tulee estää kapillaarisuuden katkaisevalla kermillä, muovilla tai muulla riittävän tiiviillä pintakerroksella. (Siikanen 1996, 53; Ympäristöministeriö 1998, 52)

2.2.5 Hygroσκοoppisuus

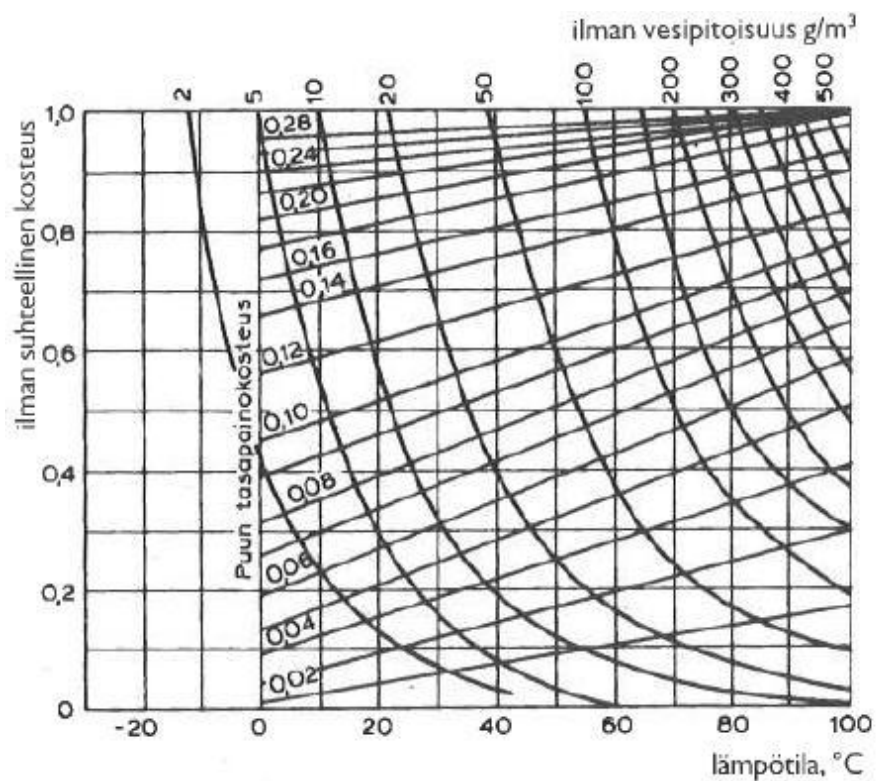
Huokoisella materiaalilla on kyky sitoa ilmasta kosteutta tai luovuttaa sitä, jolloin sillä on hygroσκοoppinen tasapainokosteus eli materiaali asettuu tasapainotilaan ympäristönsä kanssa. Materiaali on tasapainotilassa, kun se ei enää sido itseensä ilmasta kosteutta eikä myöskään luovuta sitä. Hygroσκοoppisuus vaihtelee paljon eri rakennusmateriaaleilla, esimerkiksi puulla se on suuri, lämmöneristeistä mineraalivillalla se on vastaavasti pieni. Lisäksi se on riippuvainen lämpötilasta sekä siitä, onko kyseessä kostuminen eli absorptio vai kuivuminen eli desorptio.

Rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta kosteuskapasiteetillä on yleensä suuri merkitys. Kosteuskapasiteetilla tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta. Kosteuspitoisuuden ylärajaa, jolla jokin materiaali toimii tyydyttävästi pitempiä aikoja, ilmaistaan kriittisellä kosteudella. Jotta rakennusaineet toimisivat halutulla tavalla, tulee suhteellisen kosteuden olla

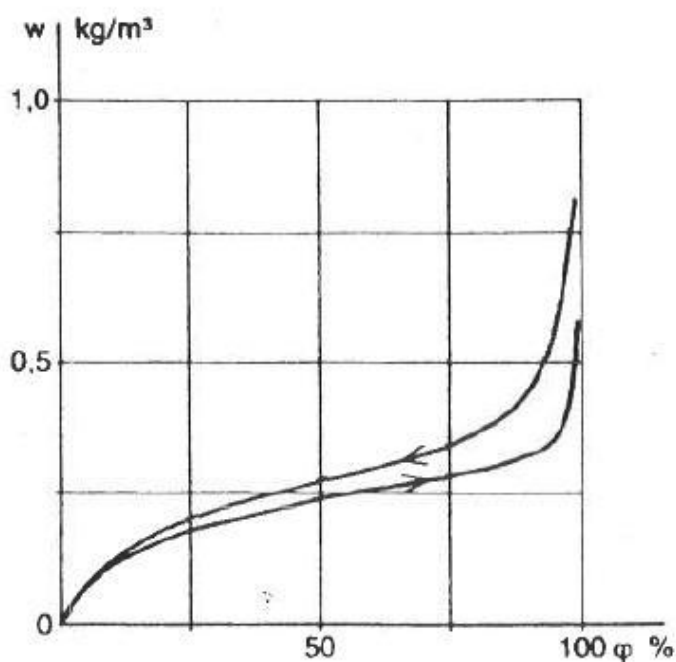
$$RH < RH_{kr} \quad (10)$$

Kosteuspitoisuuden ja ympäristön suhteellisen kosteuden välistä riippuvuutta kuvataan materiaalien tasapainokosteuskäyrillä. Materiaaleilla on kaksi erilaista tasapainokosteuskäyrää, näistä toinen kuvaa kastumisvaihetta ja toinen kuivumisvaihetta. Koska materiaali sitoo enemmän vettä matalammassa lämpötilassa kuin

korkeammassa, kutakin lämpötilaa vastaa erilainen tasapainokosteuskäyrä. Rakenne on kastumassa, jos sen kosteuspitoisuutta vastaava suhteellinen kosteus on pienempi kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. (Björkholtz 1997, 60; Siikanen 1996, 54, Ympäristöministeriö 1998, 29, sisäilmayhdistys ry 2008)



Kuvio 3. Puun tasapainokosteuskäyrä (Ympäristöministeriö 1998, 46).



Kuvio 4. Mineraalivillan tiheys 18 kg/m^3 , tasapainokosteuskäyrä $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, jossa ylempi käyrä kuvaa desorptiota eli kuivumista ja alempi absorptiota eli kostumista (Ympäristöministeriö 1998, 46).

2.2.6 Veden siirtyminen ulkoisen paineen vaikutuksesta

Vesi valuu alaspäin painovoiman vaikutuksesta, ellei yhtä suuri vastavoima pysäytä sitä. Rakennusten ja rakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon ulkopuolisten sade-, sulamis- ja pintavesien aiheuttamat uhat vesivahingoille ja -vuodoille. Vesikatolta johdettavat vedet johdetaan sisäpuolisella tai ulkopuolisella vedenpoistoratkaisulla, veden ohjaaminen tapahtuu käyttäen tarkoituksenmukaisia kallistuksia, pintarakenteita ja viemäröintiratkaisuja. Tuulenpaine ja viistosade aiheuttavat veden virtaamista rakenteiden pystypinnoilla sekä rakojen tai puutteellisten tiivistysten kautta seinärakenteisiin. Veden haitallista tunkeutumista estetään mm. räystäsrakentein, pellityksin, saumatiivistyksin ja tuuletusvälein. Veden tunkeutuminen syvälle rakenteisiin on estettävä ja veden johtuminen seinärakenteissa on järjestettävä siten, että sillä on mahdollisuus kulkeutua takaisin ulkopinnalle. (RIL 2000, 29)

3 MITTAUSLAITTEET

Kosteusteknisiä tutkimuksia suoritetaan vesivahinkojen jälkeen, jolloin mittauksilla pyritään selvittämään vaurioiden laajuus sekä suositeltavat korjaustoimenpiteet. Mittauksia suoritetaan myös, jos rakenteissa havaitaan näkyviä kosteusjälkiä, hometta tai on syytä epäillä rakenteiden kohonneita kosteusarvoja esimerkiksi hajun tai rakennuksen käyttäjien oireilun perusteella. Ennakoiva selvitys on syytä aloittaa heti, sillä sen tavoitteena on näkyvien ja mahdollisesti piilevien vaurioriskien paikallistaminen jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Mittauksia tehdessä tulee tietää, että käytettävän laitteiston kalibroinnista on huolehdittu, jotta pystytään minimoimaan mahdolliset mittausvirheet. Rakenteiden kosteusmittauksessa on käytössä kaksi päämenetelmää: pintakosteusmittaus ja rakennekosteusmittaus. (Ympäristöministeriö 1998, 17)

3.1 Pintakosteusmittari

Pintakosteusmittaria käytetään nopeaan ja suuntaa antavaan materiaalin pintakosteuden mittaamiseen, lisäksi useimpiin laitteisiin voidaan kytkeä erillisiä ulkoisia antureita mittaamaan ilmankosteutta, lämpötilaa tai kastepistettä. Kosteusmittausmenetelmänä pintakosteusmittaukseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, joten sillä on mahdollista tunnistaa kosteuserot, mutta sillä ei voida suoraan määrittää rakenteen kosteuspitoisuutta. Pintakosteusmittarin tarkoituksena on löytää poikkeavat kosteusarvot ja sitä käytetään yleensä apuvälineenä vesivahinkovaurioiden laajuuden kartoituksessa. Mittaustulokseen saattaa vaikuttaa myös käytettävä mitaustekniikka painettaessa mittalaitetta eri asennoissa mitattavaa pintaa vasten.

Pintakosteusmittarin mittapää asetetaan mitattavaa materiaalia vasten, jolloin mittauskenttä tunkeutuu materiaaliin ja vastaanottaa mittausviestin. Mittari laskee tähän asetettujen materiaalityyppien käyrien avulla materiaalin keskimääräisen prosentuaalisen vesipitoisuuden (paino%) noin 20-50 mm:n syvyydestä. (Sisäilmäyhdistys ry. 2008; Doser messtechnik AD4A operating instructions 2009, 2)



Kuva 1. Doser AD4A pintakosteusmittari.

3.2 Rakennekosteusmittari

Rakennekosteusmittaus on ainetta rikkova menetelmä ja se tehdään yleensä kuntotutkimukseen kuuluvana mittausmenetelmänä. Kosteutta voidaan mitata rakenteiden sisältä suhteellisen kosteuden mittauksella ja materiaalin kosteuspitoisuuden mittauksella. Suhteellisen kosteuden mittauksella tutkitaan materiaalin huokosissa olevan kosteuspitoisuuden määrää ulkoisen mittausanturin avulla. Mittaustuloksena saadaan mittauskohdan materiaalin kosteustasapainotilaa vastaava ilman suhteellinen kosteus.

Kiviainespohjainen mittaus ja muiden rakenteiden mittausjärjestelyt poikkeavat toisistaan. Kiviainespohjaisissa rakenteissa mittaus tehdään 1-3 vrk mittausreiän poraamisen jälkeen, jotta rakenteen suhteellinen kosteus on tasaantunut. Tasaantumisaikaan vaikuttavat tutkittava materiaali, kosteuspitoisuus ja käytettävä mittalaitteisto. (Sisäilmäyhdistys ry. 2008; Ympäristöministeriö 1998, 27)



Kuva 2. Vaisala HMI41 ja HMP42 mittapää.

3.3 Punnitus-kuivatusmenetelmä

Luotettavimmin materiaalien kosteuspitoisuuden mittaaminen painoprosentteina määritetään punnitus-kuivatusmenetelmällä. Materiaalista ja käytettävän vä`an mittaustarkkuudesta riippuen tutkittavasta materiaalista otetaan 1g – 100g näyte. Pienillä näytteillä säilytysastian vapaan ilmamäärän osuus tulee olla mahdollisimman pieni. Kosteuspitoisuuden muuttumisen estämiseksi näyte suljetaan tiiviiseen astiaan tai muovipussiin punnitukseen asti, jolloin näyte punnitaan kosteana $m_{kosteaa}$. Matkan aikana näytettä ei saa altistaa suurille lämpötilan vaihteluille, sillä se saattaa aiheuttaa kosteuden tiivistymistä.

Näyte kuivataan +105 °C:ssa vähintään vuorokauden ajan, kidevedellisten materiaalien (esim. kipsi) kuivauslämpötila on usein alhaisempi. Lämmöneristeet, kuten mineraalivilla, kuivuvat hitaasti, joten vuorokauden kuivumisaika ei ole riittävä vaan riittävä kuivuminen todetaan punnitsemalla näyte riittävän usein, kunnes painonmuutosta ei enää tapahdu m_{kuiva} . Näytteen kosteuspitoisuus painoprosentteina, W, lasketaan

$$W = \frac{m_{kosteaa} - m_{kuiva}}{m_{kosteaa}} \times 100 \text{ paino-\%} \quad (11)$$

(Ympäristöministeriö 1998, 29)

3.4 Mikrobiologiset näytteenottomenetelmät

Epätavallinen mikrobikasvusto voidaan todeta ja paikallistaa mikrobiologisilla mittausmenetelmillä. Jos kosteus- tai homevaurio on ilmeinen, ei mikrobikasvustoa tarvitse mitata vaan tarvittavat korjaustoimenpiteet on aloitettava välittömästi. Mikrobiologisia näytteitä voidaan ottaa kappaleiden pinnoilta, rakennusmateriaaleista tai ilmasta. Näytteiden avulla varmistetaan ja määritetään aineessa esiintyvä mikrobilajisto. Alan asiantuntijan tulee analysoida ja tulkita mittaustulokset. Tulkinta tulee perustua käytetyllä menetelmällä kerättyyn vertailuaineistoon, jolloin tiedetään, mitä voidaan pitää osoituksena epänormaalista mikrobilähteestä. (Ympäristöministeriö 1998, 26)

4 LÄMMÖN SIIRTYMISMUODOT

Lämpöenergia pyrkii siirtymään rakenteessa lämpimältä puolelta kylmempään kolmella tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla.

4.1 Johtuminen

Rakenteissa tapahtuvasta lämmönsiirtymisilmiöistä keskeisin on lämmönjohtuminen. Johtumisessa lämmön virtaamista tapahtuu, kun molekyylien liike-energia siirtyy molekyylisestä toiseen. Lämmönjohtumista tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä, jolloin lämpö pyrkii tasaantumaan eli virtaamaan lämpimästä tilasta kylmempään päin.

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (12)$$

$t_1 - t_2$ = kappaleen/seinämän yli vallitseva lämpötilaero(°C)

λ = materiaalin kappaleen/seinämän lämmönjohtavuus (W/m · °C)

d = kappaleen/seinämän paksuus (m)

Suhdetta d/λ kutsutaan lämmönvastukseksi

$$R = \frac{d}{\lambda} \left(m^2 \cdot ^\circ C / W \right) \quad (13)$$

Jos rakenne koostuu useasta homogeenisestä ainekerroksesta saadaan,

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\Sigma r} \quad (14)$$

Vaikka λ -arvon nimi on lämmönjohtavuus, niin useimmissa rakennusmateriaaleissa lämpö siirtyy muillakin tavoin kuin johtumalla. Eri aineet johtavat lämpöä eri tavoin. Suuremman tiheyden omaava aine johtaa paremmin lämpöä kuin pienemmän tiheyden omaava aine ja kostea aine paremmin kuin kuiva. Eri rakennusmateriaalien välillä lämmönjohtavuuden vaihtelu on suuri, esimerkiksi betonilla läm-

mönjohtavuus on n. 1,7 W/mK, kun taas mineraalivillan lämmönjohtavuus on n. 0,05 W/mK eli betonirakenteen läpi menee huomattavasti enemmän energiaa kuin vastaavan paksuisen mineraalivillarakenteen läpi. Rakenteissa ongelmia voivat aiheuttaa kohdat, joissa lämmönjohtavuus on huomattavasti suurempi kuin ympäröivän rakenteen. Tällaisia kohtia kutsutaan kylmäsilloiksi. Kylmäsilat lisäävät rakenteen läpi tapahtuvaa lämmönhukkaa ja saattavat lisäksi aiheuttaa rakenteen sisällä kondensaatiota eli kosteuden tiivistymistä rakenteiden sisällä tai seinämän sisäpinnassa. (Björkholtz 1997, 12; Kyyrönen 2000, 66; Siikanen 1996, 37-38; Siisäilmayhdistys ry. 2008)

4.2 Säteily

Kaikki aineet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät eli emittoivat säteilyä. Eniten lämpösäteilyä emittoi musta kappale, joka absorboi kaiken siihen kohdistuvan säteilyn eikä siis heijasta sitä lainkaan. Säteilysssä energia siirtyy valon nopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakennustekniikassa lämpösäteily esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Tarkasteltaessa esimerkiksi ikkunan lämmönläpäisyä voidaan todeta, että säteilyn aallonpituudella on merkitystä. Ikkunalasi läpäisee hyvin auringon lähettämän lyhytaaltoisen lämpösäteilyn, mutta taas huonosti sisältäpäin ulos pyrkivää pitkäaaltoista säteilyä. Säteilyn osuessa kappaleen pintaan, se osittain absorboituu ja osittain heijastuu, kun lasissa osa säteilystä menee pinnan läpi. (Siikanen 1996, 37)

4.3 Virtaus (konvektio)

Konvektiolla tarkoitetaan virtausta, jossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen mukana. Konvektio voi olla luonnollista, jolloin lämpö siirtyy lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista johtuen, tai pakotettua, jolloin kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Konvektiossa on yleensä kyse molempien yhdistelmästä, puhtaasti luonnollista konvektiota esiintyy rakenteissa harvoin. Sisätiloissa pakotettuja virtauksia saavat aikaan mm. ilmanvaihdon puhaltimet ja

ihmisten liikkeit. Rakennuksen ulkopuolella taas tuuli on ensisijainen pakotetun konvektion aikaansaaja. Konvektion eli ilmavirtausten avulla voi siirtyä suuriakin lämpömääriä heikosti eristetyn yläpohjan läpi ulos. Sisätiloissa vastaava ilmamäärä korvataan ulkoilmalla, joka on lämmitettävä, jolloin tähän kuluu energiaa. (Björkholtz 1997, 13)

4.4 Rakenteiden U-arvo

Lämpövirtojen tunteminen mahdollistaa rakennuksen vaipan läpi ulos menevän energiamäärän arvioinnin. U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kuvaa sitä lämpömäärää, joka läpäisee 1 m²:n kokoisen rakenteen lämpötilaeron ollessa 1°C (= 1°K). Sen yksikkö on W/m²:K. Lämpimän tilan yläpohjien rakenteiden vertailuarvona käytetään 0,09 W/m²K:ä. Rakenteissa U-arvo ei pysy elinkaaren ajan vakiona vaan saattaa heikentyä rakenteen kastuessa tai kuormituksen vaikutuksesta eristeen painuessa kasaan.

Lämmöneristysmääräykset ovat muuttuneet useasti kuluneiden vuosien aikana. Kirjoitushetkellä Suomen rakentamismääräyskokoelman C4-asetus lämmöneristeistä on julkaistu vuonna 2003. Rakentamismääräyskokoelman C4 lämmöneristuksen ohjeista on julkaistu luonnosversio vuonna 2012. Eroa ohjeiden välillä on mm. lämmönläpäisykerroimen laskennassa, jonka avulla lasketaan rakenteiden eristevahvuuksia. Luonnosversiossa käsitellään myös korjattua lämmönläpäisykerrointa U_c (W/m²K), jota käytetään lämpöhäviöiden laskennassa. Korjatussa lämmönläpäisykerroimessa on otettu tarvittaessa huomioon myös lämmönläpäisykerroimen korjaustermi ΔU (W/m²K), joka sisältää ilmarakojen, mekaanisten kiinnikkeiden, muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen, sekä käännettyjen kattojen korjaustekijän.

Lämmönläpäisykerroin U lasketaan kaavalla:

$$U = 1/R_T \quad (15)$$

R_T = rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön

Rakennusosan ainekerrosten ollessa tasapaksuja, tasa-aineisia ja lämmön siirtyessä ainekerrokseen nähden kohtisuoraan lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T kaavalla:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad (16)$$

jossa

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \dots R_m = \frac{d_m}{\lambda_m}$$

$d_1, d_2 \dots d_m$ ainekerroksen 1,2, ... m paksuus, m

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_m$ ainekerroksen 1,2, ... m lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo esim. normaalin lämmönjohtavuus

R_g = rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus

R_b = maan lämmönvastus

$R_{q1}, R_{q2} \dots R_{qn}$ ohuen ainekerroksen 1,2, ... n lämmönvastus

$R_{si} + R_{se}$ sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

Mikäli tasa-aineisen ainekerroksen paksuus vaihtelee rakenteen tason suunnassa, voidaan paksuutena käyttää ainekerroksen keskimääräistä vahvuutta edellyttäen, ettei paikallinen vähimmäispaksuus alita keskimääräistä enempää kuin 20%.

EN-standardien mukaiset menetelmät, jotka muodostavat ohjeistokokonaisuuden lämmönläpäisykertoimen määrittämiseksi, katsotaan myös hyväksyttäväksi. (RakMk 2003, 5; RakMk 2012, 4-5)

4.5 Lämmöneristeet

”Lämmöneriste on rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella olennaisesti lämmöneristämiseen” (RaKM C4, 2002, 3).

Lämmöneriste on yläpohjarakenteen keskeinen osa. Lämmöneristyksen pyrkimyksenä on, että rakenteiden läpi tapahtuva lämpövuoto olisi mahdollisimman pieni, jotta saavutettaisiin taloudellinen lämmitysmäärä. Lämmöneristeenä käy-

tään eristeitä, joiden lämmönjohtavuus on mahdollisimman pieni ja joiden käänteisarvona lämmönvastus on mahdollisimman suuri. Lämmöneristeen eristyskykyä kuvaa lämmönläpäisykerroin, mitä pienempi arvo sen parempi eristyskyky.

Lämmöneristeen valintaan vaikuttavat mm. hinta, saatavuus, työnaikaiset ja käytönaikaiset kosteusrasitukset, eristyksen alusrakenne ja höyryn- ja ilmansulun varmuus. Eristeen valinnassa tulisi kiinnittää huomio koko rakenteen toimivuuteen siten, että se kestää ulkoisten rasitusten lisäksi rakennuksen käytön aiheuttamat lämpö- ja kosteusrasitukset suunnitellun käyttöajan ajan sekä täyttää rakenteelle asetettavat palotekniset vaatimukset. Teknisten seikkojen lisäksi oikean eristetyypin valinta on resurssikysymys, johon vaikuttavat esimerkiksi hinta, saatavuus, sekä käytettävissä oleva rakennustekniikka ja -tavat. Työssä käsitellään kirjoitushetkellä yleisimmin käytettäviä lämmöneristeitä.

Lämmöneristeet jaetaan muiden rakennustarvikkeiden ohella Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan E1 Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2011 mukaisiin paloluokkiin sen mukaan, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen, leviämiseen sekä savun tuottoon. (Kyyrönen 2000, 66; RakMk 2011, 5; RIL 2000, 74-75)

4.5.1 Kevytsora

Kevytsorakattoja on tehty Suomessa jo 1950-luvulta lähtien. Tuulettuvuutensa puolesta kevytsora soveltuu hyvin Suomen vaativiin olosuhteisiin. Kevytsora valmistetaan plastisesta savesta ja sen rakeet ovat täynnä pieniä, suljettuja ilmahuokosia, joten kevytsora on kevyttä ja hyvin lämpöä eristävää. Kevytsora on palamaton lämmöneriste, siksi esim. ilmastointikanavat voidaan sijoittaa kevytsorakerrokseen ilman erillistä paloeristystä. Suositeltavin kevytsoralajite yläpohjan eristeeksi on raekooltaan 8-20 mm ja eristekerroksen paksuus määritellään keskipaksuutena vaaditun U-arvon mukaan.

Kevytsorakatoissa käytetään vedeneristeen alustana kevytsorabetonisia katelattoja, paikalla valettavaa pintabetonilaattaa tai Siporex-kevytbetonilaattoja ja ve-

deneristeenä yleensä bitumikermikatteita. Kevytsoraeristeellä on hyvä kosteudenkestävyys, mutta yläpohjissa käytetään nykyään yhä enemmän keskivahvuuden pienentämiseksi myös EPS-lisälämmöneristeitä, mikä asettaa rajoitteita asennustyölle sekä altistaa rakennekosteudelle ilman asianmukaista suojausta. EPS-lisälämmöneristeitä käytettäessä on tarvittaessa otettava huomioon eristeen alle jääneen kosteuden hidaskuivuminen rakenteesta.

Kevytsoraa käytetään myös usein yhdessä kovakattolevyn kanssa vesikattojen peruskorjauskohteissa kaatojen parantamiseen. (Saint-Gobain Weber Oy 2010)

4.5.2 EPS (expanded polystyrene)

Vedeneristyksen alustana käytettävät EPS-eristelevyt eli umpisoluiset polystyreenilevyt ovat kevyitä sekä helposti käsiteltäviä ja työstettäviä lämmöneristeitä. EPS-eristelevyjä käytetään yläpohjassa kantavan betonin tai teräspoimulevyrakenteen päällä. Levyjen valmistusprosessin on oltava sellainen, ettei jälkikutistumaa tapahdu tai levyjä on varastoitava 6 viikkoa lämpimässä tilassa ennen näiden asentamista. Kattorakenteissa käytettävien muovipohjaisten eristeiden jälkikutistuman tulee olla alle 0,2 %. Vedeneristeiden ja EPS-eristelevyjen välissä on aina käytettävä laakerikerroksena kuormitusta kestävää mineraalivillaa. Kevytsoraeristyskerroksen pienentämiseksi käytetään soraeristyksen alla EPS-kattolevyjä, jotka asennetaan suoraan kantavan rakenteen ja höyrynsulun päälle. EPS-kattorakenteiden käyttökohteena ovat myös esivalmistetut pelti-EPS-pelti-elementit, jotka voidaan toteuttaa tuulettumattomana suljettuna umpirakenteena. (RIL 2000, 80; RT 38175 2012)

4.5.3 XPS (Extruded polystyrene)

XPS-levyt ovat suulakepuristamalla valmistettuja polystyreenilevyjä, joiden pääraaka-aine on polystyreeni eli kestopuovi. Polystyreenilevyjen solurakenne on hyvin tiivis ja tämän johdosta vedenimukyky alhainen. Tyypillisimmät käyttökohteet ovat perustukset ja anturat, seinät, alapohjat sekä käännetyt katot. Polystyreeni luokitellaan palavaksi materiaaliksi, eikä suositella käytettäväksi lämmöneris-

teenä vedeneristyksen alapuolella. XPS-levyjen soveltuvimpia käyttökohteita ovat käännetyt katto- ja piharakenteet mm. näiden lujuuden ja vesitiiveyden ansiosta. Käännetyissä katoissa polystyreenilevyt toimivat vedeneristeen mekaanisena suojana ja laakerikerroksena estäen pintarakenteiden rasitusten siirtymisen vedeneristeisiin. (RIL 2000, 82-83; RT 37871 2010)

4.5.4 Mineraalivilla

Mineraalivilla on lämmön- ja äänieristeenä käytettävä rakennusmateriaali. Tasakatoilla yläpohjissa lämmöneristeenä käytetään kuormitusta kestäviä mineraalivillakeristeitä. Mineraalivillalla voidaan tarkoittaa lasivillaa tai kivivillaa eli vuorivillaa. Lasivilla valmistetaan yleensä jätelasista tai lasin raaka-aineista kvartsihiekasta, soodasta ja kalkkikivistä, lasivilla on useimmiten väriltään keltaista. Kivivilla valmistetaan emäksisistä kivilajeista ja villan väri on ruskeanharmaa. Yleensä mineraalivillalla eristetyissä yläpohjissa käytetään 2-3 lämmöneristyslevykerrosta, joista pintavilla on kovempaa ja jäykempää. Kattolämmöneristeenä voidaan käyttää myös puhallusvillaa.

Mineraalivillakatoissa tuuletus tapahtuu uritettujen lämmöneristyslevyjen ja kokoojakanaviin liitettyjen alipainetuulettimien sekä räystään tuuletusrakojen avulla. Mineraalivillalevyjen tuuletusurat pyritään suuntaamaan siten, että tuuletus tapahtuu pidemmiltä räystäiltä kaatoalueen harjalle tai toiselle räystäälle. Harjalla uritus yhdistetään kokoojakanavaan, jonka kohdalle asennetaan alipainetuulettimia tarvittava määrä riittävän ilmavirtauksen aikaansaamiseksi ja jolla varmistetaan tuuletus erilaisten kattorakenteiden kohdalla. Tuuletetussa mineraalivillarakenteessa tuuletus voidaan järjestää uritetun villan sijaan myös erillisellä tuuletusvälillä. (Kattoliitto 2007, 9; Työterveyslaitos 2010)

4.5.5 Polyuretaanilevyt

Polyuretaanilämmöneristyslevyt ovat umpisoluisia, tiivistä ja jäykkää sekä hyvin kuormitusta kestävää rakennusmateriaalia. Polyuretaanilevyjen tyypillisimmät käyttökohteet ovat ylä- ja alapohjat, seinät, lattiat ja routaeristykset.

Yläpohjissa käytettävien polyuretaanilevyjen on oltava tähän tarkoitukseen valmistettuja sekä pinnoitettuja molemmilta puolilta alumiinilaminaatilla. Levyjen reunassa on oltava puolipontit. Polyuretaanikattorakenne voidaan toteuttaa joko tavanomaisissa yläpohjissa uritettuna ja tuuletettuna rakenteena tai tuulettumattomana suljettuna umpirakenteena pelti-PUR-pelti -elementtinä. Polyuretaanilevyjen ja vedeneristyskerrosten välissä on käytettävä laakerointikerroksena kuormitusta kestävää mineraalivillaa.

Polyuretaanilevyjen käyttö on lisääntynyt Suomessa sen alhaisen lämmönjohtavuuden ja kiristyvien lämmönläpäisykertoimien vuoksi. Näiden ominaisuuksien avulla pystytään toteuttamaan ohuempia rakenteita kuin muilla lämmöneristeillä. Polyuretaanilämmöneristyslevyillä voidaan toteuttaa myös matala- ja passiivienergiatalot tavanomaisilla rakennepaksuuksilla. (RIL 2000, 85)

5 LÄMPÖKAMERA

5.1 Lämpökuvaus

Lämpökamera on kiinteistöjen kunnonarvioinnin ja rakennusten lämpöteknisen toimivuuden selvittämisessä Suomessa yleisesti käytetty työväline. Lämpökamerakuvauksella pystytään ainetta rikkomatta arvioimaan rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa. Lämpökuvausta on Suomessa käytetty kiinteistöjen kunnan ja rakennusten lämpöteknisen toimivuuden arvioinnissa jo 1970-luvun lopulta lähtien, mutta lämpökameratekniikka on kehittynyt merkittävästi vasta 1990-luvun alusta lähtien. Kameroiden parantunut erotuskyky, koko, paino, kuvankäsittelyominaisuudet, -ohjelmat ja erityisesti viimevuosina alentuneet hinnat ovat mahdollistaneet sen, että nykyisin lämpökuvausta käytetään aikaisempaa yleisemmin rakennusten kuvauksessa ja laadunhallinnan työkaluna.

Lämpökameralla on mahdollista selvittää rakennuksista rakennusmateriaalien ominaisuuksia, rakennusten lämpöolosuhteita, vaippojen ilmanpitävyyttä, rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta, talotekniikan vikoja ja puutteita sekä tietyin edellytyksin kosteus- ja homevaurioita. Rakennusten lämpökuvaus sisältää tavanomaisesti rakennuksen ulkovaipan sisäpuolisen ja ulkopuolisen lämpökuvauksen. Lämpökuvauksilla pyritään etsimään rakennusten ulkovaippojen viat ja puutteet, vaippojen ilmavuodot, kylmäsillat sekä selvittämään lämmöneristeiden kuntoa ja toimivuutta. Tyypillisesti rakennuksen lämpökuvauksen yhteydessä mitattavia muita suureita ovat sisäilman ja ulkoilman olosuhteet: lämpötila, suhteellinen kosteus ja sisäilman ja ulkoilman välinen paine-ero. Tukimittausten avulla päästään kokonaisvaltaisesti selville rakennuksen vaipan kunnosta ja lämpöoloista. (Palmi & Kauppinen 2006, 7,11)



Kuva 3. Fluke TiR1 lämpökamera.

5.2 Lämpökuvauksen perusteet

Lämpökuvauksella pintalämpötilojen mittaus perustuu pintojen lähettämään eli emittoimaan lämpösäteilyyn. Materiaalista riippumatta kaikki pinnat lähettävät säteilyä, jonka voimakkuus riippuu pintalämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta eli kyvystä lähettää lämpösäteilyä. Lämpökamerat mittaavat tutkittavalta pinnalta tullutta infrapuna-alueen kokonaissäteilyä, johon sisältyy myös pinnasta heijastunut säteily. Materiaalien emissiokerroin voi olla 0-1, mikä tarkoittaa pinnan kykyä säteillä infrapunaenergiaa suhteessa täydelliseen säteilijään eli mustakappaleeseen, jonka emissiokerroin on 1. Kun emissiokerroin on alhainen 0-0,5, pinta on kiiltävä ja heijastava, jolloin suurin osa pinnasta lähtevästä lämpösäteilystä voi olla ulkopuolisten lämmönlähteiden ja pintojen heijastuksia. Tällaisten pintojen todellista lämpötilaa on vaikea mitata lämpökameralla, kun vastaavasti pinnan, jonka emissiokerroin on lähellä 1:tä, heijastuksen osuus on pieni ja suurin osa lämpökameralla vastaanotettavasta lämpösäteilystä on kohteen itsensä lähettämää.

**FLUKE TiR1**

8.6.2012 12:18:17

**Näkyvän valon kuva**

Kuva 4. Kuvissa esiintyvä oikeanpuoleinen putki on kupariputki, jonka yläosa on teipattu. Alaosa eli kiiltävä pinta näyttää selvästi kylmemmältä.

Mitattaessa pintoja, joiden emissiivisyys on matala tai se vaihtelee, on syytä käyttää mustaa teippisuikaletta varmistamaan pintalämpötilan oikeellisuus. Mikäli emissiokerrointa ei korjata, näyttävät kiiltävät pinnat kylmemmiltä kuin samanlämpöiset emittoivat pinnat, joilla on korkea emissiivisyys.

Taulukko 5. Tyypillisimpien rakennusmateriaalien keskimääräisiä emissioker-toimia +20 °C:n lämpötilassa (Paloniitty & Kauppinen 2006, 18).

Materiaali	Emissiivisyys 2 – 5 µm	
	min	max
Alumiini	0,04	0,97
Betoni	0,95	0,97
Kuitulevy huokoinen		0,85
Kuitulevy kovalevy		0,75
Lastulevy		0,90
Laasti	0,87	0,94
Maalipinta	0,88	0,96
Muovimatto		0,94
Muovilaminaatti		0,94
Paperi	0,70	0,90
Puu	0,70	0,98
Puuvaneri		0,82
Kipsilevy		0,90
Rappauspinta	0,85	0,95
Tapetti		0,90
Tiilimuuraus		0,94

Tärkeimmät kuvaustulokseen vaikuttavat tekijät ovat: emissiivisyys, kuvauskulma sekä sää- ja sisäilmaolosuhteet ennen mittauksia ja mittaushetkellä. Lämpökamerakuvaukset pyritään suorittamaan mahdollisimman suoraan tutkittavaa pintaa vasten, etteivät taustan heijastukset vaikuta oleellisesti mittaustulokseen. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 16-18, 20)

5.3 Rakennusten lämpökuvaus

Rakennuksia voidaan kuvata sekä sisä- että ulkopuolelta, vaikkakin ulkopuolisen kuvauksen käyttö on rajoitettua, mikäli ulkovaipassa on tuuletusrako. Rakennuksen ulkopuolelta voidaan määrittää mm. yläpohjan lämpövuotoja.

Rakenteet eivät ole koskaan tasalämpöisiä, eivätkä kaikki havaitut pintalämpötilojen poikkeavuudet merkitse sitä, että rakenteissa tai eristeissä olisi puutteita tai virheitä. Kuvien tulkinnassa on tärkeää tietää, mikä lämpötilapoikkeama katsotaan

viaksi ja mikä rakenteen ominaisuudeksi. Tuloksen luotettavuuteen merkittävimminkin vaikuttavat kameran oikeat asetukset, kameran kalibrointi sekä oikea kuvauskulma ja etäisyys.

Sisäpuolisessa kuvauksessa rakennuksen nurkat, katon ja seinän sekä lattian liitokset ja läpiviennit ovat aina ympäristöään kylmempiä. Jos pintalämpötilat ovat tarpeeksi ympäristöään matalammat, on aihetta epäillä rakenteellisia puutteita. Kastuneet rakenteet muuttavat pintalämpötilaa suhteessa samantyyppiseen kuivaan rakenteeseen eli kastuneet rakenteet tulevat esiin voimakkaiden lämpötilamuutosten yhteydessä, koska kastuneet rakenteet lämpiävät ja jäähtyvät hitaammin kuin kuivat. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 22, 62)

5.3.1 Lämpövuodot

Lämpövuodoilla tarkoitetaan sellaisia rakenteissa olevia kohtia, joissa lämmönjohtuminen on ympäröivään rakenteeseen verrattuna selvästi suurempaa. Tyypillisiä lämpövuotojen aiheuttajia ovat kylmäsilat, kuten kantavat rakenteet tai eristeputteet. Lämpövuoto on yleisnimike eli lämpövuodot luokitellaan aina joko eristevioiksi tai kylmäsilloiksi. Puhtaaseen lämpövuotoon ei liity rakenteiden läpi kulkeutuvia konvektiovirtauksia eli ilmavuotoja.

Ympäristöä selvästi matalammat pintalämpötilat usein johtuvat kylmäsiltojen aiheuttamasta lämpövuodosta, rakenteiden läpi kulkeutuvasta ilmavirtauksesta tai näiden yhdistelmästä. Jos lämpövuotoon liittyy myös ilmavuotoja, on tämä eroteltava tulkinnassa erikseen.

5.3.2 Ilmavuodot

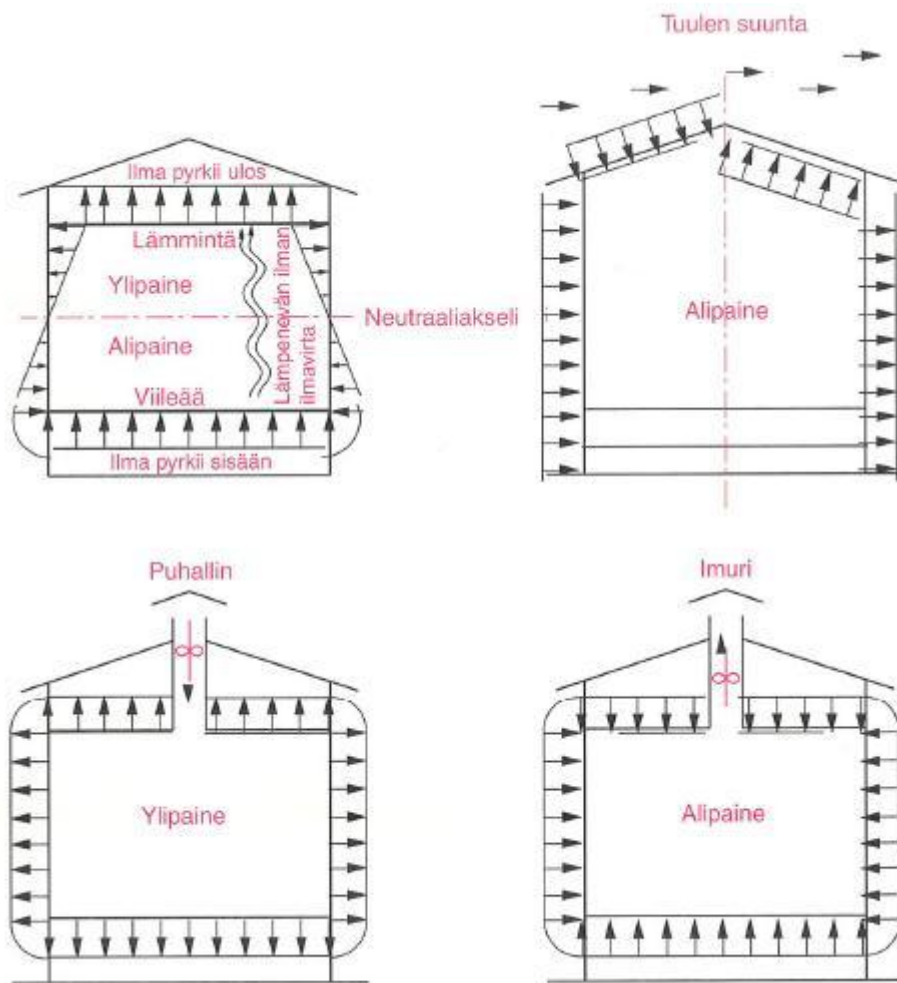
Rakennuksen ilmavuotoihin vaikuttavat höyrynsulun tai ilmansulun tiiveys. Ilmanpaine-erojen vaikutuksesta rakenteeseen pääsee virtaamaan ilmaa, jos rakenteen tiiviys sisä- ja ulkopuolen välillä ei ole riittävä. Etsittäessä ilmavuotoja lämpökuvauksella on tärkeää ymmärtää rakennuksen vallitsevat painesuhteet. Ensisi-

jaisesti rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihtojärjestelmä, savupiippu- eli hormivaikutus ja tuuli.

Savupiippuvaikutuksesta aiheutuu luonnollisesti kylmänä vuodenaikana ulko- ja sisätilojen välisestä lämpötilaerosta rakennuksen yläosaan ylipainetta ja alaosiin alipainetta. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä perustuu hormivaikutukseen ja tuulen vaikutukseen, jolloin painovoimaisessa rakennuksessa on aina nollassa, jonka yläpuolella on ylipaine ulkoilmaan nähden ja alapuolella alipaine ulkoilmaan verrattuna. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä rakennus on kauttaaltaan alipaineinen. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä rakennuksen tulisi olla lievästi alipaineinen ulkoilmaan verrattuna, lukuun ottamatta rakennuksen korkeita tiloja, joissa yläosa voi olla silti ylipaineinen.

Jos rakennuksessa tutkitaan ilmavuotoja, on huolehdittava siitä, että rakennuksen vaipan yli on paine-ero. Ilmavuodot kuvataan aina rakennuksen alipaineiselta puolelta, jolloin vuodot aiheuttavat lämpötilaeron vuodon ympärille. Jos rakennuksen ilmanvaihdolla ei aiheuteta alipainetta myös katonrajaan, on kattorakenteet kuvattava lämpimän tilan ulkopuolelta ullakolta tai pyrittävä aiheuttamaan alipaine. Lämpökuvauksen yhteydessä on aina suoritettava myös paine-ero mittauksia, jotta kuvien tulkinta voidaan tehdä oikein.

Lämpimän ja kostean sisäilman vuotaminen rakenteisiin sisältää aina kosteusvaurioriskin, jolloin kuvaajan on raportissaan mainittava kaikki havaitut ilmavuodot. Kylmän ulkoilman vuotaminen sisätiloihin vaikuttaa ensisijaisesti asumismukavuuteen aiheuttaen vedon tunnetta, mutta lisäksi se lisää energiakustannuksia ja pahimmassa tapauksessa saattaa aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ulkoseinärakenteisiin, kun sisäpinta jäähtyy kastepisteen alapuolelle. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 26-28; Kyyrönen 2001, 111)



Kuvio 5. Ilmanpaine-erojen muodostuminen (Kyyrönen 2001, 112).

5.3.3 Eristeviat

Lämpökuvassa ilmenee kylmäsillat ja lämmöneristeiden puutteet selvärajaisina kohtuullisen suurina yleensä useiden asteiden lämpötilamuutoksina, eivät kuitenkaan niin suurina kuin ilmavuodoissa. Lämpökamerallakaan ei usein pystytä luotettavasti toteamaan eristeiden pieniä puutteita, kuten rungon ja eristeiden välisiä rakoja, eristeen lievää ohenemaa tai painaumaa. Tähän kuitenkin vaikuttaa oleellisesti se, pääseekö eristeiden ilmarakoon syntymään konvektiovirtauksia. Tyypillisiä pieniä eristevikoja ovat: liian tiiviiksi asennettu eriste, rikkoutunut eriste sekä raot rungon ja eristeiden välillä. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 33-34)

5.3.4 Kosteus- ja homevauriot

Kosteus materiaaleissa aiheuttaa pinnan jäähtymistä, kun kosteus haihtuu materiaalin pinnalta, lisää materiaalien lämmönjohtavuutta sekä muuttaa pinnan emissiivisyyttä. Kosteusvauriot on mahdollista havaita lämpökameralla, jos rakenteen yli on lämpötilaero. Kastuneen materiaalin lämpökapasiteetti on kuivaa suurempi, jolloin kastunut alue saattaa tulla esiin rakenteen jäähtyessä tai lämmitessä. Jäähtyessä se näkyy ympäristöä lämpimämpänä alueena ja lämmitessä ympäristöään kylmempänä alueena.

Lämpökuvausta käytetään kosteuskartoituksen apuvälineenä, mutta tarkemmat analyysit vaativat usein aina lisätutkimuksina kosteusmittauksia tai rakenteiden avausta. Lämpökuvausta ei kuitenkaan kannata sulkea pois, sillä oikein tulkittuna se saattaa antaa tärkeää tietoa vaurioalueiden laajuudesta ja sijainnista. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 34-35)

5.4 Yläpohjan lämpökuvauksen suoritus

Lämpökuvaukseen liittyy runsaasti suoritettavia toimenpiteitä, joista tulee huolehtia hyvissä ajoin ennen varsinaisen kuvauksen suorittamista riippuen siitä, suorittaanko lämpökuvaus sisä- ja/tai ulkopuolelta. Valmisteleviin toimenpiteisiin liittyy esim. tiedotteet ja ajankohdan sopiminen, huonekalujen ja verhojen siirrot. Ilmastoinnin ja lämmityksen tulee olla normaalin käyttötilanteen säädöillä vähintään 24 tuntia ennen kuvauksen suoritusta. Kuvaajan on selvítettävä ennen kuvausta olosuhdetiedot, kuten: ulkoilman lämpötila, tuulen suunta ja voimakkuus, auringon aiheuttama lämpösäteily, sisäilman lämpötila jokaisesta tutkittavasta tilakokonaisuudesta ja vallitseva painesuhde, jotta kuvaus on mahdollista suorittaa aina alipainepuolelta ilmapuotojen havaitsemiseksi. Rakennuksesta tulee olla käytettävissä ennen kuvausta vähintään rakennuksen pohjapiirustukset, rakenneleikkaukset sekä tiedot lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmästä. Rakennetyypit on myös selvítettävä ennen kuvauksen suoritusta. Yläpohjarakenteista selvítettäviä asioita ovat esim. ullakkotila, vesikaton myötäinen tila ja tuuletus.

Yleisesti kuvaustilanteissa on hyvä käyttää mahdollisimman laajaa väripalettia, jolloin kuva on selkeä (esim. harmaan sävyjä tai sateenkaarenvärejä). Lisäksi kuvattaessa voidaan hyödyntää kameran automaattista lämpötila-alueen skaalausta, jolloin on mahdollista havaita pienimmätkin poikkeamat, kuten kosteusvauriot. Vaippaa kuvatessa on aina huomioitava auringon vaikutus. Kuvakulmaa vaihtamalla voidaan usein eliminoida haitalliset heijastukset. Suositeltava sisäpuolen kuvausetäisyys on 2-4 m ja ulkokuvauksessa alle 10 m.

Yläpohjia kuvattaessa on aina huomioitava painesuhteet ilmapuotojen paikantamiseksi. Kuvattaessa voidaan yleisesti olettaa, että rakennuksissa, joissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, on katonrajassa aina ylipainetta, jolloin ilmapuotojen kuvaus on suoritettava ullakolta tai muuten kylmältä puolelta. Räystäiden alapuolella näkyvä yläpohjan ja seinärakenteen liittymä näkyy lähes aina muuta seinärakennetta lämpimämpänä, joka johtuu osittain siitä, että räystäään varjostama alue suojaa liitoskohtaa taustalämpötilalta. Mikäli lämpötilajakauma on epätasainen ja vaihteleva, yläpohjan liitoskohdassa on lämpövuoto ullakolle.

Vesikattorakenne on myös mahdollista kuvata ulkopuolelta, etenkin ns. tasakattorakenteet. Etäisyys kuvattavaan kohteeseen on oltava kuitenkin riittävä, joten kuvaus on suositeltavaa suorittaa esim. viereisen kiinteistön vesikatolta, iv-konehuoneen katolta tai nosturiautosta. Tällöin pystytään luotettavammin havaitsemaan mahdolliset vesivuodot tai eristeviat. Ulkopuolisessa kuvauksessa on erityisesti huomioitava edeltäneet sääolosuhteet sekä mahdollisen tuuletusraon vaikutukset. Kuvauskulma ulkopuolisessa kuvauksessa on hyvä pitää alle 30°:ssa, koska avaruudesta ja mahdollisesti muista taustan tekijöistä aiheutuva heijastus muuttaa mittaustulosta. Lämpökuvaus soveltuu parhaiten tasakattojen kuvaukseen, mutta mikäli vesikatolla on singelikerros on kuvaustulosten tulkinta epämääräinen. Vesikattorakenteiden kosteusvauriot voidaan joissakin tapauksissa todeta lämpimän auringonpaisteisen päivän jälkeen tai kylmän yön jälkeen. Riippuen siitä, onko kyseessä jäähtyminen vai lämpiäminen, erottuvat kosteat alueet ympäristöönsä lämpimämpinä tai kylmempinä. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 48-56)

5.5 Lämpökuvien tulkinta

Tulosten tulkinta on rakennuksen lämpökuvauksen tärkein vaihe. Kuvaajan tulee ymmärtää havaitsemiensa poikkeamien merkitys ja osata päätellä poikkeamien perusteella, mistä ongelmasta on kysymys vai onko poikkeama kuvattavalle rakenteelle tyypillinen, rakenneteknisistä syistä johtuva ominaisuus. Lämpökuvan väriskaaloilla ei ole merkitystä mittaustulokseen vaan niillä pelkästään havainnoidaan lämpötilaeroja. Lämpökuvan värit riippuvat täysin asetetusta lämpötilasteikosta. Kohteesta saatuja mittaustuloksia voidaan verrata olemassa oleviin rakenteellisiin sekä terveydellisiin ohjeisiin ja määräyksiin.

Lämpökuvauksessa havaituista selkeistä poikkeamista on aina raportoitava, jos ne vaikuttavat oleellisesti lämpöviihtyvyyteen, rakennuksen tai rakenteiden toimivuuteen, pitkäaikaiskestävyyteen tai rakenteiden vaurioitumiseen.

Kun kyseessä on normaali sisäpuolelta suoritettu lämpökuvaukset, lasketaan tulosten tulkinnan helpottamiseksi lämpötilaindeksi. Lämpötilaindeksi on laskennallinen luku ja Asumisterveysohjeen antamia hyvän tason ja tyydyttävän tason raja-arvoja voidaan soveltaa asuintilojen tuloksia tulkittaessa. Havaituista poikkeamista laaditaan johtopäätöksenä korjausluokitusarvio, jos lämpötilaindeksi on alle 70 %. Asuin- ja oleskelutiloihin voidaan soveltaa seuraavia korjausluokituksia:

1. Korjattava

- $TI < 61 \%$

Pinnan lämpötila ei täytä sosiaali- ja terveysministeriön laatiman Asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Esimerkiksi ilmapuoto tai eristevika, joka heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa.

2. Korjaustarve selvitettävä

- $TI 61 - 65 \%$

Korjaustarve on erikseen harkittava. Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei hyvää tasoa.

3. Lisätutkimuksia

- $TI > 65 \%$

Täyttää Asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen piilee kosteus- ja lämpötekni-
sen toiminnan riski. Rakenteen kosteustekninen toiminta on tarkastettava tai suoritettava muita lisätutkimuksia, kuten kosteusmittaus tai tiiviysmittaus.

4. Hyvä

- $TI > 70 \%$

Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

(Paloniitty & Kauppinen 2006, 64-66)

6 KATTORAKENTEET

6.1 Yleistä kattorakenteista

Vesikatto on julkisivuista tärkein ja vain toimivan katon alla voi olla terve rakennus. Vesikaton elinkaareen vaikuttavat oleellisesti suunnittelu, toteutus ja katon käytön aikana tähän kohdistuvat rasitukset. Suunnittelun lähtökohtana on katemateriaalin valinta sekä rakenteiden ja yksityiskohtien suunnittelu, joiden perusteella asetetaan vesikaton käyttöikätaivoite. Toteutusvaiheessa on tärkeää, että katto rakennetaan suunnitelmien mukaisesti hyvää rakennustapaa käyttäen sekä noudatetaan kattoalalla yleisesti hyväksytyjä asennusmenetelmiä. Katon käytön aikana sen kestävyys ja toimivuus vaikuttaa suorittamalla riittävät huoltotoimenpiteet vesikaton suojele- ja huolto-ohjeiden mukaisesti.

Toimiva yläpohjarakenne on kokonaisuus, joka koostuu yleensä kantavasta rakenteesta, höyrynsulusta, lämmöneristyksestä, vedeneristyksestä sekä toimivasta tuuletuksesta.

Suomessa yleisemmin käytetyt kattomuodot ovat: harjakatto, loivakatto ns. tasakatto, pulpettikatto ja aumakatto. Harjakatto on yleisin rakennuksissa käytetty kattomuoto, joissa harja on vesikaton korkein kohta, joista vedet virtaavat lappeita pitkin alaspäin. Loivana kattona voidaan pitää vesikattoa, jonka kaltevuus on 1:10 tai vähemmän. Loivan katon vedenpoisto tapahtuu normaalisti sisäpuolisella vedenpoistolla. Pulpettikatto on yksilappeinen, jossa kaltevuus on yhteen suuntaan. Aumakatto on nelilappeinen, jossa auma on kolmiomainen katon päädyissä harjaan liittyvä päätyharja.

Käytettävien kateaineiden perusteella vesikatot voidaan luokitella jatkuviin katteisiin tai epäjatkuviin katteisiin. Jatkuvien katteiden saumat ja yksityiskohdat ovat vesitiiviitä täyttäen ko. rakenteelle asetetut vedenpainevaatimukset. Jatkuvia katteita voidaan käyttää käyttöluokituksesta riippuen loivasti kallistetuissa katoissa aina kaltevuuteen 1:80 saakka. Yleisimmin käytetyt loivien kattojen vedeneristeet

ovat modifioidusta bitumista valmistetut kermit, joiden saumat tehdään vesitiiviiksi liimaamalla tai hitsaamalla. Nestemäisinä levitettäviä tuotteita voivat olla esimerkiksi polyuretaanit, akryylit ja epoksit. Epäjatkuvia katteita eli katteita, joiden saumat ja yksityiskohdat eivät kestä vedenpainetta, voidaan tuotteesta riippuen käyttää kaltevuuksissa 1:10 tai tätä jyrkemmissä vesikatoissa. Kaltevilla katoilla yleisimmin käytettäviä epäjatkuvia katteita ovat metallikatteen: rivipeltikate, poimukatteen, konesaumakate sekä tiilikatteen tai bitumilaattakate yhdessä aluskermin kanssa. Epäjatkuvien katteiden saumoista ja yksityiskohdista alla oleviin rakenteisiin mahdollisesti kulkeutuvat pienet vesimäärät estetään aluskatteella.

Vedeneristeen alusrakenteen on oltava kiinteä ja tasainen eikä siinä saa olla haitallisia rakoja tai jyrkkäreunaisia hammastuksia. Rakenteen on oltava myös riittävän jäykkä, että se kestävä vesikatolle kohdistuvat rasitukset ilman muodonmuutoksia. Alusrakenteena käytetään lauta- ja rakennuslevyalustoja, betonialustoja tai lämmöneristyslevyalustoja. Lauta- ja rakennuslevyalustoja käytetään katteilla, joiden vähimmäiskaltevuus lappeilla on 1:40 ja jireissä 1:80. Vedeneristeen alusta tehdään aina alta tuulettuvaksi. Betonialusta voi olla betonia, kevytbetonia, kevytsorabetonia tai paikalla valettu betonilaatta. Valmiin pinnan tulee kuitenkin aina sileydeltään vastata vähintään puuhierrettyä betonipintaa. Betonialustalla saattaa tapahtua lämpö- ja kosteusliikkeitä, ja näiden lisäksi rakennuskosteuden poistuminen on erityisesti huomioitava suunnitelmissa. Lämmöneristyslevyalustoja käytettäessä on erityisesti huomioitava alusrakenne, rasitukset ja kokoonpuristuma liittyessä muihin kattorakenteisiin sekä höyryn- ja ilmansulun laatu ja varmuus. (RIL 2000, 45; Kattoliitto 2007, 7)

6.2 Tuulettuvat yläpohjarakenteet

Tuulettuvassa rakenteessa poistetaan rakenteiden läpi siirtyvä vesihöyry tuuletustilan, -välin tai tuulettuvan lämmöneristyskerroksen avulla. Tuulettuvassa lämmöneristyskerroksessa ilman liikkuminen tulee järjestää koko katon pinta-alalle. Tuuletustila ja -väli tehdään tavallisesti lämmöneristetyn rakenteen kylmälle puolelle. Tuulettuva rakenne tehdään aina ilmanpitäväksi haitallisten ilmapuotojen

ehkäisemiseksi, erityisesti vesikattoon liittyvät rakennusosat sekä saumakohdat tehdään siten, että ilmavuotoja ei tapahdu.

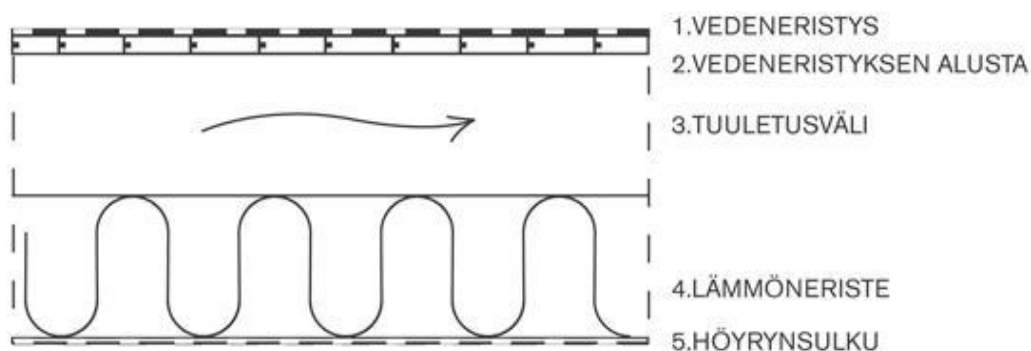
Taulukko 6. Tuuletusvälin korkeus sekä ilmanotto- ja poistoaukkojen poikkileikkausalojen ohjeet tuuletusvälillä varustetun vesikaton tuuletuksessa. (promillea katon pinnasta) Kaavio RIL. 49

Kattokaltevuus	Toimiva tuuletusväli	Sisäänottoaukot	Poistoaukot
<1:20 (3°)	200 mm	yht. 5 ‰	
1:20 ... 1:5	100 mm	2 ‰	2,5 ‰
>1:5 (11°)	75 mm	2 ‰	2,5 ‰

Tuuletusvälin miniarvoja ei saa alittaa esimerkiksi rakennettaessa ullakolle lisähuonetta. Tuuletusvälin suurentaminen ei aina paranna rakenteen tuulettuvuutta siinä syntyvien pyörrevirtausten vuoksi, mutta tällä on mahdollista parantaa kateen tasalämpöisyyttä ja näin ehkäistä jään muodostumista. Lämmöneristettyjen yläpohjien poistoilma-aukon on oltava mahdollisimman ylhäällä ja korvausilman tuloaukkojen alhaalla. Näin saadaan yläpohjaan luonnollinen ilmanvaihto korkeuserojen ja lämmönvaikutuksen kautta. Tuuletusraot on toteutettava siten, ettei niistä kulkeudu sadevettä tai lunta rakenteisiin. (RIL 2000, 49; Kattoliitto 2007, 8)



Kuvat 5 ja 6. Katon tuuletus on ollut puutteellinen ja lämmöneristeet asennettu virheellisesti lähes kiinni aluslaidoitukseen. Kohteeseen on muodostunut mikrobi-kasvustoa tuuletuksen puutteesta ja laajoista vedeneristeiden vuodoista johtuen.

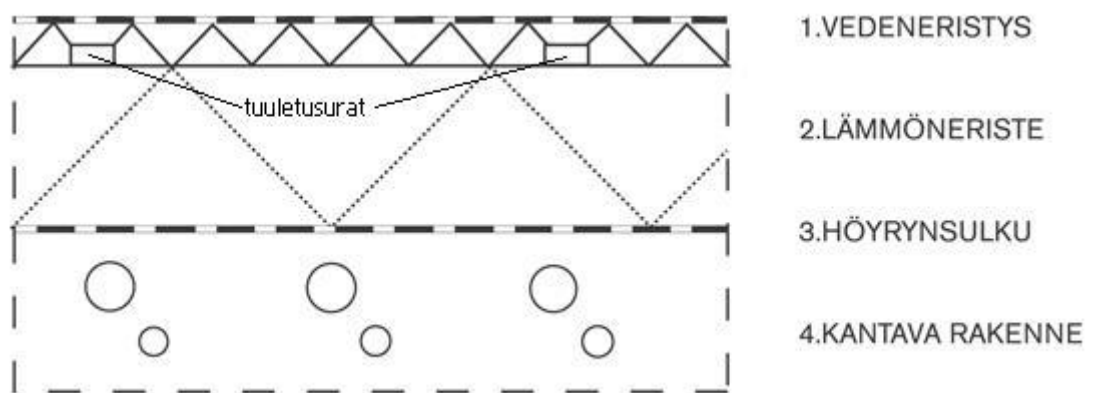


Kuva 7. Tuulettuva rakenne, erillinen tuuletusväli. (Kerabit, 2012)

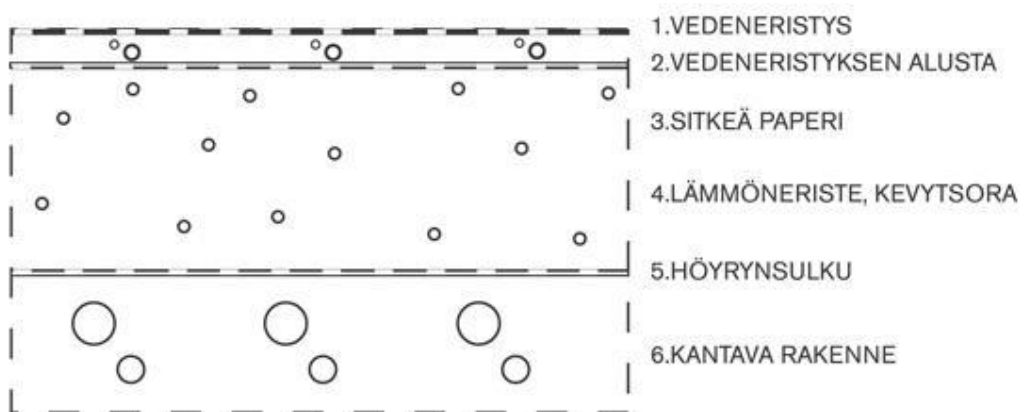
6.3 Tuulettuvat umpirakenteet

Tuulettuvissa umpirakenteissa yläpohjan rakennekerrokset asetetaan tiivisti toisiinsa vasten ilman erottavia tuuletusvälejä. Tuulettuvia umpirakenteita ovat mineraalivilla-, EPS- ja kevytsorakatot. Tiivis höyrynsulku on tuulettuvan umpirakenteen toiminnan kannalta välttämätön. Levymäisiä lämmöneristyskerroksia käytettäessä varustetaan lämmöneristyskerros mahdollisimman lähellä eristyksen ylä- ja ulkopintaa olevilla tuuletusurilla. Levyt asennetaan siten, että urat suuntautuvat räystäältä harjalle, jossa se yhdistyy räystään tuuletusrakoihin sekä harjan kokoojakanaviin. Kokoojakanaviin asennetaan alipainetuulettimia tarvittavan ilmavirta-

uksen aikaansaamiseksi vähintään 10 m välein. Kevytsorakatoissa tuuletuksella poistetaan rakennekosteus ja mahdollisesti käytön aikana muodostuva kosteus. Kevytsoraeristetyt yläpohjat tuuletetaan tavallisimmin yläpohjan vastakkaisilla räystäällä olevien tuuletusrakojen kautta tuulen aiheuttamalla paine-erolla sekä mahdollisten alipainetuulettimien kautta, joita käytetään katvealueiden tuulettamiseen. Kevytsorakerrokseen voidaan tarvittaessa myös sijoittaa salaojaputkesta valmistettuja tuuletusputkia tuuletuksen tehostamiseksi. (RIL 2000, 53-54)



Kuva 8. Tuulettuva umpirakenne, mineraalivilla. (Kerabit, 2012)



Kuva 9. Tuulettuva umpirakenne, kevytsora. (Kerabit, 2012)

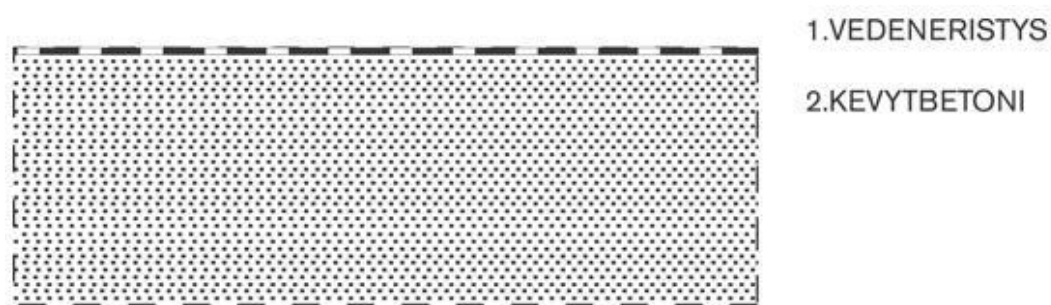
6.4 Tuulettumattomat yläpohjarakenteet

6.4.1 Ylipainerakenne

Ylipainekatossa yläpohja on sisäänpäin ilmaa ja vesihöyryä läpäisevä, yläpohjaa ei siis varusteta erillisellä ilman- tai höyrynsululla. Rakenteen tuuletustilan ylipaineistuksella saadaan aikaan tasainen ilmavirtaus rakenteen läpi tuuletustilasta sisätilaan päin. Katteen ja räystäiden tulee olla ilmaa pitävät, ja ilmavirtauksen on oltava mahdollisimman tasainen. Ylipainekatto on erittäin riskialtis, joten suodatimien likaantumiseen ja käyttöhäiriöihin on syytä varautua hälytysjärjestelmällä sekä säännöllisillä tarkastuksilla. Ylipainekatto ei sovellu tiloihin, joissa kosteuden tuotto on runsasta. (Kattoliitto 2007, 8; RIL 2000, 55)

6.4.2 Lämpimään avoin rakenne

Lämpimään avoimessa rakenteessa esimerkiksi Siporex-yläpohjassa kosteus pääsee liikkumaan sisätilan ja rakenteen välillä. Kylmänä vuodenaikana lämpimään avoin rakenne sitoo sisäilman kosteutta ja luovuttaa sitä lämpimänä kautena. Sitoutuvan kosteuden määrä riippuu rakenteiden sisä- ja ulkopuolen välisistä vesihöyryn osapaine-eroista ja kostumisjakson pituudesta. Rakennetta ei suositella kohteisiin, joissa on pitkä kylmänkauden ilmasto-olosuhde tai kohteisiin, joissa sisätilan kosteus on tavanomaista suurempi. (Kattoliitto 2007, 8; RIL 2000, 55-56)

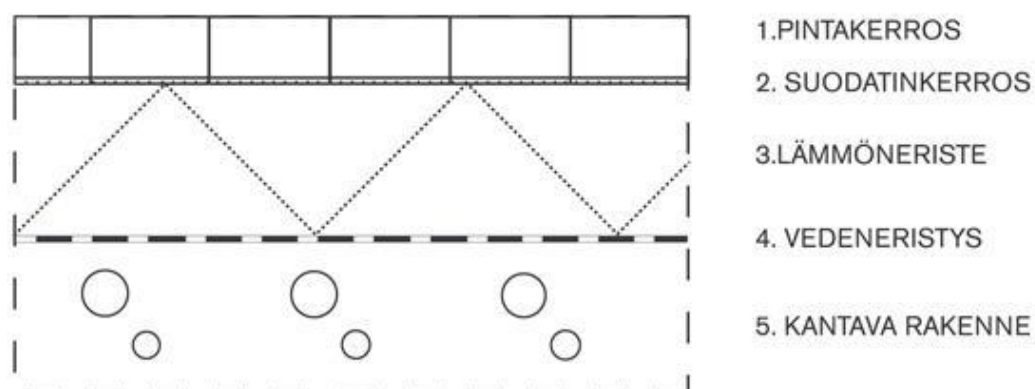


Kuva 10. Lämpimään avoin rakenne. (Kerabit, 2012)

6.5 Käännetty katto

Käännettyä kattoa käytetään tavanomaisesti vesikatoissa, terasseissa, viherkatoissa ja erilaisissa kansirakenteissa. Käännetyllä katolla tarkoitetaan rakennetta, jossa vedeneristys on lämmöneristyksen lämpimällä puolella.

Kallistukset tehdään valmiiksi jo kantavaan rakenteeseen, jonka päälle asennetaan tavanomaisesti kolminkertainen vedeneriste. Käännettyillä katoilla käytetään niille soveltuvia kattokaivoja ja pyrkimyksenä on johtaa vedet pois jo kuluvan pinnan päältä. Vedeneristeen päälle on suositeltavaa asentaa salaojalevy, jonka päälle asennetaan lämmöneristeet. Käännettyissä katoissa käytetään aina vedenimukyvyllään alhaisia lämmöneristeitä (esim. XPS-levyjä). Lämmöneristeiden päälle tulee suodatinkangas ja pintakerros (esim. betonilaatta). (RIL 2000, 56-57; Kattoliitto 2007, 8)



Kuva 11. Käännetty rakenne. (Kerabit, 2012)

7 TOTEUTUSMALLIN SOVELLUS ICOPAL KATTO OY:SSÄ

Mittausmenetelmän valintaan vaikuttavat käytettävissä oleva mittauskalusto sekä vauriotyyppi. Mittausmenetelmän tulee olla sellainen, että mitattujen tulosten perusteella voidaan päätellä vauriomekanismi ja vaurion laajuus. (Ympäristöministeriö 1998, 23)

7.1 Kosteusmittauksen suoritus

Yläpohjarakenteen kosteusmittauksessa käytetään tyypillisesti rakenteen lyhytkestoista suhteellisen kosteuden mittausta. Mittaukset suoritetaan yleensä yhdessä mittausjaksossa, jos vaurio on yksiselitteinen ja vaurio voidaan rajata tiettyyn tai tiettyihin rakenteisiin. Mittausten ajankohta ja kesto vaikuttavat oleellisesti mittaus tulosten luotettavuuteen.

Mittauksen suorittamiseen liittyy myös höyrynsulun kunnan toteaminen rakennearvauksen yhteydessä, yläpohjan tuuletuksen toimivuuden arviointi sekä tarvittaessa ilmavuotokohtien toteaminen lämpökameran avulla. Mittaamalla rakenteiden paine-eroja rakenteiden yli pystytään arvioimaan myös rakenteiden virtaus-tekniä käyttäytymistä ja päätellä kosteuskonvektion esiintymistä (esim. jos höyrynsulussa on puutteita tai höyrynsulkua ei ole). (Ympäristöministeriö 1998, 21)

1. Vesikaton riskiarvion pohjalta valitaan paikat, joissa todennäköisimmin oletetaan olevan kohonneita kosteusarvoja. Lisäksi käytetään rakennuksen käyttäjien tietoja kosteusvaurioihin viittaavista ongelmista.
2. Vedeneristeen läpi porataan noin 5 – 10 mm:n reikä riippuen mittapään paksuudesta. Rakenteen lyhytkestoisessa suhteellisen kosteuden mittauksessa käytetään yleisimmin Vaisala Oyj:n valmistamaa HMP42-kosteus- ja lämpötilamittapäätä, jonka halkaisija on 4 mm.

3. Porattu reikä puhdistetaan puhaltamalla tai pienellä suuttimella imuroimalla. Poratun reiän ympäristö on kuitenkin puhdistettava pölystä tiivistyksessä käytetyn kitin tai teipin kiinnityksen varmistamiseksi.
4. Reikään asennetaan Vaisala HMP42 kosteus- ja lämpötilamittapää.
5. Pintarakenteen ja mittapään rajapinta on tiivistettävä kitillä tai teipillä vesihöyrytiiviksi.
6. Mittapään lämpötilan on annettava tasoittua vallitseviin olosuhteisiin vähintään 15 minuutin ajan ennen näyttölaitteen päälle kytkemistä.
7. Suhteellinen kosteus (RH), lämpötila (T) ja absoluuttinen kosteus (Abs.) luetaan Vaisala Oyj:n HMI41 -mittalaitteen näyttölaitteelta ja lukemat kirjataan valokuvineen.
8. Kermikatoissa vedeneriste on korjattava K-MS 170/4000 pohjakermillä ja K-PS 170/5000 hitsattavalla pintakermillä, jonka pinta-ala tulee vähintään olla 1 m²:n kokoinen.

7.2 Mittausraportin laadinta

Vesikaton kuntotutkimuksen (liite 1) yhteydessä suoritettavan kosteusmittauksen tulokset ovat kirjattava erilliseen mittausraporttiin (liite 2). Mittausraportti laaditaan kohteessa kirjattujen tulosten perusteella heti kuntotutkimusraportin yhteydessä. Mittausraportin tavoitteena on kosteusvaurion syyn ja laajuuden selvittäminen sekä vaihtoehtoisten korjaustapojen esittäminen. Tilaajalta tulee tiedustella lähtötietoja varten piirustuksia (esim. vesikatto-, leikkaus- ja pohjakuva), kysyä mahdollisuuksien mukaan käyttäjien tiedot kosteusvaurioihin viittaavista ongelmista.

1. Yleistiedot. Raporttiin kirjataan mittauspäivämäärä ja kohteen yleistiedot (kohde, kohteen osoite, tilaaja, tilaajan yhteystiedot, toimittaja sekä raportin laatijan tiedot).
2. Yläpohjarakenne. Mittausraporttiin liitetään yläpohjarakenteen leikkauskuva materiaalimerkintöineen ja rakennepaksuuksineen sekä yleiskuva mahdollisesta vaurioalueesta ja tarvittaessa valokuvia rakenneavauksista kuvateksteineen.
3. Käytetty kosteudenmittausmenetelmä (Kuntotutkimuksen yhteydessä suoritettavat kosteusmittaukset suoritetaan yleensä lyhytaikaisena suhteellisen kosteuden mittauksena). Käytetyistä mittalaitteista tulee merkitä laitetyyppi, merkki/malli, anturityyppi, kalibrointipäivämäärä ja kokonaismittaus-tarkkuus. Lisäksi tulee antaa lyhyt selvitys mittausmenetelmästä, mittarin käytöstä, mittausreikien puhdistamisesta ja tiivistämisestä sekä mittauksen suorittamisesta.
4. Mittauskohtien määrittely. Pohjakuvaan tulee olla merkittynä mittauskohdat, joissa täytyy myös olla mainittuna myös kosteuden mittaussyvyys. Mittausten aikana tulee kirjata ulkoilman lämpötila, suhteellinen kosteus sekä kosteussisältö (g/m^3). Suhteellista kosteutta mitattaessa kirjataan myös rakenteen lämpötila, suhteellinen kosteus ja absoluuttinen kosteus (g/m^3). Mittausraporttiin tulee myös mainita, jos kartoituksessa on aistinvaraisesti havaittu home- ja lahovaurioita.
5. Tulosten tarkastelussa selvitetään rakenteen mahdollisesti kohonneen kosteuden syyt, muut päätelmät ja mittautulosten analysointi. Mittautulosten analysointi voi tapahtua esimerkiksi referenssin avulla eli mikä on oletettava normaali kosteustaso (absoluuttinen kosteus) mittausajankohtana kyseisessä rakenteessa. Mittausraportissa arvioidaan myös, onko mitattu kosteustila rakenteessa normaali, koholla vai märkä. Mikäli rakenteen kosteustila on koholla tai märkä, arvioidaan miksi ja miten laajalti. Jos mitatun

rakenteen mittaustulokset osoittavat, että rakenteen kosteustila on koholla tai märkä, arvioidaan kohonneesta kosteudesta aiheutuvat vaurioriskit ja esitetään mahdolliset jatkotoimenpide-ehdotukset.

Tutkimus- ja mittaustuloksessa selvitetään kosteusvaurion syy, laajuus sekä rakenteiden purku kuivatus ja korjaustavat (Ympäristöministeriö 1998, 16)

7.3 Mittaustulosten tulkinta

Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Korkeammista ulkolämpötiloista johtuen on kesällä vesihöyryn määrä (g/m^3) suurempi kuin talvella, kun taas suhteellinen kosteus talviaikana on noin 80 – 90 % ja kesäaikana noin 60 - 80 %. Vuodenajat vaikuttavat merkittävästi mittaustuloksiin, joten vuodenajan vaikutukset eri rakenteisiin on tunnettava, jotta mittaustuloksia osataan analysoida oikein. Mittaustulosten arvioinnin tulee perustua kohteesta mitattujen kosteuspitoisuuksien sekä näiden referenssien kosteussisällön vertailun avulla esimerkiksi taulukon 7 mukaan kuukauden keskimääräiseen ilman kosteussisältöön verrattuna. Mittaushetkeä edeltäneen ajan olosuhteet huomioidaan siten, että nämä edustavat mahdollisimman hyvin koko rakenteen kosteustilaa. Tällöin voidaan mittaustulosten perusteella tehdä johtopäätöksiä rakenteen mahdollisista kosteusvaurioista.

Lyhytkestoisen suhteellisen kosteuden mittaukset ovat ainoastaan suuntaa-antavia lyhyestä tasaantumisajasta johtuen, vaikkakin tulokset ovat yleensä keskenään vertailukelpoisia. Jos rakenteen absoluuttinen kosteus on ulkoilman kosteuspitoisuutta selvästi suurempi, on arvioita, mistä rakenteen korkeampi kosteuspitoisuus johtuu. On kuitenkin otettava huomioon rakenteiden riittävät tasaantumisajat. Kohonneiden kosteuspitoisuuksien vaikutukset eri rakenteissa on tunnettava, jotta pystytään luotettavasti arvioimaan rakenteen toimivuutta.

Useimmat rakennekosteuden mittarit ilmoittavat suoraan mitattavan rakenteen absoluuttisen kosteuden, mutta absoluuttinen kosteus voidaan myös laskea seuraavalla kaavalla tai käyttäen apuna Vaisala Oyj:n kosteyslaskuria.

$$V = \frac{RH}{100} \times V_k, \text{ jossa} \quad (17)$$

RH = suhteellinen kosteus

V_k = Kyllästyskosteus

Vaisala Oyj:n kosteyslaskuri:

http://www.vaisala.com/humiditycalculator/vaisala_humidity_calculator.html?lang=en

Taulukko 7. Ulkoilmätietoja paikkakunnittain (Björkholtz 1997, 48).

	kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Helsinki	t (°C)	-6,1	-6,6	-3,5	2,6	8,9	14,0	17,2	16,0	11,1	5,4	1,0	-2,6
	RH (%)	88	87	82	76	66	64	71	78	84	86	89	89
	p (Pa)	331	314	382	563	757	1025	1394	1420	1115	777	586	446
	v (g/m ³)	2,69	2,55	3,07	4,42	5,82	7,74	10,41	10,65	8,51	6,04	4,64	3,57
Turku	t (°C)	-6,0	-6,6	-3,6	2,2	8,7	13,9	17,1	15,7	10,6	5,2	0,9	-2,7
	RH (%)	89	88	82	76	67	65	71	77	84	87	90	90
	p (Pa)	337	317	379	546	758	1035	1386	1375	1079	775	588	447
	v (g/m ³)	2,74	2,58	3,05	4,30	5,83	7,82	10,35	10,33	8,25	6,03	4,66	3,58
Jyväskylä	t (°C)	-8,8	-8,7	-4,8	2,0	8,7	13,9	16,9	15,0	9,8	3,8	-0,8	-5,0
	RH (%)	89	87	81	75	68	65	72	80	86	88	91	90
	p (Pa)	265	261	339	531	769	1035	1388	1366	1047	710	523	371
	v (g/m ³)	2,17	2,14	2,74	4,19	5,92	7,82	10,37	10,29	8,03	5,56	4,17	3,00
Vaasa	t (°C)	-6,7	-6,9	-4,2	1,5	7,6	13,0	16,5	15,0	10,1	4,4	-0,1	-3,3
	RH (%)	80	87	83	78	69	67	72	79	84	87	89	89
	p (Pa)	282	305	365	533	725	1006	1353	1349	1044	733	540	422
	v (g/m ³)	2,33	2,49	2,94	4,29	5,60	7,62	10,13	10,16	7,99	5,72	4,29	4,69
Kajaani	t (°C)	-10,6	-10,6	-6,7	0,4	6,9	13,0	16,1	14,0	8,3	2,1	-2,6	-7,0
	RH (%)	86	85	81	75	67	66	69	78	84	87	90	88
	p (Pa)	216	214	286	472	671	991	1264	1250	925	621	451	306
	v (g/m ³)	1,79	1,77	2,36	3,75	5,19	7,51	9,48	9,44	7,13	4,89	3,61	2,50
Sodankylä	t (°C)	-13,5	-13,5	-8,9	-2,2	4,8	11,3	14,7	12,0	6,2	-0,5	-5,8	-9,8
	RH (%)	85	83	80	73	67	65	69	78	84	88	89	89
	p (Pa)	162	158	236	377	580	874	1157	1098	802	518	343	241
	v (g/m ³)	1,36	1,32	1,94	3,01	4,52	6,67	8,72	8,35	6,22	4,12	2,79	1,99

Eri lämmöneristeillä kuten kevytsoralla, jolla on hyvä kosteudenkestävyys, saataan hyvinkin mitata hieman kohonneita kosteusarvoja vuodenaajoista tai rakennusaikaisista kosteuksista riippuen. On huomioitava kuitenkin, että tunnetaan kosteuden aiheuttaja. Kevytsoralla eristetyt yläpohjarakenteet tuuletetaan tavallisimmin tuulen aiheuttamalla paine-eroilla. Oikein toteutettuna ilman vaihtuvuus kevytsorarakenteissa on hyvä. Materiaalin hyvien ominaisuuksien sekä oikein toteutetun tuuletuksen ansiosta hetkellisesti kohonneiden kosteusarvojen vaikutukset ovat pienet. Diffuusinen kosteus voidaan yläpohjasta poistaa tuulettamalla, mutta

ilmavuotojen kuljettamaa kosteutta ei voida kokonaan tuuletuksella poistaa. Rakennusaikaisen kosteuden poistuminen pystytään laskemaan kevytsoravalmistajan suunnitteluohjeista löytyvien taulukoiden ja kaavojen avulla.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) on tehnyt yläpohjarakenteiden lisäeristämistä ja kuivatuksesta tutkimuksen, jossa on vertailtu urittamattoman ja uritetun mineraalivillaeristettyjen yläpohjien kuivumista. VTT:n koetalon katon molemmille lappeille oli asennettu etukäteen kastellut eristyslevyt, joiden kosteuspi-toisuuksia oli seurattu mittaamalla rakenteiden kosteusarvoja. Yläpohjarakentee- seen oli asennettu alipainetuulettimia jokaista noin 35 katoneliometriä kohden ja lämmöneristeiden urat olivat yhdistettyinä toisiinsa katon harjalla olevan kokoo- jakanavan kautta. Koerakenteen lämmöneristyskerros oli ollut räystäältä yhtey- dessä ulkoilmaan. Vesikaton vedenpoisto oli ulkopuolinen ja kattokaltevuus 1 : 60.

Koetalon yläpohjan rakenne yläpinnasta lukien oli seuraava:

bitumikermi x 2

kova mineraalivilla 20 mm (220 kg/m³)

kova mineraalivilla 80 mm (110 kg/m³) urat yläpinnassa 20 x 50 mm, k = 200 mm

kova mineraalivilla 40 – 120 mm (kallistus, 110 kg/m³)

bitumikermi

ontelolaatta

Taulukko 8. Koetalon kosteuspitoisuudet ovat tarkastelujakson aikana mitattu painoprosentteina kuivapainosta (Nieminen 1988, 43).

KOSTEUSPITOISUUDET MITTAUSKOHDISSA					
		Uritettu rakenne		Urittamaton rakenne	
		Lape 1	Lape 2	Lape 1	Lape 2
6.5.	1	0,3	0,3	4,6	6,1
(ennen kostutusta)	2	0,4	0,4	0,4	0,6
	3	0,4	0,4	0,6	0,6
	4	0,4	0,5	0,5	0,6
	5	0,3	0,4	0,4	0,5
6.5.	1	0,3	0,3	4,6	6,1
(kostutus)	2	220,0	175,0	0,4	0,6
	3	220,0	175,0	0,6	0,6
	4	0,4	0,5	60,0	125,0
	5	0,3	0,4	60,0	125,0
20.8.	1	0,5	1,5	1,1	1,3
	2	0,7	0,7	0,7	0,7
	3	0,6	0,7	1,2	1,7
	4	0,5	0,5	27,0	24,2
	5	0,5	0,5	109,3	179,1

Mitattujen tulosten perusteella uritettu rakenne oli kuivunut tasapainokosteuteen tarkastelujakson 6.5 – 20.9 välisenä aikana. Urittamattomassa rakenteessa kuivumista ei kuitenkaan ollut tapahtunut.

On kuitenkin otettava huomioon, että VTT:n suorittamissa testituloksissa koekattoon oli asennettu alipainetuulettimia jokaista 35 katoneliometriä kohden, kun RIL 107-2000 rakennusten veden- kosteudeneristysohjeet suosittelevat alipainetuulettimien asennusta kokoojakanaviin vähintään 10 m välein. Tällöin alipainetuulettimen tuuletettava pinta-ala jää yleensä huomattavasti suuremmaksi kuin VTT:n vertailukohteen.

Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen ehtoina ovat ulko-olosuhteet, kuten lämpötila, suhteellinen kosteus, tuuli ja auringon säteily. Uritetun yläpohjarakenteen kuivuminen perustuu urissa virtaavan ilman vesihöyrynpitoisuudessa olevaan kyllästysvajaukseen. Ilman lämpeneminen urassa lisää ilman kykyä kuljettaa kos-

teutta rakenteesta, näin ollen kuivumisen kannalta oleellisinta aikaa ovat kevät ja kesä. Kesällä auringon säteilyn vaikutuksesta rakenteeseen syntyy ylipaine ilman tilavuuden kasvaessa lämpötilan nousun myötä, jolloin kosteaa ilmaa virtaa ulos rakenteesta. Lämpötilan laskiessa syntyy rakenteeseen alipaine, jolloin kuivempaa korvausilmaa virtaa rakenteeseen. Vaikutus on suurinta silloin, kun katteen pinta-lämpötilojen päivittäinen vaihtelu on suurimmillaan.

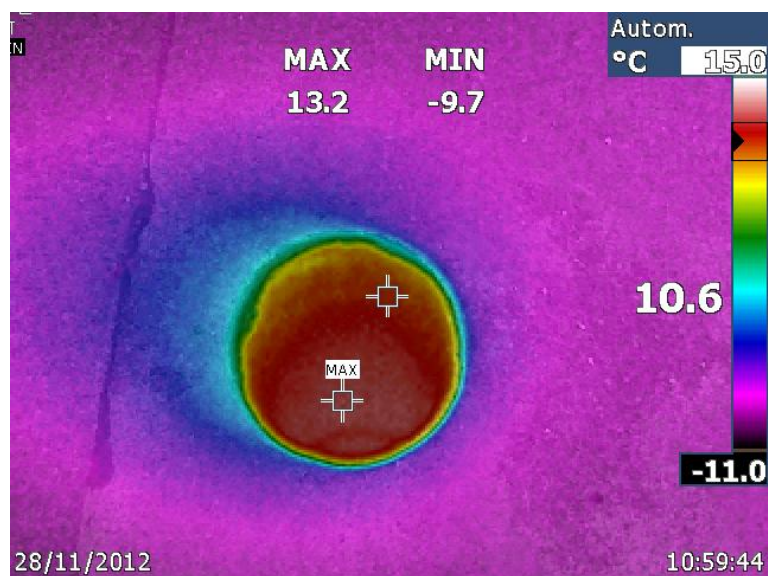
Arvioitaessa rakenteiden koholla olevia kosteuspitoisuuksia on osattava huomioida tuuletuksen merkitystä sekä tunnistettava kosteuteen liittyvät mahdolliset riskit eli kosteus ei aiheuta katon toiminnan kannalta ongelmia. Urien kautta tapahtuvan tuuletuksen kuivumisen edellytyksenä on, että urat ovat yhtenäisiä, joten tämä on erityisesti otettava huomioon arvioitaessa rakenteen kuivumista. Yläpohjarakenteiden tuuletuksen ilmavirran nopeutta voidaan tarvittaessa mitata savukokeiden avulla.

Paikallisesti kastuneiden lämmöneristeiden tuulettumismahdollisuuksia voidaan tarvittaessa parantaa asentamalla alipainetuulettimiin imureita ilmavirtauksien parantamiseksi, kuivauksen teho riippuu rakenteen korvausilman liikereiteistä. Tuuletuksen tehostaminen tulee kuitenkin olla aina harkinnanvaraista, sillä tuuletuksen tehostaminen saattaa aiheuttaa ilmavuotoja, jolloin yläpohjarakenteisiin saattaa tiivistyä kosteutta. Tuuletuksen parantaminen ei korvaa rakenteen huonoa ilmatiiveyttä. (Nieminen 1987, 42-45, 64; RIL 2000, 54)

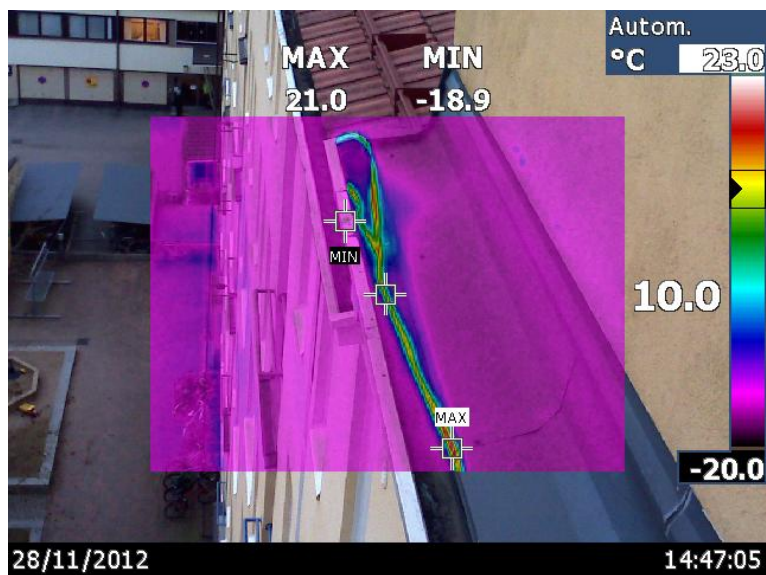
7.4 Lämpökameran käyttö kuntotutkimuksen apuvälineenä

Lämpökameraa käytetään tyypillisesti yläpohjan sisäpuolisten ilmavuotojen paikantamiseen, mutta tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, antaako lämpökameran käyttö lisäarvoa Icopal Katto Oy:ssä suoritettujen kuntotutkimusten suorittamiseen kuvattaessa rakenteita kylmältä puolelta. Lämpökameran käyttäjän tulee kuvattaessa rakenteiden kylmältä puolelta erityisesti tunnistaa lämpökamerakuvausten onnistumisen edellytykset.

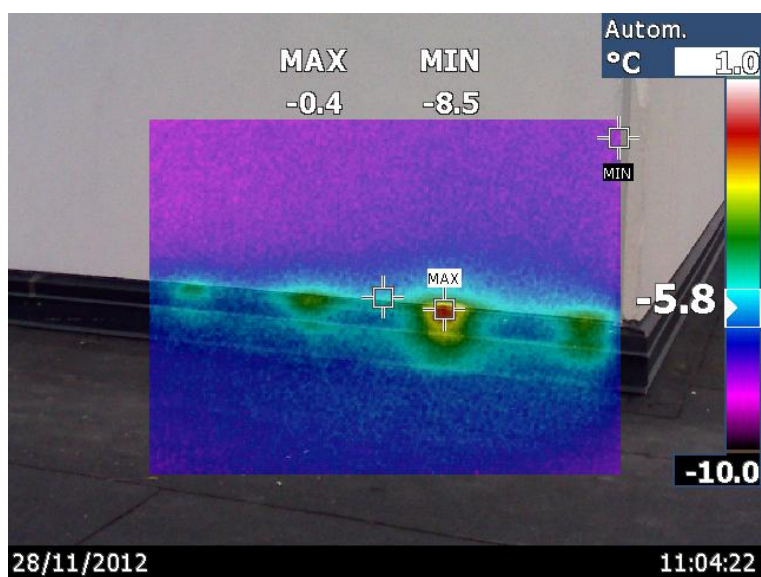
Tutkimuksen yhteydessä lämpökamerakuvauksia on suoritettu erilaisiin kohteisiin, mutta yhteneväistä on kuitenkin ollut se, että rakenteita on kuvattu aina kylmältä puolelta.



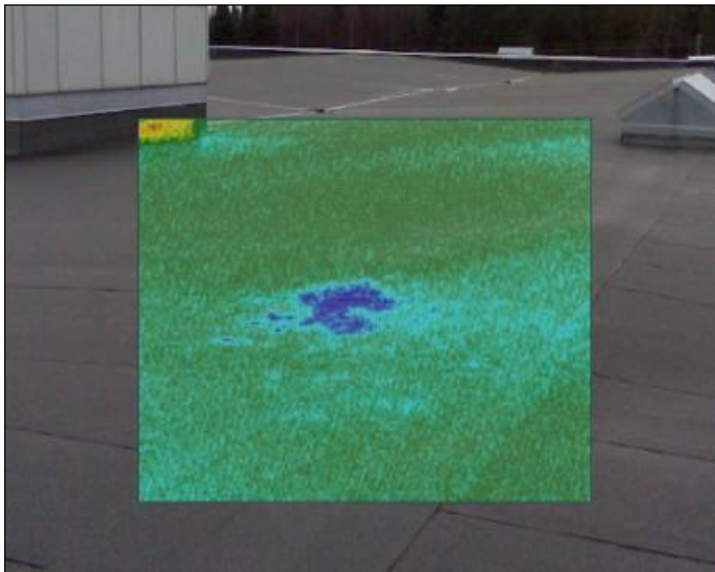
Kuva 12. Sadevesikaivon lämpövastuksen toimivuus pystytään helposti toteamaan lämpökameran avulla. Itsesäätyvillä lämmitysvastuksilla varmistetaan kattokaivon pysyminen sulana talviolosuhteissa.



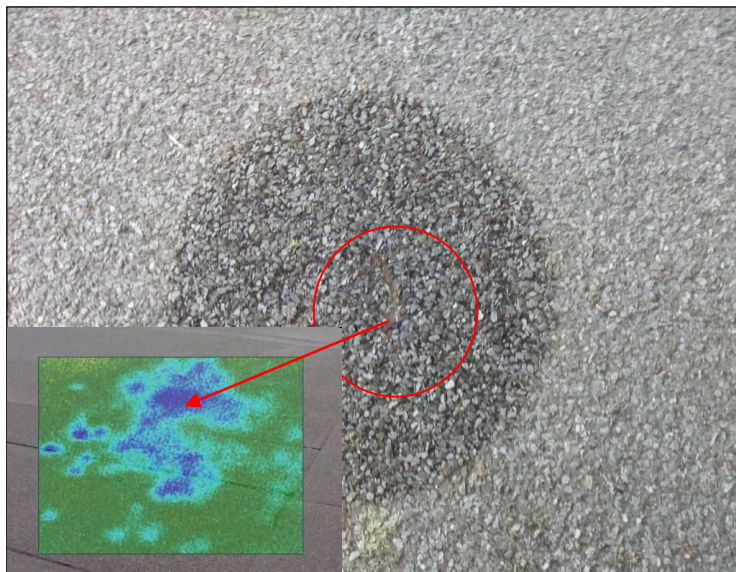
Kuva 13. Saattolämmityskaapeleiden toiminta pystytään helposti tarkastamaan lämpökameran avulla.



Kuva 14. Lämpökameralla havaitut elementin tuuletusurat. Pellitykset on asennettu tiiviisti toisiaan vasten, mikä estää yläpohjan toimivan tuuletuksen.



Kuva 15. Lämpökameralla havaittu poikkeama vesikaton mineraalivillaeristeessä.



Kuva 16. Lähempi tarkastelu osoitti, että vedeneristeessä oli todennäköisesti mekaanisesta iskusta aiheutunut reikä.



Kuva 17. Lämpökameran osoittama reikä vedeneristeessä. Lämpökamera havaitsi vesikatolla poikkeamat mineraalivillaeristeessä, jotka olivat osittain kastuneet mekaanisista iskuista aiheutuneista rei'istä johtuen.

Lämpökameralla pystytään vaivattomasti toteamaan kaivojen vastusten ja saattolämmityskaapeleiden toimivuus. Tällöin on kuitenkin huolehdittava siitä, että vastukset ovat päällä kuvausta suoritettaessa. Lisäksi lämpökameralla on mahdollista havaita tasakattorakenteiden lämmöneristeiden lämpötilapoikkeamat, mutta kuitenkin ainoastaan hyvin rajoitetuissa olosuhteissa. Kuvaukset tulisi suorittaa riittävältä kuvausetäisyydeltä, jotta pystytään luotettavimmin havaitsemaan mahdolliset vesivuodot tai eristeviat. Kuvauskulman tulee olla alle 30°, jotta taustan tekijöistä aiheutuva heijastus ei muuta mittauksetulosta. Kuvaukset tulee suorittaa iltayön tunteina lämpimän päivän tai aamulla kylmän yön jälkeen, jolloin kosteat alueet erottuvat ympäristöstään lämpimämpinä tai kylmempinä alueina. Lisäksi tarkasteltavan pinnan tulee olla kuiva, lumeton ja jäätön. Lämpökamerakuvaus ei sovellu myöskään singelipintaisen yläpohjarakenteen tutkimiseen. Tuuletuksen tarkastelussa on mahdollista havaita puutteet, jotka lämpökameralla erottuvat lämpimämpinä alueina kuten kuvassa 14 on esitetty.

Tutkimuksen yhteydessä kuvauskohteena oli myös kohde, joiden kahden bitumikermin väliin oli jäänyt vettä. Tätä ei lämpökameralla onnistuttu havaitsemaan, mutta kuvausolosuhteet eivät kuvaushetkellä olleet lämpökamerakuvaukselle otolliset. Oikeanlaisissa olosuhteissa kermien välissä ollut vesi olisi todennäköisesti näkynyt ympäristöään kylmempänä.

8 YHTEENVETO

Vaikka vedeneristysmateriaalit ovat viime vuosikymmenten aikana kehittyneet, silti yläpohjarakenteiden ja katon alapuolisten tilojen vuotoja esiintyy. Urakoiden ketjutus, projektien tiukat aikataulut, valvonnan haastavuus sekä käytön aikaiset huoltotoimenpiteiden laiminlyönnit aiheuttavat vesivuotoja yläpohjissa sekä alapuolisissa tiloissa. Yleisimmin vesivuotoja aiheuttavat läpivientien ja liitosten vuodot sekä liian matalat vedeneristeiden nostot, mutta yläpohjarakenteiden kosteustarkastelussa on ymmärrettävä myös diffuusion merkitys sekä konvektion vaikutukset rakenteisiin.

Mittalaitteet ovat teknisesti kehittyneet siten, että näyttölaitteet sekä mittapäät ovat entistä pienempiä, tarkempia ja luotettavampia. Mittausmenetelmän tulee olla sellainen, että mitattujen tulosten perusteella voidaan päätellä vauriomekanismi ja vaurion laajuus. Tämän vuoksi ja mittaustulosten luotettavuuden varmistamiseksi käytetään suljettujen yläpohjien lämmöneristyskerroksen kosteuspitoisuuksien mittaamisessa yleensä ainetta rikkovia menetelmiä.

Kosteusmittausten suoritus ja erityisesti mittaustulosten analysointi vaatii erityistä ammattitaitoa ja tietoa rakenteiden kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Kosteusmittausten tavoitteena on kosteusvaurion syyn ja laajuuden selvittäminen ja näiden pohjalta laaditaan mittausraportti. Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena olikin laatia Icopal Katto Oy:n käyttöön ohjeet kosteusmittausten oikeaoppisesta suorittamisesta sekä laatia malli kosteusmittausraportista ja antaa ohjeet näiden laatimiseen.

Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan, joten vuodenajan vaikutukset eri rakenteisiin on tunnettava, jotta mittaustuloksia osataan analysoida oikein. Tulkittaessa rakenteen kosteuspitoisuustuloksia tulee ottaa huomioon mittaushetken olosuhteet ja mahdollisuuksien mukaan mittaushetkeä edeltäneen ajan olosuhteet siten, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin koko rakenteen kosteustilaa. Tällöin voidaan mittaustulosten perusteella tehdä johtopäätöksiä raken-

teen mahdollisista kosteusvaurioista. Jos rakenteen absoluuttinen kosteus on ulkoilman kosteuspitoisuutta selvästi suurempi, on arvioita, mistä rakenteen korkeampi kosteuspitoisuus johtuu.

Rakenteiden kosteusteknisessä arvioinnissa on oleellista tietää kastuneiden lämmöneristeiden riskitekijöistä sekä niiden kuivatuksesta. VTT:n tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella urittamattomaan rakenteeseen asennetut alipainetuuletinimet eivät ole riittävä rakenteen kuivaustapa, sillä kuivumisaika voi pahimmassa tapauksessa olla jopa vuosikymmeniä, kun taas mineraalivillakerroksen tuuletusurien kautta voidaan rakenteen kuivuminen varmistaa jo suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä. Joissain tapauksissa on mahdollista asentaa alipainetuulettimiin imureita ilmavirtauksien parantamiseksi. Tämän tulee olla kuitenkin harkittua, sillä tuuletuksen parantaminen ei korvaa rakenteen huonoa ilmatiiveyttä.

Lämpökameraa käytetään nykyisin aikaisempaa yleisemmin rakennusten kuvauksessa. Työssä tutkittiin millainen työkalu lämpökamera on kuvattaessa yläpohjarakenteita kylmältä puolelta. Lämpökameralla voidaan vaivattomasti todeta sadevesikaivojen vastusten ja saattolämmityskaapeleiden toiminta, mutta yläpohjien kosteustarkastelussa lämpökameran käyttö on hyvin rajoitettua. Lämpökameralla on lisäksi mahdollista havaita puutteita yläpohjarakenteiden tuuletuksessa, mikäli olosuhteet ja kuvausetäisyys ovat riittävät.

Viimeaikoina on paljon keskusteltu rakennusten kosteus- ja homevaurioista sekä näiden syistä ja vaikutuksista. Opinnäytetyön jatkotutkimus voisi perustua rakenteiden ja rakennusmateriaalien kosteus- ja homevaurioiden vaikutuksiin sekä mikrobien kasvuedellytyksiin ja kosteusvaatimuksiin.

LÄHTEET

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka. Helsinki. Rakennustieto.
- Doser messtechnik AD4A operating instructions 2009
- Kattoliitto 2007. Toimivat katot 2007. Helsinki. Kattoliitto ry.
- Kerabit. Suunnittelu ja asennusohjeet. Viitattu 19.1.2013.
<http://www.kerabit.fi/suunnittelu-ja-asennusohjeet/suunnitteluohjeet/jyrkat-katot/yleiset-ohjeet/rakenteiden-periaateratkaisut>
- Kyyrönen, K. 2001. Talonrakennus 2. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Leivo, V. 1998. Opas kosteusongelmiin: rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Nieminen J. 1987. Mineraalivillaeristeisten tasakattojen toimivuus ja korjausmenetelmät. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Nieminen J. 1988. Yläpohjarakenteiden lisäeristäminen ja kuivatus. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Paloniitty S., Kauppinen T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.
- Rakennustieto. RT 37871 2010. Viitattu 16.9.2012.
<http://www.rakennustieto.fi/Downloads/Tarviketieto/pdf/37871.pdf>
- Saint-Gobain Weber Oy 2010. Leca –kevytsorakatot, suunnitteluohjeet. Viitattu 15.9.2012.
<http://shop.e-weber.fi/kronodocs/22702.pdf>
- Salmi, T. 1996. Home- ja kosteusongelmat rakennuksessa: mukana esimerkkita-pauksia. Helsinki. Kiinteistöalan kustannus.
- Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovellukset. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- Sisäilmayhdistys. Materiaalien ominaisuudet. Viitattu 23.2.2012.
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/materiaalien_ominaisuudet/
- Sisäilmayhdistys ry. 2008. Kosteusmittaukset. Viitattu 3.4.2012.
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/kosteusmittaukset/

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto Ril r.y. 2000. Rakennusten veden- ja kosteuden eristysohjeet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

ThermiSol Oy. RT 38175 2012. Viitattu 16.9.2012.
<http://issuu.com/thermisol/docs/thermisol-tuotteet-rt-2012?mode=window&viewMode=doublePage>

Työterveyslaitos 2010. Eristevillat. Viitattu 16.9.2012.
http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/eristevillat/Sivut/default.aspx

Ympäristöministeriö 1998. Homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. 2. tarkistettu painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Ympäristöministeriö 1998. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennusten korjaus. 2. tarkistettu painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Ympäristöministeriö 1999. RakMK C2 opas, Kosteus rakentamisessa. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Ympäristöministeriö 2002 RakMK C4 opas, Lämmöneristys.