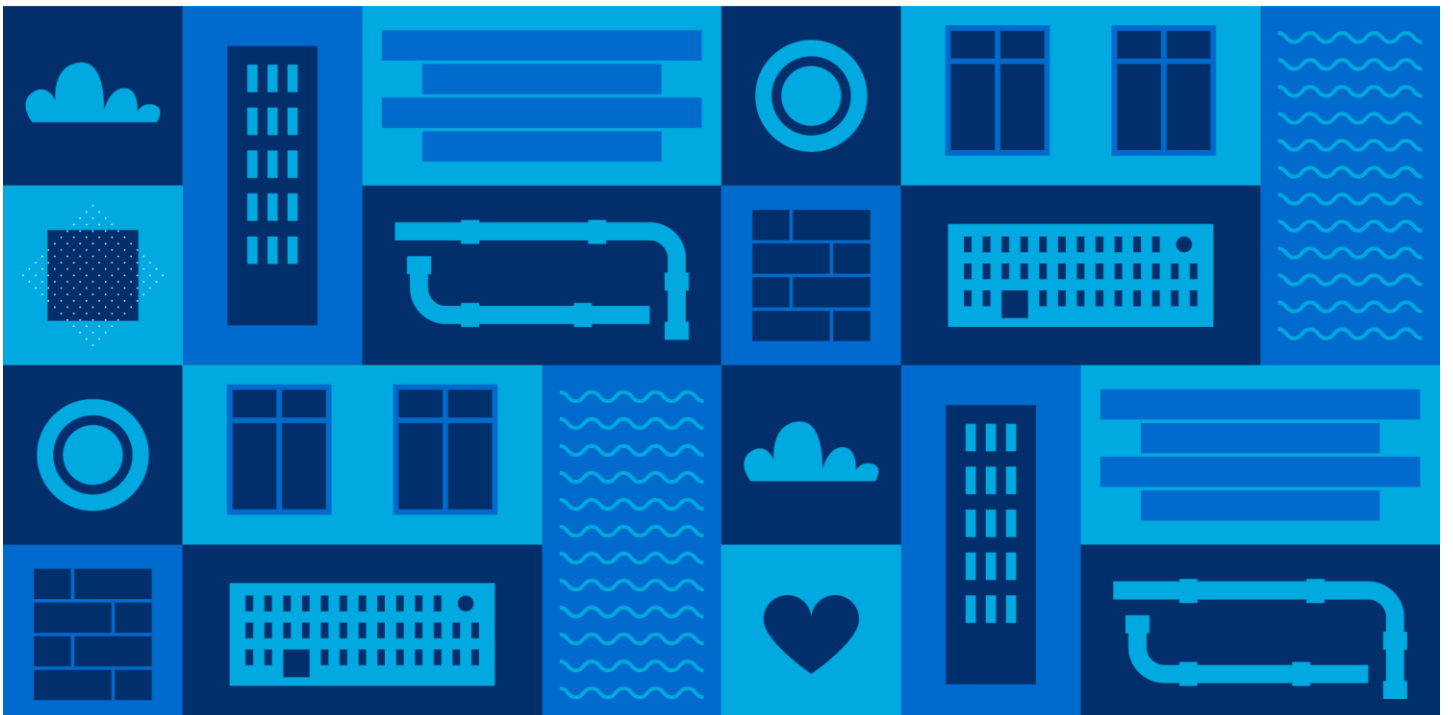




**TERVEET
TILAT** 2028

Selvitys sisälämpötilan vaikutuksesta rakenteiden homehtumisriskiin Ulkoseinät ja yläpohjat



Ympäristöministeriö 2023

Selvitys sisälämpötilan vaikutuksesta rakenteiden homehtumisriskiin

Ulkoseinät ja yläpohjat

Helsinki 2023

Terveet tilat 2028 on hallituksen 10-vuotinen toimintaohjelma, jonka tavoitteena on tervehdyttää julkiset rakennukset ja tehostaa sisäilmasta oireilevien hoitoa ja kuntoutusta.

tilatjaterveys.fi

1	Johdanto	5
1.1	Tausta	5
1.2	Tutkimusongelma	6
1.3	Tavoite	6
1.4	Rajaus	7
2	Tutkimusmenetelmät.....	8
2.1	Julkisivut.....	8
2.2	Yläpohjat	9
3	Tutkimustulokset.....	11
3.1	Tulkintaohjeet.....	11
3.1.1	Yleistä.....	11
3.1.2	Tulosten esitystapa.....	13
3.1.3	Julkisivut	13
3.1.4	Yläpohjat.....	13
3.2	Julkisivut.....	15
3.3	Yläpohjat	17
4	Päätelmät	24
	Lähteet.....	26

ESIPUHE

Selvitys sisälämpötilojen vaikutuksesta rakenteiden homehtumisriskiin toteutettiin nopealla aikataululla marras-joulukuussa 2022. Tässä Ympäristöministeriön hankkeessa julkisivujen laskennalliset tarkastelut tehtiin Tampereen yliopiston (TAU) Rakenteiden korjaamisen ja elinkaaritekniikan tutkimusryhmässä ja yläpohjarakenteiden tarkastelut AFRY Buildings Finland Oy:n toimesta.

Timo Lahti
Yli-insinööri, ympäristöministeriö

1 Johdanto

1.1 Tausta

Energiakustannukset ovat kasvaneet kuluneen vuoden 2022 aikana moninkertaisiksi maailmanpoliittisen tilanteen seurauksena mm. Venäjän tuontirajoitusten aiheuttaessa epätasapainoa vallinneeseen tilanteeseen. Erityisesti sähköenergian korkea hinta aiheuttaa kiinteistönomistajille paineita energiansäästöön. Yksi tapa vähentää lämmitysenergian kulutusta on sisäilman lämpötilan laskeminen. Energiansäästöön kannustamiseksi on lanseerattu mm. Motivan Astetta alemmas -kampanja sekä Senaatin Energiansäästöohjelma, joissa kannustetaan sisäilman lämpötilan maltilliseen laskemiseen.

Yksittäisen rakennuksen sisäilman kosteus vaihtelee huomattavan paljon. Keskeisiä sisäilman kosteusmäärään vaikuttavia tekijöitä ovat veden käyttö rakennuksessa (saunominen, suihkunkäyttö) sekä kosteuden poistuminen (ilmanvaihto). Runsas vedenkäyttö ja saunominen yhdistettynä heikkoon tai riittämättömään ilmanvaihtoon lisäävät sisäilman kosteuspitoisuutta. Lisäksi ihmisten oma kosteudentuotto ja siten asukkaiden määrä rakennuksessa tai yksittäisessä tilassa vaikuttaa sisäilman kosteuspitoisuuteen. Yleisesti asunnoissa oletetaan olevan sen huoneluvun mukainen määrä ihmisiä. Tätä suurempi määrä kasvattaa sisäilman kosteutta. Rakennuksen käytöstä aiheutuvaa kosteustuottoa kuvataan kosteuslisällä, jolle on annettu mitoitusarvoja eri käyttötilanteille (RIL 107-2012).

Rakennuksen sisäilman kosteus pyrkii talvikaudella poistumaan rakennuksesta ilmanvaihdon lisäksi myös rakenteiden läpi. Rakenteissa olevat ilmavuotokohdat tai riittämättömän höyrynsulku mahdollistavat kosteuden siirtymisen rakenteiden läpi joko konvektiolla (ilmavuodot) tai diffuusiolla. Rakennuksen painesuhteilla on oleellinen vaikutus kosteuden siirtymisessä rakenteiden läpi. Ulkoilmaan nähden ylipaineisessa rakennuksessa ilmanpaine ajaa vesihöyryä rakenteisiin. Useampikerroksisissa rakennuksissa rakennuksen ylimmät kerrokset voivat olla ylipaineisia alimpiin kerroksiin verrattuna. Ylipaineen aiheuttama kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin on siten erityisesti yläpohjien sekä yläpohjan ja seinärakenteen liitoksen ongelma. Laskennallisessa tarkastelussa vesihöyrynä siirtyvän kosteuden vaikutus huomioidaan asetettujen materiaaliominaisuuksien avulla, kun taas ylipaineen aiheuttaman ilmavuodon kosteuslisä joudutaan arvioimaan rakenteen vaipan ilmatiivieyden sekä vallitsevan ylipaineen avulla. Uusien rakenteiden ilmatiivieys on keskimäärin varsin hyvä ilmavuotoluvun q_{50} ollessa luokkaa $0,5 \dots 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ [Vertia]. Sen sijaan vanhoilla rakenteilla ilmavuotoluku on luokkaa $4 \dots 6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (Vinha ym., 2010).

Uusien rakennuksien rakennuskosteus aiheuttaa ylimääräistä kosteuslisää. Tyypillisesti rakennuskosteutta on runsaasti betonirakenteissa sekä erilaisissa muuratuissa rakenteissa ja tasoitteissa, eli rakennusmateriaaleissa, joiden tekemisessä tarvitaan yleensä runsaasti vettä. Rakennusaikainen kosteus poistuu rakenteista muutaman lämmityskauden aikana, jolloin ensimmäisinä käyttövuosina sisäilman kosteus voi olla tavanomaista korkeampi.

1.2 Tutkimusongelma

Matala sisäilman lämpötila voi heikentää rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta. Homehtumisriski rakenteiden sisäpinnalla ja rakenteiden sisällä voi kasvaa, kun lämpötilan lasku nostaa suhteellista kosteutta. Kosteuden kondensoitumisriski sisäpinoille kasvaa merkittävästi pintalämpötilan laskiessa, mikäli kosteustuotto rakennuksessa on suurta suhteessa ilmanvaihtoon.

Lämpötilan lasku ja suhteellisen kosteuden nousu vaikuttavat keskenään päinvastaisesti homehtumiseen; lämpötilan lasku hidastaa ja suhteellisen kosteuden kasvu nopeuttaa homehtumista. Tästä syystä homehtumisriskin muutosta ei voida arvioida pelkästään suhteellisen kosteuden perusteella. Rakennuksen sisälämpötilan laskun vaikutusta homehtumisriskiin tarkastellaankin nykyisin laskennallisesti ajasta riippuen hyödyntäen homeen kasvua kuvaavaa laskentamallia. Tarkastelut eivät koskaan kuvaa täydellisesti todellista tilannetta. Laskennan avulla on kuitenkin pyritty löytämään kriittisiä ulkoseinä- ja yläpohjarakennetyyppejä sekä reunaehtoja, jotka vaikuttavat merkittävästi homeriskin ilmenemiseen sisälämpötilaa laskettaessa.

1.3 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää laskennallisella mallinnuksella tyypillisten suomalaisten asuinrakennusten yläpohja- ja seinärakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta nykyilmastossa. Tavoitteina oli:

1. selvittää sisälämpötilan laskun vaikutusta homeriskiin pien- ja kerrostalojen julkisivu- ja yläpohjarakenteissa.
2. arvioida sisälämpötilan rakennekohtaista ohjeellista minimiarvoa lämmitysenergian säästämiseksi ja rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi.

1.4 Rajaus

Raportin tulososiossa esitetään kullekin rakenteelle homeindeksin muutos sisäilman lämpötilaa laskettaessa verrattuna normaalitilanteen 21 °C lämpötilaan. Lisäksi esitetään tutkimustulosten tulkinta- ja soveltamisohjeet. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tulokset pätevät ainoastaan laskennassa tehdyillä lähtöoletuksilla. Laskennan tuloksiin vaikuttavat olennaisesti oletukset sisä- ja ulko-olosuhteista sekä rakenteen materiaaliominaisuuksista ja geometriasta. Esimerkiksi homehtumisriski, erityisesti rakenteen sisäpinnalla, on hyvin herkkä sisäilman kosteuslisälle. Laskennassa tehdyt lähtöoletukset ja reunaehdot käsitellään tarkemmin raportin seuraavassa luvussa.

2 Tutkimusmenetelmät

2.1 Julkisivut

Tutkimuksessa rakenteiden rakennusfysikaaliset laskennat suoritettiin WUFI-2D (4.3) laskentaohjelmalla. Säädatana laskennassa käytettiin RASMI-hankkeessa (Jylhä ym., 2020) tuotettuja Vantaan säädatatietoja. Laskenta toteutettiin simuloimalla 30 vuoden pituisia aikajaksoja nykyilmastossa.

Homehtumisherkkyytarkastelussa sisälämpötilan reunaehto muutettiin asteen väleihin 21...14 °C. Sisäilman kosteuslisä määritettiin soveltaen RIL 107-2012 kosteusluokkaa 2 (asuinrakennukset) kaikkiin tarkasteltuihin lämpötiloihin, jolloin sisäilman kosteuslisän vaihteluväli on 2...5 g/m³.

Rakenteiden simuloinnista saatujen olosuhdetietojen pohjalta rakenteiden homehtumisriskiä arvioitiin laskemalla kunkin 30 laskentavuoden maksimihomeindeksi hyödynämällä Suomalaista homemallia. Homeindeksin avulla voidaan arvioida todennäköisyyttä sille, esiintyykö rakenteessa hometta.

Julkisivurakenteiden rakennusfysikaalisessa tarkastelussa pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman kattavasti eri materiaalien ominaisuuksien sekä rakenteisiin liittyvien detaljien vaikutus laskennan tuloksiin. Yksittäisiä ominaisuuksia on varioitu juuri päättyvässä VN TEAS-hankkeessa Rakennusten kosteusvauriot ja ylälämpeneminen muuttuvassa ilmastossa – RAIL. Tässä tarkastelussa on hyödynnetty tuon tutkimusten tuloksia riskialttiimpien rakenteiden arvioimisessa. Tämän tutkimuksen laskennalliset tarkastelut on tehty seuraaville tyypillisille julkisivurakenteille:

- tiilimuurattu puurunkoinen ulkoseinärakenne
- tiili-villa-tiili -ulkoseinärakenne
- tiili-villa-betoni ulkoseinärakenne
- betonisandwich-ulkoseinärakenne
- ohutrappaus-eristejärjestelmä
- puu- ja levyverhoiltu puurunkoinen ulkoseinärakenne.

2.2 Yläpohjat

Selvitystä varten valittiin 25 tyypillistä yläpohjarakennetta eri aikakausilta 1940-2020, jotka edustavat pääosin pientaloja, mutta myös kerrostalo- ja hallirakennuksia. Yläpohjarakenteiden lämmön- ja kosteudensiirtoa tarkasteltiin simuloimalla niiden toimintaa WUFI Pro 6 ohjelmistolla. Tarkastelussa huomioitiin lämmöneristeen materiaali ja paksuus, höyrynsulun vesihöyrynvastus ja ilmanvuotoluku, kosteuslisä rakenteen ilmapuodosta mahdollisessa ylipainetilanteessa sekä rakenteen tuuletusvälin/-tilan tuulettavuus. Materiaaliarvoina käytettiin pääasiassa WUFI:n materiaalitietokannan arvoja sekä Vinha ym. (2005) tutkimusraportissa määritettyjä arvoja. Homehtumisherkyden tarkasteluun käytettiin WUFI mould index VTT ohjelmistoa, mikä vastaa pitkälti suomalaista homemallia.

Selvityksessä tarkastellut yläpohjarakenteet voidaan jakaa niiden tuulettavuuden mukaan neljään luokkaan: tuuletusvälillisiin, tuuletustilallisiin sekä loiviin uravilla- ja kevytsorakattoihin. Tuuletusvälillisiin yläpohjiin luetaan rakenteet, joissa eristeen yläpuolisen tuuletusvälin korkeus on 20...200 mm katon lappeen kohdalla. Vastaavasti tuuletustilallisissa yläpohjissa tuuletustilan korkeus on yli 200 mm ja näissä rakenteissa liikkuminen tuuletustilassa on mahdollista ainakin katon harjan kohdalla. Selvityksen tuloksia sovellettaessa huomionarvoista on, että pientalon yläpohja voi koostua sekä tuuletusvälillisestä että tuuletustilallisesta osasta. Sen sijaan loivissa uravilla- ja kevytsoraeristeisissä katoissa ei ole erillistä eristekerroksen yläpuolista tuuletusväliä vaan niissä ilma vaihtuu eristekerroksen yläosan tuuletusurissa tai koko kevytsorakerroksessa. Loivat uravilla- ja kevytsoraeristeiset katot ovat lähtökohtaisesti heikosti tuulettuvia (Toimivat katot, 2022).

Yläpohjien tuulettavuuden lisäksi selvityksessä tarkastellut yläpohjarakenteet voidaan luokitella niiden ilmatiiveyden mukaan. Yläpohjarakenteita valittaessa kiinnitettiin erityistä huomiota eri vuosikymmenillä käytettyihin höyrynsulkumateriaaleihin ja höyrynsulun toteutustapaan, joilla on merkittävä vaikutus rakenteen ilmatiiveyteen. Tämän pohjalta määritettiin rakenteilla laskennassa käytettävät q_{50} ilmavuotoluvut. Ennen vuotta 1980 höyrynsulkumateriaalina käytettiin erilaisia rakennuspapereita, jotka ovat verrattain epätiivitä niiden ilmavuotoluvun ollessa $6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. 1980-luvulta alkaen höyrynsulun materiaalina on käytetty muovia, jonka ilmavuotoluku vaihtelee $2...4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ välillä riippuen siitä, onko höyrynsulun läpiviennit tiivistetty ja limitykset teipattu. 2000-luvulla on kannustettu tiivistämisen lisäksi tukemaan höyrynsulku rakennuslevyllä, jolloin päästään $0,5...2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ilmavuotolukuun. Nykyaikaisten puukuitueristeisten yläpohjien ilmansulkukalvot eivät eroa höyrynsulkumuovista ilmavuotoluvun suhteen. Loivissa betoni- ja teräsrakenteissa yläpohjissa kantava rakenne on itsessään hyvin ilmatiivis ja ilmavuoto tapahtuu elementtisaumojen ja läpivientien kautta.

WUFI simulaatiossa ulkolämpötilan reunaehdoksi asetettiin esitarkastelujen perusteella kriittisin rakennusfysiikan testivuosi Jokioinen 2017. Homehtumisherkkyystarkastelussa sisälämpötilan reunaehto muutettiin asteen välein 21...14 °C siten, että sisälämpötilana käytettiin ulkolämpötilaa, mikäli se ylitti asetetun sisälämpötilan. Sisäilman kosteuslisä määritettiin soveltaen RIL 107-2012 kosteusluokkaa 2 yli 18 °C sisälämpötiloihin ja kosteusluokkaa 3 alle 18 °C sisälämpötiloihin. Sisäilman kosteuslisän vaihteluväli on 2...5 g/m³ kosteusluokassa 2 ja 1...3 g/m³ kosteusluokassa 3. Kosteuslisä saa maksimiarvonsa ulkolämpötilan ollessa $T_u \leq 5\text{ °C}$ ja miniarvonsa kun $T_u \geq 15\text{ °C}$ (väliarvot interpoloidaan).

Laskentajakson pituus vaihteli rakennekohtaisesti 5...22 vuoden välillä. Laskenta tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa poissuljettiin laskentaan asetetun alkukosteuden vaikutus 3...20 vuoden pituisella laskennalla rakenteesta riippuen. Toisessa vaiheessa hyödynnettiin ensimmäisen vaiheen lopputilanteen tuloksia alkuarvoina 2 vuoden pituiselle tarkastelulle alennetulla sisälämpötilalla. Toisen vaiheen laskennan tulosten perusteella tarkasteltiin yläpohjarakenteen homehtumisherkkyyttä.

1D tarkasteluiden lisäksi selvityksessä tutkittiin yläpohjarakenteiden ns. kylmäsiltojen vaikutusta Comsol Multiphysics ohjelmistolla kaksiulotteisina (2D) tarkasteluina. 2D tarkasteluiden tulokset analysoitiin WUFI Mould Index VTT:llä.

3 Tutkimustulokset

3.1 Tulkintaohjeet

3.1.1 Yleistä

Rakenteiden homeriskiä tarkasteltaessa on huomioitava, että rakennusmateriaalien homehtumisherkkyydessä on suuria eroja. Eri materiaalien homehtumisherkkyyttä on esitetty taulukossa 3.1. Tarkastelut rakenteiden rajapinnoilla on tehty herkemmin homehtuvan materiaalin mukaan.

Taulukko 3.1. Rakennusmateriaalien jakautuminen homehtumisherkkyyksiluokkiin (Suomalainen homemalli 2018).

Homehtumisherkkyyksiluokka		Esimerkkejä rakennusmateriaaleista
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu sahatavara, höylätty mänty, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvarneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL4	Kestävä	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Rakenteiden tarkasteluissa on huomioitava yksittäisen rakenneosan tarkastelussa ja tulosten analysoinnissa epäideaalisuudet, jotka vaikuttavat merkittävästi tehtäviin johtopäätöksiin. Huomioitavia tekijöitä ovat mm. rakenteiden kylmäsiilat ja ilmavuotokohtien aiheuttaman kosteuslisän vaikutus.

Tyypillinen esimerkki kylmäsiilasta on ulokeparvekkeen kannatus välipohjasta tai geometrinen kylmäsiila seinän ja yläpohjan liittymässä talon ulkonurkassa. Teräksestä valmistettuna kylmäsiilavaikutus on huomattava, mutta puurunkoisessa pientalossa

puukannattajilla toteutettuna kylmäsilta vaikutus on pieni. Puurunkoisessa rakennuksessa kylmäsiltoiksi tai huonommin eristetyiksi kohdiksi voidaan katsoa myös runkotalpan kohdat. Kylmäsilta kohdat käytännössä aina lisäävät sisäpuolisen rakenteen ja erityisesti sisäpinnan homehtumisriskiä.

Rakenteiden liitoskohdat vaikuttavat oleellisesti rakennuksen vaipan ilmatiiviyteen ja siten lämmöneristyksen yhtenäisyyteen ja höyrynsulun tiiviyteen. Kriittisiä liittymäkohtia ovat mm. yläpohjan höyrynsulun limitys seinän höyrynsulun kanssa, seinän liitos sokkeliin, ikkunoiden ja ovien sekä erilaisten läpivientien kohdat. Arvioitaessa esitetyjä tuloksia, on otettava huomioon, että merkittävät ilmavuodot voivat muuttaa käytännössä tilanteen laskennallisesta tarkastelusta poikkeavaksi. Sisäilman kosteuden kulkeutumisella ilmavuotojen kautta rakenteeseen on suuri merkitys erityisesti yläpohjarakenteiden osalta, mutta sisälämpötilan laskulla ei ole ilmiön kanssa suurta merkitystä.

Ulkoseinään kiinni asennetut kaapistot ja paksut isokokoiset ryijyt yms. voivat toimia paikallisesti sisäpuolisen lisälämmöneristyksen tavoin laskien ulkoseinärakenteen sisäpinnanlämpötilaa. Kaapistot täynnä vaatetavaraa muodostavat jo hyvän lisälämmöneristyksen ulkoseinälle. Ulkoseinällä olevat kalusteet voivatkin aiheuttaa merkittävästi suuremman homehtumisriskin verrattuna esitettyihin tuloksiin. Tästä syystä ulkoseinälle sijoitettujen kaapistojen taustan on oltava tuuletusväilillinen.

Sovelletut kosteuslisän arvot perustuvat tutkimustuloksiin (Vinha ym., 2010). Mitoitusarvojen sisäilman kosteuslisä on kesällä pienempi, koska rakennusten käyttäjät ja asukkaat ovat enemmän poissa sisätiloista ja ovia ja ikkunoita pidetään enemmän auki. Talven korkeat arvot on määritetty siten, että mitoitusarvo kattaa suurimman osan tutkimusaineiston tapauksista. Käytännössä sisäilman kosteuslisä vaihtelee paljon ja tapauskohtaisesti kosteuslisää voi arvioida sisäilman suhteellisen kosteuden perusteella. Tavanomaisesti talvipakkasella ulkoilman olosuhteiden ollessa -10 °C ja 90 \%RH , voidaan korkeana kosteuslisänä pitää tilannetta, jossa sisäilman lämpötilassa 21 °C suhteellinen kosteus on 40 \%RH ($\sim 5\text{ g/m}^3$ kosteuslisä). Vastaavassa tilanteessa kohtalainen kosteuslisä 3 g/m^3 tuottaa suhteellisen kosteuden 28 \%RH , kun taas ilman sisäilman kosteuslisää suhteellinen kosteus olisi vain 11 \%RH .

Sisäilman kosteuden osalta on huomattava myös poikkeavat tilanteet, joissa esimerkiksi ns. kylmän tilan tuuletuksella tai käytöllä tuotetaan tilaan hetkellinen merkittävä kosteuslisä lämpimältä ja kostealta puolelta. Tällöin kosteus voi kondensoitua hyvin herkästi kylmiin pintoihin. Edellisen esimerkin tilanteessa korkeimman kosteuslisän tilanteessa ($21\text{ °C} / 40\text{ \%RH}$) kondensoituu kosteus 5 °C lämpötilassa, joka voi toteutua esimerkiksi ikkunaliittymissä.

Ilmanvaihdon venttiilien tai korvausilma-aukkojen tukkiminen heikentää rakennuksen ilmanvaihtoa aivan samoin kuin koneellisen ilmanvaihdon ottaminen pois päältä. Tällaisissa tapauksissa sisäilman kosteus ei pääse poistumaan rakennuksesta suunnitellulla tavalla vaan nostaa sisäilman kosteuspitoisuutta merkittävästi yli tarkasteluissa käytettyjen kosteuslisän arvojen.

Tutkimustuloksia tulkittaessa on huomioitava, että ne kuvaavat kyseistä rakennetta tyypillisessä simulaatiotilanteessa. Yksittäisen rakennuksen osalta on huomioitava kokonaisuus kosteuslähteineen, ilmanvaihtoineen sekä rakenteineen.

3.1.2 Tulosten esitystapa

Tulokset on esitetty kunkin rakenteen kohdalla taulukkomuodossa. Taulukossa on esitetty kuvaus rakenteesta, käytetty sisäilmankosteuslisä sekä homeindeksin muutos (ΔHI) valituissa tarkastelupisteissä. Sisäilman lämpötilan laskusta johtuva homeindeksin muutos on laskettu 21 °C sisäilman lämpötilan tapaukseen.

Homeindeksin muutos on esitetty numero- ja väriskaalalla, jossa $1 \leq HI \leq 3$ tarkoittaa mikroskoopilla havaittavissa olevaa mikrobikasvustoa ja $3 \leq HI$ silmin havaittavissa olevaa mikrobikasvustoa. Mikrobikasvuston sisäilmavaikutukset riippuvat merkittävästi kasvuston sijainnista rakenteessa. Mitä lähempänä sisäpintaa vaurio sijaitsee, sitä todennäköisemmin sillä on ilmayhteys sisäilmaan, ja altistuminen mikrobeille on todennäköistä [Ympäristöopas 2016]. Näin ollen sisäilman laadun kannalta merkittävämpi tarkastelualue on höyrynsulun sisäpuolinen rakenne. Yleisenä arviointikriteerinä voidaan pitää indeksin arvoa 1 rakenteen tuulensuojakerroksen sisäpuolisen rakenteen osalta.

3.1.3 Julkisivut

Tulokset on esitetty seinärakenteessa pääasiassa lämmöneristeen kohdalta. Poikkeuksen muodostaa puurunkoinen seinärakenne, jossa tulokset on esitetty runkotolpan kohdalta.

3.1.4 Yläpohjat

Simuloinnissa tarkastelu on toteutettu lämmöneristeen ja sisäpuolisen ilmvälän kohdalta. Tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa rakenteen kohtaan, jossa on läpiviennit tai kylmäsiltoja. Rakenteiden nurkat ja muut merkittävästi poikkeavaa lämpötilaa

aiheuttavat sisäpuoliset rakenneosat tai kylmäsilat lisäävät sisäpinnan homeeriskiiä al-
haisemmalla sisälämpötilalla. 2D tarkastelun perusteella nurkan kohdalla homeeriskin
voidaan katsoa olevan n. 0,5 yksikköä korkeampi kuin eristeen kohdalla.

3.2 Julkisivut

US01		Tiili-villa-tiili, matala kerrostalo, eristepaksuus 60 mm							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Eristeen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eristeen sisäp. ΔHI	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
	Sisäpinnan taasoitteen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2
US02		Tiili-villa-betoni, matala kerrostalo, eristepaksuus 60 mm							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Eristeen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eristeen sisäp. ΔHI	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
	Sisäpinta ΔHI	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3
US03		Betonisandwich, korkea kerrostalo, eristepaksuus 90 mm							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Eristeen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eristeen sisäp. ΔHI	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
	Sisäpinta ΔHI	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
ΔHI-asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikrokoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

US04		Betonisandwich, korkea kerrostalo, eristepaksuus 250 mm, hyvin tuulettuva							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Eristeen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eristeen sisäp. ΔHI	0	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	Sisäpinta ΔHI	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
US05		Ohutrappaus-eristejärjestelmä, korkea kerrostalo, eristepaksuus 200 mm							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Eristeen ulkop. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eristeen sisäp. ΔHI	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,4
	Sisäpinta ΔHI	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
US06		Tiiliverhoiltu puurunko, matala pientalo, eristepaksuus 100 mm, heikko tuuletus							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$							
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	Puurungon ulkopinta ΔHI	0	0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
	Puurungon sisäpinta ΔHI	0	0,3	0,6	0,9	1,3	1,7	2,1	2,5
	Sisäverhouksen ulkopinta ΔHI	0	0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
ΔHI-asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

3.3 Yläpohjat

YP01		1940 -luvun purueristeinen yläpohja, tuuletusväli							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,5	0,2	0,3	0,5	1
YP02		1940 -luvun purueristeinen yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,8
YP03		Tyypillinen 1960 -luvun yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,2	0,3	0,5	1
YP04		Tyypillinen 1970 -luvun loiva katto, ns. tasakatto							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,8
ΔHI -asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

YP05		Tyypillinen 1970 -luvun yläpohja, tuuletusväli							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,5	0,1	0,3	0,5	0,8
YP06		Tyypillinen 1970 -luvun yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,2	0,3	0,5	0,8
YP07		Tyypillinen 1980 -luvun yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,2	0,3	0,5	0,8
YP08		Tyypillinen 1990 -luvun yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,4	0,7
ΔHI -asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

YP09 Tyypillinen 1990 -luvun yläpohja, tuuletusväli										
	Kosteus- lisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$				
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14	
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0	
	HS sp. ΔHI	0	0,1	0,4	1	0,3	0,6	1,1	2,3	
YP10 2000 -luvun loiva katto, höyrinsulku tuettu raken- nuslevyllä										
	Kosteus- lisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$				
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14	
	HS up. ΔHI	0	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,8	0,2	0,5	0,8	1,8	
YP11 2000-luvun loiva katto, höyrinsulku koolauksen va- rassa										
	Kosteus- lisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$				
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14	
	HS up. ΔHI	0	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	
	HS sp. ΔHI	0	0,1	0,3	1	0,3	0,6	1	2,3	
YP12 Sisäpuolelta lisäeristetty 1970-luvun loiva katto										
	Kosteus- lisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$				
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14	
	HS up. ΔHI	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	
	HS sp. ΔHI	0	0	0,3	1,1	0	0,1	0,5	0,7	
ΔHI -asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikrokoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava					

YP13		2010 -luvun puuelementtiyläpohja							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5.2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,3	0,8	0,3	0,6	1	2,2
YP14		2010 -luvun puukuitueristeinen yläpohja, höyrynsulku tuettu rakennuslevyllä							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5.2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0	0,3	0	0,1	0,5	1
YP15		2010 -luvun puukuitueristeinen yläpohja, höyrynsulku koolauksen varassa							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5.2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	1
YP16		Tyypillinen 2010 -luvun yläpohja, tuuletustila							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5.2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2
	HS sp. ΔHI	0	0,1	0,5	1	0,2	0,5	1	2,3
ΔHI-asteikko		0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava			

YP17		Tyypillinen 2010 -luvun yläpohja, tuuletusväli							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2
	HS sp. ΔHI	0	0,1	0,3	0,8	0,2	0,5	1	2
YP18		Kevytsoraeristetty loiva bitumikermikatto							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,1	0,3	0,4	0,7
YP19		Kevytsoraeristetty loiva bitumikermikatto, sisäkaton alaslasku							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,6	0,1	0,1	0,5	1
YP20		2010 -luvun mineraalivillaeristeinen loiva katto							
	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0,1	0,1	0,2	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,4	0,7
ΔHI -asteikko		0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava			

2010 -luvun mineraalivillaeristeinen loiva katto, sisäkaton alaslasku									
YP21	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,5	0	0,1	0,4	1
2010 -luvun loiva siporexyläpohja									
YP22	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0,4	0,8	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,5	0,8
2010 -luvun siporexyläpohja, tuuletustila									
YP23	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0,2	0,3	0,6	0	0	0,2	0,3
	HS sp. ΔHI	0	0	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,8
Loiva hallikatto, höyrynsulku profiilipellin varassa									
YP24	Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
	Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
	HS up. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
	HS sp. ΔHI	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔHI -asteikko	0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

SELVITYS SISÄLÄMPÖTILAN VAIKUTUKSESTA RAKENTEIDEN HOMEHTUMISRISKIIN
 ULKOSEINÄT JA YLÄPOHJAT

YP25		Loiva hallikatto, höyrynsulkukermi profiilipellin päällä								
		Kosteuslisä	$\Delta v = 5..2 \text{ g/m}^3$				$\Delta v = 3..1 \text{ g/m}^3$			
		Ts [°C]	21	20	19	18	17	16	15	14
HS up. ΔHI			0	0	0	0	0	0	0	0
HS sp. ΔHI			0	0	0	0	0	0	0	0,1
ΔHI -asteikko		0	1	3	6	1<HI<3 Mikroskoobilla havaittava, HI>3 silmin havaittava				

4 Päätelmät

Rakenteiden ja koko rakennuksen rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta kriittinen tekijä on sisäilman kosteus. Tutkimustuloksissa havaittiin sisäilman kosteuslisällä olevan sisälämpötilaa suurempi vaikutus homeriskiä. Sisälämpötilan laskiessa rakenteiden höyrynsulun toimivuus sekä ilmanvaihdon riittävyys korostuvat, jotta sisäilman kosteus saadaan pidettyä riittävän alhaisena ja ylimääräinen kosteus poistumaan hallitusti ilmanvaihdon kautta.

Kiviaineisissa ulkoseinärakenteissa sisätilan lämpötilan lasku nosti homeindeksejä lämmöneristekerroksen sisäpinnassa siten, että 14 °C sisälämpötilalla homeindeksin arvot olivat 0,3–0,6 yksikköä korkeampia kuin sisäilman lämpötilan 21 °C perustapauksessa. Suurin muutos lämmöneristekerroksen sisäpinnassa toteutui tiili-villa-tiilirakenteella ($\Delta HI = 0,6$). Yhtenä tarkastelupisteenä oli myös rakenteen sisäpinta. Sisäpinnan homeindeksin muutos pysyi nollassa jokaisella rakenteella aina 18 °C lämpötilaan saakka. Tätä alemmilla sisätilan lämpötiloilla homeindeksin muutos oli > 0 .

Puurunkoisessa ulkoseinässä sisätilan lämpötilan laskulla oli suurin vaikutus homeindeksin muutokseen. Tarkastelu tehtiin kaikista epäedullisimmilla oletuksilla, jolloin runkotolpan kohdalla homeindeksin arvot 14 °C sisälämpötilalla olivat tuulensuojalevyn taustalla 0,5 yksikköä korkeampi, sisäpinnassa 2,5 yksikköä korkeampi ja sisäverhouslevyn pinnassa 2,0 yksikköä korkeampi.

Rakennuksen ulkoseinät voivat koostua useammasta erilaisesta rakenteesta. Esimerkiksi puurunkoisessa pientalossa osa julkisivusta voi olla tiilimuurausta ja osa puujulkisivua tai asuinkerrostalossa erityisesti 1960- ja -70 luvuilla päädyt tiilijulkisivua ja ikkunaseinät betonisandwich-rakennetta. Yksittäisen rakennuksen kohdalla voi siten olla tarpeen tarkastella tuloksia useamman rakennetyypin avulla.

Yläpohjarakenteilla suuremmalla sisäilman kosteuslisällä 18 °C lämpötilassa todettu homehtumisriskin kasvun arvo (ΔHI) saavutettiin matalammalla kosteuslisällä selkeästi alhaisemmassa (pääosin 15 °C) lämpötilassa, kun tarkastellaan höyrynsulun sisäpuolisia arvoja. Höyrynsulun ulkopuolisen rakenteen osalta havaittiin varsin vähäisiä ΔHI arvoja, joista suurimmat havaittiin pääosin suuremmalla kosteuslisällä 18 °C sisälämpötilassa.

Nykyaikaisista yläpohjarakenteista esiin nousivat hyvin eristetyn puuyläpohjat, joilla saavutettiin korkeimmat ΔHI arvot (~ 2) 14 °C sisälämpötilalla. Hyvin vesihöyrytiivin höyrynsulun havaittiin olevan sisäpuolisten rakenteiden kannalta epäedullinen, sillä se

estää tehokkaasti sisäilman kosteuden siirtymisen rakenteeseen. Tällöin ilman suhteellinen kosteus höyrynsulun sisäpuolisessa rakenteessa nousee lämpötilan las-
kiessa ja homehtumisriski kasvaa.

Lisäksi sisäpinnan homeeriskin havaittiin kasvavan kaikilla rakenteilla lämpötilaa las-
kettaessa. On huomioitava, että sisäpinnoille asennettujen kalusteiden, verhojen ja
muun eristävän materiaalin aiheuttama paikallinen sisälämpötilan lasku heikentää ti-
lannetta entisestään.

Myös sisäverhouksen materiaalilla todettiin olevan vaikutusta höyrynsulun sisäpuoli-
sen rakenteen homeeriskiin. Esimerkiksi kosteutta paremmin sitovat puumateriaalit vä-
hentävät homeeriskiä sisäkaton koolausvälissä verrattuna kipsilevyverhoukseen. Ky-
seisissä herkkyytarkasteluissa havaittiin, että sisäpinnan homeeriski säilyi sisäver-
houksen materiaalista riippumatta samalla tasolla, mutta koolausvälin homeeriski nousi
joissain tapauksissa sisäpintaa korkeammalle tasolle.

Erityisesti lämpötilaa hyvin varaavilla massiivisilla rakenteilla on otettava huomioon ti-
lanteet, jossa erillämpöisiä huoneita erottaa lämmöneristämätön väliseinä. Tällöin läm-
pimän tilan huoneen sisäpinnan home- ja kondenssiriski kasvaa huoneiden lämpötila-
eron kasvaessa. Tilanne korostuu, mikäli lämpimän tilan puolella on suuri sisäilman
kosteuslisä.

Yläpohjan rakenteiden kahden vuoden tarkastelu aloitettiin 1.10. Tarkastelun perus-
teella havaittiin, että homeeriski jää selvästi alhaisemmaksi ensimmäisen vuoden tal-
vena verrattuna seuraavaan vuoteen, jolloin homeeriski alkaa kasvamaan loppu-
kesästä. Tuloksen perusteella voidaan arvioida, että sisälämpötilan aiheuttamaa riskiä
rakenteiden kannalta voidaan vähentää, jos tiloja lämmitetään maltillisesti jo alkusyk-
syn kostean jakson aikana, jolloin energia on edullisempaa kuin talvella.

Tutkimuksen perusteella ei voida antaa ohjeellista minimiarvoa turvalliselle sisälämpö-
tilalle, koska sisäilman kosteuslisällä on käytännössä määräävä vaikutus. Mikäli ti-
lassa ei ole käytännössä kosteuslisää, voidaan sisäilman lämpötila laskea varsin tur-
vallisesti jopa alle 15 °C. Tällöin on kuitenkin huomioitava tilan tuulettumisen ja ulkoil-
man lämpötilan ja kosteuden luonnollisesta vaihtelusta aiheutuva homehtumisriski.
Jos tilan kosteuslisä pystytään pitämään maltillisena (maks. 3 g/m³), voitaneen 15 °C
lämpötilaa pitää suurimmassa osassa tapauksia vielä turvallisena. Tällöin on kuitenkin
huomioitava rakennus kokonaisuutena sekä sen yksityiskohdat.

Lähteet

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Böök, H., Lindfors, A., Pirinen, P., Laapas, M., Mäkelä, A., 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:6. DOI: <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361287>

Kattoliitto ry. 2022. Toimivat katot 2022 [ohjekirja]. https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/2022/03/Toimivat_katot_2022.pdf

Lahdensivu, J., Pakkala, T., Pikkuvirta, J., Räsänen, A., Alastalo, S., Karvonen, A., Täubel, M., Pekkanen, J., Juntunen, M., Velashjerdi Farahani, A., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lanki, T., Leino, O., Kollanus, V. 2023. Rakennusten kosteusvauriot ja yllämpeneminen muuttuvassa ilmastossa – RAIL. Helsinki. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023. 190 s.

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 219 s.

Vertia. 2018. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa [tutkimusraportti]. <https://vertia.fi/wp-content/uploads/2018/06/Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-2018-1.pdf>

Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., & Käkelä, P. (2005). *Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona*. (Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikan laboratorio, Tutkimusraportti; Vol. 129). <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011041510640>

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., & Keto, M. (2010). *Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous*. (Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti; Vol. 140). <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011122914971>



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

Valtioneuvoston kanslia

Statsrådets kansli

Opetus- ja kulttuuriministeriö

Undervisnings- och kulturministeriet

Sosiaali- ja terveysministeriö

Social- och hälsovårdsministeriet

Ympäristöministeriö

Miljöministeriet

