



UIMAHALLIEN RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNIikka

Kirjoittajat: Tuomo Ojanen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi UIMAHALLIEN RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNIikka		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Opetus- ja kulttuuriministeriö Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto Erja Metsäranta Uimalankatu 1, PL 272, 33101 TAMPERE		Asiakkaan viite OKM/120/626/2014
Projektin nimi Uimahallien yläpohjarakenteiden kosteustekniikka ja paloturvalliset PU-lämmöneristeiset hallirakenteet		Projektin numero/lyhytnimi 104130
Tiivistelmä <p>Uimahallit ja erityisesti niiden allastilat ovat haasteellisia paitsi sisäilmaolojen viihtyisyyden myös rakenteiden kosteusrasitusten kannalta. Korkea sisäilman lämpötila ja kosteuspitoisuuden lisäksi korkeasta allastilasta johtuva sisäilman ylipaineen riski aiheuttaa merkittävän kosteuskuormituksen erityisesti hallin yläosan rakenteille. Tämän selvityksen tavoitteena on parantaa tiedon puutteesta johtuvaa tilannetta ja edistää hyvän kosteusteknisen toimivuuden ratkaisuja uimahallien rakenteissa. Tavoitteena on selkeyttää uimahallin yläpohja- ja seinärakenteisiin kohdistuvien eri kosteuskuormitusten syitä ja merkitystä toimivuuden riskitekijöinä. Lisäksi arvioidaan tapoja, joilla rakenteiden kosteuskuormiin ja –riskeihin voidaan vaikuttaa. Hankkeessa esitetään rakenteen ja lämmöneristekerroksen toimivuudelle yleiset tavoitearvot ja pitkäkestoisuuteen vaikuttavat tekijät sekä rakenteiden suunnittelun, materiaalivalinnan ja toteutuksen periaatteet. Vaikka hanke keskittyy uimahallien rakenteisiin, on rakennus aina kokonaisuus johon vaikuttavat rakenteiden lisäksi muut järjestelmät - erityisesti ilmanvaihto, järjestelmien säätö ja niiden käyttö, niiden toiminnasta ja huollosta vastaava käyttöhenkilöstö, tilojen käyttäjät ja ympäristön ilmaston rasitusolosuhteet. Siten rakenteita ei voida käsitellä erillisinä koko rakennuksen toimivuudesta, vaikka tämän selvityksen näkökulma on rakenteiden toimivuudessa.</p> <p>Tässä esitetyt tulokset ovat osa 'Uimahallien yläpohjarakenteiden kosteustekniikka ja paloturvalliset PU-lämmöneristeiset hallirakenteet' –projektia. Projekti toteutettiin 21.9.2015 – 31.12.2017. Sen rahoittajia olivat Opetus- ja kulttuuriministeriö sekä Kingspan Insulation Oy. Työ tehtiin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä.</p>		
Espoo 18.12.2017 Laatija  Tuomo Ojanen Erikoistutkija	Tarkastaja	Hyväksyjä  Riikka Holopainen Tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaja ja VTT		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	2
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet	4
1.1 Tausta	4
1.2 Tavoitteet	4
1.3 Toteutus	4
1.4 Tarkastelun rajaus.....	4
2. Kosteuden aiheuttamat riskitekijät uimahallin rakenteissa	5
2.1 Yläpohjan tuuletus.....	5
2.2 Sadeveden tai lumen tunkeutuminen yläpohjan tuuletustilaan.....	5
2.3 Vesivuodot kattorakenteiden kautta.....	6
2.4 Kiinteistönhoito.....	6
2.5 Sisäilmasta peräisin olevan kosteuden siirtymiseen rakenteisiin	6
3. Todettuja ongelmia ja vaurioita uimahalleissa.....	7
4. Liian kosteuden aiheuttamia ongelmia rakenteissa	8
4.1 Home	9
4.2 Laho.....	11
4.3 Korroosio.....	12
4.4 Emissiot	12
4.5 Materiaalien pysyvät muutokset	13
5. Kosteuskuormitus uimahalleissa.....	13
5.1 Ohjeet ja tehdyt selvitykset.....	13
5.1.1 Uimahallirakenteiden suunnittelun vaativuus	13
5.2 Uimahallien sisäilman olosuhteet	14
5.2.1 Lämpötila ja suhteellinen kosteus	14
5.2.2 Painesuhteet	15
5.3 Uimahallien rakenteiden kosteuskuormitukseen vaikuttavat tekijät.....	16
5.3.1 Ilmanvaihdon mitoitus ja sisäilman kosteus	16
5.3.2 Diffuusio rakenteisiin ja niiden läpi.....	17
5.3.3 Sisäilman ylipaine ja vuotoilmavirtaukset.....	17
5.4 Yhteenvetoa kosteuskuormitukseen vaikuttavista tekijöistä.....	30
6. Vaatimustasot uimahallien yläpohjarakenteille.....	32
6.1 Kosteusteknisen toimivuuden perusteet	32
6.1.1 Riittävä diffuusio- ja ilmatiiviyys	32
6.1.2 Ilmanvaihto ja sen tuottama alipaine.....	32
7. Rakennerratkaisujen suunnittelun ja toteutuksen perusteet	32
7.1 Tuuletus	32
7.2 Ilma- ja diffuusiotiiviyys sekä sen varmistaminen	32
7.2.1 Rakenteet.....	32
7.2.2 Ilmatiiviyden todentaminen	33
7.3 Rakentaminen	35
7.4 Rakenteiden ja järjestelmien kokonaistoimivuus.....	36
7.4.1 Ilmanvaihto ja painesuhteiden hallinta	36

7.4.2 Kiinteistön ylläpito.....	36
7.5 Olosuhteiden ja käytön seuranta	37
7.6 Käyttöhenkilökunnan koulutus	39
8. Johtopäätökset ja yhteenveto	39
Lähdeviitteet	42

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

1.1 Tausta

Uimahallit ja erityisesti niiden allastilat ovat haasteellisia paitsi sisäilmaolojen viihtyisyyden myös rakenteiden kosteusrasitusten kannalta. Korkea sisäilman lämpötila ja kosteuspitoisuus aiheuttavat huomattavan sisäpuolisen kosteuskuorman rakenteille. Lisäksi korkea allastila vaikeuttaa sisäilman alipaineen jatkuvaa ylläpitoa, mikä lisää riskiä ilmavuodoista ja sen aiheuttamasta kosteuskertymästä erityisesti yläpohjarakenteisiin.

Uimahallien olosuhteista ja rakenteista on julkaistu selvityksiä, mutta edelleen niiden ratkaisuisissa on vaihtelevia käytäntöjä, jotka voivat lisätä pitkäaikaistoimivuuden riskejä.

1.2 Tavoitteet

Tämä selvitys pyrkii osaltaan parantamaan tiedon puutteesta johtuvaa tilannetta ja edistämään hyvän kosteusteknisen toimivuuden ratkaisuja uimahallien uudis- ja korjausrakentamisessa.

Hankkeen tavoitteena on selkeyttää uimahallin yläpohja- ja seinärakenteisiin kohdistuvien eri kosteuskuormitusten syitä ja merkitystä toimivuuden riskitekijöinä. Lisäksi arvioidaan tapoja, joilla rakenteiden kosteuskuormiin ja –riskeihin voidaan vaikuttaa. Rasitukset ja riskitekijät tuntemalla voidaan parantaa kestävänn suunnittelun lähtökohtia. Hankkeessa esitetään rakenteen ja lämmöneristekerroksen toimivuudelle yleiset tavoitearvot ja pitkäkestoisuuteen vaikuttavat tekijät sekä rakenteiden suunnittelun, materiaalivalinnan ja toteutuksen periaatteet. Lisäksi esitetään uimahallien yläpohjarakenteiksi soveltuvia matalaenergiatason uudis- ja korjausrakentamisen esimerkkirakenteita, joiden kosteustekninen toimivuus vastaa asetettuja tavoitteita.

Vaikka hanke keskittyy uimahallien rakenteisiin, on rakennus aina kokonaisuus johon vaikuttavat rakenteiden lisäksi muut järjestelmät - erityisesti ilmanvaihto, järjestelmien säätö ja käyttö, niiden toiminnasta ja huollosta vastaava käyttöhenkilöstö, tilojen käyttäjät ja ympäristön ilmaston rasitusolosuhteet. Siten rakenteita ei voida käsitellä kokonaisuudesta irrallisina, vaikka tämän selvityksen näkökulma on rakenteiden toimivuudessa.

1.3 Toteutus

Tässä selvityksessä kartoitetaan nykytilanne uimahallien rakenteiden kosteustekniseen toimintaan liittyvien tutkimustulosten ja ohjeiden osalta. Taustana selvitetään tilojen sisäilman tavoiteolosuhteet sekä arvioidaan niiden toteutumista ja vaikutusta rakenteiden kosteuskuormituksen kannalta. Selvitykset, ohjeet ja käyttökokemukset antavat kuvan nykytilanteesta olemassa olevien ja nyt rakennettavien hallien kannalta.

Tunnettaessa sisä- ja ulkoilman olosuhteet ja niistä aiheutuva kuormitus, voidaan esittää yleiset vaatimustasot rakenteille. Lisäksi voidaan esittää merkittävimmät pitkäaikaistoimivuuden riskitekijät ja vaikutuskeinot kosteusriskien torjumiseksi.

Kootun tiedon ja sitä täydentävien rakennusfysikaalisten simulointien perusteella voidaan esittää suunnittelun ja toteutuksen perusteet kosteusteknisesti hyvin toimiville ratkaisuille uimahallien yläpohjarakenteiksi.

1.4 Tarkastelun rajaus

Eräs merkittävimmistä riskitekijöistä uimahallien allastilan yläosan rakenteiden kosteusteknisessä toimivuudessa liittyy sisäilmasta peräisin olevan kosteuden siirtymiseen rakenteisiin. Muita riskitekijöitä ovat esimerkiksi yläpohjan puutteellinen tuuletus, vesivuodot

kattorakenteiden kautta ja sadeveden tai lumen tunkeutuminen tuuletustilaan. Nämä riskit aiheutuvat tyypillisesti puutteellisesta detaljien suunnittelusta, rakenteiden väärästä toteutuksesta, rakenteiden vaurioitumisesta tai niiden tarkastusten ja huollon laiminlyönneistä. Tässä selvityksessä keskitytään sisäilmasta rakenteille aiheutuvien kosteuskuormien hallintaan Suomen ilmasto-oloissa.

2. Kosteuden aiheuttamat riskitekijät uimahallin rakenteissa

Tavoitteena on keskittyä ulkovaipan rakenteiden kosteustekniseen toimintaan uimahallin erityisissä rasitusoloissa. Merkittäviä riskitekijöitä uimahallien allastilan rakenteiden kosteusteknisessä toimivuudessa ovat mm:

- Sisäilmasta peräisin olevan kosteuden siirtymiseen rakenteisiin
- Yläpohjan puutteellinen tuuletus
- Vesivuodot kattorakenteiden kautta
- Sadeveden tai lumen tunkeutuminen yläpohjan tuuletustilaan
- Kiinteistönhoidon laiminlyönti tai väärät lähtökohdat

Tässä yhteydessä ei tarkastella tilojen sisäpinnan rakenteiden (laatoitus ymv.) vaurioitumista eikä esimerkiksi altaiden tai putkistojen vesivuotoja.

2.1 Yläpohjan tuuletus

Yläpohjan tuuletus on yhteydessä sisäilmasta tulleeseen kosteuskuormitukseen, koska rakenteet eivät koskaan ole täysin höyry- ja ilmatiiviitä ja yläpohjaan tulee kaikissa rakennetapauksissa jonkin verran kosteuskuormitusta sisäilmasta. Siten vaatimukset kosteuden tuulettumiselle yläpohjasta ovat suuremmat kuin esimerkiksi asuin- tai toimistorakennuksissa. Yläpohjan tuuletuksen perusteet on hyvin määritetty ohjeissa, joissa edellytetään mm. vähintään 300 mm tuuletusväliä /1/ tai 800 mm tuuletettua ullakkoa /2/ riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi. Tällainen tuuletustila ja toimivat tuuletusraot ulkoilman ja tuuletustilan välillä riittävät takaamaan tarpeenmukaisen tuuletuksen silloin kun kosteuskuormitus sisäilmasta pysyy kohtuullisella tasolla. Tällöin kosteutta ei pääse kertymään rakenteeseen ja talvikaudellakin sinne siirtyvä kosteus voidaan tuulettaa pois. Puutteet allastilan yläpohjan ilma- ja höyrytiiviydessä voivat johtaa haitallisen korkeisiin kosteuskuormiin yläpohjassa, mutta niihin ei voida tuulettamalla vastata.

2.2 Sadeveden tai lumen tunkeutuminen yläpohjan tuuletustilaan

Tuulen aiheuttama paine voi epäedullisissa oloissa kuljettaa sadevettä pisaroina tai lumena tuuletusaukkojen kautta yläpohjan rakenteisiin. Erityisesti korkeiden rakennusten yläosissa tuulen paine voi kuljettaa vettä ylöspäin pisaroina tai rakenteen pinnalla. Tämä rakenteellinen toimintavirhe on estettävissä yläpohjan räystäsdetaljien ja ulkoilmaan avoimien tuuletusreittien hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella. Samoin ikkuna-aukkojen sadevesipellitusten toimivuuteen on kiinnitettävä riittävä huomio. Pellitysten tulee suojata rakenteita, estää veden tunkeutuminen ja ohjata vesi haittaa aiheuttamatta rakenteiden ulkopuolelle.

2.3 Vesivuodot kattorakenteiden kautta

Vesivuodot ovat aina virhetilanteita, jotka voivat johtua rakenteiden vaurioitumisesta, vedenpoistojärjestelmän tai rakenteiden huollon laiminlyönneistä, yms. tekijöistä. Niihin ei voida täysin varautua rakenteiden suunnittelussa, mutta esimerkiksi mahdollisten vesivuotojen havainnoinnin ja rakenteiden huollon helppous pienentävät vuotojen aiheuttamia seurauksia ja siten niiden kokonaisriskiä rakenteille, muille järjestelmille ja sisäilmalle.

Nykyisin on mahdollista asentaa rakenteisiin seurantajärjestelmiä, joiden avulla voidaan saada tietoa alkavasta vesivuodosta tai yleensä muutoksista rakenteen paikallisissa kosteuksissa. Järjestelmän avulla voidaan asiaan puuttua nopeasti, sen eteneminen voidaan pysäyttää ja siitä aiheutuvat vauriot voidaan minimoida. Järjestelmä ei kerro syytä mahdollisesti kasvaneeseen kosteuspitoisuuteen, se on selvitettävä erikseen.

Seurantajärjestelmien luotettavuus riippuu mm. niiden anturien oikeasta sijoittelusta toimivuuden kannalta kriittisiin paikkoihin, järjestelmän seurannasta ja sen hälytysrajojen asettamisesta ja hälytyksiin reagoimisesta. Seuranta ei voi korvata kiinteistön ylläpitoon kuuluvia tarkastuksia, mutta se auttaa havaitsemaan poikkeamat ajoissa.

2.4 Kiinteistöhoito

Huoltamaton rakennus vanhenee ja sen riskialtius kasvaa. Säännölliset tarkastukset ja huolto kuuluvat hyvään kiinteistönpitoon. Uimahallirakennuksissa sisäilman korkea lämpötila ja kosteus voivat aiheuttaa nopeasti merkittäviä seurauksia jonkin rakennuksen järjestelmän toiminnan muuttuessa suunnitellusta. Kiinteistön kunnon jatkuva seuranta ja huolto auttavat havaitsemaan poikkeamia rakenteiden ja järjestelmien toiminnassa, jolloin mahdollisiin vikatilanteisiin voidaan puuttua ajoissa ja estää niiden vaikutusten leviäminen. Jos korjataan vain jo haitallisia seurauksia aiheuttaneet vikatilanteet, voivat tästä aiheutuvat korjauskustannukset olla huomattavasti korkeammat kuin säännöllisen huollon ja ajoissa tehtyjen korjausten kustannukset.

Uimahalli- ja kylpyläteknisen yhdistyksen puheenjohtaja Jukka Majan haastatteluun perustuvassa artikkelissa /3/ todetaan seuraavaa:

- Majan arvion mukaan 90 prosenttia uimahallihankkeista on toteutettu liian nopealla aikataululla. Kiire kostautuu ja ongelmia paikataan myöhemmin.
- Uimahallien huoltamisen laiminlyönti on yleistä Suomessa, mikä rapauttaa uimahalleja. Huolto ja ylläpito ovat vaihtelevia eri puolilla maata. Säästöjä haettaessa ylläpitoa ja huoltoa laiminlyödään, jolla luodaan lisää korjausvelkaa.
- Korkea lämpötila, kosteus sekä ja veden ja siivouksessa käytettävät kemikaalit luovat erittäin hankalat olosuhteet. Vaativia tiloja ei voi jättää siivoamatta tai huoltamatta päiviksi tai viikoiksi, mutta huolimattomasta siivouksesta johtuvia ongelmia on nähtävissä uimahalleissa ympäri maan.

2.5 Sisäilmasta peräisin olevan kosteuden siirtymiseen rakenteisiin

Tässä selvityksessä keskitytään sisäilmasta aiheutuvien kosteuskuormien hallintaan rakenteille asetettavien vaatimusten kannalta. Selkeiden vauriotilanteiden jälkeen merkittävin riskitekijä uimahallien allastilan yläosan rakenteiden kosteusteknisessä toimivuudessa liittyy sisäilmasta tulevaan kosteuskuormitukseen.

RIL 235-2009 /4/ mukaan ”allashuoneen yläpohjaan ja ulkoseinien yläosiin kohdistuu lämpötilaeroista aiheutuvan ylipaineen vuoksi varsinkin korkeissa tiloissa merkittävä

kosteuskonvektioriski". Riskin seurauksista todetaan: "Kosteuskonvektio on ollut yksi keskeisistä syistä nykyisten uimahallien ulkovaippojen korjaustarpeeseen."

On syytä huomata, että lämpötilaeron aiheuttaman ylipaineen lisäksi tuulen paine voi lisätä ylipaineen tasoa ja esiintymistä tiloissa. Tämä liittyy rakennuksen ulkovaipan ilmatiivyyteen ja rakennukseen kohdistuviin tuulioloihin. Hyvällä ilmatiivyydellä voidaan olennaisesti pienentää tuulen aiheuttamista paine-eroista johtuvia hallitsemattomia ilmavuotoja rakenteiden läpi.

Tässä selvityksessä keskitytään sisäilmasta peräisen olevien kosteusongelmien torjuntaan uimahallirakenteiden suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä. Koska rakennus on eri järjestelmien muodostama kokonaisuus, ei tarkastelu voi rajoittua vain rakenteisiin vaan siinä on soveltuvin osin otettava huomioon erityisesti ilmanvaihtojärjestelmän vaikutukset.

3. Todettuja ongelmia ja vaurioita uimahalleissa

Esimerkiksi Lehtinen ja Viljanen /5/ sekä Lehtinen et.al. /6/ ovat listanneet joitain havaittuja tapauksia kosteusteknisistä ongelmista ja niiden syistä, joita on havaittu rakennetuissa halleissa. Esimerkiksi Kiteen urheilu-uimahallin allashuoneeseen satoi ajoittain vettä katosta talvikaudella. Syyksi arvioitiin, että yläpohjaan tiivistynyt ja jäänyt vesi sulikoilman lämpötilan kohotessa, jolloin sulamisvesi valui epätäydellisten höyrynsulun liitosten ja siinä olevien reikien kautta alas.

Lisäksi ulkoseinien ulkopinnan peltiverhoukseen tiivistyi huomattavia määriä kosteutta. Ulkoseinien höyrynsulku oli haurastunut siten, että se "mureni kosketettaessa pieniksi palasiksi". Yläpohjan höyrynsulun materiaalin kunnosta ei ollut mainintaa, mutta selvästikään sen toteutus ei vastannut vaatimusta yhtenäisestä kerroksesta. Tämän lisäksi ainakin hallin sadevesiviemäroinnissä ja ilmanvaihdossa oli puutteita, jotka saattoivat lisätä kosteusongelmia. Puutteita oli raportoitu myös kohteen akustisena verhouksen (puukipsilevyt ja niiden takana olevan 30 mm mineraalivilla sekä noin 40 – 50 mm päistään avoin ilmarako) asennuksessa ja tuuletuksessa. Riskikohtana olivat liitokset kattorakenteen kanssa ja liian suuret akustiikkalevyn tuuletuspituudet (tulisi olla alle 2 m /1/).

Kuvatun esimerkin tapauksessa rakenteiden höyry- ja ilmatiiviyys oli puutteellinen, mikä korostui kosteuskertymänä yläpohjassa. Kosteutta kertyi (tiivistyi ja jäätynyt) yläpohjan kylmiin osiin talvikaudella niin paljon, että se valui nesteinä alas samoja reittejä kuin vuotoilmavirtaus pääsi kuljettamaan kosteutta rakenteisiin.

Kondenssiveden tippuminen allashuoneiden katosta on havaittu useissa muissakin kohteissa /7/. Syiksi on todettu epätiivis höyrynsulku ja asennusvirheet. Sisäilman ylipaineen aiheuttama kosteuden kondensoituminen on nostettu merkittäväksi kosteusvaurioiden syyksi /7/. Julkaisussa korostetaan lisäksi yläpohjan tuuletuksen toimivuuden varmistamista. Lisäksi riskiksi on mainittu kosteiden tilojen ylipaineisuus muihin tiloihin nähden, jolloin kosteuskuorma siirtyy tiloihin, joiden rakenteet eivät ole suunniteltuja toimimaan näissä rasisolosuoloissa. Tämä riski liittyy eri tilojen painesuhteiden hallintaan ja on yhteydessä allastilan ylipaineen hallinnan kanssa.

Muita julkaisussa /7/ lueteltuja ongelmakohtia olivat mm. ilmanvaihdon heikentyminen sen raitisilma-aukkojen eteen kerrostuvan lumen takia sekä ikkunoiden ja karmien huonon lämmönläpäisykertoimen tai riittämättömän ikkunapuhalluksen (lämmintä tuloilmaa) aiheuttama kosteuden tiivistyminen kylmille sisäpinnoille (Taulukko 1).

Salon Seudun Sanomat /8 / uutisoi 5.1.2017, että Someron uimahallin rakenteet ja ilmanvaihto tutkitaan. Tutkimuksessa selvitetään, onko syksyllä 2012 avatun uimahallin rakenteisiin tullut vaurioita väärän säädetyllä ilmastoinnin seurauksena. Uimahallin

betoniseinään oli ilmestynyt talven aikana kosteusläikkiä. Kosteusläikkien syitä tutkittaessa selvisi aiemmin, että uimahallin ilmastointi oli säädetty väärin ja hallin poistoilma oli ilmanvaihdossa liian pienellä. Tämän seurauksena hallin sisätilasta työnty kosteaa ja lämmintä ilmaa rakenteisiin. Ilmastointia on sen jälkeen säädetty uudelleen. Tämä uutinen on eräs osoitus ilmanvaihdon ja allastilan alipaineen ylläpidon merkityksestä rakenteiden toimivuuden kannalta.

Edellä kuvatut kosteusriskit sisäilmasta hallin yläosan rakenteisiin ovat merkittäviä ja niiden syiden ymmärtäminen ja seurausten välttäminen on yksi tämän selvityksen pääteemoja.

Taulukko 1. Uimahallien kattoja ja julkisivujen tekninen riskikartta /7/. Taulukossa mainittu k-arvo tarkoittaa rakenteen lämmönläpäisykerrointa (U-arvo).

Havainto / tekninen ongelma	Riski
Epätiivis höyrynsulku yläpohja- tai ulkoseinärakenteessa	Rakenteiden kosteusvauriot
Riittämätön tuuletus yläpohja- tai ulkoseinärakenteessa	Rakenteiden kosteusvauriot
Kylmäsiltoja yläpohja- tai ulkoseinärakenteessa	Rakenteiden kosteusvauriot, energiankulutus kasvaa
Vääräntyyppinen kattoratkaisu lumisiin ilmasto-olosuhteisiin	Viemärien tuuletusputkien, katon alipaineistusputkien ja tuloilmakoneiden toiminta häiriintyy
Ulkoseinien kuorielementtien suunnitteluvirhe	Kuorielementtien irtoaminen
Väärän maalityyppin valinta kivirakenteisen ulkoseinän sisäpintaan	Ulkoseinämaalauksen irtoaminen
Eristyskaasuvuoto lämpölasi-ikkunoissa	Ikkunoiden samentuminen
Riittämätön/puuttuva ikkunapuhallus	Kosteuden kondensoituminen ikkunan pintaan
Ikkunan k-arvo liian huono tai ikkuna epätiivis	Kosteuden kondensoituminen ikkunan pintaan

4. Liian kosteuden aiheuttamia ongelmia rakenteissa

Seuraavassa käsitellään kosteuden aiheuttamia ongelmia rakenteissa yleisesti. Tyypillisesti biologinen kasvu (home) on ensimmäisiä merkkejä liiasta kosteudesta, jolle materiaalit ovat altistuneet pitkäaikaisesti. Uimahallien suuri sisäilman kosteuspitoisuus voi voimakkaissa ulko-olosuhteiden muutostilanteissa johtaa jopa hetkelliseen kondenssiin rakenteiden kriittisissä kohdissa. Jos nämä tilanteet ovat lyhytaikaisia, ne eivät välttämättä yksittäisinä tapahtumina johda esimerkiksi homeen kasvun alkuun, vaikka ovatkin merkkejä toimivuuden riskistä.

Esimerkiksi homeen kasvu ja muut liiallisen kosteuden aiheuttamat reaktiot materiaaleissa tuottavat sisäilman laatua heikentäviä ja terveydelle haitallisia yhdisteitä. Nämä ilmenevät sisäilman hajuhaittoina ja alkuvaiheessa aiemmin altistuneiden oireiluna ja ne voivat edetessään altistaa kaikki käyttäjät.

Uimahalleissa on pyrkimyksenä ylläpitää alipainetta sisätiloissa. Ulkoilman vaihtelevat lämpötila- ja tuuliolot johtavat kuitenkin vaihteleviin paine-oloihin etenkin korkeissa tiloissa.

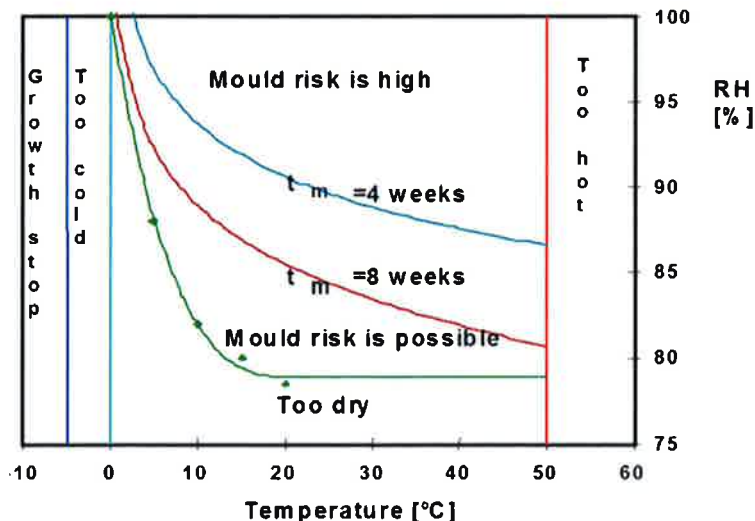
Tästä johtuen rakenteiden ilmapuotokohdat ovat kriittisiä kosteusteknisen toimivuuden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen kannalta.

4.1 Home

Biologinen kasvu (home) on usein ensimmäisiä liiasta kosteudesta aiheutuvia seurauksia rakenteissa. Liian suuret kosteuspitoisuudet voivat aiheuttaa homeen kasvua, kun lisäksi lämpötilaolot ja olosuhteiden vaikutusaika ovat kasville suotuisat. On huomattava, että homeen kasvu ei edellytä vapaata vettä, vaan kosteus voi kerääntyä hygroskooppisesti esimerkiksi materiaaleihin ja sopivien olosuhteiden jatkuessa home voi alkaa kasvaa rakenteissa. Kosteus voi kerääntyä vuotoilmareittien lähistölle sisäilman ylipainetilanteissa. Kun sisäilman paineolot muuttuvat taas alipaineisiksi, virtaa ulkoilma sisäänpäin samoja vuotoilmareittejä pitkin. Tällöin alkaneen homekasvuston epäpuhtaudet voivat kulkeutua vuotoilman mukana sisäilmaan.

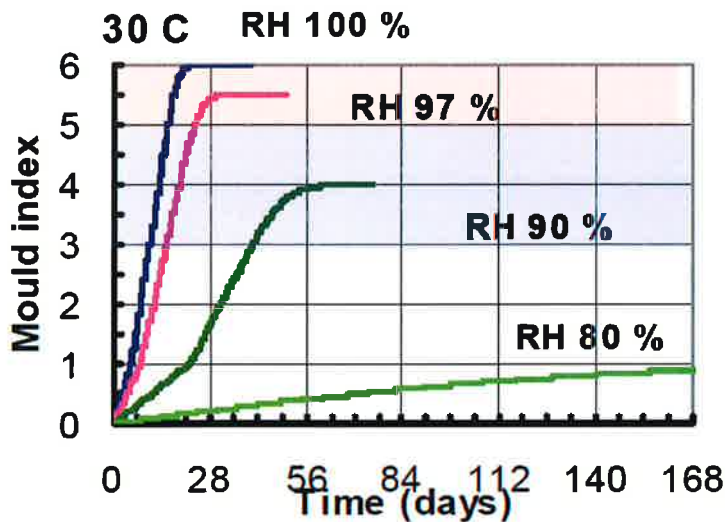
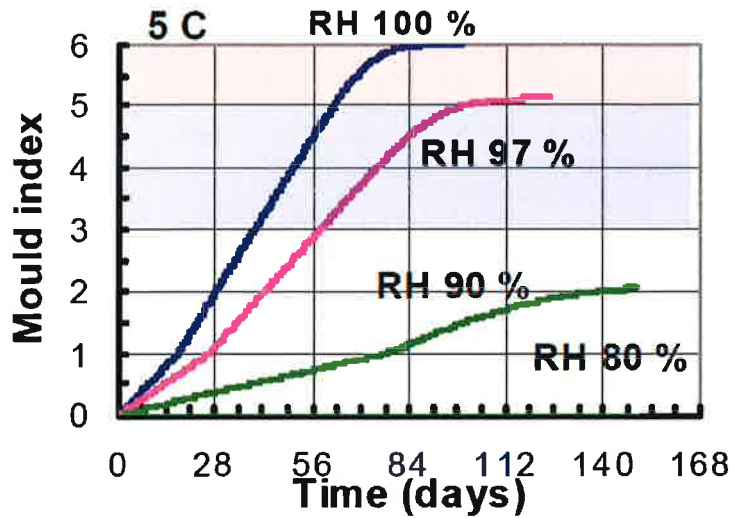
Homeen kasvu on tyypillisesti materiaalikerroksen pinnassa ja avo- huokosissa esiintyvä ilmiö. Jos rakenteen materiaaleissa ei ole biologisen kasvun ravinteita ja rakenne on ilmatiivis siten, ettei sinne pääse ilmapvirtausten mukana epäpuhtauksia (itiöt ja ravinteet), on biologisen kasvun todennäköisyys rakenteen sisällä melko pieni. Rakenteen kosteustekninen toimivuus on aina varmistettava riippumatta liian kosteuden vaikutuksista eri rakennetapauksissa.

Kuva 1 esittää olosuhteet, joissa hometta voi alkaa kehittyä puurakenteissa. Kuva 2 esittää puupinnan (männyn pintapuu) homeen kasvun alkuun kuluvan ajan eri suhteellisen kosteuden yhtäjaksoisissa olosuhteissa, kun lämpötila on +5 °C tai +30 °C /9 - 12/. Esimerkiksi +5 °C lämpötilassa homeen kasvu edellyttää yli 86 % RH suhteellista kosteutta. Tässä lämpötilassa ja 97 % RH kosteudessa homekasvu etenee paljain silmin nähtäväksi (Homeindeksin arvo 3) noin kahdeksassa viikossa kun ja +30 °C lämpötilassa ja samassa suhteellisessa kosteudessa tähän kuluu noin kaksi viikkoa.



Kuva 1. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhdistelmät, joilla homeen kasvu alkaa neljässä tai kahdeksassa viikossa puupinnalla (männyn pintapuu).

Homekasvua voidaan arvioida numeerisesti, kun esimerkiksi laskennan tai mittausten perusteella tunnetaan materiaalipinnan lämpötila- ja kosteusolot ajan funktiona /mm. 9 - 16/. Materiaalista asiantuntijan silmämääräisesti havaitsema homehtumisen taso ilmoitetaan VTT:n kehittämässä homemallissa homeindeksin avulla. Homeindeksi voidaan ratkaista myös numeerisesti ja käyttää tätä kriteerinä arvioitaessa suunniteltujen rakenteiden toimintaa eri rasisolosuhteissa.



Kuva 2. Homeen kasvun alkuun kuluva aika puupinnalla (männyn pintapuu) suhteellisen kosteuden eri olosuhteissa, kun lämpötila on +5 °C (yllä) ja +30 °C (alla) /9 - 12/.

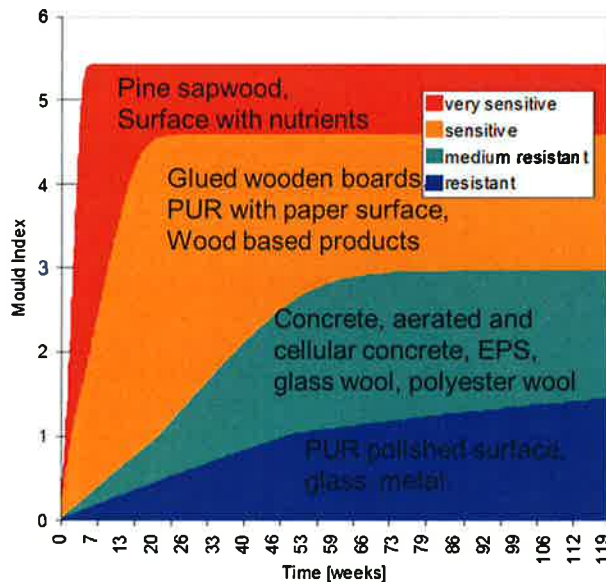
Taulukko 2 esittää Homemallissa kuvatun homeindeksin tasot ja niitä vastaavat materiaalipinnalla havaitut homekasvun kuvaukset.

Taulukko 2. Homeindeksin tasot VTT:n homemallissa /9 - 12/ ja niitä vastaava materiaalipinnalla havaitun homekasvun määrä.

Home-indeksi	Havaittu homekasvu	Huom.
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Paikallisesti alkava	Muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava	Rihmasto muodostunut
3	Silmin havaittava, alkava kasvu	Itiöitä, rihmaston peitto alle 10 % alasta
4	Silmin havaittava kasvu, lievä	Rihmaston peitto 10–50 % alasta
5	Silmin havaittava kasvu, paikoin runsas	Rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu	Runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Kaikki materiaalit eivät ole yhtä herkkiä homehtumaan, mikä kuvataan homemallissa homeen kasvun herkkyysluokkina (resistant – very sensitive). Kuva 3 esittää vertailun eri materiaalien homeenkasvun nopeuden ja lopputason välillä /16/. Herkimmin homehtuva rakennusmateriaali on männyn pintapuu (luokka hyvin herkkä – very sensitive). Seuraavassa luokassa on puupohjaisia tuotteita. Mineraalivillat, muovipohjaiset lämmöneristeet ja sementtipohjaiset tuotteet kuuluvat homehtumista kohtuullisesti vastustavaan (medium resistant) luokkaan. Materiaalin homehtumisherakkyysluokasta riippuu se, missä oloissa homekasvu on materiaalin pinnalla mahdollista ja kuinka pitkän rasitusajan kasvun alku edellyttää sekä sen mille tasolle homekasvun on mahdollista edetä vallitsevissa oloissa.

Korkean sisäilman kosteustason lisäksi sisäilman lämpötilaolot edistävät homeen kasvuedellytyksiä uimahallien rakenteissa. Rakenteiden sisäosat ovat lämpimiä syvemmältä kuin ne olisivat esimerkiksi normaalin asuintilojen sisäilman lämpötiloilla (+21 °C). Tämän takia oikea materiaalikerrosten valinta ja niiden riittävä suojaus sisäilman kosteuskuormia vastaan on tärkeää.

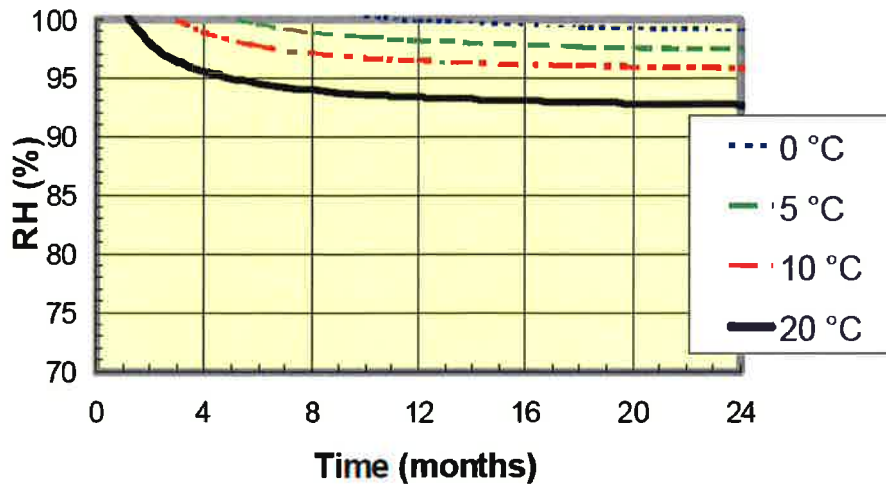


Kuva 3. Homeen kasvuperheerkyys eri materiaaleissa voidaan kuvata laskentamallissa homehtumisherakkyysluokkien avulla /16/.

4.2 Laho

Suuri kosteuskertymä voi alkaa lahottaa puurakenteita. Tämä edellyttää yleensä vapaata vettä rakenteissa. Lahoaminen aiheuttaa rakenteellisen turvallisuusriskin.

Kuva 4 esittää olosuhteet, joissa lahoa voi alkaa kehittyä puurakenteissa. Lahon edellyttämät olosuhteet ovat paljon rankemmat kuin mitä homekasvun alkamiseen tarvitaan. Tarvitaan esimerkiksi noin vuoden yhtäjaksoinen altistus vähintään +10 °C lämpötilassa ja 97 % RH kosteudessa, jotta puun lahoaminen käynnistyy. Tyypillisesti näin korkeat suhteelliset kosteudet merkitsevät ajoittaista kondenssina (ja vapaan veden) esiintymistä rakenteissa. Siten kehittyvät kosteusongelmat tyypillisesti paljastuvat muiden syiden vaikutuksesta jo ennen kuin lahoaminen ehtii alkaa.



Kuva 4. Lahoamisen kehittymisen vaativat olosuhteet ja niiden yhtämittäinen vaikutusaika puulle /17/.

4.3 Korroosio

Suuri kosteus ja kemikaalit lisäävät korroosion esiintymistä rakenteiden metalliosissa, mikä myös voi vaikuttaa rakenteelliseen kestävyys. Korroosiota voidaan arvioida märkäaikaaindeksin perusteella. Märkäaika määritetään vuotuisena aikana (h), jolloin korroosiolle mahdollinen kohta on yli 80 % RH kosteudessa ja lämpötila on yli 0 °C. Märkäaikatuntien ja ympäristön epäpuhtauden perusteella voidaan arvioida esimerkiksi suojaavan sinkkikerroksen tai metallin korroosionopeutta. Korroosionopeus vaikuttaa suoraan metallirakenteiden käyttöikä.

Uimahallin korkea kosteus ja lämpötila mahdollistavat suurien märkäaikatuntien esiintymisen mahdollisissa metallirakenteissa. Veden kemikaalit (desinfointiaineet, mineraalialtaiden aineet, jne.) voivat edistää korroosiota.

4.4 Emissiot

Liiallinen kosteus voi olennaisesti lisätä emissioita materiaaleista. Erityisesti liika kosteus vaikuttaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) syntyyn. Käyttöolosuhteisiin nähden väärin valittu materiaali tai rakennekerrosten pinnoitus ennen niiden riittävää kuivumista ovat merkittäviä riskitekijöitä sisäilman ja myös rakenteiden toimivuuden kannalta. Liika kosteus voi edistää materiaalien vanhentumista, jolloin niissä syntyy hajoamis- ja reaktiotuotteita (mm. pienhiukkasia), jotka vaikuttavat sisäilman laatuun ja terveellisyteen.

Aikivuori /18/ on julkaisussaan eritellyt eri rakennusmateriaaleista peräisin olevia mahdollisia sisäilmarieskejä. Materiaalityypit on jaoteltu kolmenlaisiin: (1) ns. turvalliset luonnonmateriaalit, (2) haihtuvia aineita vapauttavat materiaalit ja (3) vaurioituneina epäpuhtauslähteiksi muuttuvat materiaalit.

Luokituksen mukaiset ns. turvalliset materiaalit ovat sellaisia, joissa kuivumisilmiöistä johtuen ei synny alkuemissioita, eikä niissä esiinny sellaisia vanhenemisilmiöitä, jotka aiheuttaisivat haihtuvien komponenttien vapautumista sisäilmaan. Haihtuvia aineita vapauttavia ovat sellaiset materiaalit, joiden valmistusprosessit ja/tai asennettavuus edellyttävät liuotin-, liima- ja/tai pehmitinaineiden käyttöä.

Julkaisussa /18/ on eritelty joidenkin rakennustuotteiden aiheuttamia emissioita. Emissiot voivat olla lyhytaikaisia, vain jonkin aikaa rakentamisen jälkeen merkittävinä esiintyviä tai tätä pitkäkestoisempia. Lisäksi emissioiden määrä voi riippua olennaisesti ympäristön kosteustasosta. Esimerkkinä lueteltuja tuotteita ovat: Saumausaineet, polyuretaanikitti, linoleum, PVC –lattiapinnoitteet, erilaiset liimat, maalit ja lakat, tasoitteet sekä mineraali- ja selluvilla. Mineraalivillojen osalta julkaisussa /18/ todetaan, että normaaliolosuhteissa (n. 21-22 °C, RH 45 %) kuivien tuotteiden (sideaineesta peräisin oleva) VOC-emissiomäärä on hyvin pieni, mutta kun lämpötila kohoaa 50 °C:een ja villat ovat kosteita, niiden emittoimat epäpuhtausmäärät noin satakertaistuvat. Kaasumaisten epäpuhtauksien lisäksi kuitujen irtoaminen sisäilmaan voi olla ongelma /18, 19/, jos pinnoittamaton tuote on kosketuksessa sisäilmaan. Selluvillatuotteiden tyypillisiä epäpuhtauksia ovat boorihappo ja booraksipöly.

Kuitueristeiden sidosten hajoaminen edellyttää yleensä merkittävää altistusta vapaalle vedelle, mikä on virhetilanne ja aiheuttaa pitkäaikaisena riskin lähes kaikille rakennusmateriaaleille. Lämmöneristeet eivät toimivaksi suunnitellussa ja oikein toteutetussa rakenteessa pääse kosketukseen sisäilman kanssa, jolloin kosteuskuormitus sisäilmasta ja mahdolliset emissiot niistä sisäilmaan pysyvät hallinnassa. Sisäilman emissioiden kannalta olennaisempia ovat sisäilmaan suoraan kosketuksessa olevat tai muuten siihen yhteydessä olevat materiaalikerrokset (esimerkiksi akustiikkalevyt). Uimahalleissa käytettävät materiaalit on valittava siten, että ne kestävät käyttöolojen kosteuksia ja säilyvät pitkäaikaisesti muuttumattomina haastavissa olosuhteissa. Riskiarvioinnissa materiaalien kyky sietää ylimääräistä kosteutta voi olla merkittävä tekijä, mutta virhetilanteesta aiheutuvaa satunnaista kosteuskuormitusta on vaikea mitoitaa millekään materiaalille sopivaksi.

4.5 Materiaalien pysyvät muutokset

Liika kosteus voi aiheuttaa erilaisia reaktioita ja emissioiden syntyä materiaaleissa, mikä ilmenee sisäilmaongelmina ja toisaalta materiaalin ominaisuudet tyypillisesti muuttuvat pysyvästi alkuperäisistä.

Yleensä mikään rakennusmateriaali ei ole tarkoitettu toimimaan jatkuvasti liian kosteissa oloissa. Suuri vesihöyryn osapaine-ero voi jatkuvana kostuttaa umpisoluisiakin materiaaleja pitkän ajan kuluessa, joten kosteuskuormien riittävä hallinta on rakenteiden toimivuuden perusedellytys. Suuri kosteus ja lämpötilavaihtelut, erityisesti jäätymis/sulamissyklit, voivat tuhota materiaalin solurakenteen ja sen ominaisuudet voivat muuttua ratkaisevasti suunnitelluista. Rakenteen ulkopinnan lähellä materiaalien pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat jäätymis/sulamissyklit voivat olla uimahallien rakenteissa tyypillisempiä kuin muissa rakennuksissa johtuen mm. korkeasta sisäilman kosteuskuormituksesta.

5. *Kosteuskuormitus uimahalleissa*

5.1 Ohjeet ja tehdyt selvitykset

Seuraavassa esitetään kooste uimahallien rakenteisiin ja rakentamiseen liittyviin selvityksiin, ohjeisiin ja asiantuntijänäkemysrakennusfysiikan näkökulmasta.

5.1.1 Uimahallirakenteiden suunnittelun vaativuus

Kehitetssä suunnittelumenetelmässä rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi Lehtinen ja Viljanen /5/ esittävät perusteet suunnittelukäytännöille uudis- ja korjausrakentamista varten. Menetelmässä esitetään lämpö- ja kosteustekniset suunnitteluluokat ja niitä vastaavat tehtävät.

Kolmitasoisessa suunnitteluluokituksessa uimahallit vastaavat tyypillisesti vaativinta tasoa RF1 (erittäin vaativat kohteet, kokonaisratkaisu edellyttää analyysipohjaista suunnittelua). Luokitus RF1:een seuraa mm. sisäilman olosuhteista: Talvella RH > 45 % ja sisäpuolinen ylipaine. Kumpikin ehto toteutuu, suhteellinen kosteus usein ja ylipaine korkeissa kohteissa lähes varmasti. Samoin rakennuksen geometria ja installaatioiden määrä sekä vaikeus tarkastaa, huoltaa ja korjata rakenteita johtavat vaativimpaan tasoon uimahalleissa.

Suunnitteluluokan RF 1 asettamia vaatimuksia:

- Rakenteiden toimivuus tulee esittää epästationäärisin laskelmin, mikä tarkoittaa tyypillisesti useamman vuoden tarkastelua dynaamisissa sisä- ja ulkopuolen kosteuskuormitusoloissa
- Rakennus- ja talotekniikan yhteensopivuuden ja toimivuuden analysointi
- Tarvittaessa erillissuunnitelmat rakennustyön aikaisista vaatimuksista, työn suorituksesta ja olosuhteiden hallinnasta
- Työn toteutus esitetään tarvittaessa työvaiheittain ja laaditaan tarvittava koulutusaineisto työn toteutukseen
- Kriittisistä rakenne- ja järjestelmäratkaisuista esitetään yksityiskohtaiset käytön, huollon ja uusimisen toimenpiteet ja ajoitukset.

Suunnitteluluokka RF1 edellyttää rakennesuunnittelijalta osaamista lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden osalta seuraavasti:

- Korkeakoulututkinto tai pätevyötymis/tutkintokoulutuksen syventävät opintojaksot rakennusfysiikasta
- Valmiudet dynaamisten lämpö- ja kosteusteknisten ilmiöiden laskennalliseen tarkasteluun

Laaja perehtyneisyys rakenteiden lämpö- ja kosteustekniisiin tarkasteluihin, referenssit vastaavan suunnitteluluokan tehtävistä sekä vähintään neljän vuoden kokemus lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun alueelta.

5.2 Uimahallien sisäilman olosuhteet

5.2.1 Lämpötila ja suhteellinen kosteus

Sisäilman lämpötilan tulisi ilman kosteuden ja veden haihtumisen hallitsemiseksi olla 2 – 4 °C allasveden lämpötilaa korkeampi. Tyypillisesti eroa on noin 1,5 – 2,5 °C. Allastilan ilman lämpötilan tavoitearvo on +28 ... +31 °C. Virkistyskäyttöön tarkoitetuissa halleissa, esimerkiksi terapia-allasosastoissa, lämpötila voi olla +32 – +34 °C. Teknisten tilojen lämpötila on lähellä allasveden lämpötilaa /3/.

Allastilojen ilman suhteellinen kosteus on välillä 50 – 60 % RH. Ylärajaa 60 % RH ei saa ylittää kuin tilapäisesti, jottei kosteus edistä mikrobikasvustoa pinoilla. Sisäilman kosteus vaikuttaa viihtyisyyteen: Liian kuivassa ilmassa vesi haihtuu voimakkaasti iholta ja aiheuttaa kylmän tunteen. Asiantuntijoiden mukaan /20, 21/ miellyttävältä tuntuvan ilmankosteuden alarajana pidettyä 40 % RH kosteutta voi olla vaikea ylläpitää kaikissa (talvikauden) olosuhteissa kun ilmanvaihto on tarkoituksenmukainen ja ulkoilma on hyvin kuivaa. Tämä ongelma korostuu, jos tilassa on vain ulkoilmajäähdytys (ei kierrätysilmaa ja sen kosteuden poistoa / jäähdytystä). Tällöin suurilla ilmanvaihtomäärillä sisäilman RH uhkaa laskea liiaksi. Kun sisäilman suhteellinen kosteus on alhainen, vesi haihtuu iholta voimakkaasti ja olo tuntuu kylmältä. Liian alhainen sisäilman kosteus on tyypillisesti vanhojen hallien ongelma, sillä niissä ei käytetä kierrätysilmaa /21/.

Vanhoissa halleissa saattaa olla kello-ohjattu iv-koneiston käynti eri tehoilla, jolloin RH –olot eivät ole hallinnassa ja RH saattaa kohota liiaksi, kun koneet käyvät osateholla /21/. Tämä

aiheuttaa tarpeetonta sisäilman kosteuskuormituksen kasvua käyttöaikojen ulkopuolella. Mahdollinen riski korostuu, jos ilmanvaihdon osatehojen aiheuttamat painesuhteet poikkeavat alipaineisesta tavoitetilasta, jolloin kosteuskuormitus rakenteisiin kasvaa.

Uusissa halleissa voidaan käyttää kierrätysilmaa (jäähdytetty, kuivattu, suodatettu), jolloin ulkoilman määrä voidaan mitoittaa raittiin ilman tarpeen mukaan ja kokonaisilmamäärä haihtumisen edellyttämän kosteudenpoiston (ilmatilan kosteus) kannalta sopivaksi /20, 21/. Tämä helpottaa riittävän sopivan sisäilman kosteustason ylläpitoa myös kylmän talvikauden aikana.

Lämpötilaltaan ja kosteusolosuhteiltaan erilaiset tilat erotetaan toisistaan rakenteellisesti.

Ilmanvaihdon mitoittavana tekijänä on kosteuden hallinta, mikä johtaa tyypillisesti suuriin ilmanvaihtomääriin ja ilman virtausnopeuksiin. Myös ilman laatu vaikuttaa ilmanvaihdon tarpeeseen ja ilman jakotapaan. Allasvedestä haihtuvat yhdisteet on voitava poistaa riittävän tehokkaasti koko hallin osalta. Erityisesti allaspinnalta tulee voida poistaa ilmaa tehokkaasti, jotta epäpuhastausot pysyvät hallinnassa. Tämä asettaa vaatimuksia ilman sisäänpuhallus- ja -poistoelimien sijoittelulle.

Altaiden käyttäjien oleskeluvyöhykkeellä ilmavirtauksen suurimmat ohjearvoiset nopeudet ovat vedon välttämiseksi 0,1 - 0,15 m/s, ja muissa osissa suurin sallittu ilman virtausnopeus on 0,4 m/s.

Ilmanvaihdon tuloilmaa lämmitetään, jotta hallin lämmöntarve voidaan kattaa ja vältetään ilmanvaihdon aiheuttama vedon tunne. Viihtyisyyden kannalta sisäänpuhallusilman lämpötila on 3 – 5 °C korkeampi kuin allastilan ilman lämpötila. Tässä voi esiintyä poikkeamia, jos ilmanvaihdon avulla täytyy kattaa huomattava osa lämmitystarpeesta.

5.2.2 Painesuhteet

RIL 235:n /4/ (8.2.6) mukaan ”Allashuoneen rakenteet ja ilmanvaihto suunnitellaan siten, että allashuone on alipaineinen sekä ulkoilmaan että muihin osastoihin nähden. Tämä asia on varmistettava erilaisissa käyttöolosuhteissa sekä myös aukioloajan ulkopuolella.”

Vaatus on yksiselitteinen, mutta sen toteutus on käytännössä varsin haasteellinen tai jopa mahdoton toteuttaa korkeiden hallien kaikissa osissa tyypillisillä rakenteilla ja ilmanvaihtotavoilla. Tähän sisältyy eräs merkittävimmistä riskitekijöistä uimahallien rakenteiden kosteuskuormituksen kannalta. Pitkäaikainen sisäilman vuoto rakenteiden kautta ulos sisäilman ylipainetilanteessa johtaa kosteuden kerääntymiseen ja sen aiheuttamiin ongelmiin rakenteissa.

On ilmeistä, että ajoittainen ylipaine ei ole vältettävissä korkeissa halleissa /21/. Tyypillinen iv-kojeilla tuotettava alipaine on 5 – 10 Pa allastilan alaosassa. Allastilassa tuloilmaa pitää olla riittävästi, jotta se voidaan puhaltaa ikkunoihin ja välttää kosteuden tiivistyminen niihin, joten hallitilassa ei voi olla vain poistoa. Alipaine edellyttää tuloilmavirtaa suurempaa poistoa, mutta ilmavirrat alkavat kasvaa liiaksi, jotta koneellisesti voidaan pitää suurta alipainetta. Lisäksi ilman virtausnopeudet oleskeluvyöhykkeillä tuovat rajoituksia ilmamääriin.

Pernu ja Kuurne /1/ esittävät, että painesuhteiden mittausta ja -seuranta allastilan ja ulkoilman välillä tulisi suunnitella jatkuvaksi. He asettavat alipaineen tavoitearvoksi 3 - 6 Pa alimman mittarin korkeudella. Alimman mittarin korkeus on noin 3 m allastasosta ja ylin on sijoitettuna ulkoseinän yläosaan.

Paine-eron monitorointi on hyvä ja sen perusteella voidaan nähdä sisäilman ylipaineen vallitsevuus ja siitä aiheutuva vuotoilmavirtauksen riski rakenteille. On ilmeistä, että esitetty alipaineen tavoitearvo johtaa korkeissa allastiloissa ja tyypillisillä allastilan olosuhteilla pitkäaikaiseen sisäilman ylipaineeseen seinän yläosassa. Tämän perusteella allastilan

kattorakenteiden ja seinien yläosan kosteustekninen toimivuus on täysin niiden ilmatiiviyden varassa. Puutteet ilmatiiviydessä johtavat ylipainetilanteessa kostean sisäilman vuotovirtauksiin rakenteiden kautta ulospäin.

Tarkemmin uimahallien painesuhteita ja ilman vuotovirtauksia käsitellään luvussa 5.3.3.

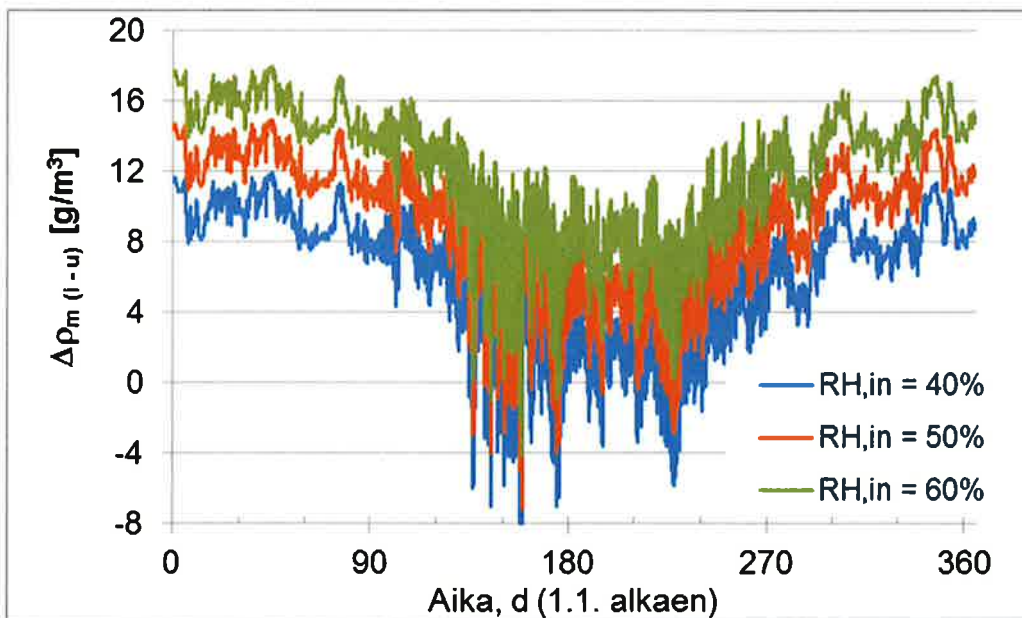
5.3 Uimahallien rakenteiden kosteuskuormitukseen vaikuttavat tekijät

Uimahallirakenteiden kosteuskuormituksen tarkastellaan tässä selvityksessä vain sisäilmasta tulevia kosteuskuormia. Ulkoilman olosuhteet vaikuttavat kuitenkin näihin sisäilmasta tuleviin kuormiin rakenteiden lämpötilaolojen ja sisätilojen painesuhteiden (nostetermi) kautta. Tarkasteluissa oletuksena on, että yläpohja ja muut rakenteet on toteutettu siten, ettei ulkopuolinen vesi pääse tunkeutumaan merkittävästi rakenteisiin.

5.3.1 Ilmanvaihdon mitoitus ja sisäilman kosteus

Ilmanvaihdon mitoituksen lähtökohdaksi on 50 – 60 % RH sisäilman kosteus ja noin 2 – 3 °C allasveden lämpötilaa korkeampi sisäilman lämpötila /6/. RIL 235:n /4/ mukaan tuloilmavirta mitoitetaan siten, että hallin ilmanvaihtuvuus on noin 4 1/h.

Uimahallitilojen sisäilman korkea lämpötila- ja kosteustaso johtaa suureen vesihöyryn osapaineeseen sisätilassa. Tämä aiheuttaa korkean siirtopotentiaalidiffuusion tapahtuvaan kosteudensiirtoon rakenteiden kautta ulospäin. Kuva 5 esittää sisäilman kosteuslisää ulkoilmaan verrattuna Helsingin sääoloissa, kun sisäilman lämpötila on +30 °C ja suhteellinen kosteus 40 %, 50 % tai 60 % RH. Uima-allastilojen tavoitetason alarajan suhteellinen kosteus 40 % RH tuottaa talvikaudella 8 – 12 g/m³ kosteuslisän allastilaan. Suuri kosteusylimäärä ulkoilmaan verrattuna merkitsee suurta kosteusriskiä rakenteille diffuusion ja konvektiivisen kosteudensiirron vaikutuksesta.



Kuva 5. Sisä- ja ulkoilman kosteusosatiheyden ero eri sisäilman suhteellisen kosteuden vakioarvoilla Helsingin mitoitusvuoden sääoloissa, kun sisäilman lämpötila on +30 °C.

5.3.2 Diffuusio rakenteisiin ja niiden läpi

Vesihöyryn diffuusiiovirran tiheys on suoraan verrannollinen vesihöyryn osapaine-eroon:

$$g = D_m / d * (p_{v1} - p_{v2}), \quad (1)$$

missä

g on kosteusvirran tiheys, kg/sm^2

D_m on kerroksen diffuusiokerroin, $\text{kg}/(\text{s m Pa})$

d on kerroksen paksuus tilojen 1 ja 2 välissä, m

p_v on vesihöyryn osapaine, Pa

$$D_m = D_{m,\text{ilma}} / \mu, \quad (2)$$

missä

$D_{m,\text{ilma}}$ on vesihöyryn diffuusiokerroin paikallaan olevassa ilmassa, kg/sm^2

μ on materiaalikerroksen diffuusiovastuskerroin, -

Materiaalikerroksen diffuusiovastuskerroin μ kuvaa materiaalin suhteellista diffuusiovastusta verrattuna ilmakerroksen vastaavaan arvoon. Tyypillisesti μ riippuu materiaalin kosteustilasta, joten dynaamisessa laskennassa diffuusiovastus päivittyy kerroksen kosteusjakauman mukaan.

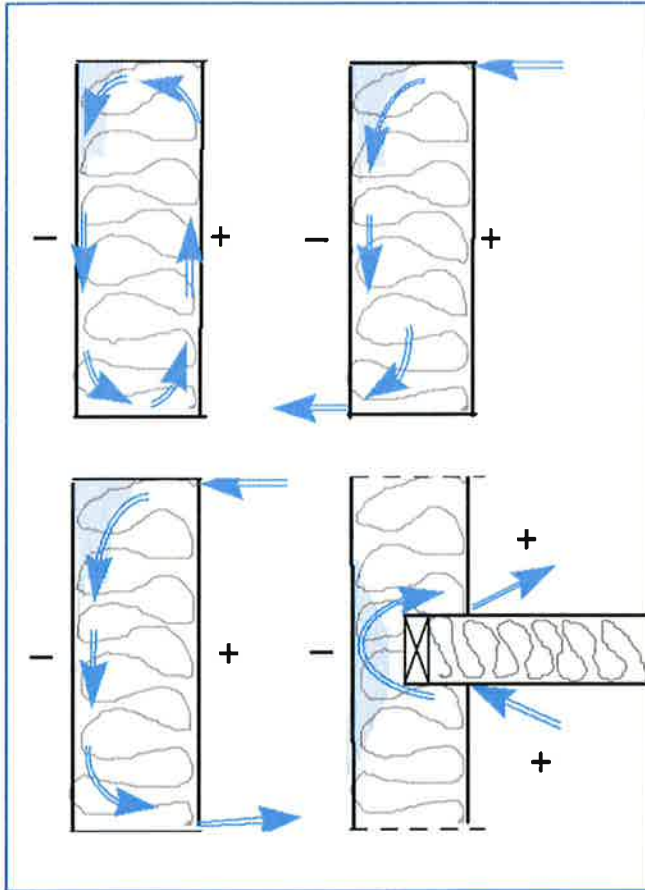
5.3.3 Sisäilman ylipaine ja vuotoilmavirtaukset

Ilmavuodot rakenteiden läpi sisältä ulospäin voivat aiheuttaa huomattavasti vesihöyryn diffuusiota suuremman kosteuskuormituksen rakenteisiin. Tämä korostuu uimahallitiloissa, sillä niissä tilan korkeus ja sisäilman korkeat lämpötilat vaikuttavat nostetermin syntyyn. Sisäpuolen lämmin ilmapatsas pyrkii tuottamaan tilan yläosaan ylipaineen ulkoilmaan nähden. Paine-ero aiheuttaa ilman virtauksen rakenteiden vuotoilmareittien kautta tilojen välillä. Jos sisäpuolella on ylipaine, tapahtuu vuotoilmavirtaus rakenteiden kautta ulospäin ja mukana kulkeutuva sisäilman kosteus pyrkii tiivistymään ja kerääntymään rakenteisiin, jotka tyypillisesti ovat sisäilmaa viileämpiä.

Kosteuden tiivistymisriski lisääntyy olennaisesti talvikaudella. Tällöin rakenteiden lämpötilatasot ovat huomattavan alhaiset verrattuna sisäilman olosuhteisiin. Samaan aikaan myös lämpötilaeron aiheuttama paine-ero on suurimmillaan rakenteen yläosassa. Tämä paine-ero tulisi voida tasoittaa ilmanvaihdon avulla siten, että sisäilman ylipaine olisi vain hetkittäistä. Pelkästään tuulen painevaikutus aiheuttaa sisäilman virtausta rakenteiden kautta ulospäin. Nostetermin aiheuttama ylipaine tulisi pääsääntöisesti kumota ilmanvaihtolaitteiston tuottamien paine-erojen avulla, jotta sisäilman virtaukset rakenteiden kautta ulospäin saataisiin minimoitua.

Kuva 6 esittää joitain ilmavirtaustapauksia rakenteissa. Ilmavirtaus voi muodostaa suljetun konvektiosilmukan lämmöneristeonteloon, se voi virrata rakenteen läpi ulos tai sisäänpäin, tai se voi tehdä silmukan rakenteen kautta takaisin samaan tai eri huonetilaan. Avohuokoisissa materiaaleissa mahdollinen sisäinen konvektio on usein varsin vähäistä verrattuna tuulen ja ilmanvaihdon synnyttämistä paine-eroista aiheutuvaan ilman virtaukseen rakenteen läpi. Ilmatiiviä materiaalikerroksia sisältävissä rakenteissa ilmavirtaukset keskittyvät rajapintojen epäideaalisuuksiin ja ilmarakoihin, avohuokoisissa virtausta voi tapahtua myös kuvan mukaisesti materiaalikerroksen läpi. Kaikissa tapauksissa rakenteellinen ilmatiiveys edellyttää

yhtenäistä, ilmatiivistä kerrosta, joka liittyy yhtenäisenä viereisten rakenteiden vastaaviin kerroksiin.



Kuva 6. Sisä- ja ulkoilman kosteusosatiheyden ero eri sisäilman suhteellisen kosteuden vakioarvoilla Helsingin sääoloissa, kun sisäilman lämpötila on +30 °C.

Kaikissa tapauksissa, joissa sisäilma pääsee virtaamaan rakenteeseen on riskinä sisäilman kosteuden kerääntyminen rakenteen materiaalikerrokseen. Uimahallitiloissa tyypillisin ilman vuototapaus on ilmeisesti ilman läpivirtaus rakenteiden kautta sisä- ja ulkoilman välillä.

Nostetermin vaikutus paine-eroon

Kahden eri tilan välisen lämpötilaeron aiheuttama paine-ero (ns. savupiippuvaikutus) eri korkuisissa tiloissa voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_i) * g * h, \text{ missä} \quad (3)$$

Δp on paine-ero korkeudella h , Pa

ρ_u on ilman tiheys ulkona

ρ_i on ilman tiheys sisätilassa

g on maan vetovoimakiihtyvyyden arvo, 9,81 m/s²

h on tilan korkeus, m

RIL 235:n /4/ edellyttää, että sisäilma on alipaineinen ulkoilmaan nähden. Ilmanvaihdon tuottaman alipaineen suuruus määräytyy katon rajassa olevan (nosteen aiheuttaman) ylipaineen mukaan. Viitteen /4/ esimerkki 1 antaa osittain ristiriitaisen kuvan paine-erosta ja siihen vaikuttavista tekijöistä:

- "Kun allashuoneen alaosassa avataan ovia tai rakenteissa (niiden alaosassa) on (merkittäviä) vuotokohtia, siirtyy tasapainotila korkeussuunnassa ylöspäin (tilan keskikorkeudelta) ja paine-ero ulkoilmaan nähden kasvaa seinän yläosassa". Näistä pätee jälkimmäinen, ts. sisäilman ylipaine tilan yläosassa kasvaa, mutta tasapainotila siirtyy tietysti kohden alaosaa, jossa on yhteys ulkoilmaan.
- "... Jos allashuoneen yläosassa on vuotokohtia tai aukko, ylipaine purkautuu ja allashuoneesta tulee alipaineinen." Tämä pätee, jos yläosaan avataan merkittävän kokoinen aukko ulos ja muu osa rakennuksen ulkovaippaa on hyvin ilmatiivis. Tätä vaipan ilmatiiviuden olennaista heikentämistä ei kuitenkaan voi pitää keinona estää ylipaineen synty tilaan. Avaamalla merkittäviä ilmavuotoreittejä rakennusvaippaan, menettää ilmanvaihto merkityksensä painesuhteiden hallinnassa, jolloin hatarassa rakennuksessa painesuhteiden määrääväksi tekijäksi tulevat ulkoilman olosuhteet, yleensä tuuli, mikä ei ole toivottava tilanne.
- Esimerkkiä 1 seuraavassa selitysosiossa esitetään, että rakennuksen korkeudesta aiheutuva savupiippuvaikutus on sitä suurempi, mitä epätiiviimpi vaippa on. Hatara, ilmaa vuotava vaippa ei kuitenkaan vähennä tai lisää nostetermiä, mikä riippuu ilmatilojen lämpötilaerosta. Savupiippuvaikutus tarkoittaa kahden eri ilmatilan välistä paine-eroa, joka syntyy ilmatilojen välisen lämpötilaeron ja niiden korkeuden funktiona, kuten kaava 3 esittää. Todellisuudessa rakennuksen ilmatiiviyys vaikuttaa paine-eroihin tuulen (ja ilmanvaihdon) vaikutusten kautta ja hatara rakenne päästää tuulen painevaikutukset paremmin lävitse kuin tiivis. Ilmavuotojen jakauma korkeussuunnassa vaikuttaa eri puolten vakioapainetilan sijaintiin korkeussuunnassa.

Esimerkissä /3/ kuitenkin todetaan, että hallin alipaineisena pitäminen "ei käytännössä onnistu, ellei ylipaine ole suhteellisen pieni". Saman suuntaisia päätelmiä on esitetty haastatteluissa /17/. Tätä ongelmaa pyritään todentamaan seuraavissa paine-erotarkasteluissa.

Eräänä ongelmana on osateholla ajettaessa iv-kojeiden tuottama alipaine voi poiketa mitoitustilanteesta saavutettavasta, mikä voi lisätä sisäilman ylipaineen määrää ja kestoa mitoitustilan käyttöön verrattuna /21/.

Koska hallin ja ympäröivien tilojen sekä ulkoilman välillä on kulkuyhteys yleensä lattian tasolla, asetettiin tämä taso lähtökohdaksi tehdyissä paine-erotarkasteluissa.

Ainoa tapa varmistaa sisäilman pääsääntöinen alipaineisuus on riittävän tiivis ulkovaippa ja ilmanvaihdon tilavuusvirtojen asetus siten, että hallin yläosassa on aina alipaine. Tämä tarkoittaa, että hallin lattiatasolla (joka on tässä valittu käyttöajan tasapainotilan tasoksi) on aina vähintään suurinta nostetermiä vastaava alipaine.

On huomattava, että tämän alipaineen on toteuduttava myös käyttöajan ulkopuolella. Jos ilmanvaihtoa ja sen aiheuttamaa alipainetta pienennetään, voivat painesuhteet muuttua käyttötilanteen vastaavista, jolloin lämmin ja kostea sisäilma voi virrata rakenteisiin. Rakenteiden kannalta ei ole merkitystä sillä tapahtuuko kosteusvirtaus hallin käyttöajalla vai sen ulkopuolella. Kosteuskuorman määrä ja toistuvuus ratkaisee sen aiheuttamat ongelmat rakenteille.

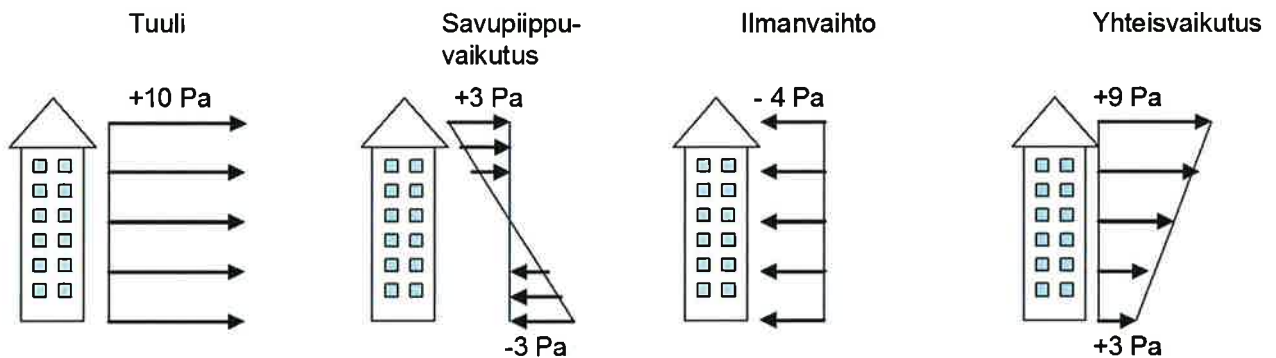
Siten ylläpidon merkitys voi olla ratkaiseva rakenteiden toimivuuden kannalta. Pelkkä käyttöajan mitoitustilanteen hallinta ei riitä, pitää varmistaa tilan alipaineisuuden pysyminen kaikissa oloissa, myös käyttöajan ulkopuolella.

Nostetermi, tuuli ja ilmanvaihto

Ilmanpaine-ero rakennusvaipan ylitse on summa kolmesta tekijästä: Tuulen painevaikutuksesta (ΔP_t), nostetermistä ($\Delta P_{n,ns}$, savupiippuefekti) ja ilmanvaihdon aiheuttamasta paine-erosta (ΔP_{iv}):

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_n + \Delta P_{iv} \quad (4).$$

Kuva 7 esittää periaatteellisella tasolla sen miten rakennukseen kohdistuva tuulen painevaikutus, lämpötilaeroon perustuva savupiippuvaikutus ja ilmanvaihdon synnyttämä alipaine vaikuttavat yhdessä rakennuksen yhden sivun sisä- ja ulkoilman väliseen paineeroon. Tässä tapauksessa tuulen painevaikutus on hallitseva ja se kumoaa ilmanvaihdon tuottaman alipaineen ja nostetermin vaikutuksen rakennuksen alaosaan ja koko rakennus on ylipaineinen (yhden sivun huoneistojen osalta).



Kuva 7. Periaatteellinen esimerkki rakennuksen paineolosuhteista (ali- ja ylipaine) talvikauden tuulisessa tilanteessa.

Tuulen painevaikutukset on syytä minimoida kaikessa rakentamisessa ja tämä korostuu korkeissa hallirakennuksissa. Merkittävin keino tähän on rakennusvaipan riittävän ilmatiiviyn varmistaminen. Mitä ilmatiiviimpi rakennusvaippa, sitä vähemmän ulkopuolinen tuulen paine voi vaikuttaa sisäilman painekenttään. Mahdollisimman ilmatiivis rakennusvaippa pienentää hallitsemattomien ilman vuotovirtausten aiheuttamaa riskiä rakenteiden kosteustekniselle toimivuudelle, termisen viihtyisyydelle ja energiatehokkuudelle.

Jos tuulen painevaikutukset voidaan pääosin eliminoida tiiviin rakennusvaipan avulla, voidaan ilmanvaihdon avulla varmistaa sisäilman alipaineisuuden pysyvyys eri olosuhteissa.

Paineolojen pysyvyys korkeassa allastilassa

Tässä esitetään laskennallinen tarkastelu paineolojen pysyvyydestä uimahallin allastilassa. Sisäilman lämpötilaksi oletettiin +30 °C ja ulkoilman olosuhteet vaihtelivat tunneittain vuoden 1979 Helsingin mitoitussäätiöjen mukaisesti. Tarkastelussa oletettiin kolme eri hallikorkeutta:

- 5 m,
- 9 m ja
- 15 m

Oletuksena on, että korkein korkeus vastaa hallia, jossa on 10 m korkean uimahyppytorni. Pienemmät korkeudet kuvaavat tätä matalampia halleja.

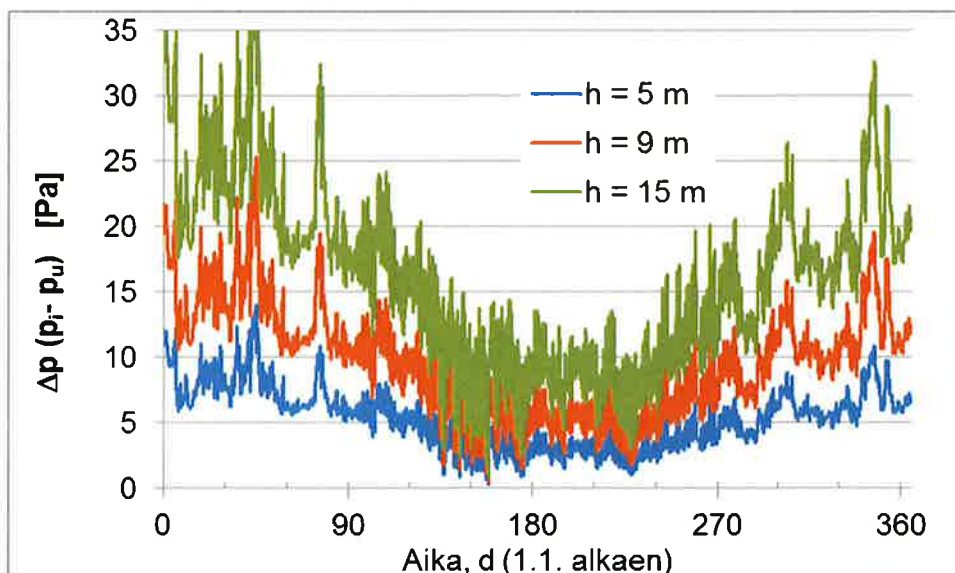
Käytön ulkopuolella uima-allastilan ollessa suljettu ympäristöstä asettuu tasapainetaso hallin keskikorkeudelle, jos ilmavuodot hallin rakenteissa jakautuvat korkeussuunnassa tasaisesti. Tämä tuskin pätee hallin käyttötilanteessa, jossa on jatkuvaa kulkua eri tilojen ja myös ulkotilan välillä. Tehdyissä tarkasteluissa oletettiin, että ulko- ja sisäilman tasapainetaso asettuu hallin lattiatasolle, koska käytön aikana tiloja ei voida erottaa riittävän hyvin toisistaan. Tämä oletus korostaa sisäilman ylipainetta hallin yläosassa ja tuo tarkasteluun varmuutta, mutta antaa kuvan mahdollisista olosuhteista käyttötilanteen aikana. Jos

käyttötilanteen ulkopuolella muutetaan ilmanvaihtomääriä, vaikuttaa tämä osaltaan ilmanvaihdolla tuotetun alipaineen suuruuteen ja paineolojen pysyvyyteen tilassa.

Kuva 8 esittää sisäilman ylipaineen esiintymistä vuoden jakson aikana Helsingin ilmastossa, kun sisäilman lämpötila on vakio +30 °C ja vakiopainetaso on allastilan lattian tasolla. Lisäksi kuvassa on esitetty uudestaan sisäilman kosteuslisäys ulkoilmaan nähden sisäilman eri suhteellisen kosteuden vakioarvoilla. Suurimmat sisäilman ylipaineet esiintyvä kylmän talvikauden aikana, jolloin myös sisäilman kosteuslisä on ulkoilmaan verrattuna suurin. Siten ylipaineen aiheuttamat vuotoilmavirtaukset kuljettavat tehokkaasti sisäilman kosteutta rakenteisiin ja kosteuden voimakas tiivistyminen rakenteiden kylmiin osiin on todennäköistä.

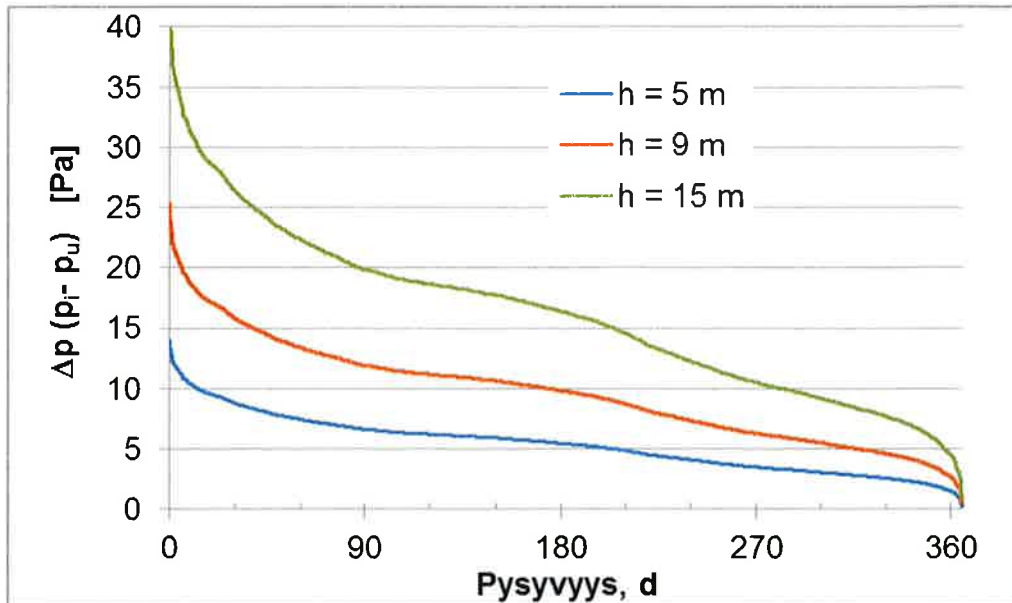
Yleensä energiatehokkuus ja käyttäjien viihtyisyys pyrkii ohjaamaan ilmanvaihtoa tavanomaista pienempiin ilmamääriin kylminä pakkasjaksoina. Tämä johtaa kuitenkin helposti ilmanvaihdon tuottaman alipaineen pienentymiseen ja kasvavaan riskiin sisäilman vuodosta ja siitä seuraavaan kosteuden kerääntymiseen rakenteisiin. Jos ilmanvaihtoa säädetään, on riittävä alipaine voitava ylläpitää erityisesti pakkasoloissa. Tämä voi olla haasteellista, jos rakennuksen vaippa ei ole tarpeeksi ilmatiivis.

Kylmän jakson aikana rakenteeseen kertyvän kosteuden aiheuttama biologisen kasvun riski on pieni, jos kosteus poistuu ennen kuin rakenne lämpenee. Joskus yläpohjaan kerääntynyt ylimääräinen kosteus 'sataa' alas rakenteista vuotoreittejä pitkin, kun jäänyt kondenssivesi sulaa. Rakenteen hetkellisestä kuormituksesta voidaan selvittää ilman pysyviä haittavaikutuksia, mutta jatkuvasti tai toistuvasti kerääntyvä kosteus alkaa tyypillisesti aiheuttaa ongelmia jossain vaiheessa.



Kuva 8. Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero eri korkuisissa hallirakenteissa tunneittain vuoden aikana.

Kuva 9 esittää kaavalla 3 lasketut paine-erojen pysyvyydet tarkasteluvuoden jakson aikana eri korkuisten hallien tapauksissa. Lähtöoletuksena on sama sisä- ja ulkoilman painetaso (0-paine-ero) hallin lattian tasolla. Tarkastelussa ei otettu tuulen painevaikutusta huomioon. Paine-erokäyrät osoittavat tarvittavan ilmanvaihtokojeilla tuotettavan alipaineen, jotta hallin yläosassa olisi neutraalipaine ulkoilmaan nähden.



Kuva 9. Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron pysyvyys eri korkuisten hallirakennusten yläosassa, kun hallin lattiatasolla on sama paine sisä- ja ulkoilman välillä.

Hallin alaosaan tuotettavan alipaineen suuruutta rajoittaa iv-kojeiston mitoitus ja paine-eron hättävähäikutukset mm. ovien avattavuudessa ja eri tilojen välisessä ilmavirtauksessa. Tyypilliset alipainetasot ovat -5 ... -10 Pa, jolloin paine-erosta aiheutuvat edellä mainitun tyyppiset ongelmat ovat vielä vähäisiä.

Vesihöyry pyrkii tiivistymään allastilan ikkunoiden sisäpintoihin. Tämän estämiseksi allastilan ikkunoihin kohdistetaan tuloilmavirta, joka vähentää tiivistymisriskiä. Jos hallissa ei käytetä jäähdytettyä ja kuivattua kiertoilmaa, on riittävän ikkunapuhalluksen edellyttämä, ulkoilmasta tuotava tuloilmamäärä korkea. Viihtyisyysolojen ylläpito asettaa rajoituksia ilmanvaihdon ja ilman virtausnopeuksien kasvattamiseen hallissa. Siksi ilmanvaihdon ilmamääriä ei voida kasvattaa rajattomasti. Tämä vaikuttaa osaltaan paineolojen hallintaan.

Taulukko 3 esittää ylipaineen esiintymisajat (tunteina vuodessa) esimerkin tapauksissa, kun ilmanvaihdolla tuotetaan hallin lattiatasoon neljä erisuuruista, vakiota alipainetasoa: -5 Pa, -10 Pa, -15 Pa ja -20 Pa. Taulukko 4 esittää saman tuloksen osuuksina koko vuoden ajasta, ts. kuinka suuri osa vuodesta ollaan ylipaineisessa tilassa.

Taulukko 3. Sisä- ja ulkoilman paine-eron esiintyminen tunteina vuoden aikana eri korkuisten allastilojen yläosan tasolla, kun ilmanvaihdolla on tuotettu vakiosuuruinen (-5 Pa .. -20 Pa) alipaine tilan alaosaan.

Tapaus	Ylipaineen esiintyminen vuoden aikana , h			
	Alipaine tilan alaosassa			
	-5 Pa	-10 Pa	-15 Pa	-20 Pa
h = 5 m	4917	318	0	0
h = 9 m	7591	4182	919	137
h = 15 m	8567	6775	4917	2108

Taulukko 4. Sisä- ja ulkoilman paine-eron esiintyminen suhteellisina osuuksina vuoden ajasta eri korkuisten allastilojen yläosan tasolla, kun ilmanvaihdolla on tuotettu vakiosuuruinen (-5 Pa .. -20 Pa) alipaine tilan alaosaan.

Tapaus	Ylipaineen esiintyminen vuoden aikana % ajasta			
	Alipaine tilan alaosaan			
	-5 Pa	-10 Pa	-15 Pa	-20 Pa
h = 5 m	56 %	4 %	0 %	0 %
h = 9 m	87 %	48 %	10 %	2 %
h = 15 m	98 %	77 %	56 %	24 %

Esimerkiksi ilmanvaihdolla tuotettu -10 Pa alipaine riittää pitämään 5 m korkean hallin yläosastaan alipaineisena lukuun ottamatta 318 h vuodessa ts. noin kahden viikon jaksoa (n. 4 % ajasta). Tällöin ylipaineen tasot ovat suhteellisen pienet, joten ilmavuodot eivät luultavasti aiheuta liiallista kosteuskuormitusta rakenteisiin.

Kun halli on 9 m korkea ja ilmanvaihto tuottaa -15 Pa jatkuvan alipaineen, on hallin yläosassa ylipainetta noin 10 % ajasta, ts. noin 38 päivän ajan. Tämä ylipainejakso viittaa jo selvästi rakenteisiin kohdistuvaan ylimääräiseen kosteuskuormitukseen. Tuloksen perusteella 9 m korkean hallin ilmanvaihtokojeilla tuotettavan alipaineen tulisi olla itseisarvoltaan suurempi kuin -15 Pa.

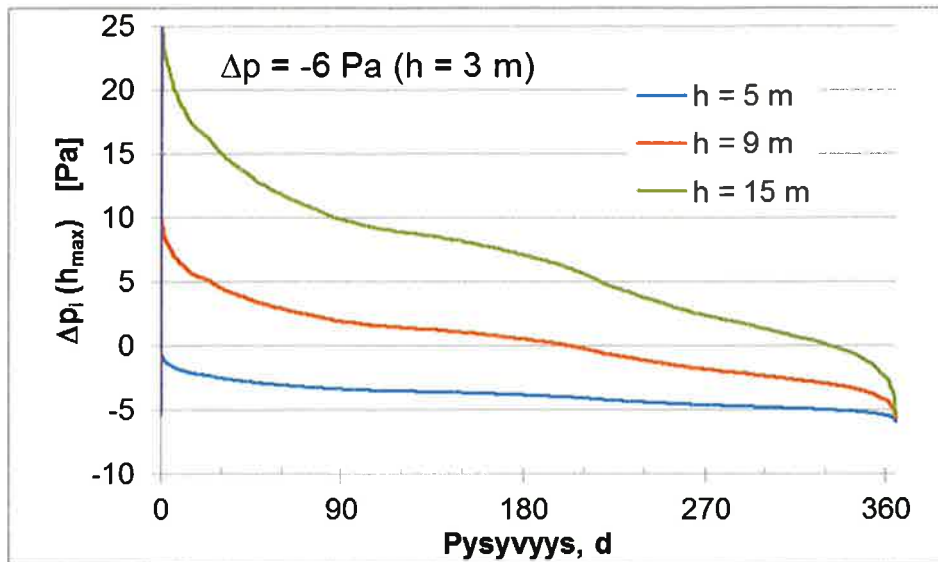
Kun hallin korkeus on 15 m, on kohtuullisen suuri ilmanvaihdolla tuotettu alipaine -20 Pa (lattiatasolla) riittämätön varmistamaan turvallisia paineolosuhteita hallin yläosaan. Ylipainetta esiintyi 24 % ajasta, ts. noin 3 kuukauden ajan vuodesta. Tämä on selkeä riskitapaus, mikä korostuu sisäilman suuren kosteuspitoisuuden takia.

Painesuhteet suositusoloissa

Havainnollistetaan lisäksi Pernun ja Kuurneen /1/ esittämää ehtoa, jossa 3 m korkeudella allastilassa ylläpidetään 3 – 6 Pa alipainetta ulkoilmaan nähden. Valitaan tarkasteluun suurin suositusarvo 6 Pa (h = 3 m). Kuva 10 esittää tässä tilanteessa sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron pysyvyyden eri korkuisten hallirakennusten yläosassa Helsingin v. 1979 mitoitussääoloissa. Kun hallin korkeus on 5 m, on hallissa aina alipaine myös sen yläosassa. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon tuulen tai ilmanvaihdon mahdollisten käyttöhäiriöiden vaikutusta painesuhteisiin.

Ylipainetta esiintyy allastilan yläosassa 9 m korkeassa allastilassa noin 56 % ajasta ja 15 m korkeassa allastilassa noin 91 % ajasta (Taulukko 5). Siten korkeissa allastiloissa suosituksen mukaisella ilmanvaihdolla tuotetuissa paineoloissa rakenteiden kosteustekninen toimivuus riippuu täysin allastilan yläpohjan ja seinän yläosien rakenteiden ilmatiivyydestä ja sen pysyvyydestä. Puutteet ilmatiivyydessä voivat johtaa pitkäaikaiseen allastilan ilman ulosvirtaukseen rakenteiden kautta. Vuotoilmavirtauksen tilavuusvirta ja sen mukanaan viemä kosteusvirta riippuu virtausreitien vuotofunktiosta.

Allastilan lattian tasolla sisäilman alipaine (kun 6 Pa alipaine 3 m korkeudessa) oli keskimäärin 9,2 Pa ja vaihteluväli vuoden aikana oli 6,2 - 14,4 Pa. Suurin alipainetaso oli kovimman pakkasen aikana.



Kuva 10. Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron pysyvyys eri korkuisten hallirakennusten yläosassa, kun hallissa on 6 Pa alipaine 3 m korkeudella allastasosta.

Taulukko 5. Sisä- ja ulkoilman paine-eron esiintyminen tunteina ja suhteellisina osuuksina vuoden ajasta eri korkuisten allastilojen yläosan tasolla, kun ilmanvaihdolla on tuotettu vakiosuuruinen -6 Pa alipaine 3 m:n korkeudelle lattiatasosta.

	Ylipaineen esiintyminen vuoden aikana, h	Ylipaineen esiintyminen vuoden aikana % ajasta
h = 5 m	0	0 %
h = 9 m	4916	56 %
h = 15 m	7992	91 %

Esimerkki ilmapuotojen aiheuttamasta kosteuskertymästä

Sisäilman vuotovirtausten vaikutusta kosteuden kerääntymiseen uimahallirakennuksen allastilan yläpohjaan arvioitiin laskennallisesti. Arvio sisältää lukuisia oletuksia, mutta se antaa kuvan ilmapuotojen aiheuttaman kosteuskuormituksen suuruusluokasta.

Tarkastelussa oletettiin 9 m korkea allastila, jossa ilmapuodot ovat tasan jakautuneet sen ulkovaipan eri osille. Allastilan lattiatasolle oletettiin jatkuva 7 Pa alipaine ulkoilmaan nähden ja sen korkeussuuntainen paine-ero ulkoilmaan noudattaa muodoltaan Kuva 10 esitetyn mukaista vuotuista jakaumaa. Sisäilman lämpötila oli vakio +30 °C ja sisäilman kosteus 40 % RH, 50 % RH ja 60 % RH. Näiden perusteella voidaan arvioida ylipaineen vaikutuksesta tasaisesti ilmaa vuotavaan kattoon kohdistuva tasan jakautunut kosteuskuormitus sisäilmasta.

Yläpohja on tuulettuva ja sen vakiosuuruiseksi asetetulle tuuletusvirtaamalle tehtiin eri oletuksia. Kaikissa tapauksissa ulkoilma virtaa rakenteeseen tasaisesti 15 m pitkän tuuletustilan läpi ja ilma poistuu rakenteesta ulkoilman lämpötilassa ja kyllästyskosteudessa. Tyypillisesti tuuletusilma lämpenee rakenteissa johtuen rakenteen kautta tulevasta lämpövirrasta ja auringon säteilystä. Tässä tarkastelussa pääpaino oli kosteuskertymän

tarkasteluissa talvikaudella, jolloin auringon säteilyn merkitys on suhteellisen pieni. Myös taivaan vastasäteilyn jäädyttävä vaikutus on jätetty huomiotta.

Yhden korkeustilan ja alipaineen sekä kolmen sisäilman kosteustilan lisäksi arvioitiin erilaisten ilmanvuotolukujen ja ulkoilman tuuletusvirtausten vaikutusta rakenteen mahdolliseen kosteuskertymään. Tuuletusvälin korkeus oli joko 100 mm tai 300 mm. Pernu ja Kuurne /1/ esittävät että yläpohjan tuuletusvälin korkeuden tulee olla vähintään 300 mm. Pienempi arvo edustaa aiempien käytäntöjen mukaista mahdollista tuuletustilan korkeutta. Ilma virtaa koko rakenteen leveydeltä ja koko tuuletusvälin korkeudelta samalla vakionopeudella läpi vuoden. Tarkastelussa ilman virtausnopeudeksi 15 m pitkässä tuuletusvälissä asetettiin 0,2 m/s. Tämä vastaa tuuletustilan ilmanvaihtoa $n = 48$ 1/h. Taulukko 6 esittää tarkastellut tapaukset.

Rakennuksen ilmanvuotoluvulle oletettiin kaksi arvoa: uudisrakennuksille vähimmäisvaatimusta edustava taso $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@50 Pa) ja suositusarvoa vastaava taso $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@50 Pa).

Taulukko 6. Tapaukset, joissa tarkasteltiin kosteuden siirtymistä 9 m korkean allastilan yläpohjaan eri sisäilman vakiokosteustilanteissa, kun 15 m pitkässä yläpohjan tuuletusvälissä oli ilman vakionopeus 0,2 m/s koko vuoden ajan.

Rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@50 Pa)	Tuuletusvälin korkeus h , mm
4	100
1	300

Tarkastelussa ratkaistiin esitettyjen oletusten mukaisesti rakenteeseen kertyvä kosteus määrä rakenteen otsapinta-alaa kohden, kun ilmavuoto oli oletettu tasaisesti jakautuneeksi rakenteissa. Ilmavuoto rakenteeseen ratkaistiin allastilan yläosan ja ulkoilman välisen paine-eron perusteella käyttäen vuotoilmavirran arvioinnissa yhtälöä (1):

$$q_{\text{vent}} = q_{50} * (\Delta p / 50)^n, \quad (1),$$

missä

q_{vent} on ilman vuotovirtaus paineessa Δp ,

q_{50} on ilman vuotovirtaus 50 Pa paine-erolla ja

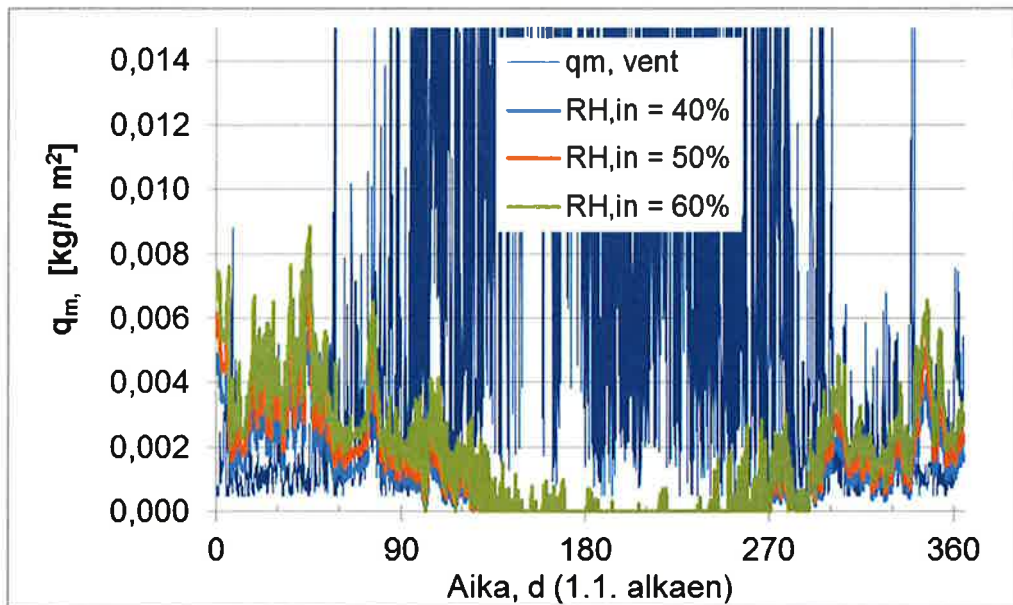
exponentille n valittiin arvo 0,7.

Kosteuskertymä oli rakenteeseen sisäilmasta kaavan (1) mukaan tunneittain lasketun vuotoilmavirran mukana tuleva kosteusylimäärä, joka oli sisäilman kosteuspitoisuuden ja ulkoilman kyllästystilaa vastaavan pitoisuuden erotus, josta vielä vähennettiin tuuletusilman poistama kosteus.

Tehtyjen oletusten vuoksi tulos on suuntaa-antava, mutta kuvaa riittäväällä tarkkuudella kylmän jakson aikaisen kosteuskertymän mahdollista riskiä.

Kuva 11 esittää esimerkkinä tapauksessa $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ja tuuletusvälin korkeudella $h = 100 \text{ mm}$ ratkaistut tunnitaiset kosteusvirrantiheydet rakenteeseen eri sisäilman kosteustasoilla ja tuuletuksen mukana ulos rakenteesta. Kylmän talvijakson aikana

kosteusvirtaus rakenteeseen on pääsääntöisesti suurempi kuin tuuletuksen rakenteesta poistama kosteusvirtaus. Lämpimänä jaksana tuuletuksen kuivausvaikutus ylittää selvästi rakenteeseen tulevan kosteusvirran tason.

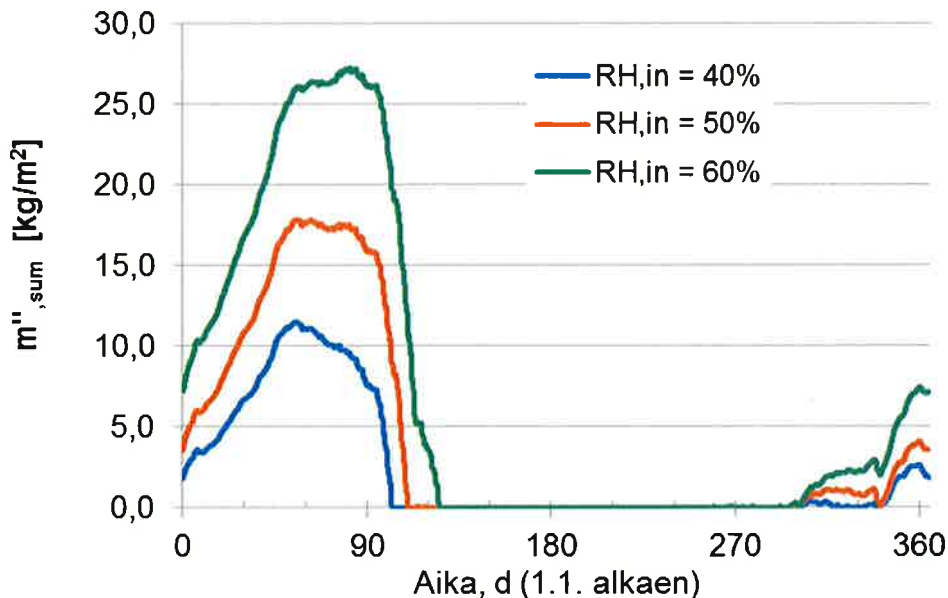
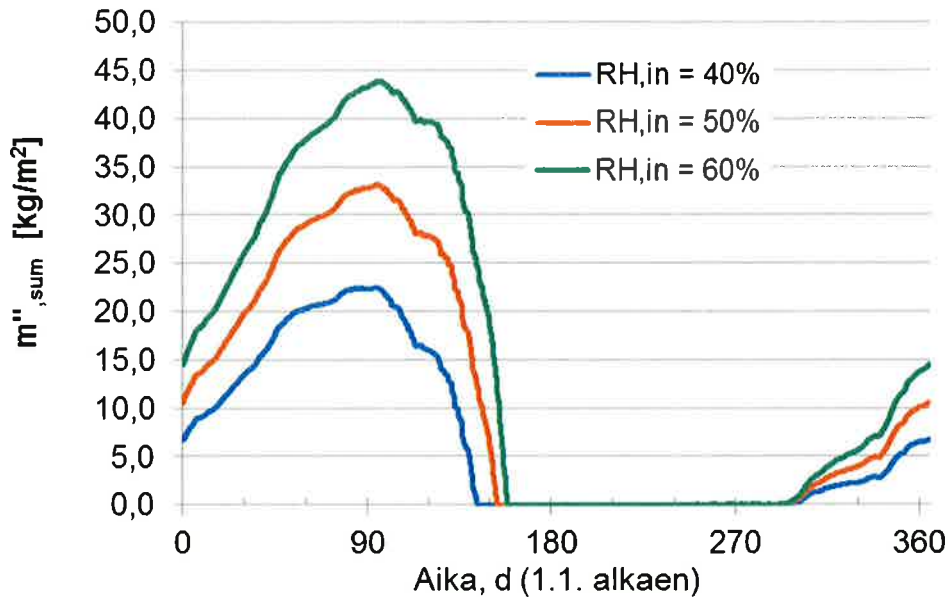


Kuva 11. Rakennuksen ($h = 9 \text{ m}$) ilmanvuotoluku $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ on tasan jakautunut ja yläpohjan tuuletusvälin korkeus $h = 100 \text{ mm}$ ja sen ilmanvaihtokerroin on 48 1/h . Ratkaistut tunnitaiset kosteusvirrantiheydet rakenteeseen eri sisäilman kosteustasoilla (RH-käyrät) tai tuuletuksen mukana ulos rakenteesta (q_m, vent).

Kuva 12 esittää kosteuskertymä rakenteeseen tapauksessa, jossa rakennuksen rakenteiden ilmanvuotoluku $q_{50} = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ja tuuletusilmavälillä 100 mm tai 300 mm . Kuva 13 esittää vastaavat tulokset tilanteessa, jossa rakennuksen rakenteiden ilmanvuotoluku $q_{50} = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$. Tuloksina esitetään määritetyt kosteuskertymät yläpohjarakenteeseen sen otsapinta-alaa kohden laskettuina.

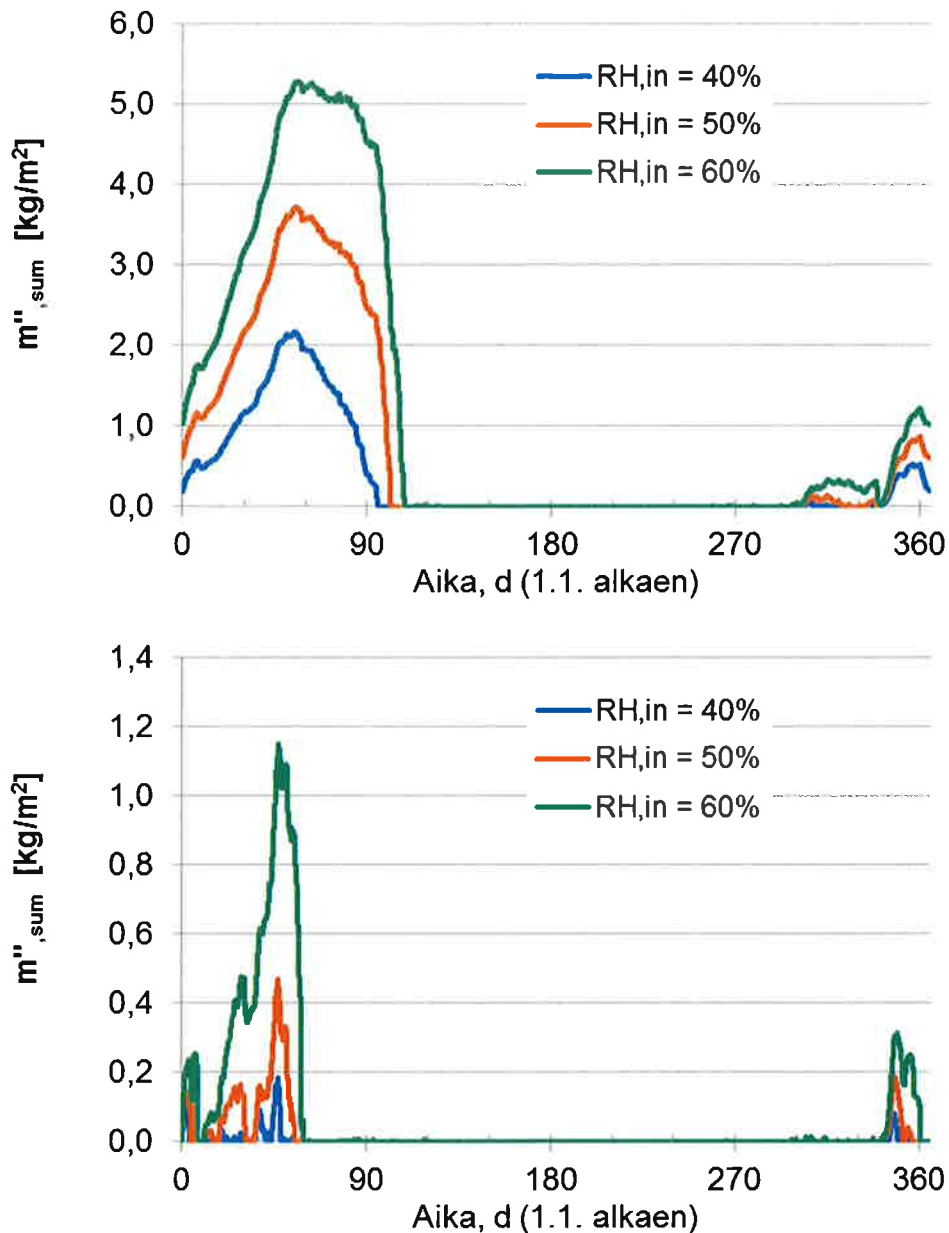
Huonommalla ilmanvuotoluvulla ($q_{50} = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$) nettokosteuskertymä rakenteeseen nousi loppupalvesta 40% RH sisäilmakosteudella tasolle $22 \text{ kg}/\text{m}^2$ ja sisäilman kosteudelle 60% tasolle $44 \text{ kg}/\text{m}^2$. Kun tuuletusvirtaa kasvatettiin 3 -kertaiseksi (nykyään suositeltu 300 mm tuuletusväli), pienenivät kosteuskertymän maksiarvot tasolle noin $11 \text{ kg}/\text{m}^2$ ja $26 \text{ kg}/\text{m}^2$. Kaikissa tapauksissa tilanne viittaa liialliseen kosteuskertymään rakenteissa, vaikka rakenteiden tuuletus pystyykin vuositason tasolla poistamaan kertyneen kosteus määrän. Vuotoilmavirtaukset rakenteeseen keskittyvät usein paikallisesti, jolloin keskimääräinen tuuletusilmavirta ei kuvaa vuotokohdan edellyttämää paikallista tuuletuskykyä.

Molemmissa tuuletustapauksissa ilmanvuotolukua $q_{50} = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ voidaan pitää selvästi liian suurena tarkastellun 9 m korkean (tai sitä korkeamman) allastilan kosteusteknisesti turvallisen toimivuuden kannalta. Rakenteen tuuletuksella ei voida riittävästi vähentää hataraan rakenteeseen aiheutuvaa kosteuskertymistä kylmänä vuodenaikana.



Kuva 12. Rakennuksen ($h = 9 \text{ m}$) ilmanvuotoluku $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ on tasan jakautunut ja yläpohjan tuuletusvälin korkeus $h = 100 \text{ mm}$ (yllä) sekä 300 mm (alla) ja niiden ilmanvaihtokerroin on 48 1/h . Ratkaistut kosteuskertymät yläpohjarakenteeseen sen otsapinta-ala kohden laskettuna.

Ilmanvuotoluvulla $q_{50} = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (Kuva 13) matalampi ilmaväli (100 mm) johti vielä $2 - 5 \text{ kg/m}^2$ laskennalliseen kosteuskertymään riippuen sisäilman tilasta. Tämä on selvästi alempi kuin suuremman ilmanvuotoluvun tapauksessa, mutta voi paikallisesti keskittyneenä johtaa mahdollisiin kosteusongelmiin. Kun tuuletusväli oli suositeltu (300 mm) ja sisäilman kosteus voidaan talvikaudella pitää 40% RH tasolla, oli kosteuskertymä tiiviimmän rakennuksen tapauksessa varsin vähäinen ja edusti ilmeisen turvallista tilannetta.



Kuva 13. Rakennuksen ($h = 9$ m) ilmanvuotoluku $q_{50} = 1,0$ m³/m² h on tasan jakautunut ja yläpohjan tuuletusvälin korkeus $h = 100$ mm (yllä) sekä 300 mm (alla) ja niiden ilmanvaihtokerroin on 48 1/h. Ratkaistut kosteuskertymät yläpohjarakenteeseen sen otsapinta-alaa kohden laskettuna.

Esitetty laskentatarkastelu oli pelkistetty, mutta se antaa kuvan eri tekijöiden vaikutuksesta allastilan yläpohjarakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen.

Rakenteeseen vuotoilmanvaihdon kautta kohdistuva kosteuskuormitus riippuu:

- Allastilan korkeudesta
- Rakennuksen rakenteiden ilmatiiviydestä (ilmanvuotoluvusta)
- Sisäilman kosteustasosta
- Rakenteiden tuuletuksesta.

Kun allastilan korkeus on asetettu, voidaan rakenteellisesti vaikuttaa kosteustekniseen toimintaan parhaiten varmistamalla rakenteen mahdollisimman hyvä ilmatiiviys ja samalla höyrynsulun yhtenäisyys. Rakenteen tuuletuksen on oltava riittävä rakenteen lämmöneristeratkaisut huomioiden. Tarkastelussa oletuksena oli vesihöyryä ja ilmaa hyvin läpäisevä mineraalivillaeriste.

Tulosten perusteella rakenteen ilmanvuotoluvun q_{50} tulisi olla korkeintaan $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@ 50 Pa) (yläpohjassa ja sen liitoskohdissa tätä keskimääräistä arvoa tiiviimpi) ja tuuletuksiltaan vähimmäiskorkeuden tulee olla suositeltu 300 mm /1/. Tuuletuksiltaan korkeus ei pelkästään ratkaise tuuletusvirtausta. Riittävä tuuletus tulee varmistaa tarpeeksi suurella ja koko tuulettavan alueen kattavalla aukotuksella ulkoilmaan. Virtausreitillä ei myöskään saa olla merkittäviä virtausta kuristavia kohtia.

Riittävän ilmatiiviuden saavuttamiseksi on hyvä noudattaa Pernun ja Kuurneen /1/ esittämiä höyry- ja ilmansulkua koskevia ohjeita.

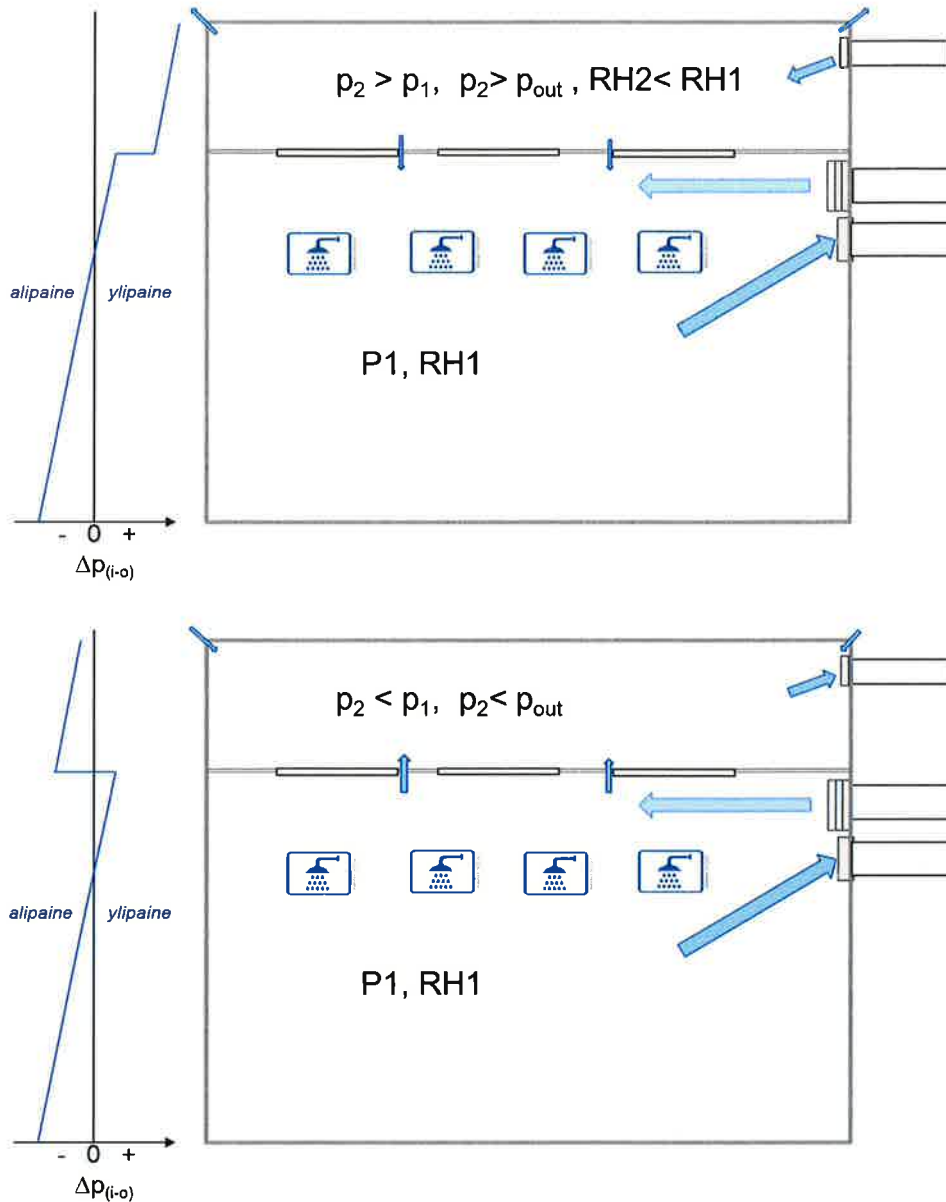
Sisäilman kosteuteen voidaan vaikuttaa käytön aikana, eikä sen tulisi olennaisesti ylittää suositusarvoa 40 % RH talvikauden aikana.

Alaslaskettu katto

Suurten tilojen osastoinnit esimerkiksi ilmaverhoin ei ole toimivaa niiden edellyttämien suurten ilmamäärien ja laitteiden suuren koon ja kustannusten takia. Eräs ratkaisu osissa märkätiloja on alaslaskettu katto, jonka alaslasketun tilan ilmaa hallitaan erillään varsinaisen tilan ilmanvaihdosta.

Kuva 14 esittää sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron korkeuden funktiona alaslasketun katon kahdessa eri tapauksessa. Tyypillisesti alaslasketun katon tila pidetään ylipaineisena siihen puhallettavan kuivan ja lämpimän ilman avulla. Tällöin alapuolisen tilan kostea ilma ei pääse tunkeutumaan tilaan ja sitä kautta siihen rajoittuviin rakenteisiin. Jos tila pidetään alipaineisena alapuoliseen tilaan ja ulkoilmaan nähden, ei alaslasketun tilan ilma pääse rakenteisiin vuotoreittien kautta.

Alaslaskettu kattorakenne on tyypillinen puku- ja pesutiloissa, mutta sitä ei tulisi käyttää allastiloissa /1, 20/. Alaslasketun katon ongelmoina ovat mahdollinen kosteuskertymä katon rakenteisiin ja sen kunnon ja toimivuuden arviointi, huollettavuus sekä rakenteiden heikentymisen aiheuttamat riskit allastilan käyttäjille.



Kuva 14. Alaslasketun katon painetason hallinta. Yllä tyypillinen tilanne, jossa alaslasketun katon yläpuolelle puhalletaan kuivaa ja lämmitettyä ilmaa. Tilan ylipaine estää alapuolisen kostean tilan ilman tunkeutumisen katon rajaan. Alla alaslaskettu ilmatila pidetään alipaineisena allastilaan ja ulkoilmaan nähden, jolloin kostea ilma ei kulkeudu rakenteisiin.

5.4 Yhteenvetoa kosteuskuormitukseen vaikuttavista tekijöistä

Päätelmiä kosteusongelmista:

- Toimimaton höyrynsulku aiheuttaa kosteuden kulkeutumista rakenteisiin diffuusiona ja ilmavirtausten mukana
- Erityisesti ilman vuotovirtaukset voivat aiheuttaa merkittäviä kosteuskuormia rakenteeseen
- Akustiikkalevytyksen aiheuttama lämpötilojen muutos rakenteen kosteudelle ja levytyksen tuuletuksen toimivuus ja sen mahdollisesti aiheuttama homehtumisriski on tarkistettava erityisesti rakenteiden leikkauskohdissa.

Periaateratkaisut:

- Rakenteet on suunniteltava ja toteutettava mahdollisimman ilmatiiviiksi, jotta esiintyvä ylipaine ja mahdolliset iv:n käyttötilanteen muutokset sekä häiriötilanteiden aikaisissa paine-erotilanteissa kosteuskuormitus rakenteisiin pysyy mahdollisimman pienenä
- Sisä- ja ulkoilman paine-eron hallinta eri ilmanvaihdon käyttötilanteissa
- Ilmatiiviyden varmistus: Ei läpivientejä yläpohjaan tai seinien yläosaan. Mallia sisäilmakorjauksista, joissa pyritään mahdollisimman ilmatiiviisiin sisäpinnan ratkaisuihin. Erityisesti rakenteiden liitoskohdat, aukotukset ja mahdolliset läpiviennit on suunniteltava ja toteutettava siten, että niiden pitkäaikainen ilmatiiviyys voidaan varmistaa lämpötilamuutosten yms. tekijöiden aiheuttaessa muutoksia rakenteiden dimensioissa /1, 20, 21/.
- Materiaalien valinta pitkäaikaisesti kestäviksi
- Uimahallien suunnittelussa tavoitteena voisi pitää mahdollisimman matalia rakennuksia, jotta sisäilman ylipaine voidaan pitää pienenä ja sen esiintyminen vähäisenä. On hyvä käydä läpi seuraavat kysymykset: Tarvitaanko hyppytornia ja kuinka korkea? Tuleeko rakennuksen olla kauttaaltaan korkeimman osan korkuinen?

Hyväksi arvioituja ratkaisuja:

- Ilman- ja höyrynsulku on esimerkiksi 0,75 mm butyylikumi hitsatuin saumoin asennettuna betonilaatan päälle /1/.
- Höyrynsulkukalvo on asennettava sileän yhtenäisen kerroksen päälle, saumat tehdään limitettyinä ja niiden tiiviyys varmistetaan tiivistemassalla ja rakenteellisesti.
- Yläpohjan lämmöneristeen materiaali ei ole ratkaiseva, vaan toimiva höyryn/ilmansulun ja riittävä yläpohjan tuuletus. Lämmöneriste voi kosteusteknisen toimivuuden kannalta olla mineraalivillaa tai umpisoluista eristettä /20/.
- Tuuletusaukkojen riittävä suojaus sateen ja lumen tunkeutumista vastaan on varmistettava

Uimahalleissa toimimattomia ratkaisuja:

- Höyrynsulkukalvon asennus poimupeltilevyn päälle kalvo tyypillisesti vaurioituu asennusvaiheessa, eikä se asennettuna vastaa uimahallitilan edellyttämää höyryn- ja ilmatiiviyttä /22/.
- Yleisesti kaikki ratkaisut, joissa höyryn/ilmansulku voi vaurioitua rakentamisen aikana esimerkiksi kiinnitystavan tai kerroksen päällä työskentelyn takia
- Rakenteet, joissa yläpohjan ja seinän höyryn/ilmansulkuja ei voida liittää yhtenäiseksi kerrokseksi, joka sallii rakenteiden normaalin liikkeen
- Läpiviennit yläpohjan tai seinän yläosien kautta. Läpivienneissä on kaikissa tapauksissa käytettävä tähän tarkoitettuja yhteitä, mutta korkean allastilan yläosan kohdalla ei tulisi olla mitään läpivientejä

6. Vaatimustasot uimahallien yläpohjarakenteille

6.1 Kosteusteknisen toimivuuden perusteet

6.1.1 Riittävä diffuusio- ja ilmatiiviys

Riittävä diffuusio- ja ilmatiiviys syntyy yhtenäisestä höyryn/ilmansulkukerroksesta. Itse materiaalin diffusiovastus ei ole tärkein tekijä vaan se, että kerros on toteutettavissa pysyvästi yhtenäisenä ilman katkoja esimerkiksi rakenteiden liitoskohdissa.

Suositteluja toteutuksia on elämättömälle pinnalle tehtävä yhtenäinen kumibitumikermi, mielellään kaksinkertaisena ja hitsatuin saumoin. Kerroksen läpi ei saisi olla läpivientejä ainakaan katon tai seinien yläosan alueella, jotka ovat kosteuden kannalta kriittisimmät. Tavoitearvona koko rakennuksen ilmanvuotoluvulle on korkeintaan $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@ 50 Pa). Lisäksi yläpohjan ja seinien yläosien rakenteiden tulisi olla tätä keskimääräistä arvoa tiiviimpiä.

6.1.2 Ilmanvaihto ja sen tuottama alipaine

Ilmanvaihdolla pyritään tuottamaan sisäilmaan alipaine myös sen korkeimpaan kohtaan. Korkeissa halleissa ja Suomen ilmastossa tämä ei ole jatkuvasti mahdollista. Olennaista on pyrkiä pitämään alipaine. Ilmanvaihto ei saisi toimia vain sisäilman suhteellisen kosteuden ehdoilla vaan on otettava huomioon paine-olojen (sisäilman riittävä alipaine ulkoilmaan nähden) pysyvyys turvallisella alueella. Tässä auttaa laitoksen järjestelmien ja olosuhteiden (myös paine-ero rakennusvaipan yli rakennuksen korkeimmasta kohtaa) jatkuva monitorointi ja sen tuottama tieto käyttöhenkilökunnan avuksi.

7. Rakenneratkaisujen suunnittelun ja toteutuksen perusteet

7.1 Tuuletus

Rakenteiden tuuletuksen tulee voida poistaa uudesta rakenteesta tuleva alkukosteus, rakenteen kautta tuleva sisäilman kosteus ja tuuletuksen mukana ajoittain tuleva ylimääräinen kosteus. Tuulettuvissa yläpohjissa on varmistettava tuuletuksen toimivuus kauttaaltaan koko rakenteen alueella ilman katvealueita. Ohjeistus vähintään 300 mm tuuletustilasta johtaa riittävään tuuletukseen kun tuuletusaukot ulkoilmaan ovat riittävät. Tätä parempi ratkaisu on tehdä tuuletustilasta vähintään ryömittävä tila /6/, jolloin tuuletustilan kunto voidaan tarkistaa määräajoin. Edellytyksenä on, että rakennuksen ilmanvuotoluku on korkeintaan $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ (@ 50 Pa) ja että yläpohjan sekä seinän yläosien rakenteiden ilmatiiviys on tätä keskimääräistä arvoa parempi (pienempi ilmanvuotoluku).

7.2 Ilma- ja diffuusiotiiviys sekä sen varmistaminen

7.2.1 Rakenteet

Rakenteiden ilma- ja diffuusiotiiviys on suurelta osin sama asia. Diffuusiotiiviys edellyttää riittävää vesihöyryn vastusta ja ilmatiiviys ilmatiiveyttä. Tärkeintä molemmissa tapauksissa on koko kerroksen yhtenäisyys siten, ettei paikallisia vuotoja ole rakennuksen valmistuttua eikä niitä saa syntyä rakennuksen käyttöänsä aikana. Detaljien suunnittelu ja toteutus sekä materiaalin kestävyys ratkaisevat pitkäaikaistoimivuuden. Tyypillisesti höyryn- ja ilmansulku on myös uimahallirakenteissa yksi ja sama kerros. Vaatimustasot materiaalin ja toteutuksen tiivydelle ovat kuitenkin huomattavasti korkeammat kuin esimerkiksi asuinrakennuksen rakenteissa.

Rakennuksen ilmatiivyyden edistäminen ja varmistaminen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen rakenteiden kosteustekniseen turvallisuuteen. Mitä parempi ilmatiiviyys on sen pienemmät ovat sisäilmasta mahdolliset kosteuskuormat rakenteisiin. Lisäksi ilmatiiviin rakennusvaipan avulla voidaan hallita tilojen painesuhteita paremmin kuin hatarassa rakennuksessa, jossa tuulen paine voi muuttaa oloja merkittävästi.

RIL 235-2009 esittää kolmen yläpohjarakenteen toimivat esimerkkiratkaisut. Tyypillistä rakenteille on, että niiden höyryn- ja ilmansulkuna on kaksinkertainen kumibitumikermi hitsatuin saumoin asennettuna yhtenäiseksi kerrokseksi mahdollisimman elämättömän alustan päälle. Kiinnitysalustana on esimerkeissä HTT tai TT –yläpohjalaatta, teräsbetoni-laatta tai puurakenteessa kosteudenkestävä, homesuojattu vaneri. Höyrynsulun sisäpuolella ei saa olla tuulettamattomia ilmaonteloita, jotka voivat aiheuttaa riskin kosteuden tiivistymisestä ja kerääntymistä. Esimerkiksi ontelolaatat eivät sovellu märkätilojen yläpohjarakenteisiin, sillä riittävän ja pysyvän ilmatiivyyden saavuttaminen niiden yhteydessä on vaikeaa /1/.

Ilma- ja höyrytiivyyden toteutuksen onnistuminen edellyttää höyrynsulun liitostekniikan esittämistä detaljeittain ja tarvittaessa työvaiheittain /1/. Eryityisesti seinien ja yläpohjan liitoskohdat on suunniteltava ja esitettävä siten, että niiden toteutus on ohjeiden perusteella mahdollista. Läpivientien tiivistyskappaleet ja niiden asennus on esitettävä suunnitelmissa yksityiskohteisesti. Yläpohjaan ei läpivientejä suositella tehtäväksi /1/.

Esimerkiksi liimapuurakenteet ja puhallusvillan käyttö yläpohjissa on mahdollista edellyttäen, että höyryn/ilmansulku on toimiva /20/. Toisaalta diffuusiotiiviit lämmöneristeet voivat tuoda lisävarmuutta toimivuuteen (ilman ja vesihöyryn lisävastus, kosteuskestävyys).

Hyviä kokemuksia yläpohjan sisäpuolisista rakenteista on saatu esimerkiksi akustiikkalevyistä, joiden valmistusmateriaalina on käytetty hienoksihöylättyä kuusilastua sekä sementtiä /20/.

Korjausrakentamisessa vanhan ja uuden rakenteen liittymät ovat riskikohtia. Ilma- ja diffuusiotiivyyden varmistaminen näissä liitoskohdissa edellyttää detaljien huolellista suunnittelua, materiaalien ja toteutustavan valintaa sekä toteutuksen tarkkaa valvontaa. Pitkäaikaisen tiivyyden saavuttamiseksi on selvitettävä menetelmät eri materiaalien liittämiseksi ja otettava huomioon rakenneosien liikkeiden sekä dimensiomuutosten vaikutus tiivyyteen. Näitä asioita ei voida jättää kiireessä työmaalla tehtäväksi. Lisäksi liitoskohtiin voi muodostua kylmäsiltoja, jotka vaikuttavat rakennelikkauksen kosteustasoihin ja voivat johtaa paikalliseen riskiin vaikka rakenteessa ei olisi ilmavuotoja tällä kohtaa.

7.2.2 Ilmatiivyyden todentaminen

Ilmatiivyyden todentaminen tehdään mittaamalla tilan ilmatiiviyys. Pienissä ja ilmatiiviydeltään hyvissä kohteissa mittaus voidaan tehdä siirrettävällä laitteistolla (Kuva 15).

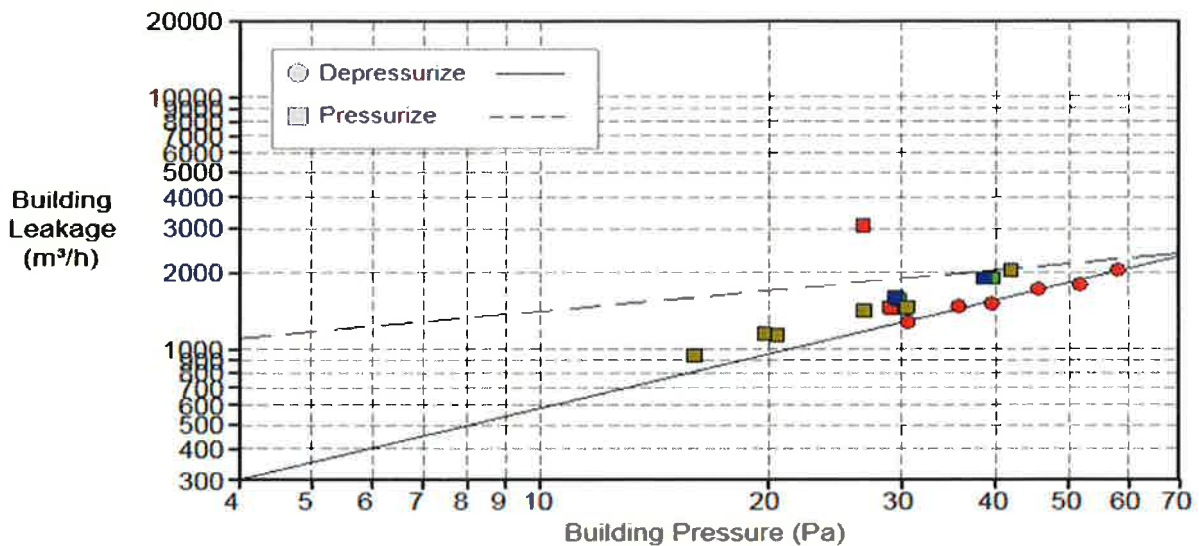
Suurissa kohteissa, joissa ilmamäärät 50 Pa tavoitepaine-erolle ylittävät siirrettävän laitteen kapasiteetin, voidaan ilmatiiviyys tehdä rakennuksen omin kojein. Tämä onnistuminen edellyttää ammattitaitoista ja kokenutta mittauksen tekijää sekä yhteistyötä laitoksen henkilökunnan kanssa.

Tuloksena mittauksista on rakennuksen vuotofunktiot, jotka pyritään määrittämään sekä ali-että ylipainetilanteissa (Kuva 16). Mittauksen yhteydessä saadaan tärkeää tietoa merkittävimmistä ilman vuotokohdista. Nämä voidaan määrittää lämpökamerakuvauksella, kun mittaukset tehdään tasapainetilassa ja alipaineisena. Ulkoa tuleva sisäilmaa viileämpi ilma jäädyttää rakenteet paikallisesti ja paljastaa ilmanvuotoreitit. Rakenteelliset kylmäsiltoja näkyvät tasapaineisessa tilassa, jossa ei ole merkittäviä ilmavuotoja.

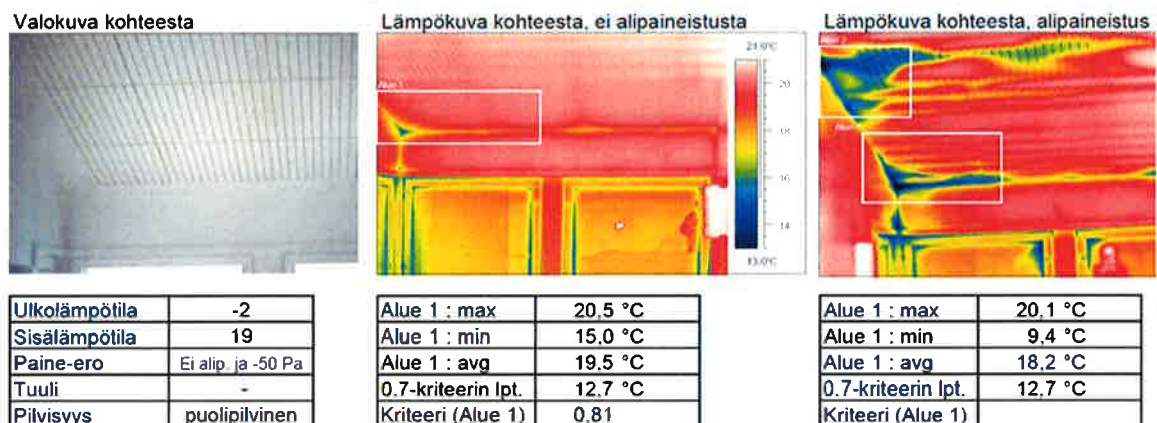
Merkittävimmät ilmanvuotoreitit voidaan pyrkiä tiivistämään. Helpointa tämä on, jos mittaukset tehdään ensimmäisen kerran jo rakennuksen rakentamisvaiheessa. Tällöin varsinaista ilmatiiviyttä ei vielä tarvitse määrittää vaan riittää, että tiivistämistä vaativat vuotoreitit voidaan paikantaa. Kuva 17 esittää lämpökameralla otettuja kuvia kohteesta tasapaine- ja alipainetilanteissa. Alipainetilan kylmät kohdat paljastavat rakenteiden ilmapuotoreitit. Vuodon määrä korreloi rakenteiden lämpötilan ja sen muutosalueen laajuuden kanssa.



Kuva 15. Blower Door –mittauslaitteisto ilmatiiviyden määrittämiseen suhteellisen pienissä kohteissa.



Kuva 16. Ilmatiivysmittauksista saatavat vuotofunktiot rakennuksen ali- ja ylipaineistustilanteissa.



Kuva 17. Ilmavuodot voidaan havaita lämpökamerakuvauksessa kun sisäilma on alipaineinen ulkoilmaan nähden (oikeanpuoleinen kuva). Sisäkatto (vasen kuva) ja lämpökamerakuva sisäilman tasapainetilanteessa (keskellä), jolloin vuotokohtia on vaikea löytää.

7.3 Rakentaminen

Rakentamisprosessia ei käsitellä tässä yhteydessä tarkasti. Sen laatu ja toimivuus ovat ratkaisevia haluttaessa varmistaa onnistunut lopputulos. Esimerkiksi Jukka Majan /3/ arvion mukaan 90 prosenttia uimahallihankkeista on toteutettu liian nopealla aikataululla. Kiire kostautuu ja ongelmia paikataan myöhemmin.

Vaativan kohteen suunnittelu ja toteutus edellyttävät osaamista ja riittävää aikaa rakentamiseen ja rakennuksen järjestelmien toimivuuden varmistamiseen. Rakennusvaiheessa esiin tulevat ongelmat on voitava ratkaista nopeasti suunnittelijan, toteutuksesta vastaavien ja valvojan yhteistyöllä /20/. Tämä edellyttää tiivistä yhteistyötä eri tahojen kesken koko suunnittelun ja rakentamisen ajan.

Olellaisia asioita rakentamisessa ovat:

- Valvojan osaaminen ja kiinnitys hankkeeseen riittävän ajossa, mielellään jo suunnitteluvaiheessa, jolloin yhteistyö suunnittelijan, valvojan ja rakennuttajan kanssa saadaan toimimaan
- Yhteistyö tilaajan, valvojan, suunnittelijan ja urakoitsijan välillä on toimiva koko hankkeen ajan
- Suunnittelussa ja työmaalla ilmenevien ongelmakohtien käsittely nopeasti yhteistyössä tiimin kanssa
- Kuivaketju 10:n noudattaminen, jolla vältetään rakentamisen aikeiset pahimmat kosteusongelmat ja rakennus saadaan valmiiksi ilman rakenteissa piileviä kosteusongelmia. Käsittää materiaalien kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikaisen sääsuojauksen sekä selkeät toimenpiteet poikkeamien esiintymiseen.

7.4 Rakenteiden ja järjestelmien kokonaistoimivuus

Rakennuksen toimivuus riippuu sen rakenteiden, taloteknisten järjestelmien ja niiden säädön, tilojen käyttäjien ja ympäristön olosuhteiden yhteisvaikutuksesta. Siten uimahallien rakenteiden toimivuus ei riipu pelkästään rakenneratkaisuista vaan kokonaisuudesta. Olennainen tekijä on ilmanvaihto ja sen tuottamat tilojen painesuhteet verrattuna ulkoilmaan.

7.4.1 Ilmanvaihto ja painesuhteiden hallinta

Ilmanvaihdon tulisi pitää sisäilman suhteellinen kosteus vähintään 40 % RH tilassa. Tämän minimiarvon suuria ylityksiä tulisi välttää ainakin kylminä vuodenaikoina, jolloin sisäilmasta rakenteeseen aiheuttava kuormitus on suurimmillaan.

Ilmanvaihdon säädön tulisi ottaa huomioon sisäilman suhteellisen kosteuden lisäksi tavoitellut painesuhteet, ts. pyrkimys pitää sisäilma mahdollisimman suuren osan ajasta alipaineisena ulkoilmaan nähden. Rajoittavia tekijöitä ovat kokonaisilmamäärät, ilman virtausnopeus ja sen vaikutus viihtyisyysoloihin sisätilassa, ikkunapuhalluksen edellyttämä tuloilmavirran määrä, lämmöntarve, jne. Nämä tekijät vaikuttavat tulo- ja poistoilmavirtojen suuruuteen ja keskinäisiin suhteisiin. Lisäksi paine-eron vaikutukset ilmavirtauksiin rakennuksen sisällä ja esimerkiksi ovien avausvastuksiin rajoittavat mahdollisen alipaineen tasoa.

Kun ilmanvaihtoa säädetään osatehoille, tulee kaikissa tapauksissa pyrkiä ylläpitämään riittävää alipainetta allastilassa. Osatehojen käytön ilmavirrat on erikseen mitoitettava ja toimivuus tarkistettava mittauksin.

7.4.2 Kiinteistön ylläpito

Mikään rakennus ei toimi hyvin ilman jatkuvaa huoltoa. Vikojen tai poikkeamien ilmetessä on niiden syyt selvitettävä ja mahdollisesti aiheutuneet seuraukset poistettava nopeasti ennen kuin ne etenevät rakenteita, järjestelmiä tai sisäilman oloja heikentäviksi. Tässä käyttäjiä auttaa järjestelmien ja olosuhteiden jatkuva seuranta.

7.5 Olosuhteiden ja käytön seuranta

Hyvin suunniteltu ja toteutettu rakennus on edellytys hyvälle toimivuudelle. Tämä ei kuitenkaan riitä varmistamaan hyvää pitkäaikaistoimivuutta. Kaikki rakenteet ja järjestelmät ikääntyvät, jolloin niiden toiminta voi muuttua ja lisäksi niihin voi kohdistua erilaisia kuormia ympäristöstä. Nämä vaikuttavat paitsi kyseisen järjestelmän tai rakenteen, myös koko rakennuksen toimintaan. Näiden muutosten ennakointi, huollon ja kiireellisten korjausten oikea ajoittaminen ja kohdistaminen ovat toimivan rakennuksen edellytyksiä. Seurantajärjestelmien kehittyminen mahdollistaa olennaisen tiedon keruun laitoksesta. Monitorointi antaa

Nykyisten uimahallien iv-laitosten käyttöä ohjataan allastilan suhteellisen kosteuden mittaustietojen avulla, ei siis paine-eron ylläpidon kannalta /21/. Kuitenkin jatkuvan paine-eromittauksen avulla saataisiin hyödyllistä tietoa arvioitaessa laitoksen toimintaa. Tietoa saataisiin mm. ylipaineolojen esiintymisestä, kosteusylimäärästä näihin aikoihin, jne. Tähän on mahdollista yrittää vaikuttaa ilmanvaihdon käytöllä ja säädöillä.

Allastilan ala- ja yläosien ja ulkoilman välisen paine-eromittauksen lisäksi tarvitaan jatkuvaa seurantaa esimerkiksi lämpötila- ja kosteusjakaumasta hallin korkeussuunnassa ja eri osissa sekä rakenteiden kriittisistä kohdista. Rakennemittausten avulla paljastuisi vuositason muutokset olosuhteissa. Trendimuutos voisi viestiä ennen vauriota kohonneista kosteuskuormista ja niihin voitaisiin puuttua ajoissa.

Mittaukset eivät edellytä suurta tarkkuutta, merkittävää on seurata muutoksia esim. vuositasolla tai saada viesti hälyttävistä arvoista /21/. Antureita voidaan sijoittaa useita eri kohtiin, jolloin mittauksilla saadaan kattavampi kuva tilanteesta. Tämä edellyttää osaamista tulosten arvioinnissa tai niiden analysointia ohjelmallisesti, jotta laitoksen henkilöstö saa mahdollisimman havainnollista tietoa tilanteesta.

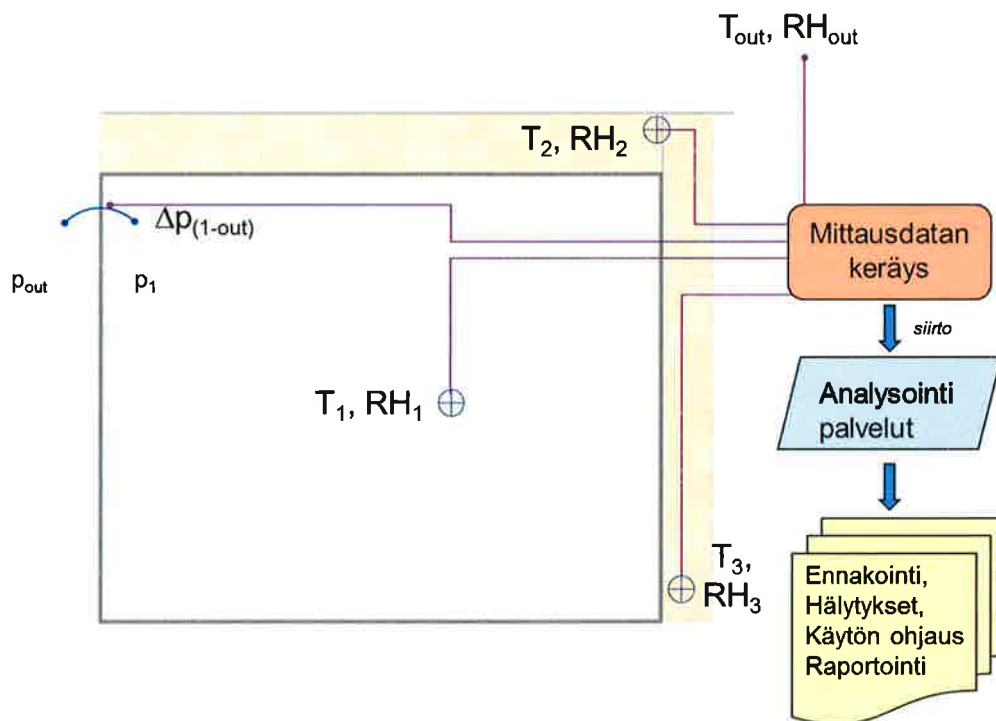
Järjestelmien jatkuvan monitoroinnin avulla saadaan reaaliaikaista ja kertyvää tietoa sisäilman, rakenteiden ja järjestelmien olosuhteista ja käytöstä sekä rakennuksen energiankulutuksesta. Pelkkä tiedon keräys ei kuitenkaan riitä, sillä sen suora tulkitseminen olisi hyvin raskasta ja usein lähes mahdotonta. Siksi kerättyä dataa tulee analysoida sellaiseen muotoon, että sitä voidaan hyödyntää kiinteistön järjestelmien seurannassa ja hallinnassa. Tämä analysointi on tärkeää kohteissa, joissa syntyy paljon erilaista mittaustietoa ja muutoksiin on osattava reagoida nopeasti.

Kerätystä mittausdatasta jalostettu tietoa tarvitaan seuraaviin asioihin:

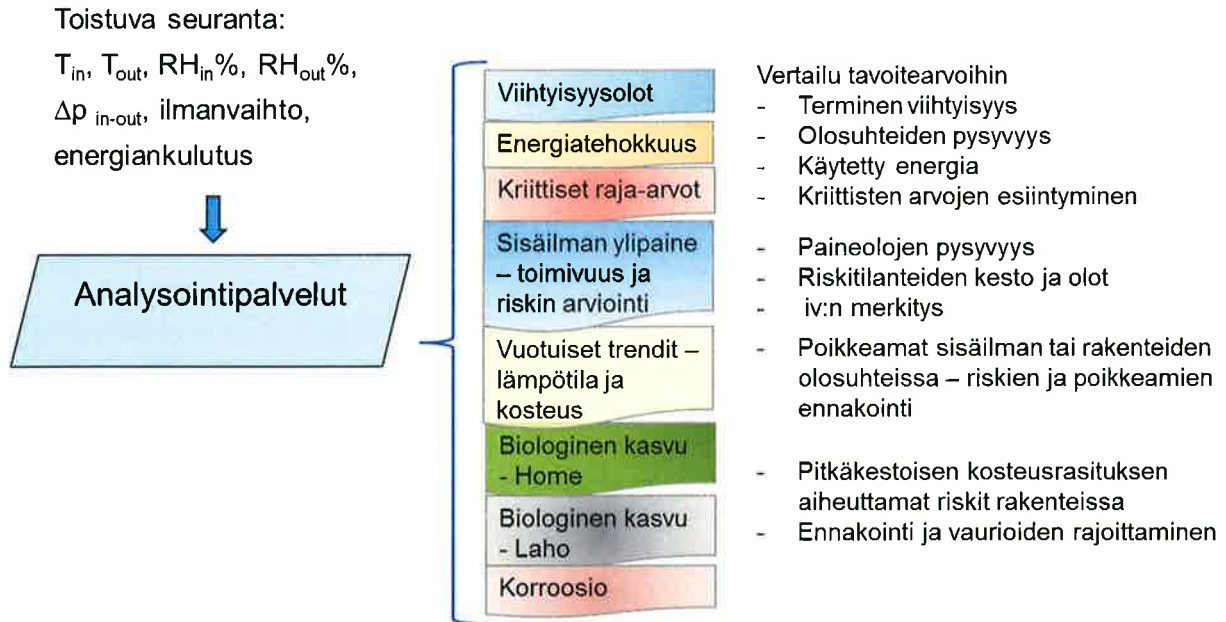
- Eri tilojen sisäilman olosuhteiden pysyvyys tarkoituksenmukaisella alueella
- Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja sen optimaalinen käyttö eri tilanteissa (ilmamäärät, raitisilma, ilman kierrätys)
- Sisäilman alipaine-olojen pysyvyys, ylipainetilanteiden kesto ja iv-järjestelmän mahdollisuudet vaikuttaa tähän
- Riskitilanteet järjestelmissä ja rakenteissa ja niiden ennakointi ennen kuin syntyy merkittäviä vaurioita
- Energiatohokkuus ja sen parantaminen vaarantamatta sisäilman olosuhteita tai rakenteiden toimintaa
- Kiinteistön toiminnan raportointi

Kuva 18 esittää seurantajärjestelmän periaatteellisen kuvauksen uimahallille. Olennaisia mitattavia suureita ovat sisä- ja ulkoilman lämpötila ja kosteussisältö (% RH) sekä rakenteiden kriittisten kohtien lämpötilat ja suhteelliset kosteudet. Tämän lisäksi kerätään laitteiden käyttöön ja energiankulutukseen liittyvää tietoa. Kerätty data analysoidaan joko kohteessa tai usein siirtämällä data reaaliaikaisesti analyysipalvelujen tarjoajalle, jolta saadaan tarvittavat raportit ja esimerkiksi vuotuisten trendien muutoksiin liittyvät ennakoivat hälytykset.

Kuva 19 esittää mitä erilaista tietoa kerätystä datasta voidaan analysointipalvelujen avulla jalostaa esimerkiksi uimahallirakennuksen rakenteiden ja muiden järjestelmien toimivuuden arviointiin, ennakointiin ja varmistamiseen. Suorat raja-arvojen poikkeamiin liittyvät hälytykset voidaan tehdä kohteessa, mutta aikahistoriaa edellyttävät toimivuuden poikkeamat edellyttävät kehittyneitä analyysimenetelmiä. Esimerkiksi homekasvun riski on lähes mahdotonta tulkita minkään raja-arvon avulla vaan se edellyttää kriittisten kohtien pitkäaikaista lämpötila- ja kosteushistorian tuntemista.



Kuva 18. Seurantajärjestelmän periaatteellinen kuvaus.



Kuva 19. Kerätystä datasta voidaan analysointipalvelujen avulla jalostaa erilaista uimahallirakennuksen rakenteiden ja muiden järjestelmien toimivuuden arviointiin, ennakointiin ja varmistamiseen tarvittavaa tietoa.

7.6 Käyttöhenkilökunnan koulutus

Olellaisen tärkeää on käyttöhenkilökunnan riittävä koulutus, jotta voidaan ymmärtää uimahallin ja sen iv-järjestelmän toimintaa. Henkilökunnan tulee tuntea toimivuuden vaatimustasot, monitoroitujen suureiden merkitys, kriittiset rajat tai muutostrendit arvoissa. Tässä on haasteita sekä koulutukseen että henkilöstön motivointiin, jotta esimerkiksi uutta seurantatietoa voidaan soveltaa tehokkaasti. Tämän vienti käytäntöön edellyttää aktiivisuutta laitoksen toiminnan tarkkailussa ja tämän valvontaa.

8. Johtopäätökset ja yhteenveto

Selvityksessä esitetään uimahallien yläosien rakenteiden kosteuskuormitukseen vaikuttavat tekijät ja miten tämä kuormitus voidaan pitää kohtuullisena. Esitetyt suositukset koskevat uusien uimahallien rakentamista ja vanhojen peruskorjausta ja laajennusta.

Uimahallien sisäilman lämpötila on tyypillisesti noin +30 °C, jotta veden haihtuminen altaista voidaan pitää kohtuullisena. Korkea sisäilman lämpötila johtaa korkeissa allastiloissa suureen nostetermiin, mistä johtuen korkeiden hallien yläosassa on ajoittainen sisäpuolinen ylipaine. Ylipaineen esiintyminen riippuu hallin korkeudesta, lämpötilaoloista sisällä ja ulkona sekä ilmanvaihtolaitteiston ylläpitämästä alipaineesta tilan alaosaan. Lisäksi painesuhteisiin vaikuttaa ulkovaipan ilmatiiviyys ja tuulen aiheuttamat paineet.

Sisäpuolinen ilman ylipaine johtaa sisäilman vuotoihin rakenteen kautta ulospäin. Tällöin sisäilman kosteus pyrkii kerääntymään ja tiivistymään ilmanvuotoreiteille. Ilmavuotojen virtaama riippuu vuotoreittien virtausvastuksesta ja paine-erosta rakennusvaipan yli virtausreitien kohdalla. Ilman mukana rakenteisiin kulkeutuva kosteusmäärä on tyypillisesti paljon suurempi kuin höyrönsulun epäideaalisuuksien läpi diffuusiona kulkeutuva. On olemassa useita raportoituja tapauksia, joissa talvella hallin katosta sataa vettä. Näissä on

enimmäkseen kysymys talvikaudella sisäilmasta rakenteisiin tiivistyneen, ensin jäätyneen ja sitten sulaneen veden valumisesta katon sisäpuolen reikien kautta sisätilaan. Hyvä rakenteellinen ilmatiiviyys ja ylipaineolojen minimointi ovat keinoja vähentää kosteuskonvektion riskejä rakenteille.

Seuraavassa esitetään joitain olennaisia asioita, joilla voidaan varmistaa uimahallirakenteiden turvallinen kosteustekninen toimivuus.

- Yläpohjan ja seinien yläosien rakenteiden ilma- ja diffuusiotiiviyys ovat hyvän kosteusteknisen toimivuuden perusedellytys
- Tulosten perusteella rakenteen ilmanvuotoluvun q_{50} tulisi olla korkeintaan $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$, mutta yläpohjassa ja sen liitoskohdissa tätä keskimääräistä arvoa vielä selvästi tiiviimpi
- Ilmatiivyyden on oltava pysyvää, se ei saa muuttua materiaalien enneaikaisen vanhentumisen, heikkojen liitosdetaljiin tai rakenteen liikkeen vaikutuksesta.
- Ei läpivientejä kriittiselle alueelle
- Yhtenäinen höyryn/ilmansulku, yleensä 2-kertainen kumibitumikermi hitsatuin saumoin ja liittymät rakenteiden liitoskohdissa tarkkaan suunniteltuina ja liikuntavara huomioiden
- Yläpohjan ja seinien höyrünsulkujen on liityttävä toisiinsa siten, että ne muodostavat yhtenäisen ja pysyvän kerroksen diffuusio- ja ilmavuotoja vastaan
- Ilmatiivyyden varmistamiseen liittyvien detaljiin suunnittelu ja esitys detaljeineen ja työvaiheineen
- Höyryn/ilmansulun asennustyön valvonta ja tarkistus
- Käyttöoloihin soveltuvien, mahdollisia riskitilanteita sietävien ja pitkäikäisten materiaalien tarkoituksenmukainen käyttö
- Rakentamisen kuivaketjun hallinta
- Ilmatiiviyysmittaukset, vuotokohtien etsintä savun ja lämpökamerakuvauksen avulla. Huom! Sisäilma on saatava riittävän alipaineiseksi rakenteen kohdalta mittausajankohtana, jotta vuotokohdat voidaan löytää.
- Yläpohjan tuuletustilan vähimmäiskorkeuden tulee olla vähintään suositeltu 300 mm. Sen toimivuus riippuu tuuletusaukkojen riittävästä koosta ulkoilman ja tuuletustilan välillä ja tuuletusreitien pituudesta. Olennaista on tasan jakautunut tuuletus koko yläpohjan alueelle ilman katvealueita.
- Sisäilman kosteuteen voidaan vaikuttaa ilmanvaihdon käytöllä, eikä sen tulisi olennaisesti ylittää viihtyisyyden kannalta alinta suositusarvoa 40 % RH talvikauden aikana. Mitä suurempi sisäilman suhteellinen kosteus on, sitä suurempi on kosteuskuormituksen potentiaali, mikä korostuu kylmän kauden aikana.
- Sisäilman suhteellisen kosteuden olosuhteiden hallinta esimerkiksi kierrätysilman (jäähdytetty, kuivattu, suodatettu) avulla, jolloin voidaan välttää huomattavasti yli 40 % RH suhteellisen kosteuden tasot erityisesti kylmällä kaudella ja toisaalta voidaan varmistaa minimimitavoitetason noin 40 % RH pysyminen eri olosuhteissa.
- Uusissa halleissa on kierrätysilmaa jäähdyttävä ja kuivaava (sekä suodattava) iv-koneisto, jolloin ulkoilman määrä voidaan mitoittaa raittiin ilman tarpeen mukaan ja

kokonaisilmamäärä haihtumisen edellyttämän kosteudenpoiston (ja allastilan vetovihiytyisyyden) kannalta sopivaksi. Sama järjestelmä voidaan usein asentaa vanhoihin laitoksiin, mikä helpottaa käyttöolojen ylläpitoa.

- Kiertoilman käyttö voi tuoda haasteita sisäilman alipaineen ylläpitoon: Poistoilman ja raittiin ilman suhteiden on säilyttävä riittävän alipaineen tuottamiseksi.
- Ilmanvaihdon perussäätö on tehtävä ennen hallin käyttöönottoa. Virheet ilmamäärissä ja painesuhteissa aiheuttavat riskin sisäilmalle ja rakenteille.
- Sisäilman alipaineen on oltava riittävä myös ilmanvaihdon osatehoilla. Tämä on varmistettava laitoksen perussäädön yhteydessä.
- Rakenteiden ja järjestelmien toimivuuden jatkuva seuranta sekä mittausdatan analysointia ja tulkinta laitoksen käyttöhenkilökunnan tarvitsemaan muotoon on tulevien hallien toiminnan seurannan, ohjauksen ja arvioinnin perusedellytyksiä. Oikeita päätöksiä ei voida tehdä ilman ymmärrettävään muotoon jalostettua tietoa ja tähän liittyviä toimintaohjeita. Monitorointi mahdollistaa tarvittavat ennakoivat toimet ja aikaisen puuttumisen muutostilanteissa ennen vaurioiden syntymistä tai niiden aiheuttamien ongelmien lisääntymistä. Seurannan tulisi olla osa kiinteistönpitoa - sisäilman viihtyisyysolojen, rakenteiden turvallisen toimivuuden ja energiatehokkuuden hallintaa.
- Olennaisen tärkeää on käyttöhenkilökunnan koulutus, jotta voidaan ymmärtää hallin ja sen iv-järjestelmän toiminta, toimivuuden vaatimustasot, monitoroitujen suureiden merkitys, kriittiset rajat tai muutostrendit, jne. Koulutuksen lisäksi henkilöstöä tulisi voida motivoida soveltamaan uutta tietoa laitoksen käytössä. Koulutuksen ja motivoinnin lisäksi tarvitaan valvontaa, missä monitorointijärjestelmien tuottama tieto auttaa.

Riskitekijöitä:

- Uuden hallin tai vanhan korjaaminen paikallisin omin voimin. Asiaan tarvitaan ammattilaisia, joilla on riittävä kokemus erikoissuunnitteluun liittyvistä asioista, niiden toteutuksesta ja toteutuksen valvonnasta sekä poikkeamien korjaamisesta suunnitelmallisesti rakentamisen aikana.
- Ontelorakenteet höyryn/ilmasulun sisäpuolella. Esimerkiksi ontelolaattojen kanssa ei saada tehtyä pysyvästi ilma/diffuusiotiiviitä rakenteita.
- Höyryn/ilmasulun vaurioituminen esimerkiksi kiinnikkeiden tai rakenteiden liitosten kohdista rakenteiden liikkeiden takia
- Hallitsematon, esimerkiksi pelkkään energiansäästöön tai aikaan perustuva ilmanvaihdon säätö sisäilman kosteuskuormitus tai painesuhteiden hallinta unohtaen. Painesuhteiden tulee olla kaikissa oloissa tarkoituksenmukaiset, sisäilman alipaineisuuden tulee olla tavoitteena aina kun se on mahdollista, on vältettävä merkittäviä paine-eron vaihteluita, jotka voivat aiheuttaa kosteuden siirtymistä rakenteisiin tai epäpuhtauksien siirtymistä rakenteista sisäilmaan.
- Rakenteiden ja järjestelmien toimivuuden seurannan ja huollon laiminlyönnit
- Puutteet käyttöhenkilöstön koulutuksessa ja motivoinnissa

Esitetyt tekijät hahmottavat uimahallien rakenteiden kosteuskuormitukseen vaikuttavia tekijöitä sekä hallien suunnittelun, käytön ja ylläpidon kannalta huomioon otettavia asioita. Käytännön rakenneratkaisuja löytyy julkaisuista. Tärkeää on turvautua asiantuntija-apuun suunniteltaessa ja toteutettaessa uimahallin tyyppisiä vaativia rakennuksia.

Lähdeviitteet

1. Pernu, P. ja Kuurne, V. Uimahallien ja kylpylöiden suunnittelu - Käytännössä toimiviksi todettuja ratkaisuja. Opetus- ja kulttuuriministeriö, Liikuntapaikkajulkaisu 110. Rakennustieto Oy, Helsinki 2016. 111 s.
2. Uimahallien ja kylpylöiden rakennuttaminen. Opetus- ja kulttuuriministeriö, Liikuntapaikkajulkaisu 97. Uimahalli- ja kylpylätekniinen yhdistys ry. Rakennustieto Oy, Helsinki 2010. 79 s.
3. <https://yle.fi/uutiset/3-9625919>. Asiantuntija tyrmää Suomen uimahallirakentamisen: "On varaa tehdä se pari kolme kertaa uudestaan". Rakentaminen & kiinteistöt 23.5.2017.
4. RIL 235. Uimahallien rakenteiden suunnittelu ja kunnonhallinta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki 2009. 198 s.
5. Lehtinen, T. ja Viljanen, M. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu. TKK-TRT-119. Teknillinen korkeakoulu, Espoo 2001. 30 s. + liitteet
6. Lehtinen, T., Ruuska, E. ja Viljanen M. Uimahallien ulkovaippa ja sisäilmasto. Suunnittelu- ja rakentamisopas. Opetus- ja kulttuuriministeriö, Liikuntapaikkajulkaisu 84. Rakennustieto Oy, Helsinki 2003. 55 s.
7. Uimahallien korjaustutkimus. Opetus- ja kulttuuriministeriö, Liikuntapaikkajulkaisu 68. VTT Rakennustekniikka, Rakennustieto Oy, Helsinki 1998. 43 s.
8. Someron uimahallin rakenteet ja ilmanvaihto tutkitaan. Salon Seudun Sanomat 5.1.2017. <http://www.sss.fi/2017/01/someron-uimahallin-rakenteet-ja-ilmanvaihto-tutkitaan/>
9. H. A. Viitanen, A. Hukka, T. Ojanen, M. Salonvaara, and E. Kokko, "Modeling of mould risk in timber frame structures", Finnish, in Indoor Climate seminar 1997, (Espoo), ser. 8, vol. SIY Report, Indoor Climate Association of Finland (Sisäilmayhdistys SIY), 1997, pp. 135–138.
10. A. Hukka and H. A. Viitanen, "A mathematical model of mould growth on wooden material", Wood Science and Technology, vol. 33, no. 6, pp. 475–485, 1999. doi: 10.1007/s002260050131.
11. A. Ritschkoff and H. Viitanen, "Sensitivity for mould growth of building materials under different humidity and temperature conditions", Finnish, in Indoor Climate seminar 2001, (Espoo), ser. 15, vol. SIY Report, Indoor Climate Association of Finland (Sisäilmayhdistys SIY), 2001, pp. 83–88.
12. H. A. Viitanen, "Critical humidity conditions for mould growth on concrete and thermal insulation materials in contact with concrete", Finnish, in Indoor Climate seminar 2003, (Espoo), ser. 15, vol. SIY Report, Indoor Climate Association of Finland (Sisäilmayhdistys SIY), 2003, pp. 275–280.
13. H. A. Viitanen and T. Ojanen, "Improved model to predict mold growth in building materials", in Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Building X, Florida, USA, 2007.
14. T. Ojanen, H. A. Viitanen and R. Peuhkuri, "Modelling of mould growth in building envelopes. – existing models, discussion on improvement aspects, sensibility analysis. Annex 41 working meeting, Porto, Portugal, October 22–24, 2007
15. H. A. Viitanen, M. Krus, T. Ojanen, V. Eitner, and D. Zirkelbach, "Mold risk classification based on comparative evaluation of two established growth models",

- Energy Procedia, vol. 78, pp. 1425–1430, 2015, 6th International Building Physics Conference 2015. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.165.
16. R. Peuhkuri, H. A. Viitanen and T. Ojanen, "Modelling of mould growth in building envelopes. Proceedings of the IEA ECBCS Annex 41 Closing seminar, Copenhagen, June 19, 2008
 17. Viitanen, H. Modelling the decay resistance and service life of wood products. COST Action E 37. Sustainability through new technologies for enhanced wood durability 11th Workshop. Florence, 4.-6.11.2007
 18. Aikivuori, A. Terveen rakennuksen evoluutio. VTT tutkimusraportti. Espoo 2001. 87 s.
 19. Tompuri, V. Rakennuslehti. Korjausrakentaminen. 27.4.2017
<https://www.rakennuslehti.fi/2017/04/ilmakanavien-ja-akustoinnin-polisevat-villaeristeet-aiheuttavat-homeen-kaltaisia-oireita/>
 20. Veikko Kuurne, haastattelu 26.2.2016.
 21. Sander Toomla, haastattelu 17.8.2017.
 22. RVP-S-RF-18. Höyrynsulun vaurioitumisen kannalta riskialtis yläpohjan rakenne. FISE virhekortti. Julkaistu: 27.02.2008 / Päivitetty: 12.12.2016