

Joel Laakso

Kosteusrasitusolojen riskien selvittäminen vaativissa kohteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

17.5.2013

Alkulause

Tämän insinööriyön tekeminen on ollut opettavainen kokemus, jonka myötä mielenkiintoni kosteusongelmiin ja niiden tutkimiseen on kasvanut paljon. Haluan kiittää case-organisaatiota ja ohjaajaa mahdollisuudesta valita työn mittauksiin itseäni kiinnostanut kohde. Lisäksi haluan kiittää Metropolia ammattikorkeakoulun lehtori Jorma Säteriä työn ohjauksesta ja arvokkaista neuvoista. Erityiskiitokset tuesta ja tsemppauksesta kavereille sekä Noralle.

Helsingissä 17.5.2013

Joel Laakso

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joel Laakso Kosteusrasitusolojen riskien selvittäminen vaativissa kohteissa 47 sivua 17.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaaja	lehtori Jorma Säteri
<p>Insinöörityössä oli tavoitteena kuvata kosteusrasitusoloja, joita korkea sisäilman suhteellinen kosteus sekä rakennuksen painesuhteet muodostavat. Työn tarkoituksena oli esittää menetelmät rasitusolojen selvittämiseksi sekä niiden avulla tutkittavien riskien arvioimiseksi.</p> <p>Kosteusrasitusolojen riskeinä työssä on tutkittu kondenssia rakenteiden sisäpinnoille, ylipaineen muodostamaa kosteuskuormaa ulkorakenteisiin sekä kosteus- ja homevaurion syntymahdollisuutta. Kondenssin selvittämiseksi on esitetty menetelmä kastepistelämpötilan sekä pintalämpötilojen mittaamiseen. Painesuhteiden selvittämiseksi on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan mittausmenetelmä. Kosteus- ja homevaurioitumisen osalta on kuvattu syntyyn yleisesti vaikuttavia tekijöitä, joista sisäilman suhteellista kosteutta on käytetty riskin arvioimiseksi.</p> <p>Tavoitteiden asettelu tehtiin yhteistyössä tilaajayrityksen kanssa, jonka kosteusrasitusoloita vaativan rakennuksen tutkiminen on toiminut työn case-projektina. Lopputuloksena syntyi case-kohteessa hyödynnettäviä mittaustuloksia sekä toimintamalli kohteisiin, joissa on vastaavanlaiset vaativat olosuhteet. Insinöörityön soveltuvuuden lisäämiseksi esitettäväksi muodostui yleisohjeeksi laadittu yksityiskohtainen kuvaus mittaus- ja tutkimismenetelmistä.</p> <p>Menetelmien kuvausten lisäksi, työhön on kerätty yleistä tietoa onnistuneen kokonaisuuden toteuttamiseen, niin tilaajan, kuin tutkijankin näkökulmasta. Insinöörityön lähestymistapana on esitetty case-projektin aikana kohdattuja ongelmia, niiden huomioimista sekä keinoja välttää tutkimuksen aikaisia riskejä.</p>	
Avainsanat	kosteusrasitus, sisäilman olosuhteet, kondenssi, ilmanvaihdon toiminta, painesuhteet, kosteus- ja homevaurioriski

Author Title	Joel Laakso Examining risks of moisture stress in challenging buildings
Number of Pages Date	47 pages 17 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor	Jorma Säteri, Senior Lecturer
<p>The goal of this final year project was to determinate risks that are present in a building with both high indoor relative humidity and positive or negative pressure ventilation. The project aimed to accurately describe the methods that can be used to find out the risks caused by moisture stress. The Bachelor's thesis is mainly aimed at buildings with challenging indoor climate.</p> <p>The purpose of this project can be divided in three parts. One was to determinate the possibility of condensation, second was to find out the performance of the ventilation system. Finally, the results were to be combined and the risk of structural moist damage examined.</p> <p>The examining methods to determinate the risks were presented in detail. The methods included the measuring of both relative humidity, temperatures, and airflow. The project included all the steps from the planning to the final calculations and analysis of the results.</p> <p>This thesis offers basic information about moisture and its effects in buildings, and can be used as a manual for moisture investigation. The thesis also presents practical information about the process to both the client and the investigator.</p>	
Keywords	relative humidity, ventilation, condensation, moist damage, measuring methods

Sisällys

Alkulause

1	Johdanto	1
2	Kosteustekninen kuntotutkimus	2
2.1	Työn määritelmät	3
2.2	Käyttötarkoitus	3
2.3	Kosteusriskiluokan arviointi	4
2.4	Toimintatapaohjeen valinta	4
2.5	Mittausten lähtökohdat	6
3	Kosteustekninen toiminta rakennuksessa	7
3.1	Sisäilman perusteet	7
3.2	Kosteuden perusteet	9
3.3	Rakenteet ja materiaalit	13
3.4	Kosteusvaurioituminen	15
4	Riski- ja ongelmakohtien kartoitus	16
4.1	Lähtötietojen keräys	16
4.2	Aistiperäiset tutkimukset	17
4.3	Case-kohteen lähtötiedot	18
5	Kosteuden tiivistymisen mittaus	19
5.1	Mittausmenettelyiden valinnat	19
5.2	Tulokset ja analysointi	23
5.3	Riskiarviointi kriittisen kosteuden avulla	27
6	Ilmanvaihdon toiminnan mittaus	28
6.1	Mittausmenettelyiden valinnat	28
6.2	Toteutus ja tulokset	33
6.3	Arvioitavat ilmiöt	35
7	Case-kohteen tulokset	38
8	Yhteenveto	46
	Lähteet	48

1 Johdanto

Tämän insinööriyön pääsääntöisenä tavoitteena on esittää mittausten menetelmät sisäilman olosuhteista, rakenteen lämpötiloista sekä ilmanvaihdon toiminnasta. Tarkoituksena on selvittää kondensoitumisen mahdollisuutta, sekä arvioida kosteusrasitusolosuhteiden aiheuttamaa riskiä kosteus- ja homevaurioitumisen syntyyn.

Työn toiminnallisena tavoitteena oli tuottaa case-kohdetta hyödyttäviä mittaustuloksia, sekä laatia toimintamalli case-projektin pohjalta. Tavoitteeksi asetettiin, mittausten menetelyiden kuvaamisen lisäksi, esittää perustietoa tilaajan ja tutkijan yhteistyön aikana tehdyistä toimenpiteistä ja huomioista.

Insinööriyö on laadittu toimintatapaohjeen muotoon soveltuvuuden ja käyttömahdollisuuksien lisäämiseksi. Työn case-kohteena on rakennus, jossa käyttötarkoitus edellyttää korkeaa sisäilman suhteellista kosteutta, ja siten tavanomaista suurempia kosteusrasitusoloja. Suomessa sisäilman kostutus on varsin harvinaista, joten rakenteet kasvavat harvoin ilmanvaihdon riittämättömyyden vuoksi. Kosteusriskiluokaltaan erittäin vaativissa kohteissa rasitusolot voivat kostuttaa rakenteen pinnan ja vaurioittaa sitä. [1, s. 84.]

Vaativat kosteusrasitusolot syntyvät tavallisesti sisäilman kostuttamisen lisäksi altaista tai muuten runsaasta vedenkäytöstä. Riskialttiita kohteita voivat olla esimerkiksi uimahallit, suurkeittiöt, pesulat tai yleisesti rakennukset, joissa runsas vedenmäärä aiheuttaa korkean sisäilman suhteellisen kosteuden. Kosteusriski voi olla suuri myös kohteissa, joissa sisäilmaa kostutetaan lämmityskauden aikana, esimerkiksi museot, kirjapainot tai musiikkitalot. Case-kohteessa on käytöstä aiheutuvia kosteuskuormia, joiden lisäksi tuloilmaa kostutetaan teknisesti tavoitetason saavuttamiseksi.

Tutkimukset on rajattu selvittämään sisäilman olosuhteita, pintalämpötiloja sekä ilmanvaihdon toimintaa, joiden avulla arvioidaan kondenssin mahdollisuutta, painesuhteita ja yhteisvaikutuksia riskien aiheuttajina.

2 Kosteustekninen kuntotutkimus

Käytönaikaiset kosteusongelmat

Kosteudenhallinnan ongelmina esiintyvät usein puutokset kokonaisuuden hallinnassa. Tavoitteet, suunnittelun ja toteutuksen toimenpiteet sekä ylläpidon toiminta eivät muodosta toimivaa kokonaisuutta. Tutkimuksia ja mittauksia teetätetään tavallisesti kosteusvaurion epäilyjen syntyessä tai ongelman oireiden ilmetessä. Valittavana olevien arvioiden, tutkimusten ja kartoitusten epäselvyys ja nimikkeistö voivat aiheuttaa ongelmia oikean tutkimusmenetelmän valinnassa. Vastuu tutkimustavan valinnasta, tulosten tulkinnasta ja yhdistämisestä rakennuksen kosteudenhallinnan kokonaisuuteen jää usein tilaajan vastuulle. [1, s. 9; 2.]

Kosteudenhallinnan ongelmia tarkastellaan usein kosteus- ja homeongelman synnyttämien haittojen kautta. Kosteusvaurioitumisen syntyyn pyritään vaikuttamaan ennaltaehkäisevästi esimerkiksi rakentamisaikaiseen suunnitteluun ja toteutukseen laadituilla ohjeilla sekä määräyksillä. Ennaltaehkäisy keskeinen tavoite on estää rakennuksissa kosteusvaurion edellyttämien olosuhteiden syntyminen.

Ainoa ratkaisu homeongelmaan on, että kosteusvauriota tai kosteuskertymää ei pääse rakennuksessa syntymään [1, s. 10].

Ikääntyvissä rakennuksissa kosteudenhallinnan onnistumiseen ei voida vaikuttaa rakentamisaikaisen suunnittelun tai toteutuksen avulla. Tämän vuoksi olisi tärkeää löytää ja kehittää menetelmiä ylläpidon ja käytön aikaiseen kosteudenhallintaan. Menetelmillä tulisi pyrkiä ongelmien syntysyiden löytämiseen ja hallintaan. Pelkkä oireiden paikantaminen ja korjaus eivät pääsääntöisesti johda ongelman ratkaisuun. Usein syy kosteusvaurioitumiseen on monen tekijän summa. [2, s. 35; 3, s. 128.]

2.1 Työn määritelmät

Rakennusten kosteusongelmia lähestytään nykyään monin eri menetelmin. Lähestymistapana voi olla esimerkiksi erilaiset kuntoarviot ja kuntotutkimukset tai kosteus- ja homevauriokartoitus. Tutkimisen tarkoitus ja näkökulma vaihtelevat yleensä rakennuksen, tekijän ja tavoitteiden mukaan. Tässä insinööriyössä lähestymistapana on kosteustekninen kuntotutkimus ja tarkoituksena toimintatapaohje rasisusolojen selvittämiseksi.

Yleisesti kosteusteknisen kuntotutkimuksen lähtökohdat vaihtelevat, ja ne voivat pohjautua esimerkiksi havaittuun kosteusongelmaan, yleiseen epäilyyn tai ennaltaehkäisyyn. Tässä insinööriyössä esitetyn kosteusteknisen kuntotutkimuksen lähtökohdat pohjautuvat rasisusolojen tuottaman riskin epäilyyn. [3, s. 83.]

2.2 Käyttötarkoitus

Toimintatapaohjeen käyttötarkoituksena on toimia rakennuksen käytön aikaisena kosteudenhallinnan työkaluna. Työ on tarkoitettu sekä ylläpidon että tutkijan tueksi. Ohje on suunnattu kohteisiin, joissa tavanomaista suuremman kosteusrasituksen takia

- epäillään kosteusrasitusolojen aiheuttavan ongelmia rakenteisiin
- halutaan tietää pääseekö kosteutta tiivistymään rakenteiden sisäpinnoille
- halutaan selvittää ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan taso ja riittävyys.

Tutkimisen ja mittaamisen osalta toimintatapaohjeen käyttö soveltuu

- lähtötietojen keräämiseen ja alustaviin tutkimuksiin
- ongelma- ja riskikohtien paikantamiseen
- mittausmenettelyiden valintaan ja toteutukseen
- tulosten tulkintaan ja arviointiin
- toimintaehdotusten laatimiseen.

2.3 Kosteusriskiluokan arviointi

Kosteusriskiluokalla kuvataan vaativuuden muodostamia riskejä. Kosteusriskiluokka voidaan arvioida rakennus-, tila- tai rakennekohtaisesti. Vaativuuden määrittäminen on esitetty kokonaisuudessaan Suomen rakennusinsinöörien liiton julkaisussa RIL 250–2011 liitteen 3 taulukossa. Julkaisusta on koottu taulukossa 1 esitettyjä määritelmiä.

Taulukko 1. Vaativuuden ja kosteusriskiluokan arviointi [1, s. 183–186].

Kohde	Ylläpidon kannalta suuri vaativuus ja kosteusriskiluokka
Rakennus	<p>Lämmitetyissä tiloissa suhteellinen kosteus > 45 % talvella (kostutus tai toiminnasta syntyvä kosteus).</p> <p>Rakennuksessa sisäpuolinen ylipaine.</p> <p>Esimerkkejä: Uimahallit, suurkeittiöt, pesulat, kirjapainot, paperitehtaat, musiikkitalot, museot.</p>
Tilat	<p>Lämmitetyssä tilassa suhteellinen kosteus > 45 % talvella.</p> <p>Tilat, joissa alhainen lämpötila ja kosteuskuorma vaihtelevat nopeasti.</p> <p>Tilat joiden lämmöntuotto ei tue rakenteiden kuivana pysymistä tai kuivumista.</p>

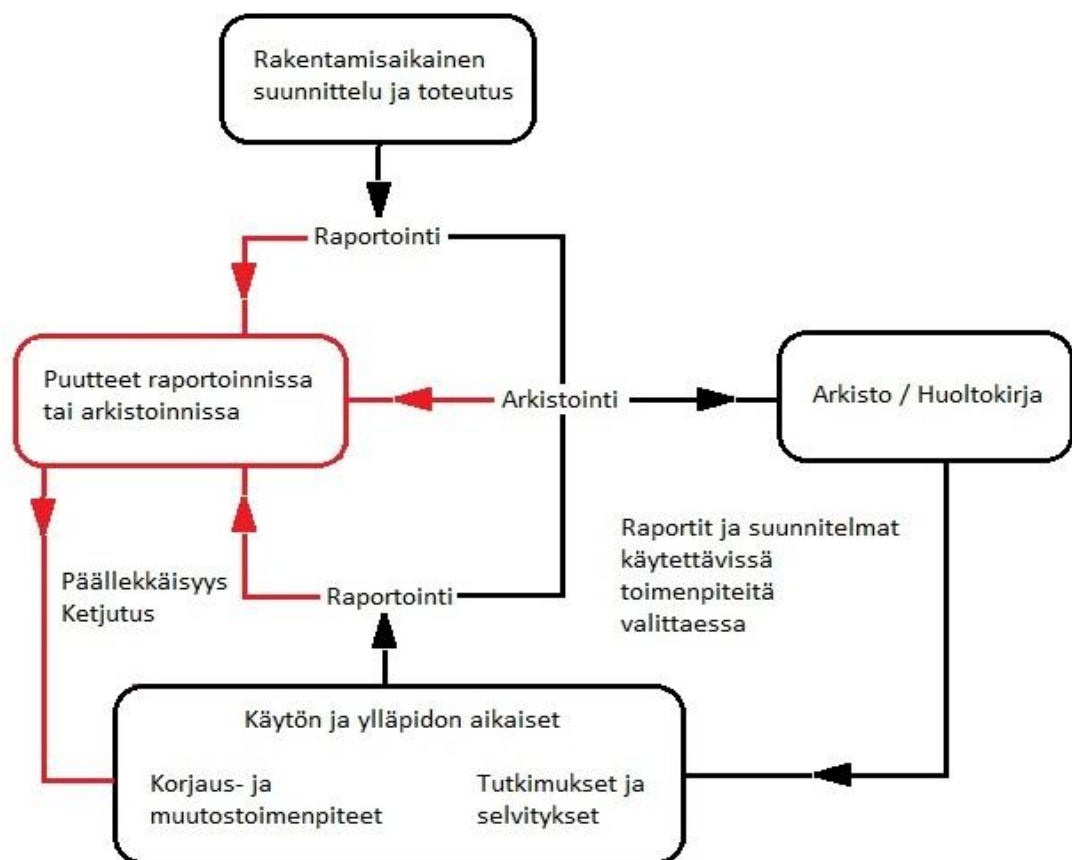
Vaativuuden ja kosteusriskiluokan avulla voidaan arvioida työn menetelmien tarpeellisuutta eri kohteissa.

2.4 Toimintatapaohjeen valinta

Tutkimusmenetelmän valintaa tehtäessä usein tiedetään ongelmasta vain sen näkyvin oire. Oikean menetelmän valinta pelkän oireen tai oireiden avulla on vaikeaa, joten päätöksessä tulisi käyttää asiantuntija-apua. Toimintatapaohjeen tutkimukset on suunnit-

nattu rakennusteknisiin kosteusrasituksiin, joten apuna voidaan käyttää esimerkiksi rakennesuunnittelijaa tai kosteusteknistä asiantuntijaa. Päätöksenteon tukena tulisi olla mahdollisimman kattavat tiedot rakennuksen historiasta ja suoritetuista toimenpiteistä. Toimintatapaohjeen soveltuvuutta kohteeseen tulisi arvioida yhteistyössä ylläpidon ja tutkijan sekä mahdollisen asiantuntija-avun kesken.

Tiedonkulku on merkittävässä osassa, kun selvitetään rakennuksen historiaa. Ikääntyvät rakennukset, joissa kosteudenhallinnan rakentamisaikaista suunnittelun ja toteutuksen tasoa ei tunneta riittävän tarkasti, muodostavat tiedonkulun kannalta ongelman. Ongelmia voi lisäksi kertyä rakennuksen käytön aikana. Tehtyjen korjaus- ja muutostoimenpiteiden sekä tutkimusten ja selvitysten raportointi tai arkistointi on voinut olla puutteellista. Kuvassa 1 on esitetty tiedonkulku ylläpidon, rakennuksen historian ja tehtävien tutkimusten kesken.



Kuva 1. Tiedonkulun kaavio

Raportointi sekä niiden arkistointi ovat keskeisessä asemassa tiedonkulun onnistumisessa. Tiedonkulussa esiintyneistä puutteista voi aiheutua päällekkäisten tutkimusten teettämistä eli ketjutusta. Tiedonkulun ongelmat johtuvat usein puutteellisesta raportoinnista tai pahimmillaan raportoinnin puuttumisesta täysin. Ongelman syynä voivat myös olla puutteet arkistoinnissa, esimerkiksi asiakirjojen hävittäminen tai arkistointi väärään paikkaan, jolloin niitä ei löydetä tarvittaessa. Tiedonkulussa esiintyneet ongelmat vaikeuttavat oikean tutkimismenetelmän valintaa.

Raportoinnin alustava sisältö ja laajuus kannattaa aina sopia ennen mittauksia. Raportointitapoja on yhtä monta kuin mittaajiakin, ja raporttien tason vaihtelu aiheuttaa merkittävän epäonnistumisen riskin. Puutteet raportoinnissa muodostavat ongelman mutta eivät ole ainoa riski. Vaikka raportin sisältö olisi kattava, riskinä on tilaajan ymmärrys hyödyntää raportin tuloksia, suosituksia ja toimenpide-ehdotuksia. Ymmärryksen puutteesta aiheutuvan riskin vähentämiseksi voidaan raportissa käytettyjen hankalien termien ja ilmiöiden yhteydessä esittää viittaukset siitä, mistä niiden selitykset löytyvät. Tavoitteena on painottaa raportin lukijalle, mitkä asiat on olennaista ymmärtää.

Yleisesti raportoinnissa tulisi asettaa erityistä painoarvoa mittauksista ja tuloksista kirjattaviin tutkijan arvioihin ja johtopäätöksiin perusteluineen. Jälkeenpäin on huomattavasti vaikeampi tehdä arvioita ja johtopäätöksiä pelkkien tulosten avulla. Raportin lukijan, tilaajan tai toisen tutkijan, on käytännössä mahdollista arvioida tehdyn tutkimuksen virhetarkkuutta ainoastaan sen mukaan, miten tarkasti asiat on raportissa esitetty. Raportin lukemisessa muodostuu riski, jos oletetaan täysin virheettömien tutkimusten tai arvioiden tekemisen olevan mahdollista.

2.5 Mittausten lähtökohdat

Mittausten tavoitteet voidaan jakaa kolmeen osaan, ja ne on listattu samassa järjestyksessä, jossa niitä on käsitelty työssä. Mittausten tavoitteena on selvittää

- rakennuksen riski ja ongelmakohdat
- kosteuden tiivistymisen mahdollisuus riskirakenteen pinnalle
- koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminnan taso.

Mittauksissa esitettyjen valintojen ja ohjeiden perusteena on pyrkimys saada mittaukset vastamaan edellä esitettyjä tavoitteita. Tavoitteiden tapauskohtaisen vaihtelun vuoksi yksiselitteisiä valintoja ei voida esittää. Esitettyjen mittausten menetelmien käyttö sellaisinaan tai soveltaminen perustuu aina mittaajan arvioihin ja kohteen tavoitteisiin. Mittausmenettelyiden valinta ja toteutus perustuvat yleisesti mittaajan ammattitaitoon.

Mittaustulosten avulla arvioitavia ilmiöitä on esitetty mittausten menetelmiä käsittelevien lukujen yhteydessä. Kosteus- ja homeaurioriskin arviointia on käsitelty hyvin yleisellä tasolla voimakkaiden tapauskohtaisten vaihteluiden takia.

3 Kosteustekninen toiminta rakennuksessa

Kosteusteknisen teorian ymmärtäminen on olennaista onnistuneen lopputuloksen varmistamiseksi. Luku on tarkoitettu tutkijalle mittausten tueksi sekä ylläpidolle apukeinoksi ymmärtää tutkimustuloksia ja johtopäätöksiä. Insinöörityö voidaan halutessa lukea ohittamalla tämä luku, ja sen sisältöön voidaan palata työn muiden osien lukemisen yhteydessä. Sisältöä ei ole tarkoitus sisäistää yhdellä lukukerralla.

Tässä luvussa on esitetty perustietoa työssä käsitellyistä ilmiöistä ja käsitteistä. Lukuun on koottu alan kirjallisuudesta toimintatapaohjeen kannalta keskeisimpiä kosteusteknisen toiminnan ilmiöitä ja käsitteitä. Kosteusteknistä toimintaa tarkastellaan vain rakennusteknisestä näkökulmasta. Kosteudenhallintaan liittyy myös sisäilman viihtyvyystekijät sekä terveydelliset vaikutukset, jotka yhdessä muodostavat moniulotteisen kokonaisuuden. Kosteusteknisiä ilmiöitä tai ongelmia ei ole tarkasteltu viihtyvyyden tai terveysvaikutusten näkökulmasta.

3.1 Sisäilman perusteet

Keskeisimpiä sisäilman fysikaalisia tekijöitä ovat kosteus, lämpöolosuhteet ja ilman liike. Muita fysikaalisia tekijöitä ovat ilman ionit, sähkömagneettinen säteily sekä muu säteily, valaistus ja melu. Sellaisinaan sisäilman fysikaaliset tekijät eivät ole epäpuhtauksia. Fysikaaliset tekijät ovat avainasemassa, niin hyvien kuin huonojenkin, sisäilman olosuhteiden luomisessa. Työssä keskitytään kosteuden, lämpöolojen ja ilman liikkeen ominaisuuksiin ja niiden tutkimismenetelmiin. [4, *sisäilman fysikaaliset tekijät*.]

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto (2012) esitetään määräykset ja ohjeet uusien rakennusten sisäilmalle sekä ilmanvaihdon suunnittelulle. Selvitettäessä rakennuksen sisäilmastoasioita ja ilmanvaihdon toimintaa voidaan määräyksiä ja ohjeita käyttää vertailuun.

Ilmanvaihto

Sisäilman hallinnan perustana on tarkoituksenmukaisesti toimiva ilmanvaihto. Ilmanvaihdoilla poistetaan tiloista liikaista ilmaa ja tuodaan tilalle puhdasta korvausilmaa. Ilmanvaihto toteutetaan ilmanvaihtojärjestelmällä, jonka taso vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksen ja sisäilman tavoitteiden mukaan. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla esimerkiksi painovoimainen, koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Paras ilmanvaihdon hallittavuus saavutetaan viimeisenä mainitulla järjestelmällä. Käsittelemällä tulo- ja kierrätysilmaa voidaan vaikuttaa mm. sisäilman puhtauteen, kosteuteen, lämpötilaan ja liikkeeseen. [4, *Ilmanvaihdon vaikutus.*]

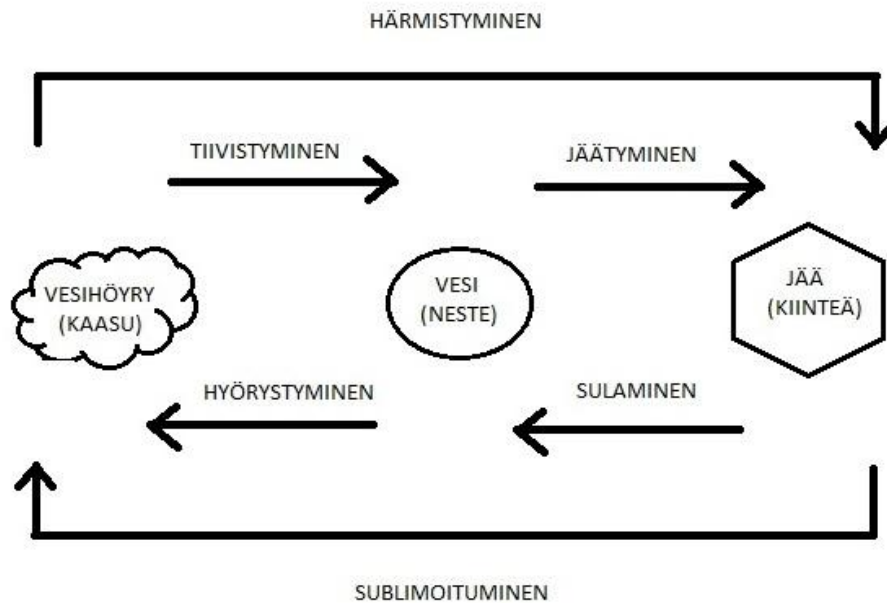
Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen painesuhteet riippuvat koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tulo- ja poistoilmavirtojen suuruudesta. Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman välistä kokonaispaineiden eroa. Ilma pyrkii tasaamaan paine-erot virtaamalla korkeammasta paineesta matalamman paineen suuntaan. Rakenteen yli vaikuttava ilmanpaineen ero aiheuttaa ylipaineesta alipaineeseen pyrkivää ilmavirtausta. Sisäilman ollessa alipaineinen ulkoilmaan nähden pyrkii ilmavirta rakenteen läpi sisäänpäin. Vastaavasti sisäilman ollessa ylipaineinen ulkoilmaan nähden pyrkii ilmavirta ulospäin. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta rakennuksen on suositeltavaa olla hieman alipaineinen. Alipaineistuksella pyritään estämään sisäilmaan sitoutuneen kosteuden kulkeutumista ja tiivistymistä rakenteen sisälle. [5, s. 58; 4, *Ilmavirtaukset rakennuksessa.*]

3.2 Kosteuden perusteet

Veden olomuodot

Vesi esiintyy rakennuksessa kaasuna (vesihöyrynä), nesteinä (vetenä) ja kiinteänä (jäänä). Rakennustekniikassa yleisimmin käytetty termi on kuitenkin kosteus. Kuviossa 1 on esitetty veden olomuodon muutokset ja niistä käytettävät nimitykset.



Kuva 2. Veden olomuodon muutokset

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan olomuodoista vesihöyryä ja vettä sekä niiden välillä tapahtuvaa tiivistymistä tai höyrystymistä. Tiivistymisen yhteydessä vapautuu energiaa kun vastaavasti höyrystyminen sitoo energiaa. [6, s. 45.]

Kuvassa 2 ei esiinny käsitettä *kosteus*, koska siitä ei terminologisesti selviä tarkoite- taanko vesihöyryä vai vettä. Rakennusaineiden kosteuspitoisuudesta puhuttaessa, tarkoitetaan aina vettä. Vesihöyryä tarkoitetaan yleensä, kun puhutaan ilman sisältä- mästä kosteudesta. Kosteaa ilmaa on kahden kaasun, kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kosteusteknisesti olennaista on veden olomuodon muutoksessa tapahtuvat ilmiöt. Keskeisenä ilmiönä tässä työssä tarkastellaan ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymistä vedeksi rakenteen pinnalle. Ilmiötä kutsutaan kondensoitumiseksi. [5, s. 52.]

Ilman kosteus

Ilman kyky sitoa kosteutta on kosteustekniikan ja rakennuksen toiminnan kannalta erittäin tärkeä ilmiö. Sisäilman kosteuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota rakennuksissa, joissa käyttö aiheuttaa tavanomaista suurempia kosteuskuormia. Kaikki vedenpinnan yläpuolella olevat rakenteet ja materiaalit ovat kosketuksissa ilman ja sen sisältämän kosteuden kanssa. Sisä- ja ulkoilma ympäröivät rakenteita ja lisäksi rakennusaineissa on usein huokosia, joissa on ilmaa. [5, s. 43.]

Ilman kosteuden ilmaisemiseen käytetään yleisimmin suhteellista kosteutta, joka tässä työssä merkitään %RH (relative humidity). Suhteellisen kosteuden yhteydessä esiintyvät käsitteet absoluuttinen kosteus ja vesihöyryn kyllästyskosteus.

- Ilman absoluuttisella kosteudella tarkoitetaan vesihöyryn absoluuttista määrää kuutiossa ilmaa (g/m^3).
- Vesihöyryn kyllästyskosteus on suurin mahdollinen ilman sisältämä kosteusmäärä (g/m^3) kussakin lämpötilassa.

Suhteellinen kosteus on ilman vesihöyrypitoisuuden suhde vesihöyryn kyllästyskosteuteen. Suhteellinen kosteus ilmaistaan prosenttilukuna (%RH) kuvaamaan ilmassa olevan absoluuttisen kosteusmäärän suhdetta lämpötilan määrittämään kyllästyskosteuteen. Suhteellisen kosteuden määrittäminen on esitetty kaavassa 1.

$$\%RH = \frac{v}{v_k} \quad (1)$$

v on ilmassa oleva vesihöyryn absoluuttinen määrä (g/m^3)

v_k on kyllästyskosteus (g/m^3).

Kyllästyskosteuden ja ilman lämpötilan välistä täsmällistä matemaattista yhteyttä ei ole. Likiarvokaavojen avulla on määritetty taulukoita kyllästyskosteuden arvoille ilman eri lämpötiloissa normaali ilmakehän paineessa. Esimerkkilaskuissa kyllästyskosteuden (v_k) määrittämiseen on käytetty Björkholtzin [5, s. 44] esittämää taulukointia ilman ominaisuuksista eri lämpötiloissa. [5, s. 43–44; 1, s. 61; 4, *Ilman ominaisuudet*.]

Esimerkki ilman suhteellisesta kosteudesta kahdessa tapauksessa:

a) **Lämpötila 2 °C** Suhteellinen kosteus **RH 50 %**

Suurin mahdollinen ilman sisältämä kosteusmäärä 2 °C lämpötilassa on n. 5,6 g/m³ (katsotaan taulukosta).

Kaavaa 1 soveltamalla lasketaan ilman sisältämä kosteusmäärä (v):

$$v = \text{RH}\% \times v_k$$

$$v = 0.50 \times 5,6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = \mathbf{2,80 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}$$

b) **Lämpötila 20 °C** Suhteellinen kosteus **RH 50 %**

Suurin mahdollinen ilman sisältämä kosteusmäärä 20 °C lämpötilassa on n. 17,3 g/m³ (katsotaan taulukosta)

Lasketaan a-kohdan mukaisesti ilman sisältämä kosteusmäärä (v):

$$v = \text{RH}\% \times v_k$$

$$v = 0.50 \times 17,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = \mathbf{8,65 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}$$

Tapausten a ja b perusteella voidaan havaita, että ilman sisältämä kosteusmäärä on huomattavasti suurempi tapauksessa b, vaikka suhteelliset kosteudet ovat samat. Suhteellista kosteutta tarkasteltaessa on huomioitava lämpötilan vaikutus ilman kykyyn sitoa kosteutta. Mitä alhaisempi lämpötila on, sitä vähemmän ilma voi sisältää tiivistymätöntä kosteutta ja päinvastoin.

Kosteuden tiivistyminen

Kyllästyskosteus, eli ilman sisältämän vesihöyryn enimmäismäärä, määrittyy ilman lämpötilan mukaan. Kastepisteellä tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jossa saavutetaan kyl-
lästyskosteus. Kyllästyskosteus kasvaa ilman lämpötilan noustessa, jolloin myös kas-
tepistelämpötila nousee. Yleensä tiivistymistä tapahtuu, kun lämmin ilma on sitonut
runsaasti kosteutta, mutta jäähtyy äkillisesti kohdatessaan kylmän pinnan. Tällöin kos-
teus ei enää kykene pysymään sitoutuneena jäähtyneeseen ilmaan ja tiivistyy pinnalle.
[5, s. 43; 6, s. 45.]

Kosteuden tiivistymiseen rakenteen pinnalle, eli kondensoitumiseen, vaikuttavat sisäil-
man lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä rakenteen pintalämpötila. Kostean ilman
joutuessa kosketuksiin pinnan kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpöti-
lan tapahtuu kondensoitumista. Materiaalin pinnalle tiivistyvän kosteuden estämiseksi
tulee kaavassa 2 esitetyn ehdon täyttyä.

$$t_p > t_{kp} \quad (2)$$

t_p on materiaalin pintalämpötila, °C

t_{kp} on ympäröivän ilman kastepistelämpötila, °C.

Pintalämpötilan (t_p) ollessa korkeampi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila
(t_{kp}), ei kosteuden tiivistymistä pääse tapahtumaan. [5, s. 64.]

Haihtuminen

Haihtumisella tarkoitetaan rakenteeseen fysikaalisesti sitoutuneen kosteuden, eli veden
muuttumista vesihöyryksi ja sitoutumista ilmaan.

Kosteuden haihtumiseen vaikuttavat materiaalin pinnan lämpötila sekä kohdan yli vir-
taavan ilman nopeus, suhteellinen kosteus ja lämpötila. Haihtumiseen vaikuttaa lisäksi
säteilylämpö, esimerkiksi auringon säteily.

Haihtumisen nopeus määräytyy kohtaan vaikuttavien energioiden suuruudesta. Lämpö-
tilojen, yli virtaavan ilman nopeuden ja säteilytehon kasvaessa haihtuminen nopeutuu.
Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila määrittävät yli virtaavan ilman sisältämän kos-

teuden määrän ja kyllästyskosteuden. Mitä vähemmän ilma sisältää kosteutta ja mitä suurempi kyllästyskosteus on, sitä enemmän ylivirtaava ilma pystyy sitomaan kosteutta materiaalista. Haihtumista voidaan käytännössä tehostaa lämmittämällä rakennetta ja sen pintaa sekä samanaikaisesti kohdistaa siihen lämmin, kuiva ja nopea ilmavirta. [6, s. 46.]

3.3 Rakenteet ja materiaalit

Kosteusrasitus

Rakenteen kosteusrasitus aiheutuu kosteuden kulkeutumisesta materiaaliin. Kosteus voi päätyä rakenteeseen esimerkiksi ilman, maaperän tai vapaan veden kosketuksen kautta. Erilaisille kulkeutumistavoille on määritelty kosteuden fysikaalisia siirtymistapoja. Tässä työssä esiteltyjen mittausmenetelmien kannalta keskeisin siirtymistapa on ilmaan sitoutuneen kosteuden kulkeutuminen rakenteeseen. Kosteuden siirtymistä ilmavirran mukana kutsutaan kosteuskonvektioksi.

Kosteudenhallinnassa on tärkeää huomioida kosteusrasitusten suuruudet. Keskeistä on kosteuden kulkeutumisen suhde rakenteeseen ja siitä pois. Ongelmia aiheutuu silloin kun rakenne ei kestä siihen kohdistuvia kosteusrasituksia. [6, s. 54.]

Kosteuden poistuminen rakenteen pinnalta on riippuvainen rakenteen imukyvystä, eli mitä suurempi on kapillaarinen imukyky, sitä hitaammin kosteus poistuu. Niin kauan kuin pinta pysyy kosteana, kuivuminen on verrattain nopeaa. Kosteusrintaman siirtyessä syvemmälle rakenteen sisään, myös kuivumiseen tarvittava aika pitenee suhteessa matkaan ja vastukseen. [5, s. 80.]

Kosteuden sitoutuminen

Vesi voi sitoutua rakenteisiin kemiallisesti tai fysikaalisesti. Kemiallisesti sitoutunutta vettä (kiinteästi sitoutunutta) ei tarvitse huomioida kosteusteknisissä tutkimuksissa, koska se ei liiku. Rakenteen ja sen ympäristön välillä siirtyvää vettä kutsutaan fysikaalisesti sitoutuvaksi vedeksi.

Rakenne voi fysikaalisesti tarkasteltuna olla ympäristöön nähden kolmessa eri tilassa.

- Rakenne ottaa vettä ympäristöstä (absorptio)
- Rakenne luovuttaa vettä ympäristöön (desorptio)
- Rakenne on tasapainossa ympäristön kanssa, eikä veden siirtymistä tapahdu.

Sisäilman toimiessa ympäristönä huokoisille materiaaleille, puhutaan hygroskooppisuudesta. Materiaalin hygroskooppisella ominaisuudella tarkoitetaan kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta sekä luovuttamaan kosteutta ilmaan. Materiaalin huokosten sisältämän ilman suhteellisen kosteuden ollessa sama kuin ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden, vallitsee hygroskooppinen tasapainokosteus. Tasapainokosteuden suuruus vaihtelee materiaalien välillä ja on lisäksi riippuvainen lämpötilasta sekä siitä, onko kyseessä kastuminen (absorptio) vai kuivuminen (desorptio). Tasapainokosteuden määrittäminen on aina tapauskohtainen. Leivo ym. [3, s. 18] ovat esittäneet yksityiskohtaisesti tasapainokosteuden prosessia, jota voidaan esimerkiksi käyttää tapauksen tasapainokosteuskäyrän määrittämiseen. Yleisesti materiaalin sisältämä kosteus voidaan ilmoittaa usealla eri tavalla. Yleisimmät tavat materiaalikosteuden ilmaisuun ovat, materiaalin huokosilman suhteellinen kosteus (RH%), sekä absoluuttinen kosteuspitoisuus painona tilavuudesta (kg/m³). [1, s. 61; 5, s. 52.]

Kriittinen kosteus

Kriittisellä kosteudella kuvataan kosteuspitoisuuden ylärajaa, jolla jokin rakennusaine toimii tyydyttävästi pitempiäkin aikoja. Tyydyttävällä toiminnalla tarkoitetaan materiaali-kohtaisesti eri asioita. Esimerkiksi puu toimii tyydyttävästi, mikäli se ei lahoa. Materiaalin kriittinen kosteus ilmaistaan suhteellisena kosteutena (RH_{kr}). Rakennusaine toimii tyydyttävästi, mikäli sen suhteellinen kosteus on pienempi kuin kriittinen kosteus. Joidenkin yleisimpien materiaalien tyydyttävän toiminnan kriittisiä kosteuksia sekä tasapainokosteuskäyriä on esitetty esimerkiksi Björkholtzin [5, s. 61–63] esittämässä taulukoissa.

Homeen kriittinen kosteus soveltuu arviointiin siltä osin, että home voi syntyä minkä tahansa materiaalin pinnalle. Tämän työn yhteydessä homeen kriittisenä kosteutena käytetään $RH_{kr} = 75 \%$ ja lämpötila-alueena +3...+45 C° [5, s. 60]. Arviointi on kuitenkin riippuvainen useasta tekijästä ja niiden yhteisvaikutuksesta. Homeen kasvun arvi-

ointi ja mallintaminen eivät perustu yhteen arvoon. Viitanen ym. [7] esittävät homeen syntyyn ja kasvun mallintamiseen pysyvissä kosteusrasitusoloissa vaikuttaviksi tekijöiksi mm. kosteuden, lämpötilan, altistumisajan, materiaalit, pinnoitteet sekä eliöt. Mitään kovinkaan tarkkaa tulosta ei siis voida saada tässä työssä esitetyllä homeen kriittisen kosteuden arvioinnilla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden pohjalta.

Kylmäsillat

Kylmäsilta tarkoittaa rakenteen kohtaa, jossa pintalämpötila on muita rakenteiden pintalämpötiloja alhaisempi. Yleensä kylmäsillat muodostavat vain pienen osan rakenteen koko pinta-alasta, mutta ovat silti ongelmallisia, sillä alhaiset pintalämpötilat muodostavat riskin kosteuden tiivistymiselle. Kylmäsilta voi aiheutua ilmapuodosta tai materiaalin lämmönjohtavuudesta. Ilmiö perustuu siihen, että kylmäsilan kautta virtaa enemmän lämpöä ulos, kuin sitä ympäröivien rakennusosien kautta. [5, s. 19–20.]

3.4 Kosteusvaurioituminen

Kosteusvauriolla tarkoitetaan rakenteen kastumista niin, ettei se pääse kuivumaan riittävästi ja rakenne vioittuu kosteudesta. Kostuminen voi olla lyhytaikaista, jolloin saataan puhua pelkästä kosteusvauriosta. Rakenteen pysyessä kosteana voi tilanne muuttua kosteus- ja homevaurioksi. Tällöin ympäristöstä ilmaantuvat bakteerit, mikrobit sekä home- ja hiivasienet synnyttävät materiaaliin mikrobiologista kasvustoa. [2, s. 61.]

Kosteus- ja homevaurion syntymisen edellytyksenä on liiallinen tai pitkäaikainen materiaalin kosteussietokyvyn ylittyminen. Kosteussietokyky ylitetään, mikäli kosteuspitoisuus on liian korkea liian kauan. Määritelmää sille, mikä on liiallista, liian korkea tai pitkäaikaista, ei voida yksiselitteisesti todeta. Yksinomaan vauriotapahtumien ja materiaaliominaisuuksien suuren vaihtelevuuden takia kosteussietokyvyn rajat on määriteltävä tapauskohtaisesti.

Tarkasteltaessa kosteus- ja homevaurion yleisperiaatetta on ensinnäkin tunnistettava kyseessä oleva vauriotapahtuma. Vaurioita voivat olla esimerkiksi homehtuminen, lahoaminen, kemiallinen tai fysikaalinen aineiden hajoaminen. Eri vauriotapahtumat vaativat syntyäkseen ja pysyäkseen yllä erilaiset olosuhteet. Keskeisimmät tekijät ovat kosteuden siirtyminen rakenteeseen ja siitä pois, altistumisaika sekä lämpötila.

Toisekseen on tunnettava tarkasteltavan materiaalin tai rakenteen ominaisuudet. Tärkeimmät ominaisuudet ovat materiaalin kyky sitoa ja sietää kosteutta sekä vaurioitumistapa. [4, *Kosteusvaurioituminen*.]

Arvioitaessa kosteusvauriota on huomioitava, ettei ole olemassa yhtä määritelmää tai taulukkoa kosteus- tai homevaurion vakavuudelle. Tämä johtuu osittain siitä, että vauriota ei aina tarkastella pelkästään teknisestä näkökulmasta välittämättä terveydellisistä vaikutuksista.

4 Riski- ja ongelmakohtien kartoitus

4.1 Lähtötietojen keräys

Lähtötietojen kerääminen aloitetaan selvittämällä rakennuksen historia tiedossa olevien oireiden paikantamiseksi. Mikäli kohteeseen on tehty aikaisemmin tutkimuksia tai selvityksiä, voidaan niiden tuloksista selvittää mahdollisia ongelmakohtia. Haastattelemalla rakennuksen käyttäjiä ja ylläpitäjiä saadaan arvokasta tietoa ongelmakohtien määrittämiseksi.

Kohteesta selvitetään seuraavia asioita:

- **Rakennuksen ikä:** arvioidaan kohteen rakentamisaikakaudelle tyypillisiä riskiratkaisuja sekä rakenteiden kuntoa.
- **Rakennus- ja rakennesuunnitelmat:** arvioidaan rakenne- ja materiaali- valintoja sekä selvitetään valintaperusteet.
- **LVIA-suunnitelmat:** selvitetään ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien toimintakaaviot ja mitoitusperiaatteet sekä arvioidaan kosteudenhallinnan huomiointia suunnittelussa.
- **LVIA-järjestelmien ikä, muutokset ja huollot:** arvioidaan järjestelmien toimintaa ja kuntoa.
- **Muut muutokset:** arvioidaan kosteudenhallinnan huomiointia tehdyissä muutostöissä, esimerkiksi tilojen käyttötarkoituksen muutosten yhteydessä tehtyjä rakenneratkaisuja.

Lähtötietojen keräämisen tavoitteena on rakennuksessa esiintyvien ongelmien ja riskikohtien paikallistamisen ohella luoda käsitys rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta. Lähtötietoja voidaan käyttää oireiden paikantamisen lisäksi varsinaisten syiden tutkimisen apuna. Tutkimusten onnistumisen kannalta on tärkeää saada tietoon kaikki rakennuksessa ilmentyneet ongelmat ja viat. [8, s. 12; 3, s. 83.]

4.2 Aistiperäiset tutkimukset

Riski- ja ongelmakohtien paikantamiseksi rakennuksen olosuhteita kartoitetaan aistiperäisesti. Rakenteiden pinnoilta etsitään silmämääräisesti merkkejä vaurioitumisesta tai kosteuskertymistä. Merkkejä kosteusrasittumisen ongelmakohdista voivat olla esimerkiksi

- näkyvä home- tai lahovaurio
- kosteusläikät sisäpinnoitteissa
- pinnoitemateriaalien irtoilu
- pintojen värimuutokset
- puurakenteiden turpoilu tai halkeilu
- sokkelin tai kellarinseinien maalin hilseily
- jatkuvasti huuruuntuvat ikkunat
- vesihöyryn tiivistyminen pinnoille. [3, s. 10–11.]

Vaurioitumismerkkejä havaittaessa pyritään sulkemaan pois vuodosta tai käytöstä johtuvat syyt. Selkeitä vuotokohtia etsitään silmämääräisesti, esimerkiksi rakenteiden liitoskohtien tai läpivientien saumoista ja tiivisteistä. Kyselyt rakennuksen käyttäjiltä ja ylläpidolta antavat tietoa käytön lähihistoriasta. Kyselyillä selvitetään, onko vaurioituminen mahdollisesti käytön aiheuttamaa, esimerkiksi pesujen tai kastelun yhteydessä kertynyttä kosteutta.

4.3 Case-kohteen lähtötiedot

Kohteen ilmanvaihto on järjestetty koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Ilmanvaihtokoneita on kolme, joista jokaisella on oma ilmanvaihdon käyttöalue. Kostutus on järjestetty osittain tuloilman höyrykostutuksella, jolla pidetään sisään puhallettavan ilman kosteus asetusarvossa. Tilakohtainen lisäkostutus on järjestetty erillisillä sumutin kostuttimilla. Kohteen sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitetasot vaihtelevat tilakohtaisesti, mutta eivät täysin vastaa ilmanvaihdon käyttöalueita. Kaikkia tiloja ei ole erotettu ilmatiiviisti toisistaan. Suurimmissa osissa tiloista asetusarvot ovat välillä 50–60 %RH. Korkeimmillaan asetusarvot ovat välillä 70–80 %RH.

Ilmanvaihtojärjestelmästä haluttiin selvittää konekohtaiset ilmavirrat ja niiden vaikutus rakennuksen painesuhteisiin. Painesuhteiden avulla pyrittiin arvioimaan sekä sisätilojen välisten ilmavirtojen, että ulkorakenteisiin kohdistuvien ilmavirtojen mukana kulkeutuvan kosteuden riskejä.

Haastattelujen, alustavien tutkimusten ja historian perusteella kohteen kondenssi tutkimukset keskitettiin kattorakenteeseen, jossa on esiintynyt erinäisiä kosteusongelmia. Osittaisena syynä on ollut suunnittelun aikainen riittämätön kosteusrasitusolojen huomiointi. Ongelmia on pyritty ratkaisemaan, ja myös ratkaistu, erilaisin tutkimuksin ja korjaustoimenpitein. Kaikkia kohteen ongelmia ei ole onnistuttu ratkaisemaan. Keskeiseksi syyksi on arvioitu haastavan kokonaisuuden hallinnan puutteet, sekä osittain puutteellinen raportointi. Eri toimenpiteet eivät ole toimineet yhteisin ja johdonmukaisin tavoittein, eikä kokonaisvaltaiseen ongelmien ratkaisuun ole täysin päästy. Historian selvittämisen yhteydessä on ehdotettu koko katon rakenteiden riskiselvitystä yhteistyössä rakenne suunnittelijan ja kosteusteknisen ammattilaisen avulla. Toimenpiteeksi on esitetty rakenteiden sisäpuolista lämpökamerakuvausta mahdollisimman kylmässä ulkolämpötilassa kylmäsiltojen ja ilmavuotojen paikantamiseksi. Tämän työn yhteydessä tehdyssä tutkimuksessa kohteen kattorakenteelle ei tehty laajaa ja systemaattista riskiselvitystä.

Katon ongelmakohdista keskityttiin tutkimaan luukku- sekä liimapuupalkkirakennetta. Ongelmakohdassa on havaittu tiivistevuotojen aiheuttamaa kosteuskertymää ja tutkimuksella pyrittiin selvittämään, onko kaikki kosteus peräisin vain vuodoista. Kondenssirisikin tutkimisella haluttiin selvittää, pääseekö pinnoille tiivistymään sisäilman sisältä-

mää kosteutta. Yhteisvaikutusten avulla pyrittiin arvioimaan aiheuttavatko olosuhteet kosteus- ja homevaurion syntymahdollisuuksia.

Case-kohteen mittaustuloksia on käsitelty työn lopussa. Tässä insinööriyössä esitetyt mittausmenetelmät pohjautuvat case-kohteen mittauksiin. Menetelmät on esitetty yleisessä muodossa soveltuvuuden lisäämiseksi.

5 Kosteuden tiivistymisen mittaus

Mittausmenetelmän tavoitteena on selvittää, pääseekö rakenteiden sisäpinnoille syntymään kosteuden tiivistymisen edellyttämiä olosuhteita.

Mittausmenetelmänä käytetään yhdenaikaista tiedonkeruuta

- rakenteen pintalämpötiloista
- sisäilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta sekä
- ulkoilman lämpötilasta.

Toiminnot koostuvat riski- ja ongelmakohtien tarkentamisesta pistemittauksien avulla, niihin kohdistettavista mittauksista ja tulosten tulkinnasta. Lisäksi luvussa on esitetty mittausmenettelyissä tehtäviä valintoja.

Tarkoituksena on mittaustulosten avulla selvittää kastepistelämpötilan käyttäytymistä. Kosteuden tiivistymisen mahdollisuutta tutkitaan vertaamalla kastepistelämpötilaa mitattuihin rakenteen pintalämpötiloihin.

5.1 Mittausmenettelyiden valinnat

Mittauskohta

Mittauskohdan keskeisin määrittäjä on riskirakenteiden sijainti rakennuksessa. Tarkastettava tai tarkasteltavat rakenteet valitaan lähtötietojen ja aistiperäisten tutkimusten pohjalta tehtävillä arvioilla. Arvioituihin riskikohtiin suoritetaan pistemittauksia ennen varsinaisten mittauskohtien valintaa.

Sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan valitun rakenteen läheltä, jotta saadaan selville paikallinen rakenteeseen kohdistuva sisäilman aiheuttama kosteusrasitus. Vertailuarvoiksi voidaan mitata sisäilman olosuhteet esimerkiksi oleskeluvyöhykkeeltä. Pintalämpötilat mitataan valitun rakenteen kylmimmistä kohdista. Mitta-anturien tarkat kohdat ja määrä valitaan pistemittausten ja mittaajan arvioiden perusteella.

Mitta-anturien paikkojen valinnassa huomioidaan sijaintiin vaikuttavat poikkeavat lämpö ja kosteuskuormat. Poikkeavia kuormia voivat olla esimerkiksi käytöstä aiheutuva roiskevesi tai päätelaitteen heittokuvion ja auringon säteilyn kohdistuminen anturiin.

Pistemittaukset

Pistemittauksilla pyritään varmentamaan syntyneitä käsityksiä ongelmallisimpien kohtien sijainnista.

Pistemittauksin tarkasteltavat suureet ovat sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila sekä rakenteen pinnan lämpötila ja kosteus. Pistemittauksiin riittävät mittalaitteet, jotka näyttävät hetkellisen arvon. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila voidaan mitata esimerkiksi psykrometrillä. Pintalämpötilan mittaamiseen soveltuu mainiosti infrapunalämpömittari tai vaihtoehtoisesti kosketusanturimittari. Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilojen mittaustulokset ovat vertailukelpoisia erilasiin ohje- ja viitearvoihin. Pintakosteuden mittalaitteiden toimintaperiaate voi vaihdella laitekohtaisesti ja perustua eri suureiden mittaamiseen. Pintakosteusarvojen eroa tulee tarkastella vain samalla mittalaitteella tehtyjen mittausten välillä, tai verrata laitevalmistajan antamiin tulkintaohjeisiin. [8, s. 54–56.]

Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan pistemittausten avulla selvitetään sisäilman aiheuttaman kosteusrasituksen tason vaihtelua rakennuksessa. Kartoittamalla rakennuksen sisäilmaolosuhteita saadaan käsitys kosteus- ja lämpötilavaihteluista eri tilojen ja korkeuserojen välillä. Mittaukset antavat tärkeää tietoa poikkeavien sisäilmaolosuhteiden ilmenemisestä ja yleisyydestä. Mittauskohdan valinnan kannalta on olennaista tietää, esiintyykö tarkasteltavan rakenteen läheisyydessä tasaisesti muusta sisäilmasta poikkeavat olosuhteet vai onko esimerkiksi vain yhdessä kohdassa selvästi muita suurempi poikkeama. Tavoitteena on löytää paikat, joissa sisäilman aiheuttama kosteusrasitus on suurinta. Mikäli mittauslaitteessa on ominaisuus, joka laskee kastepistelämpötilaa, kannattaa sitä hyödyntää pistemittausten yhteydessä.

Pintalämpötilojen pistemittauksien tavoitteena on paikantaa kosteuden tiivistymisen kannalta riskialttiita pintoja. Mittauksia käytetään lisäksi rakennekohtaisesti pinnalta mitattavien kohtien ja niiden määrän valintaan. Rakenteiden pinnoilta etsitään kylmiä kohtia mahdollisten kylmäsiltojen havaitsemiseksi. Etsintä kannattaa keskittää erityisesti rakennuksen ulkorakenteiden sisäpinnoille, sauma- ja liitoskohtiin sekä nurkkiin. Pintalämpötilojen ja sisäilmaolosuhteiden pistemittaustuloksien arvioinnissa vertaillaan paikannettuja riskikohtia keskenään. Tavoitteena on kartoittaa yhteisvaikutusten muodostamat merkittävimmät riskikohdat ja -rakenteet.

Pintakosteuden pistemittausten tavoitteena on korkeimpien pintakosteuksien havainnointi sekä mahdollisten kosteuskertymien suuruusluokan ja levinneisyyden kartoittaminen. Mittausten tarkoituksena on kuvata vain rakenteen pinnalla esiintyvää kosteutta. Tulokset ovat suuntaa-antavia, sillä materiaaliominaisuudet, rakenteiden kerrokset sekä mittalaitteiden toimintaperiaatteet vaihtelevat. Pintakosteuksien arvioinnissa vertaillaan lähinnä materiaalikohtaista kosteusvaihtelua.

Systemaattinen lähtötietojen selvittäminen, aistiperäisten tutkimusten ja pistemittausten suorittaminen vähentävät virheellisten oletusten riskiä.

Mittauslaitteet

Sisäilman mittauksiin tarvitaan laite, joka mittaa samanaikaisesti sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Lisäksi mittauslaitteessa tulee olla tiedontallennin, jotta mittauksia voidaan kerätä valitulta ajanjaksolta. Sisäilman mittauksiin kannattaa valita laite, joka laskee ja ilmoittaa kastepisteen lämpötilan kullakin mittaushetkellä.

Rakenteen pintalämpötilojen mittaamiseen valitaan mittauslaite, johon voidaan yhdistää lämpötilaa mittaavia kosketusantureita. Mittauslaitteessa tulee olla myös tiedontallennin, jotta mittauksia saadaan kerättyä yhdenaikaisesti sisäilman mittausten kanssa. Ulkoilman lämpötilan mittaamiseen valitaan tiedonkeruunominaisuudella varustettu mittauslaite, joka mittaa samanaikaisesti lämpötilaa ja suhteellista kosteutta.

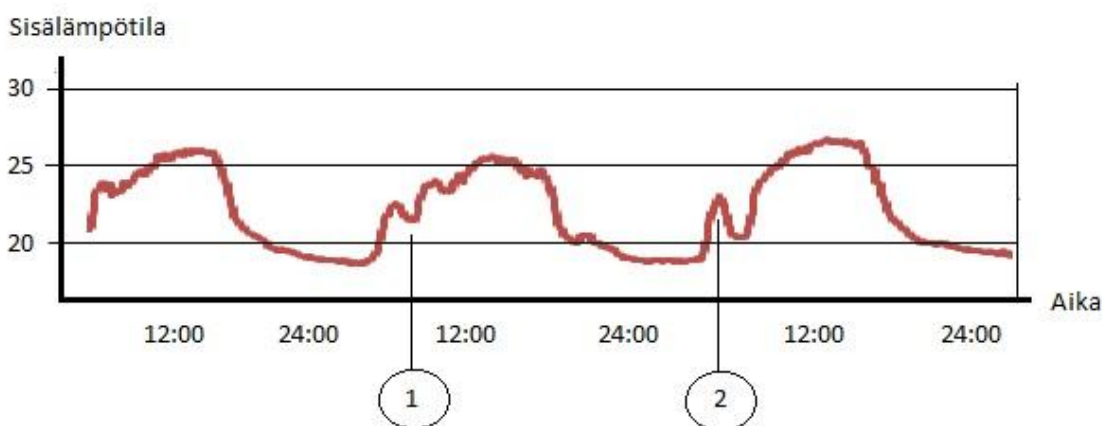
Mittauksissa on suositeltavaa käyttää elektronisella tiedontallentimella varustettuja mittauslaitteita, jotta mittauksien tulokset voidaan kerätä sähköisessä muodossa ja siirtää tietokoneelle. Mittauslaitteiden käytössä tulee noudattaa valmistajan antamia laitekohtaisia ohjeita.

Mittausjakson pituus, mittausväli ja ajankohta

Mittausjakson pituudella ja mittausvälillä pyritään estämään virheellisten arvioiden syntymistä. Mittausjakson tulee olla riittävän pitkä, jotta tuloksista voidaan erottaa olosuhteiden säännölliset ja hetkelliset vaihtelut. Mittausväli vaikuttaa vaihtelun arvioimisen tarkkuuteen. Vuorokautisen vaihtelun havaitsemiseksi mittausväliksi tulee valita esimerkiksi 15 tai 30 minuuttia.

Säännöllisillä vaihteluilla tarkoitetaan vuorokaudenajan mukaan toistuvaa vaihtelua. Vaihtelu voi johtua esimerkiksi ulkolämpötilan, ilmanvaihdon käyntiaikojen tai käyttöasteen vuorokautisista muutoksista. Sisäilman olosuhteiden hetkellinen vaihtelu johtuu usein käytössä tapahtuvista poikkeamista, esimerkiksi pesuista, kasteluista, tuulettamisesta tai vikatilasta kuten laitteiden toimintahäiriöistä ja vuodoista.

Tulosten graafinen tarkastelu helpottaa vaihtelun erottamista. Kuvassa 3 on havainnollistettu vaihtelua sisäilman lämpötilan avulla.



Kuva 3. Sisäilman lämpötilan vuorokautinen vaihtelu

Kuvan 3 kuvaaja esittää sisäilman lämpötilan vaihtelua eri vuorokauden aikoina. Lämpötila nousee jaksoittain korkeimmilleen keskipäivän aikaan ja laskee alhaisimpiin arvoihin yöllä. Lämpötilan arvot eivät ole täsmällisesti yhtä suuria samoina vuorokaudenaikoina, mutta jaksojen vaihtelu muodostaa säännöllisesti vaihtelevan kuvaajan. Poikkeamaa on kuvattu kohdissa 1 ja 2. Lämpötilan hetkelliset muutokset aiheuttavat kuvaajaan epäsäännöllisiä poikkeamia. Poikkeamat ovat hetkittäisiä, ja arvot palaavat lopulta säännöllisen kuvaajan vaihtelun mukaiseksi.

Mittausjakson pituuden valinnassa huomioidaan rakennuksen käyttötarkoitus. Mittausjakson pituuden tulee kattaa rakennuksen käyttötarkoituksen aiheuttamat normaalit vaihtelut, esimerkiksi toimistorakennuksissa esiintyvä arkipäivien ja viikonlopun välinen vaihtelu.

Mittauksiin valitaan mahdollisuuksien mukaan hieman liian pitkäksi arvioitu mittausjakso. Mittausväliksi valitaan päinvastoin hieman liian lyhyeksi arvioitu väli. Tällä pyritään estämään vaihteluista aiheutuvia virhearvioita. Mittausjakson pituus ja mittausväli määrittävät mittaustulosten määrän, joten valinnassa huomioidaan mittalaitteen muistin kapasiteetti.

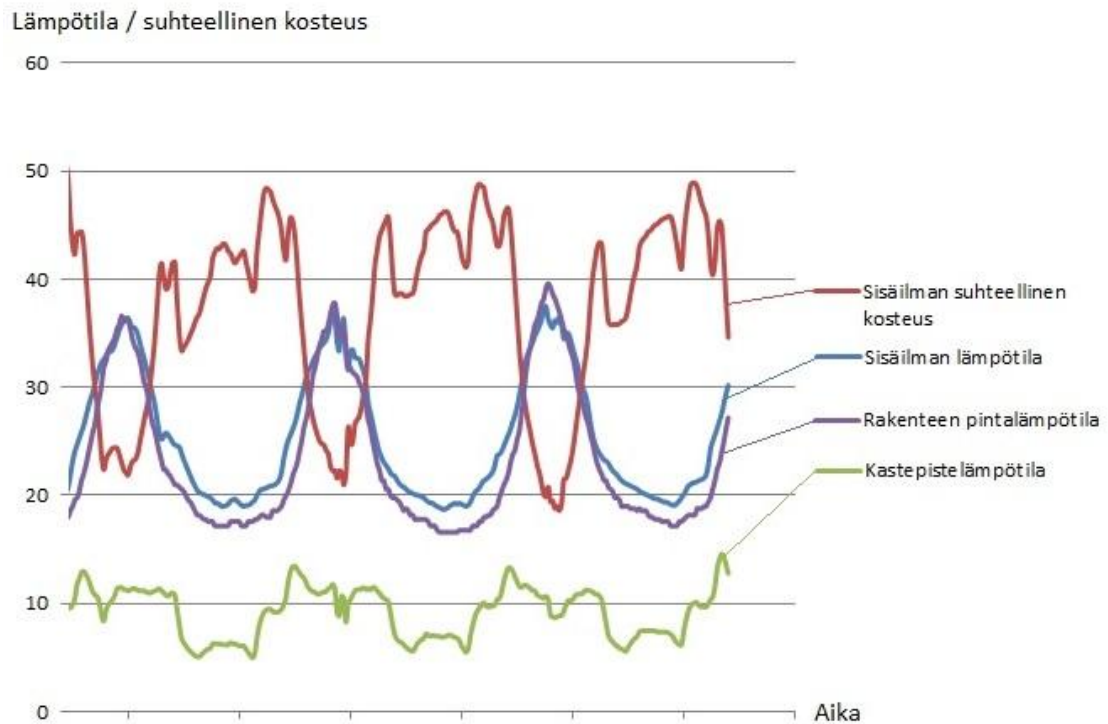
Mittausjakso pyritään ajoittamaan mahdollisimman kylmään ajankohtaan. Ulkoilman lämpötilalla on suora vaikutus ulkorakenteisiin ja siten myös ulkorakenteiden sisäpintojen lämpötiloihin. Kosteuden tiivistymisen riski kasvaa rakenteiden sisäpintojen lämpötilojen laskiessa. Mittausten aikainen ulkoilman lämpötila määrittää tutkimusmenetelmien pätevyys aluetta. Kosteuden tiivistymisen mahdollisuus voidaan todeta mittauksin vain vallitsevassa, ei sitä kylmemmässä, ulkoilman lämpötilassa. Mittausjakso pyritään ajoittamaan rakennuksen normaalia käyttöä vastaavaan ajankohtaan.

5.2 Tulokset ja analysointi

Mittaustuloksien määrä vaihtelee valittujen mittauskohtien määrän, mittausjakson pituuden ja mittausvälin mukaan. Mittalaitteista riippuen tuloksien kirjaustapa voi vaihdella. Valintojen aiheuttamasta vaihtelusta riippumatta tavoitteena on tuottaa graafinen taulukointi kosteuden tiivistymisen mahdollisuudesta rakenteen pinnalle.

Kastepistelämpötilaa tutkitaan mittaustuloksista laadittujen graafisten kuvaajien avulla. Yhteen taulukkoon kerätään kuvaajat sisäilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta, rakenteen pintalämpötilasta sekä kastepistelämpötilasta. Tapauskohtaisesti taulukkoon voidaan kerätä useita rakenteen pintalämpötiloja. Taulukon pystyakseli asetetaan kuvaamaan lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. Tällöin ilman suhteellisen kosteuden kuvaajan arvot luetaan prosenttilukuina ja muiden kuvaajien arvot lämpötilasteina.

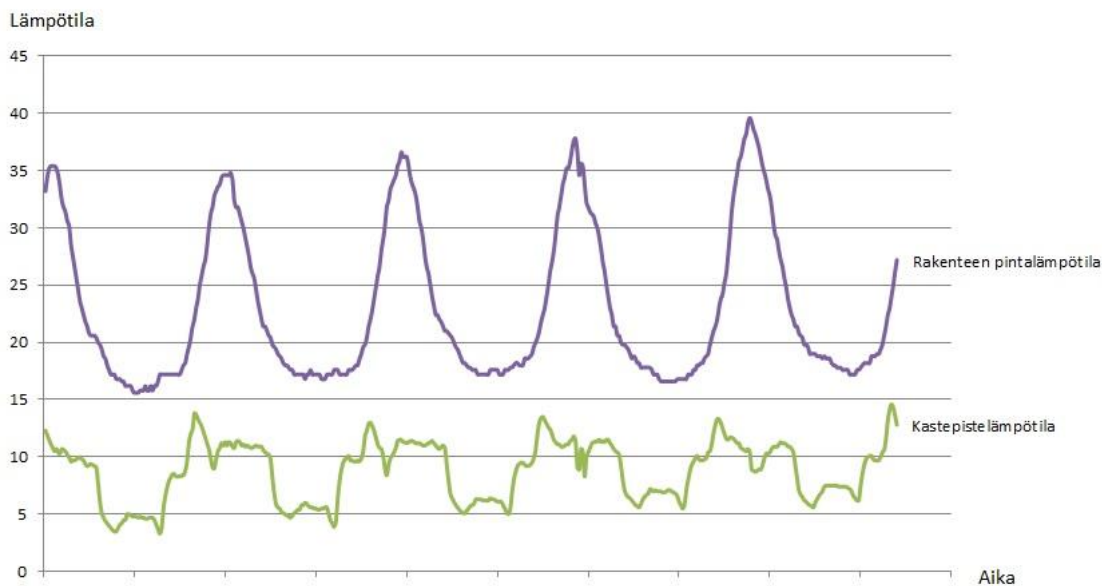
Vaaka-akseli asetetaan kuvaamaan aikaa, jotta voidaan tarkastella tuloksia eri mittaushetkinä. Ulkolämpötilan arvot lisätään samaan taulukkoon, jotta tiedetään ulkoilman olosuhteiden vaikutus kullakin mittaushetkellä. Esimerkki kuvaajien taulukoinnista on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Esimerkki mittaustulosten graafisesta taulukoinnista.

Kuvan 4 taulukko on laadittu case-kohteen mittausmenetelmien yhteydessä. Taulukossa sisäilman ja rakenteen pintalämpötilojen kuvaajat ovat samankaltaiset. Sisäilman suhteellinen kosteus laskee sisäilman lämpötilan noustessa ja päin vaistoin. Kastepistelämpötila vaihtelee kymmenen asteen molemmin puolin. Taulukon selkeyttämiseksi on esitetty vain yksi rakenteen pintalämpötilan kuvaaja, eikä ulkoilman lämpötilaa ole yhdistetty taulukkoon.

Tulosten tulkinnassa kiinnitetään erityisesti huomiota kastepistelämpötilan ja pintalämpötilojen kuvaajien suhteeseen. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki kastepistelämpötilan ja pintalämpötilan kuvaajista.



Kuva 5. Graafinen esitys rakenteen pintalämpötilan ja kastepistelämpötilan kuvaajista.

Kastepistelämpötilan kuvaaja määräytyy kyllästyskosteuden mukaan. Rakenteen sisäpinnan lämpötilaan vaikuttavat lämmönsiirtymis- ja läpäisykertoimet sekä kuvaajan vaihtelun aiheuttava ulko- ja sisälämpötilojen yhteisvaikutus.

Tuloksien tulkinnan keskeisenä tavoitteena on todeta, onko kosteuden tiivistyminen mahdollista. Kosteuden tiivistymistä ei pääse tapahtumaan, mikäli rakenteen pintalämpötila ei alita ilman kastepistelämpötilaa (kaava 2).

Löydettyessä kuvaajien avulla kohta, jossa rakenteen lämpötila alittaa kastepisteen lämpötilan, voidaan todeta kosteuden tiivistymisen mahdollistavat olosuhteet. Tällöin selvitetään aika-akselin avulla, milloin tiivistymistä pääsee syntymään. Ongelman määrittämiseksi on tärkeää selvittää, kuinka pitkiä aikoja ja kuinka usein mittausjaksolla ollaan kosteuden tiivistymisen mahdollistavissa olosuhteissa. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota tiivistymisen aikaisiin ulko- ja sisäilman olosuhteisiin sekä pintalämpötiloihin.

Ensimmäisenä on päätettävä, sallitaanko tiivistymistä pinnoille ollenkaan. Mikäli kosteuden tiivistymistä ei sallita, tulee rakenteita tai ympäristöä muuttaa siten, että rakenteen pintalämpötilat eivät alita kastepistelämpötilaa. Mikäli tiivistymistä sallitaan, on tutkittava tarkoin, kuinka paljon ja usein tiivistymistä saa tapahtua, jottei kosteusvaurio-

ta pääse syntymään. Tiivistymisen ollessa lyhytaikaista ja harvoin ilmenevää ei siitä välttämättä muodostu kosteusvaurioita. Rakenteiden pinnan ominaisuudet tulee huomioida arvioita tehtäessä. Esimerkiksi imemättömille pinnoille tapahtuva tiivistyminen ei välttämättä aiheuta ongelmia ennen valumista tai tippumista riskialttiimmille rakenteille. [5, s. 64.]

Ulkoilman lämpötilaan ei voida vaikuttaa, joten ratkaisu täytyy etsiä vaikuttamalla rakenteen pintalämpötilaan tai sisäilman olosuhteisiin. Pintalämpötilaan voidaan vaikuttaa rakenteen lämmönsiirtymis- ja läpäisykertoimien muutoksilla. Rakenteellisia korjaustoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi eristeiden vaihto tai lisäys (lämmöneristyskyvyn parantaminen) tai rakenteen pinnoitus (pinnan lämmönvastuksen alentaminen). Rakenteiden korjaustoimenpiteitä päätettäessä tulee mukana olla rakennesuunnittelija.

Sisäilman olosuhteisiin voidaan vaikuttaa ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien muutoksilla. Toimenpiteinä on esitelty lämpötilojen ja kostuttamisen säätäminen. Ratkaisua voidaan hakea muuttamalla sisäilman olosuhteita riskialttiiksi todetuilla ajanjaksoilla. Tavallisesti riskiajanjakso on kovilla pakkasilla. Kohteen mukaan on huomioitava, voidaananko sisäilman kosteutta laskea kostutusjärjestelmän säädöillä.

Mikäli kostutusta ei voida vähentää tai kosteus on peräisin hallitsemattomista lähteistä, esimerkiksi altaista, voidaan riskiajanjakson aikana hakea ratkaisua lämpötilan säädöillä. Sopivan lämpötilatason arviointi ei ole yksinkertaista. Alentamalla sisäilman lämpötilaa voidaan tavoitella kastepistelämpötilan laskemista mitattua pintalämpötilaa alhaisemmaksi. Sisäilman lämpötilan laskeminen aiheuttaa kuitenkin samanaikaisesti kylästyskosteuden pientymistä, mikä asettaa puolestaan omat rajansa kosteuden tiivistymiselle. Jos kosteuden absoluuttinen määrä ilmassa ei muutu mutta lämpötilaa laskeaan, saavutetaan lopulta piste, jossa kosteus alkaa tiivistyä, koska ilma ei pysty enää sitomaan sitä. Jos kostutusta voidaan vähentää, on sopivan kosteuden ja lämpötilan tason määrittäminen helpompaa.

Ongelman ratkaisemiseksi kokonaan, tulee muuttaa joko rakenteen ominaisuuksia ja/tai sisäilman olosuhteita siten, ettei kosteuden tiivistymisen edellyttämiä olosuhteita pääse syntymään kovillakaan pakkasilla. Mikäli ratkaisua haetaan esimerkiksi tuulettamalla rakennetta, on huomioitava, että silloin hoidetaan oiretta eikä varsinaista syntysyytä. Tuulettamista voidaan käyttää esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän päätelaitteiden uudelleen kohdistamisella tai uusien kanavaosien avulla.

Mikäli mittaustuloksista havaitaan, että rakenteiden pintalämpötilat pysyvät kastepistelämpötilaa korkeampina koko mittausjakson ajan, voidaan todeta, ettei rakenteen pinnalle pääse syntymään kosteuden tiivistymisen mahdollistavia olosuhteita. Keskeisin ongelma on mittaustulosten pätevyys ainoastaan mittausjaksolla vallitsevissa ulkoilman lämpötiloissa, ei sitä kylmemmällä. Kuvaajien väliin jäävän lämpötilaeron avulla voidaan arvioida, kuinka lähellä tai kaukana ollaan olosuhteista, joissa tiivistyminen on mahdollista.

Tarkastelussa on tärkeää huomioida, että pinnalle tapahtuvan kosteuden tiivistymisen tutkinta tarkastelee vain yhtä syytä. Rakenteeseen voi vaikuttaa useitakin muuta ongelmaan johtavia ilmiöitä.

5.3 Riskiarviointi kriittisen kosteuden avulla

Mitattuja sisäilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa hyödynnetään kosteusrasitusolojen arviointiin. Arvioinnissa käytetään homeen kriittisen kosteuden arvona 75 %:a ja lämpötila-alueena +3...+45 C°:tta. Koska lämpötila-alue on niin suuri, tarkastellaan riskiä vain suhteellisten kosteuksien avulla. Mitatusta sisäilman suhteellisesta kosteudesta etsitään tasaisen poikkeaman korkeimmat arvot. Arvoja etsiessä on tärkeä huomioida ulkoisten tekijöiden aiheuttamat hetkelliset poikkeamat, kuten esimerkiksi pesu- tai roiskevedet, joita ei tule käyttää. Kaavan 3 ehdon mukaisesti arvioidaan onko sisäilmanolosuhteet homekasvulle suotuisat.

$$RH_{sisä} < RH_{kr} \quad (3)$$

$RH_{sisä}$ on mitattu sisäilman suhteellinen kosteus, %.

RH_{kr} on homeen kriittisen kosteuden raja-arvo, 75 %.

Arviointi on suuntaa-antava ja perustuu ainoastaan sisäilman aiheuttamaan kosteusrasitteeseen, eikä materiaalin sorptiokäyrää huomioida. On huomioitava, että kaavalla 3 vertaillaan mittaustuloksia vain yhteen kriittiseen kosteuteen. Materiaalista riippuen esimerkiksi lahoaminen tai ruostuminen voi alkaa jo pienemmillä sisäilman suhteellisilla kosteuksilla. Lisäksi on huomioitava, ettei sisäilman olosuhteiden avulla arvioida kaikkia rakenteeseen kohdistuvia kosteuskuormia tai homekasvuun vaikuttavia tekijöitä.

6 Ilmanvaihdon toiminnan mittaus

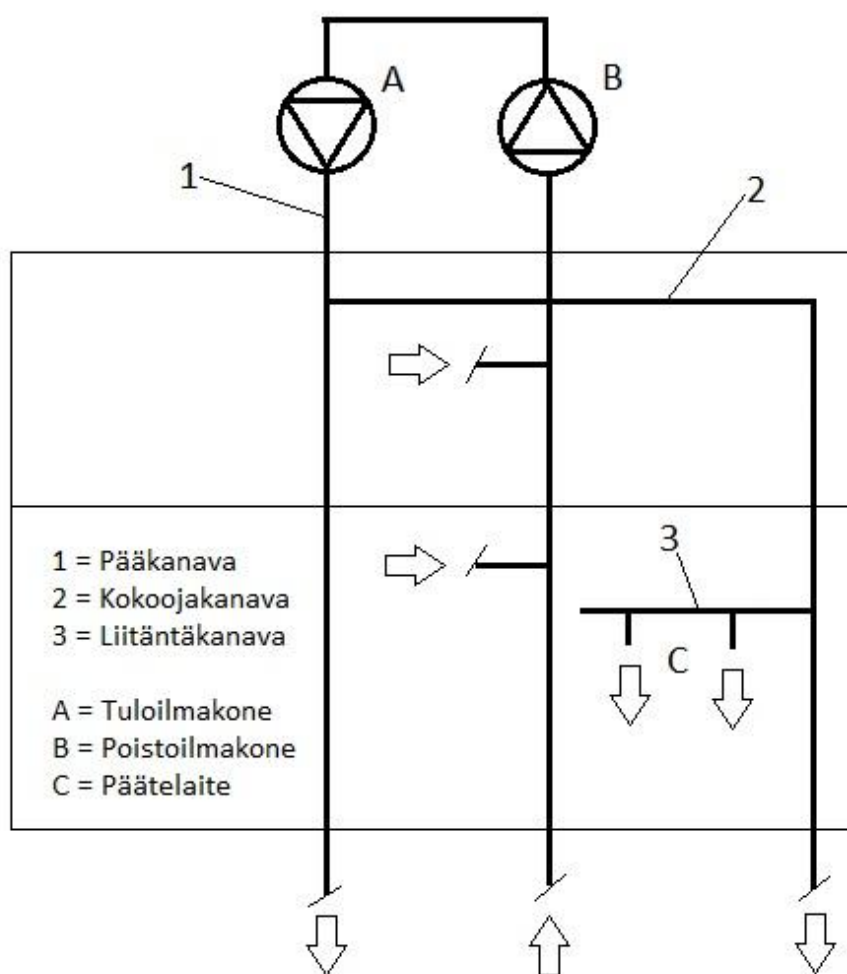
Mittausmenetelmän tavoitteena on selvittää rakennuksen ilmanvaihdon toiminnan taso. Lähtökohtana mittausmenetelmä rajataan rakennuksiin, joissa on ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Mittausmenetelmä pohjautuu pääasiassa Suomen Standardisoimisliiton standardeihin SFS 5511 ja SFS 5512. Esitetyssä mittausmenetelmässä sovelletaan standardeissa esitettyjä ohjeita, joka omalta osaltaan aiheuttaa epätarkkuutta.

Mittausmenetelmänä käytetään pistemittausta kanavasta. Tarkoituksena on selvittää konekohtaiset ilmavirrat ja verrata niitä tavoitearvoihin. Tuloksia käytetään lisäksi painesuhteiden, ilmavirtojen kuljettaman kosteuden sekä ilmanvaihtuvuuden arvioimiseen. Olennaista on mitata kaikki ilmavirrat saman tarkkuustason menetelmällä.

6.1 Mittausmenettelyiden valinnat

Mittauskohta ja -tapa

Kuvassa 6 on esitetty mittausmenetelmän yhteydessä käytettyjä termejä ilmanvaihtojärjestelmän eri osille.



Kuva 6. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän osista käytetyt termit [9].

Mittaukset tehdään pääkanavista (1), jotta voidaan selvittää ilmavirrat tulo- ja poistoilmakonekohtaisella (A ja B) tasolla. Ilman virtausta on mahdollista mitata myös kokooja- tai liitäntäkanavista (2 ja 3) tai päätelaitteista (C).

Tutkimusmenetelmä ei edellytä välttämättä huone- tai tilakohtaista ilmavirtojen selvittämistä. Tapauskohtaisesti pääkanavien ilmavirtojen mittaamisen tueksi voidaan mitata kokoojakanava-, liitäntäkanava- tai pääte-elinkohtaisia ilmavirtoja. Luvun lopussa on käsitelty lisämittauksilla saavutettavia etuja ja mahdollisia sovelluskohteita.

Ilman virtausta voidaan mitata ilmanvaihtokanavistosta kahdella pääperiaatteella

- monipistemittauksella tai
- mittauselimestä mittaamalla.

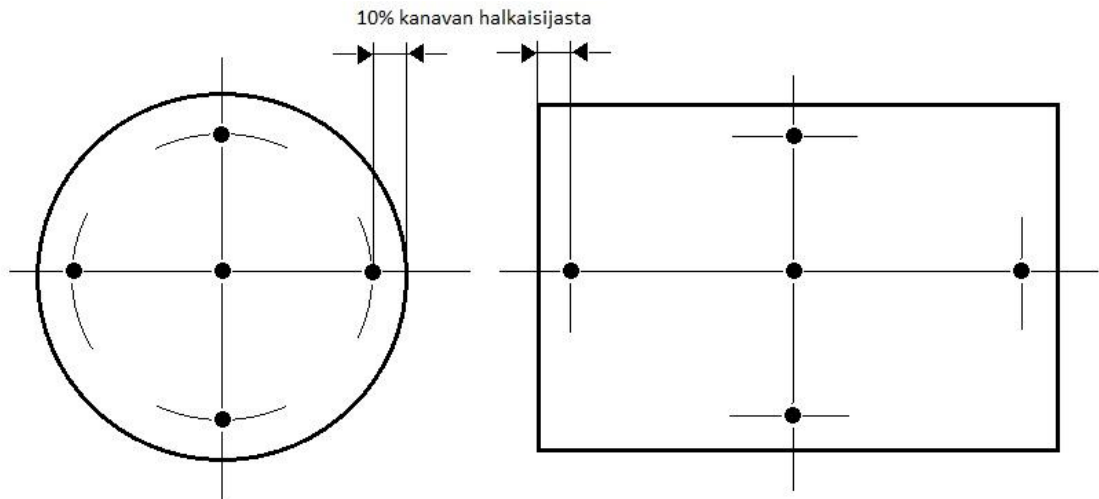
Monipistemittauksessa mitataan kanavaan tehdyn reiän kautta paine-eroa tai ilman nopeutta mitta-anturilla. Mittauselimestä mitataan paine-eroa mittausyhteisiin liitettävällä paine-eromittarilla. Ilman virtauksen mittaus jälkimmäisenä mainitulla menetelmällä edellyttää kohteeseen asennettuja mittauselimiä. Mittauselimenä voidaan joissakin tapauksissa käyttää ominaisuuksiltaan tunnettua ilmastointilaitoksen komponenttia. Mittauselimistä mitattaessa selvitetään tyyppihyväksyntää ja ominaisuuksia koskevat ohjeet Suomen Standardisoimisliiton standardista SFS 5512.

Tutkimuksessa käytetään monipistemittausta kahdesta syystä. Menetelmä soveltuu kaikkiin kohteisiin, riippumatta siitä, onko kohteessa asennettuja mittauselimiä. Lisäksi menetelmä voidaan tarvittaessa toistaa kanaviston muihin osiin.

Yleisimmät mittaustavat ovat

- viiden pisteen menetelmä
- log-linear menetelmä
- suorakaidemenetelmä sekä
- log-Tschebyschew-menetelmä.

Mittaustavan valintaan vaikuttaa tarkkuusvaatimus, suojaetäisyys sekä kanavan koko [10, s. 4]. Tutkimusmenetelmä mittaustavaksi sovelletaan viiden pisteen menetelmää. Kanavasta valitaan viisi mittauspistettä kuvassa 7 esitetyllä tavalla.



Kuva 7. Mittauspisteet pyöreässä ja suorakaiteen muotoisissa kanavissa

Pyöreän- ja suorakaidekanavan mittauspisteet valitaan kuvan 7 mukaisesti siten, että yksi piste on kanavan keskellä ja neljä pistettä kanavan reunoilla. Etäisyys kanavan reunasta on noin 10 prosenttia kanavan halkaisijasta. Jokaisesta pisteestä selvitetään ilman virtausnopeus tai mittauslaitteesta riippuen dynaaminen paine.

Mittausanturille tehtävän reiän kohta valitaan ilmanvaihtokoneelta lähtevästä pääkanavasta. Kanavasta etsitään mahdollisimman pitkä suora kanavaosuus, jossa ilman virtaus on mahdollisimman tasainen. Häiriöitä virtaukseen aiheuttavat esimerkiksi kanavan mutkat ja komponentit, joten reiän etäisyys häiriökohtiin valitaan mahdollisimman pitkäksi. Kohdan valinta toistetaan kaikille laitoksen ilmanvaihtokoneille, jotta saadaan selville kaikkien tulo- ja poistoilman pääkanavien ilmavirrat.

Mittauslaitteet

Virtausnopeuden mittauksiin soveltuvat pitot-putki ja paine-eromittari tai kuimalanka-anemometri. Pitot-putkella ja paine-eromittarilla voidaan mitata dynaamista-, staattista- ja kokonaispainetta. Pitot-putkella kohtuullisen mittaustarkkuuden saavuttaminen edellyttää vähintään virtausnopeutta 3 m/s [11, s. 4]. Pienillä virtausnopeuksilla tulee käyttää kuimalanka-anemometriä, jolla mitataan suoraan virtausnopeutta. Kuimalanka-anemometrin mittausalue ja -tarkkuus vaihtelevat laitekohtaisesti.

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty esimerkkikohteen mittauksissa käytetyt mittauslaitteet.



Kuva 8. Pitot-putki yhdistettynä paine-eromittariin.



Kuva 9. Ilman virtausnopeuden mittari.

Esimerkkikohteesta mitattiin aluksi kuvan 7 pitot-putkella ja paine-eromittarilla dynaamiset paineet. Osassa kanavista ilmavirrat olivat niin alhaisia, että mittaukset uusittiin kuvan 9 ilman virtausnopeusmittarilla.

6.2 Toteutus ja tulokset

Ennen ilmavirtojen mittaamista tulee varmistaa, että

- ilmanvaihto on normaalia käyttöä vastaavassa käyntitilassa
- ovet ja ikkunat ovat suljettuina
- mittalaitteet on kalibroitu laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Mittauksissa noudatetaan laitevalmistajan antamia ohjeita. Mittaukset aloitetaan tekemällä pääkanaviin reiät anturia varten. Kuvassa 10 mitataan ilmavirtaa pitot-putkella kanavaan poratusta reiästä.



Kuva 10. Ilmavirran mittaaminen pitot-putkella pyöreästä kanavasta. Pitot-putkella mitatessa putken kärki asetetaan ilmavirtaa vasten.

Mittausanturi tulee pitää liikkumatta jokaisessa mittauspisteessä tarvittavan pitkään, jotta arvot tasaantuvat. Viidestä pisteestä mitatut tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan jonka jälkeen reiät tulpataan. Lisäksi mitataan ja kirjataan kanavan koko. Mittausmenetelmä toistetaan kaikkiin kohteen tulo- ja poistoilman pääkanaviin.

Ilman tilavuusvirran laskemiseen tarvitaan ilman virtausnopeus ja kanavan poikkileikkauspinta-ala. Tilavuusvirta lasketaan jokaiselle mitatulle pääkanavalle, jotta saadaan selville konekohtaiset tulokset. Tilavuusvirta lasketaan kertomalla kanavan poikkileikkauspinta-ala ilman virtausnopeudella kaavan 4 mukaisesti.

$$q_v = A \times v \quad (4)$$

q_v on ilman tilavuusvirta, $\frac{m^3}{s}$

A on kanavan poikkileikkauspinta-ala, m^2

v on ilman virtausnopeus, $\frac{m}{s}$.

Ilman virtausnopeutena käytetään viidestä pisteestä mitattujen arvojen keskiarvoa. Mittauslaitteesta riippuen ilman virtausnopeus saadaan mitattua joko suoraan tai se lasketaan mitatun dynaamisen paineen avulla kaavan 5 mukaisesti.

$$v = \sqrt{\frac{2 \times P_{dyn}}{\rho}} \quad (5)$$

v on ilman virtausnopeus, $\frac{m}{s}$

P_{dyn} on dynaamisen paineen keskiarvo viidestä pisteestä

ρ on ilman tiheys, $\frac{kg}{m^3}$ (käytetään arvoa $1,2 \frac{kg}{m^3}$).

Pyöreän kanavan poikkileikkauspinta-ala lasketaan kaavan 6 mukaisesti.

$$A = \pi \times r^2 \quad (6)$$

A on kanavan poikkileikkauspinta-ala, m^2

r on kanavan säde, m .

Suorakaidekanavan poikkileikkauspinta-ala lasketaan kaavan 7 mukaisesti.

$$A = a \times b \quad (7)$$

A on kanavan poikkileikkauspinta-ala, m^2

a ja b ovat kanavan sivujen pituudet, m .

Ilmanvaihdon toimintaa tarkastellaan vertaamalla mittaustuloksista laskettuja ilman tilavuusvirtoja $\left(\frac{m^3}{h}\right)$ kohteen tavoite arvoihin. Tuloksilla selvitetään tulo- ja poistoilmakonekohtaisesti toimiiko ilmanvaihtojärjestelmä tavoitteiden mukaisesti.

Pääkanavista tehtävien mittausten lisäksi ilmavirrat voidaan mitata kokooja- tai liitäntäkanavista. Lisämittauksilla saadaan tietoa ilmanvaihtojärjestelmän eri osien toiminnasta. Tapauskohtaisesti tutkimuksissa voidaan tarvita tarkempaa tietoa rakennuksen ilmavirtauksista. Esimerkiksi kohteissa, joissa tilojen käyttötarkoitus ja tavoiteolosuhteet vaihtelevat saattavat ilmamäärien lisämittaukset olla tarpeen. Pääsääntöisesti tulee kiinnittää huomiota, ovatko ilmavirtauksien suunnat likaisista tiloista puhtaampiin päin. Lisämittauksilla voidaan tutkia aiheuttavatko ilmavirtaukset kosteuden kulkeutumista tiloihin, joissa kosteusrasituskuormia ei ole huomioitu.

6.3 Arvioitavat ilmiöt

Luvussa käsitellään ilmiöiden arvioimista mitattujen ilman tilavuusvirtojen avulla. Tarkoituksena on esittää ilmiöiden tutkimisessa huomioitavia asioita sekä mahdollisuutta aiheuttaa ongelmia. Vaikka ilmiöitä vain arvioidaan, tulee raporttiin esittää havainnot ja arviot niistä.

Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteita tarkastellaan mittauksissa selvitettyjen tulo- ja poistoilmavirtojen avulla. Rakennus on alipaineinen poistoilmavirtojen summan ollessa suurempi kuin tuloilmavirtojen summa. Päinvastoin kun tuloilmavirtojen summa on suurempi kuin poistoilmavirtojen, rakennus on ylipaineinen. Mittaustuloksista selvitetään ali- tai ylipaineisuus laskemalla tuloilmavirtojen summat yhteen ja vertaamalla niitä poistoilmavirtojen yhteenlaskettuun summaan. Tulos on suuntaa-antava, sillä painesuhteisiin vaikuttavat lisäksi tuuli ja lämpötilaerot. Tuulen ja lämpötilaerojen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin vaihtelee ulkoilman olosuhteiden sekä rakennuksen vaipan vuotokohtien mukaan.[9; 4, *Ilmavirtaukset rakennuksessa.*]

Ilmanvaihtotekniikalla pyritään yleensä alipaineistamaan rakennus hieman, jotta rakenteisiin ei aiheutuisi jatkuvaa kosteusrasitusta. Mikäli rakennus on ylipaineinen, muodostuu riski kostean sisäilman virtaamisesta rakenteeseen. Painesuhteiden suuntaa-antavassa tarkastelussa suurien ali- tai ylipaineiden ilmetessä on syytä harkita jatkotutkimuksia. Arvioitaessa, mikä on suuri ali- tai ylipaine, voidaan käyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman 2010 osassa D2 esitettyjä ilmavirtoja eri rakennustyypeille.

Ilmavirtauksien kuljettama kosteus

Kosteuden siirtymistä ilmavirran mukana kutsutaan kosteuskonvektioksi. Mikäli ilmavirtojen mittaustuloksista selviää ylipaineisuutta, saattaa erityisesti kylminä ajanjaksoina syntyä riski kosteuden kulkeutumisesta ja tiivistymisestä ulkorakenteiden sisään.

Painesuhteet aiheuttavat rakenteen eri puolille ali- ja ylipaineen, jotka pyrkivät synnyttämään ilmavirtauksen rakenteen läpi. Ilmavirtauksen ehtona on virtausreitti paineerojen välillä. Kosteuskonvektiota tarkasteltaessa merkittävimmät virtausreitit ovat ulkorakenteiden vuotokohtat. Kosteusvaurioriski muodostuu etenkin kylmänä ajanjaksona, jos lämmintä ja kosteaa sisäilmaa virtaa rakenteiden vuotokohdissa kohti ulkoilmaa. Tällöin sisäilman sisältämä kosteus alkaa tiivistyä rakenteen sisään kohdatessaan riittävän kylmän rakenneosan. [1, s. 61; 4, *Ilmavirtaukset rakennuksessa.*]

Kosteuskonvektion riskiä ei voida arvioida kovinkaan tarkasti pelkästään ilmanvaihdon aiheuttamien paine-erojen avulla. Ilmanvaihtojärjestelmän kokooja- ja liitäntäkanavien ilmavirtamittauksien avulla voidaan saada lisätietoa tilakohtaisista ylipaineen suuruuksista.

Ilmanvaihtuvuus

Ilmanvaihtuvuuden arviointi tehdään tilakohtaisesti. Rakennuksesta ja ilmanjakotavasta riippuen ilmanvaihtuvuus voidaan laskea pää-, kokooja- tai liitäntäkanavan ilmavirtojen mittauksien avulla.

Tilan ilmanvaihtuvuus lasketaan kaavalla 8 poistoilmavirran ja tilavuuden avulla [6, s. 32]

$$n = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

n on ilmanvaihtokerroin $\left(\frac{l}{h}\right)$

Q on tilan poistoilmavirtojen summa $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

V on tilan tilavuus (m^3).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteessä 1 on esitetty ilmavirtojen ohjearvoja rakennustyyppin ja tilan käyttötarkoituksen mukaan. Ilmavirtojen ohjearvoja voidaan käyttää vertailuarvoina olemassa olevalle ilmanvaihtojärjestelmälle. Mikäli kohteessa on asetettu tilakohtaisia tavoitearvoja, tehdään vertailu niihin.

7 Case-kohteen tulokset

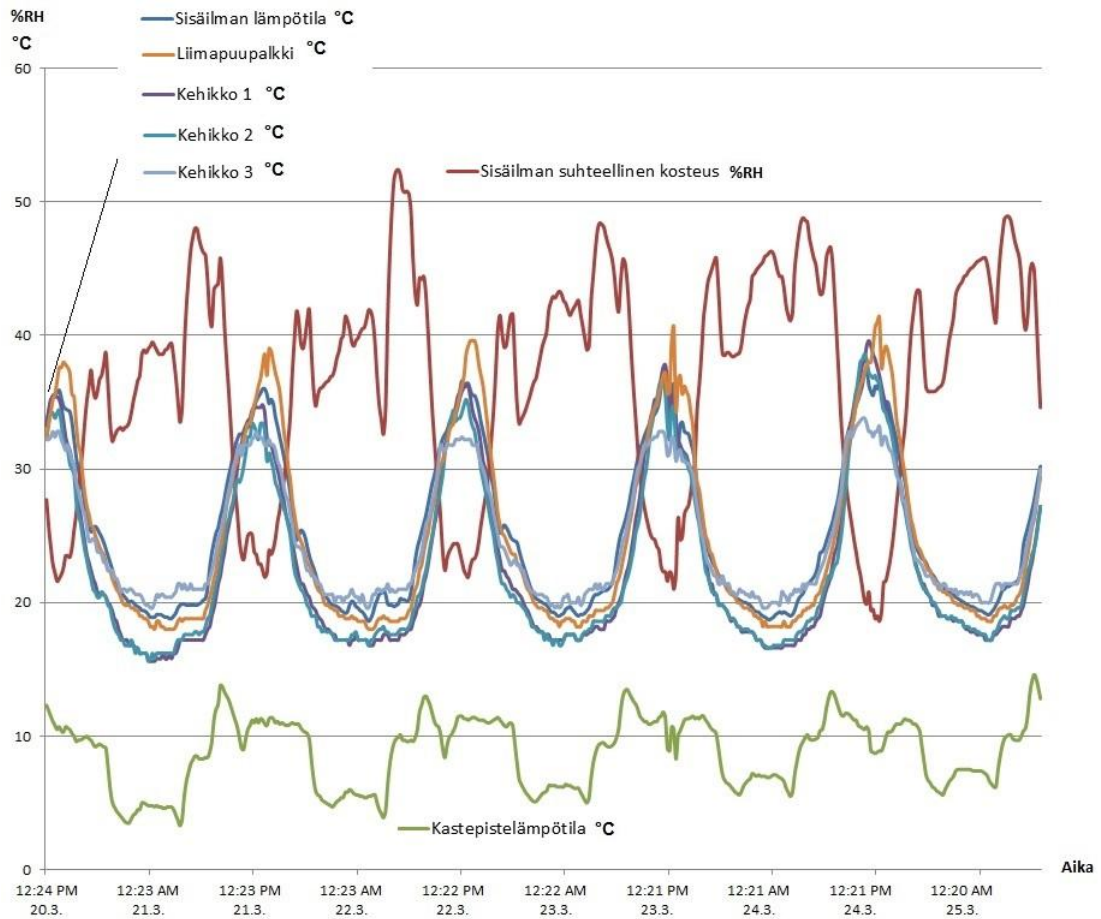
Case-kohteen mittauksiin on sovellettu luvuissa 5 ja 6 esitettyjä mittausmenetelmiä. Kohteen tutkimusraportti on luovutettu kokonaisuudessaan tilaajalle. Tässä luvussa on esitetty tärkeimmät tulokset ja huomiot kohteen mittauksista.

Kondenssin mahdollisuus

Pistemittauksilla selvitettiin todetun riskikohdan kylmimmät pinnat sekä ympäröivän tilan sisäilman olosuhteita. Rakennusautomaatikasta selvitetty tilan suhteellisen kosteuden tavoitearvot olivat oleskeluvyöhykkeellä 45–55 %RH. Katonrajasta pisteittäin mitatut olosuhteet olivat tasaiset, suhteellisen kosteuden arvot olivat suuruusluokaltaan noin 25 %RH ja lämpötila kohdissa oli yli +30 °C.

Kondenssimittauksiin käytettiin kahta sisäilman laadun mittaria, joilla selvitettiin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden lisäksi kastepistelämpötilaa. Sisäilman olosuhteiden mittaustietoa kerättiin kattorakenteen läheisyydestä sekä vertailuksi oleskeluvyöhykkeeltä. Pintalämpötilojen mittauksiin käytettiin Eltek Squirrel -tiedonkerääjää, johon yhdistettiin neljä lämpötila-anturia. Pintalämpötilojen arvot kerättiin kehikkorakenteen kolmelta kylmimmältä pinnalta sekä läheisen liimapuupalkin pinnalta.

Kohteeseen tehtiin neljän päivän mittausjakso, joista katonrajasta kerättyjen mittaustulosten kuvaajat on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Katonrajasta koottujen kondenssimittausten tuloksien graafinen esitys.

Pintalämpötilat pysyivät koko mittausjakson ajan kastepistelämpötilaa korkeampina. Tuloksista todettiin, ettei kondenssia pääse tapahtumaan mitatuille pinnoille. Täyttä varmuutta ei voitu todeta, koska tulokset ovat päteviä vain mittausjakson ulkoilmalo- suhteilla. Mittausjakson kylmin päivä oli 22.3.2013, jolloin ulkoilman lämpötila laski -15 asteeseen. Riskiä arvioitiin selvittämällä, kuinka usein ollaan keskimäärin vuoden aika- na tätä kylmemmissä olosuhteissa. Arviointiin on käytetty Suomen Ilmatieteen laitoksen tilastotuloksia. Kuvassa 12 on esitetty alhaisten minimilämpötilojen keskimääräisiä vuo- tuisia lukumääriä.

Lämpötila	
	1981-2010
$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	12.7
$T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$	3.7
$T_{\min} < -25^{\circ}\text{C}$	0.7
$T_{\min} < -30^{\circ}\text{C}$	0.2

Vuorokautta

Kuva 12. Alhaisten minimilämpötilojen esiintyminen vuorokausina vuosilta 1981–2010 [12].

Kohteen mittausjaksoa keskimäärin kylmempiä vuorokausia oletettiin kuvassa 12 esitettyjen tulosten perusteella olevan noin 13. Lisäksi kuvan 10 graafisten kuvaajien avulla tutkittu ero pinta- ja kastepistelämpötilojen välillä oli pienimmillään noin 5 astetta. Yhteisvaikutuksena kosteuden tiivistymisen riski mitatuille pinnoille arvioitiin hyvin pieneksi.

Ilmanvaihdon toiminta ja painesuhteet

Kohteen painesuhteita selvitettiin mittaamalla konekohtaiset ilmavirrat. Kohteesta ei ollut käytettävissä LVI-luovutuskansioita tai muuta dokumenttia, josta suunnitellut ilmavirrat olisi voitu selvittää. Vertailuilmavirtoina on käytetty koneissa esitettyjä arvoja. Kohteessa on huippuimuri PK203, jonka ilmavirrasta ei ollut tietoa saatavilla. Vertailu ja mittau tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Case-kohteen konekohtaiset ilmavirrat

Kone	Ilmavirta (Päivä)	Ilmavirta (Yö)	Mitattu ilmavirta
	m^3/s	m^3/s	m^3/s
TK 201	1,0	0,5	0,78
PK 201	1,0	0,5	0,10
TK 202	1,2	0,6	1,16
PK 202	1,8	0,9	0,68
TK 203	1,64	0,82	1,68
PK 203 (huippuimuri)	-	-	1,03

Kohteen ilmavirtojen vertailu tuotti vain suuntaa-antavaa tietoa, koska alkuperäisiä tai muutostöiden tavoitearvoja ei tiedetty. Mittaustuloksista esitettiin arvio nykyisistä ilmavirtauksista rakennuksen sisällä. Riskikohdiksi esitettiin ylipaineisten ja kustutettujen tilojen sekä ympäröivien tilojen välisten sisärakenteiden ilman virtausreitit.

Mittaustulosten avulla arvioitiin ilmanvaihdon vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin. Mainittavin epäkohta havaittiin jo ilmavirtojen mittausten yhteydessä, kun poistoilmakone PK 201:n pääkanavasta ei saatu paine-eromittauksella mitään lukemia. Mittaukset uusittiin kuumalanka-anemometrillä, jonka avulla mitatut ilman virtaus nopeudet olivat suuruusluokaltaan vain 0,3 m/s. Kanavan halkaisija oli 630 mm, joten ilmavirraksi saatiin 0,10 m³/s. Myös poistoilmakoneen PK 202 ilmavirta oli huomattavan alhainen, vain 0,68 m³/s. Taulukossa 3 on esitetty mitattujen tulo- ja poistoilmavirtojen yhteenlasketut tulokset vertailuna koneissa esitettyihin arvoihin.

Taulukko 3. Tulo- ja poistoilmavirtojen yhteenlasketut arvot.

	Tulo yhteensä	Poisto yhteensä
Mitatut	3,62 m ³ /s	1,81 m ³ /s
Koneissa esitetyt arvot	3,82 m ³ /s	2,80 m ³ /s + PK 203*
		*(PK 203 epävarmasta lähteestä 0,85 m ³ /s)

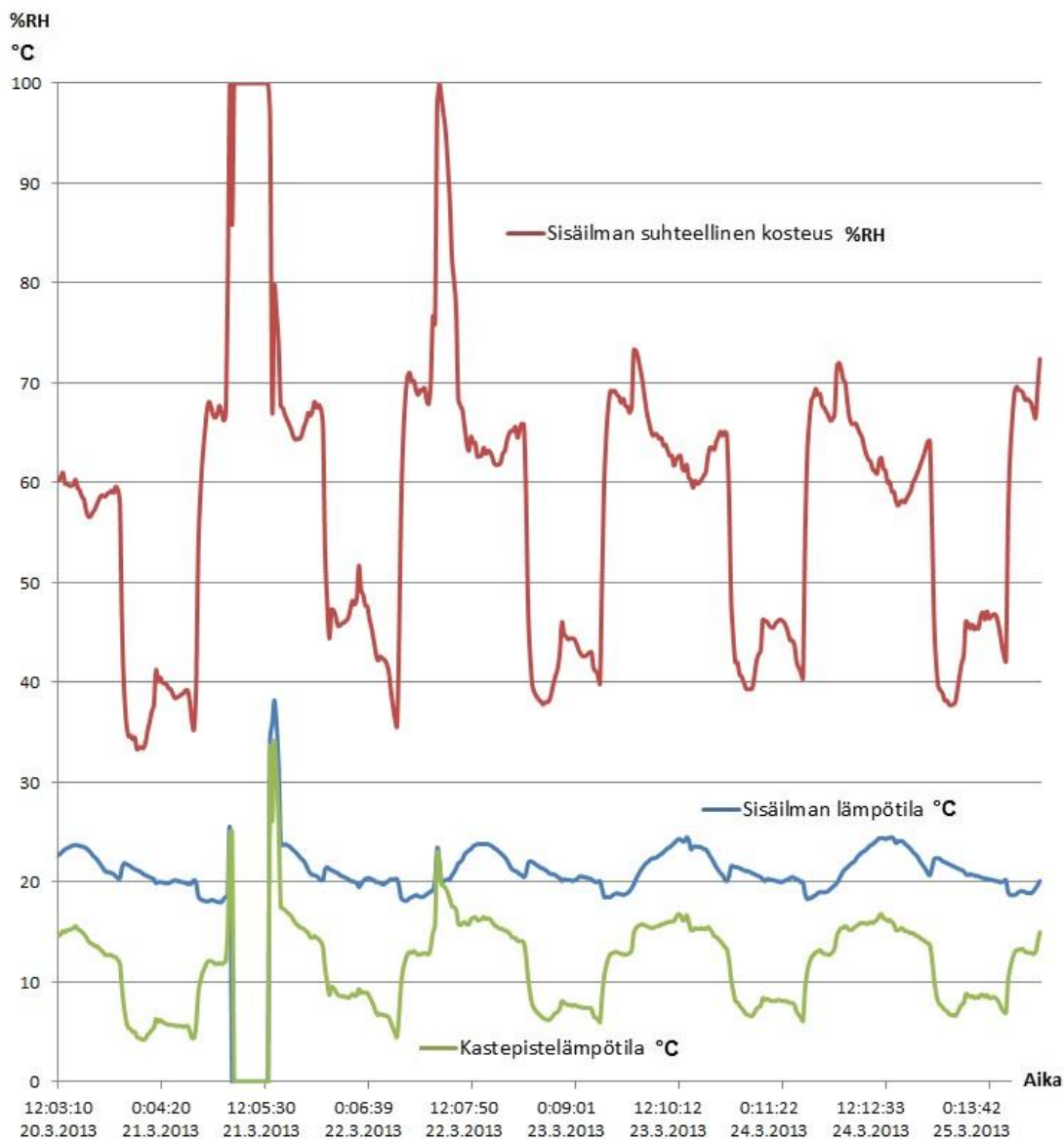
Taulukon 3 arvoista voitiin todeta tuloilman mittaustulokset odotetunlaisiksi, vaikka tavoite arvoja ei tiedetä. Poistoilman osalta voitiin todeta sen olevan riittämätöntä pitämään rakennus alipaineisena. Toimenpiteenä ehdotettiin lisäselvitystä, jolla voitaisiin tarkentaa, missä kanaviston osissa ongelmat esiintyvät, sekä kanaviston mahdollista nuohoamista. Keskeisimpänä riskinä esitettiin koko rakennuksen ylipaineisuus. Alipaineistamisen lisäksi esitettiin tilakohtaisten paine-erojen järjestäminen siten, että ilmavirtaukset olisivat vähiten kustutetuista tiloista korkeimmin kustutettuja tiloja kohden. Erytisen suureksi riskikohdaksi esitettiin poistoilmakoneen PK 201 vaikutusalueen tilat, jotka ovat rakenteellisesti erillisiä ilmatiiviitä alueita.

Kosteus- ja homevaurioriskin arviointi

Kattorakenteeseen kohdistetuissa tutkimuksissa perusajatuksena oli tarkastella synnyttävätkö kylmät pinnat sisäilman viilenemistä siinä määrin, että lämpötilan lasku aiheuttaa 100 %:in suhteellisen kosteuden ja siten kosteuden tiivistymisen pinnalle. Kosteus- ja homevaurion riskin arvioinnissa perusajatuksena oli, että mikrobikasvusto voi alkaa kasvaa jo alemmalla suhteellisella kosteudella.

Homeen synty- ja kasvuolosuhteiden mahdollisuutta arvioitiin suhteellisen kosteuden avulla, jonka kriittisenä kosteutena on käytetty lukemaa 75 %RH. Tutkimuksessa käytetty arvo ei itsessään ole yksiselitteinen, sillä homeen kasvun alkamisen mahdollistavat olosuhteet ovat erilaiset, kuin kasvun ylläpysymiseen vaadittavat. Kosteuden lisäksi vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi materiaalit, lämpötila, altistumisaika ja mikrobieliöt, joita ei tutkimuksen yhteydessä tutkittu tasolla, joka mahdollistaisi tarkkoja arvioita.

Riskiolosuhteiden kartoittamiseen käytettiin oleskeluvyöhykkeeltä kerättyä mittaustietoa sekä rakennusautomaatiikan kosteus- ja lämpötilatasoja rakennuksen eri tiloista. Kuvassa 13 on esitetty mittaustulokset oleskeluvyöhykkeeltä.



Kuva 13. Mitatut sisäilman olosuhteet oleskeluvyöhykkeeltä.

Kuvassa 13 esiintyy kaksi selkeää poikkeamaa, jotka on selvitetty johtuneen käytön aiheuttamasta roiskevedestä. Mittapaikan valinnassa on käynyt virhearvio, jolloin päivittäin samaan aikaan toistuva käytön toimenpide on päässyt kastelemaan mittarin ja sen välittömän läheisyyden. Poikkeamat on erotettu tarkastelussa yleisolosuhteista. Toimintaehdotuksiin on huomautettu käytön aiheuttaman rakenteiden ja materiaalien kastumisen riskistä. Kohteen olosuhteissa kuivuminen on hidasta, jolloin pesu- ja roiskevesien kertyminen voi aiheuttaa paikallisia kosteus- ja homevaurion edellyttämiä jatkuvia kosteusolosuhteita.

Tilassa ei todettu sisäilman ylittävän jatkuvasti kriittisen kosteutena käytettyä rajaa. Rakennusautomaatiikan tietojen perusteella tiloihin, joissa sisäilman suhteellinen kosteus pidetään jatkuvasti välillä 70–80 %RH, esitettiin tilanteen tarkempaa tutkimista.

Tarkastellun tilan kostuttimet ovat käytössä päiväaikaan, jolloin suhteellisen kosteuden asetusravot ovat välillä 60–70 %RH. Kuvan 13 suhteellisen kosteuden kuvaajasta pääteltiin olosuhteiden pysyvän oleskeluvyöhykkeellä asetusravojen rajoissa. Yöaikaan tila on tuloilman kostutuksen, sekä ympäröivien kosteuslähteiden vaikutusten alaisena. Tuloilman kostutusta ohjataan poistoilman kosteuden mukaan. Tilan suhteellinen kosteus pidetään yöaikaan arvojen 35–50 %RH välillä. Kosteustason laskeminen yöksi on arvioitu merkittäväksi estämään kosteus- ja homevaurion syntyä rajoittamalla altistumisaikaa korkeille suhteellisen kosteuden raskuuksille.

Vaikka sisäilman suhteellisen kosteuden laskeminen yöaikaan antaisi rakenteiden pinnoille riittävästi aikaa kuivumiseen ja sitä kautta estäisi kosteus- ja homevaurion synty-riskiä, on ongelmaa kuitenkin tarkasteltava myös rakenteiden sisäosissa. Merkittävimmäksi riskiksi arvioitiin ylipaineisuuden mahdollistamaa kosteuskonvektiota ulkorakenteisiin. Huokoiset rakenteet sekä erityisesti vaipan vuotokohdat esitettiin riskikohtina, joiden sisäosiin tapahtuvan kosteuden kertymisen riski on korostamisen arvoinen. Toimintaehdotuksissa esitettiin kohteeseen tehtäväksi ilmatiiveysmittauksia. Ilman mukana kuljettava kosteus voi päästä rakenteen sisäosiin ja mahdollistaa sinne kosteusvaurioitumisen edellyttämät kosteusolot. Rakenteiden sisällä altistumisaika saattaa pintaosia helpommin muodostua homeen kasvulle vaaditun pituiseksi. Kosteuden poistuminen sisäosista on arvioitu kohteessa hitaaksi, jonka syyksi on esitetty korkea sisäilman suhteellinen kosteus sekä ylipaineisuus, joka aiheuttaa jatkuvaa kostean ja lämpimän sisäilman pyrkimistä rakenteen sisään. Tämän tutkimuksen puitteissa ei riskiä pystytty todentamaan tarkasti. Jatkotutkimuksiksi on esitetty systemaattista riskirakenteiden selvittämistä sekä niihin kohdistettavia kosteusmittauksia rakenteiden sisäosista.

Tulosten yhteenveto

Tutkimusmenetelmän avulla voitiin kohteesta

- selvittää kondenssin mahdollisuus tarkastelluille pinnoille
- esittää kastepistelämpötilan tarkastelu muiden tilojen arvioimista varten
- löytää puutteita ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirroissa
- arvioida rakennuksen painesuhteet alipaineisiksi
- esittää arvioita rakennuksen sisäisistä ilman virtausreiteistä
- arvioida kosteus- ja homevaurion riskiä kosteusolojen osalta
- esittää jatkotoimenpide-ehdotuksia tehdyistä huomioista.

Lisäksi kohteen historiasta kerättiin yhteenveto kattorakenteeseen sekä ilmanvaihtojärjestelmään tehdyistä toimenpiteistä.

8 Yhteenveto

Työn laadinnassa on lukijoiksi ajateltu tilaaja- ja tutkijaosapuolet sekä näiden yhteinen etu onnistuneen riskiselvityksen aikaansaamiseksi. Alustavan kokonaiskuvan luomiseksi työ määriteltiin mahdollisimman yksinkertaisesti, jotta sen sijoittuminen rakennusten kosteusongelmien tutkimisen laajaan, ja osittain sekavaan, kokonaisuuteen selviäisi. Alussa on kuvattu tiiviisti, minkälaisiin kohteisiin menetelmät soveltuvat oikean tutkimuksen valitsemisen selkeyttämiseksi. Tarkoituksena on luoda selvyys molemmille osapuolille siitä, mitä lähdetään tekemään ja miksi.

Lukijaa on lähestytty niiden ongelmien kautta, joita tämän projektin aika on havaittu. Yleisinä kosteudenhallinnan ongelmina on esitetty kokonaisuuden hallinnan puute ja sitä kautta oikean menetelmän valinnan vaikeus. Lisäksi haasteena on todettu käytön-aikaisten ongelmien ehkäisemisen vaikeus ja menetelmien kehittäminen. Keskeisenä ajatuksena on, että ongelmaa ei voida ratkaista muuten kuin ehkäisemällä sen kaikki syntysyyt tai se uusiutuu.

Tilaaajan näkökulmasta ratkaisuna on valita tutkimusmenetelmät, joilla selviää kaikki syntysyyt. Varsinaisena ongelma onkin valinnan vaikeus moniulotteisten rakennusten kosteusongelmien muodostamasta tutkimusmenetelmien kirjosta. Usein tarvitaan laajaa osaamista eri osa-alueilta, ja siksi tutkimistavan valinnan avuksi tulisi käyttää asiantuntija-apua jo riskiepäilyn, tai viimeistään oireiden, ilmetessä. Lisäksi haasteen syntyneiden tutkimiseen tuo käytettävien menettelyjen tason epätasaisuus. Vaikka onnistuttaisiin valitsemaan ongelmaan sopiva tutkimus, ei voida varmistua sen toteutuksen luotettavuudesta.

Alan julkaisuissa esitetään usein kehitysehdotuksia, joissa painotetaan eri tahojen välisen yhteistyön, tiedonkulun sekä menetelmien standardoimisen kehittämisen tärkeyttä. Näihin johtopäätöksiin oli helppo yhtyä julkaisuja lukiessa. Tämän insinööriyön laatimisen yhteydessä tekijälle on kuitenkin selvinnyt, miten hankalaa niiden toteuttaminen on edes tarkoin rajatussa aiheessa. Työn tekemisen aikana keskeisenä ongelmana on pohdittu, miten esittää mahdollisimman luotettavia menetelmiä, sillä tutkimuksen lopputulokset perustuvat lopulta tekijän pätevyyteen, kokemukseen ja kokonaisuuden sekä yksittäisten ilmiöiden ymmärtämiseen. Luotettavuutta on tavoiteltu kuvaamalla menetelmät sekä niiden epätarkkuuteen ja virheisiin vaikuttavat syyt mahdollisimman yksi-

tyiskohtaisesti. Kuten joku viisaampi on joskus todennut, tarkkuus perustuu siihen, miten pieneksi virhe voidaan määrittää.

Ajatus luoda yksiselitteinen toimintamalli, joka sopisi vaihteleviin kohteisiin ja eri mittajille, muuttui työn edetessä ohjeen muotoon. Muutoksen tarkoituksena oli koota mahdollisimman kattava lähtötaso kosteusrasitusolojen selvittämiseen työn tekijän mittaus-ten aikaisista huomioista sekä alan tietolähteistä. Ohjeessa esitettyjä lähtöasetelmia on tarkoitus voida täydentää ja soveltaa kohde- ja tutkijakohtaisesti vastaamaan kunkin tutkimuksen tavoitteita.

Työn kehitysmenetelmänä voisi toimia ohjeiden täydentäminen sen soveltamisen yhteydessä tehtyjen havaintojen myötä. Edellytyksenä olisi kattava raportointi kohdatuista ongelmista sekä niiden tutkimisesta ja ratkaisuista. Tällöin työtä voitaisiin täydentää kokoamalla raporteista tietoa käytännön soveltamisen eri näkökulmista. Täydennystä voitaisiin tehdä myös esittelemällä työ alan eri osa-alueiden ammattilaisille ja kerätä siten lisää näkökulmia.

Lähteet

- 1 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 2 Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Verkkodokumentti. Eduskunta.
<<http://web.eduskunta.fi/dman/Document.phx?documentId=er28612160849612&cmd=download>>. 1/2012. Luettu 4.2. -11.4.2013.
- 3 Leivo, Virpi ym. 1998. Opas kosteusongelmiin. Julkaisu 95 talonrakennustekniikka. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20783/leivo_opas_kosteusongelmiin.pdf?sequence=3>. 11/1998. Luettu 4.2 -11.4.2013.
- 4 Sisäilma ja terveelliset tilat. Sisäilmayhdistys ry. organisaation verkkosivut.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/>. Luettu 4.2. -11.4.2013.
- 5 Björkholtz, Dick. 1997. Rakennusfysiikka: lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 6 Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. 1998. Helsinki: Rakennustieto Oy, Ympäristöministeriö.
- 7 Viitanen, Hannu ym. 2009. Rakennusmateriaalien homeenkestävyys ja sen mallintaminen pysyvissä kosteusrasitusoloissa. Julkaisu 293-248. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 8 Sisäilmaston kuntotutkimus, julkaisu 4. 1997. Helsinki: Suomen LVI-yhdistyksen Liitto ry.
- 9 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012 Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 10 SFS 5511. Rakennusten sisäilmasto, lämpöolojen kenttämittaukset. 1989. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 SFS 5512. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. 1989. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 12 Ilmaston vuositilastot 1981–2010. Verkkotietokanta. Ilmatieteenlaitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>>. Luettu 1.4.2012.