Miksi kosteusvaurion vaikutus sisäilman laatuun vaihtelee?

Vuokko Lappalainen[1],[2], Pertti Pasanen[2]

[1] Oulun yliopisto [2] Itä-Suomen yliopisto

Rakennusterveysseminaari 7.10.2026

Yksi vaurio – monta mahdollista sisäilmavaikutusta

- Näkyvää homekasvua
- Materiaalin hajoamista, muodon muutoksia
- Poikkeavaa hajua sisätiloissa
- Oireilua
- Materiaalinäytteiden mikrobikasvu
- Poikkeavan korkeat mitatut kosteudet rakenteissa
- Ei mikään edellisistä

Aiemmin on tutkittu eri tekijöitä – mutta ei koko ketjua

Vaurioluokittelu

Vaurion määrä, sijainti ja vakavuus auttavat riskin arvioinnissa, mutta ovat epäsuoria altistumisen indikaattoreita.

Lähteen kehitys

Kosteus, materiaali, lämpötila ja kuivuminen määrittävät, millainen epäpuhtauslähde syntyy.

Vapautuminen

Lähteestä muodostuva epäpuhtaus ei välttämättä vapaudu jatkuvasti; vapautumista säätelevät mm. kosteus, ilmavirta ja häiriöt.

Kulkeutuminen

Paine-ero, ilmavuotoreitit, rajapinnat ja materiaalikerrokset ratkaisevat, pääseekö epäpuhtaus sisäilmaan.

Tutkimusaukko Käytännössä nämä vaiheet toimivat rakennuksessa samanaikaisesti. Tarvitaan malli, joka yhdistää lähteen, vapautumisen ja kulkeutumisen.

Lähteet: Haverinen et al. 2001, 2003; Haverinen-Shaughnessy et al. 2008; Lawton et al. 1998; Knudsen et al. 2017; Airaksinen et al. 2004.

Mitä tässä tutkimuksessa tutkittiin?



VTT:n sisäilmasimulaattori: hallittu seinärakenne ja kaksi kammiota

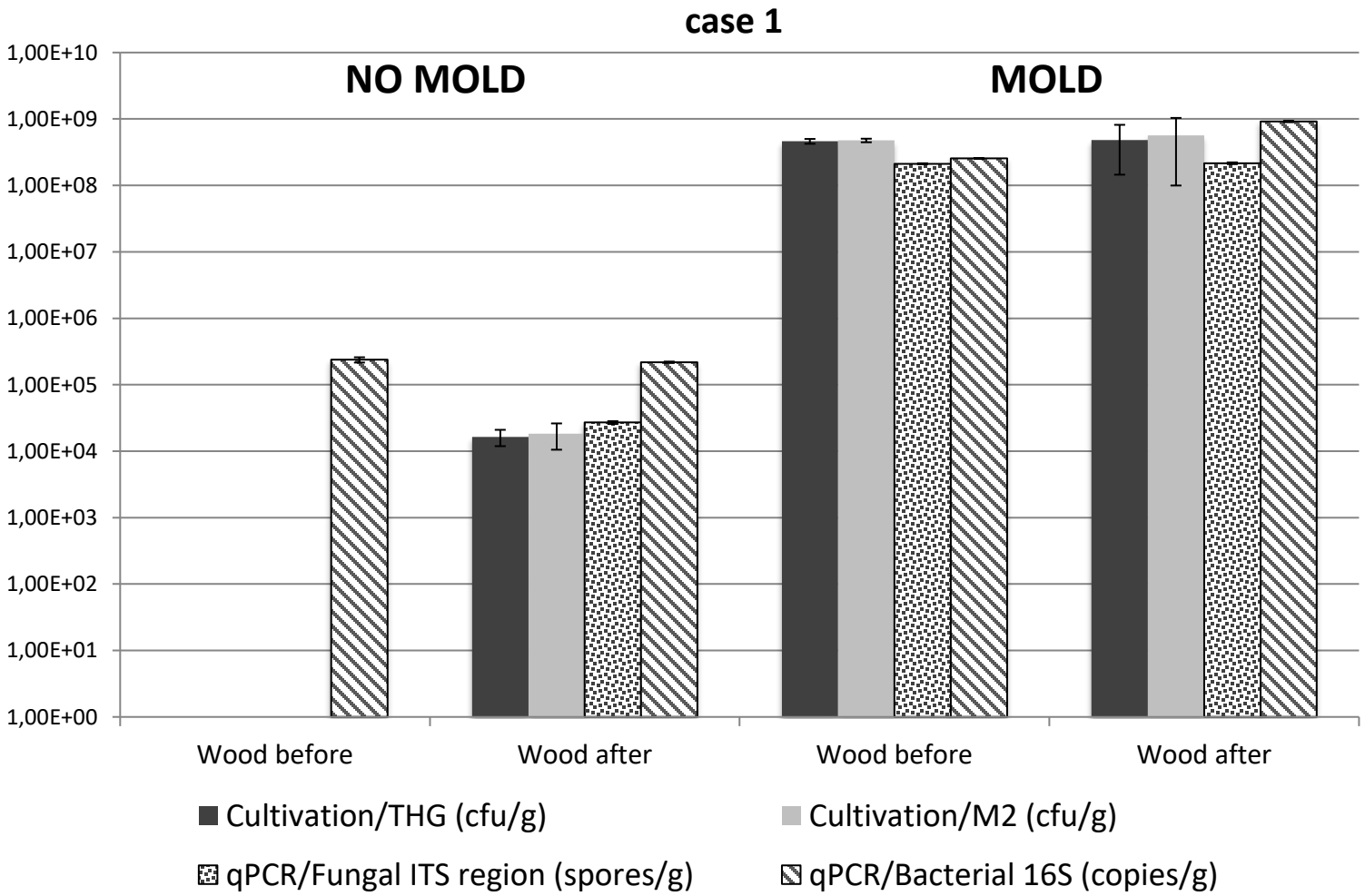
Sisäilmasimulaattorissa voitiin erottaa neljä muuttuvaa tekijää:

Vaurio	homekasvu / ei homekasvua
Kosteus	materiaalin RH muuttui märästä kuivaan
Paine ja vuotoreitit	pieni ja suuri ΔP, eri vuotoilmavirrat
Rakenne	mineraalivilla / ilman mineraalivillaa
Mitatut muuttujat	RH, ΔP, VOC/MVOC, hiukkaset, mikrobit

Tavoite: nähdä, missä kohtaa ketjua vaikutus vahvistuu tai vaimenee.

Lähteet: Lappalainen et al. 2026, Building and Environment; Lappalainen et al. 2026, Science of the Total Environment.

1. Lähde (kosteusvaurio)



Tulkinta

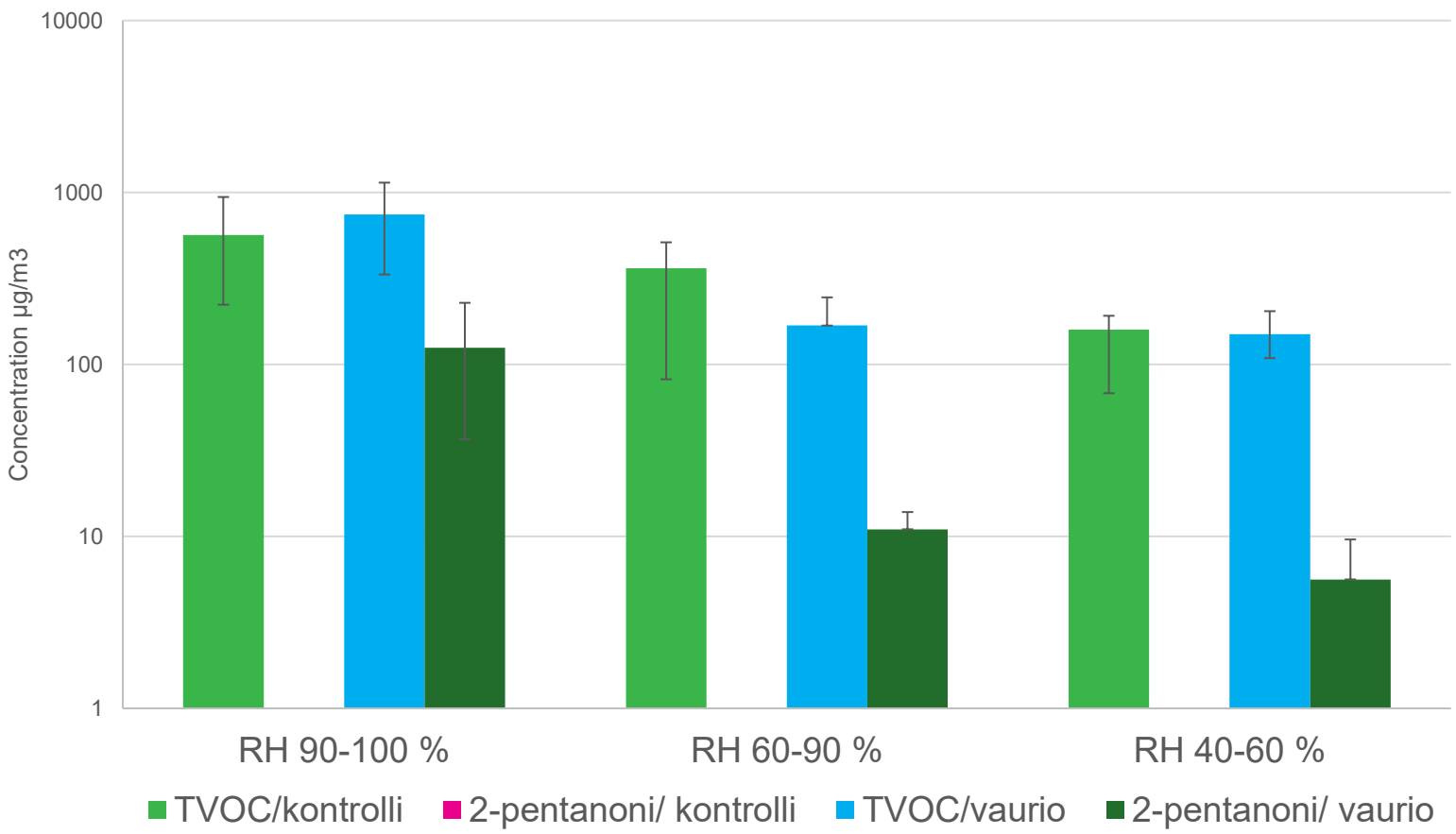
Rakenteessa oleva kosteusvaurio kertoo lähdepotentiaalista. Se ei vielä kerro, kuinka paljon epäpuhtauksia vapautuu tai päätyy sisäilmaan.

Kirjallisuus taustalla

Huoneilman keskimääräinen RH tai näkyvän vaurion laajuus ei välttämättä kuvaa piilevän lähteen mikroilmastoa tai voimakkuutta.

Lähteet: Lappalainen et al. 2026 BAE; Lawton et al. 1998; Li et al. 2020; Nakajima 2026.

2. Kosteus aktivoi VOC-yhdisteiden vapautumista



Tulkinta

Kosteusvauriosta peräisin olevien VOC-yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa riippuu sen hetkisestä vaurioituneen materiaalina kosteudesta.

Kirjallisuus tukee tätä

MVOC-pitoisuudet ja niiden kulkeutuminen riippuvat lähteen ja rakenteen olosuhteista; kosteustekninen riski ja sisäilmapitoisuus eivät ole sama asia.

TVOC-pitoisuudet olivat vaurio- ja kontrollitapauksissa samaa suuruusluokkaa eri kosteuksissa, mutta 2-pentanonin pitoisuus oli selkeästi korkeampi vauriotapauksessa.

Data tiivistetty julkaistuista: 2-pentanoni Lappalainen et al. 2026, STOTEN; TVOC Lappalainen & Pasanen 2026, IOP Conference – käsikirjoitus (accepted).

3. Eri epäpuhtausryhmät käyttäytyvät eri tavoin

VOC-yhdisteet

- reagoivat nopeasti materiaali suhteellisen kosteuden muutoksiin
- voivat vaimentua kuivumisen myötä
- näkyvät VOC/MVOC-pitoisuuksissa (mutta mittausherkkyys rajoittaa)

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

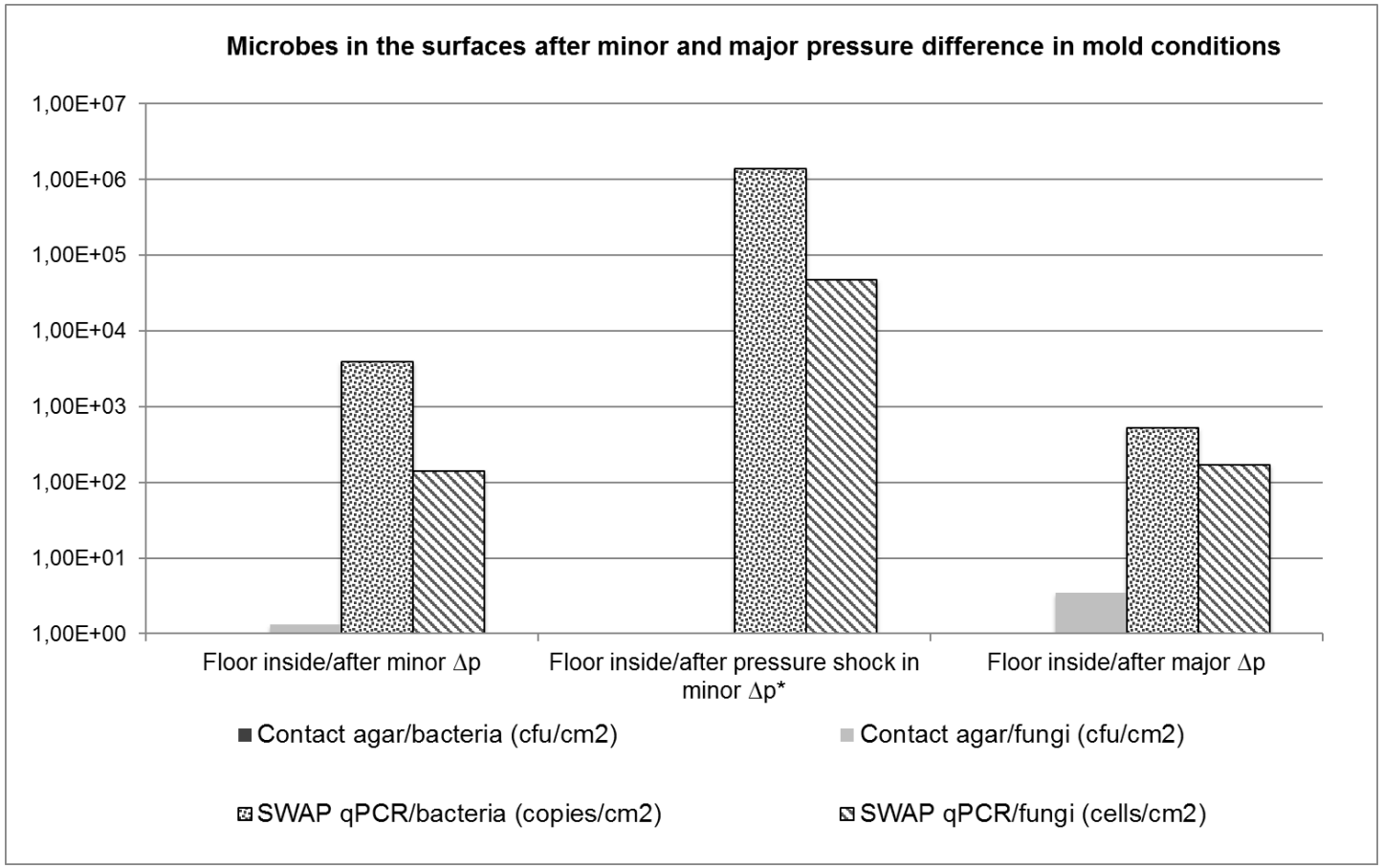
- ”mikrobivarasto” voi säilyä materiaalissa sen kuivuessakin
- vapautuminen riippuu mm. ilmavirrasta ja häiriöistä
- voi näkyä episodisina hiukkastapahtumina

Kosteus voi vahvistaa kemiallisia päästöjä. Materiaalin kuivuminen ei välttämättä poista hiukkasmaista mikrobilähdettä.

Yksi mittausmenetelmä tai yksi epäpuhtausryhmä ei välttämättä kuvaa koko vaurion merkitystä.

Lähteet: Lappalainen et al. 2026 STOTEN; Lappalainen et al. 2026 BAE; Knudsen et al. 2017; Adams et al. 2020.

4. Painevaihtelu voi vapauttaa ja kuljettaa mikrobeja sisäilmaan



Painepulssien jälkeen sisäpinnoilta mitattu mikrobimäärä kasvoi jopa useita kertaluokkia.

Miksi tämä on tärkeää?

Rakennuksessa paineolot eivät ole vakaita. Ovien avaukset, tuuli ja ilmanvaihdon vaihtelu voivat tuottaa lyhyitä paineiskuja, jotka lisäävät epäpuhtauksien siirtymistä rakenteiden sisältä ilmavuotoreittien kautta sisäilmaan.

Kirjallisuus taustalla

Paine-ero ja vuotoreitit voivat kuljettaa itiöitä rakenteiden läpi, mutta reitin ominaisuudet ratkaisevat vaikutuksen.

Lähteet: Lappalainen et al. 2026 BAE; Airaksinen et al. 2004; Muise & Seo 2009; Rao et al. 2006; Vornanen-Winqvist et al. 2018.

Johtopäätös:
Yksittäinen tekijä ei riitä – tarvitaan koko ketju

1. Lähde

Vaurioituneessa materiaalissa on ”epäpuhtausvarasto”.

2. Vapautuminen

Epäpuhtaus irtoaa materiaalista mahdollisissa olosuhteissa.

3. Reitti + käyttövoima

Ilmavuotoreitti ja paine-ero yhdistävät lähteen sisäilmaan.

Kulkeutuminen syntyy vain, jos kaikki kolme ehtoa täyttyy samanaikaisesti.

Sisäilmavaikutus voi jäädä pieneksi, jos yksikin ketjun osa puuttuu.

Lähteet: Airaksinen et al. 2004; Rao et al. 2006; Muise & Seo 2009; Hachem et al. 2010; Lappalainen et al. 2026.

Mitä tämä tarkoittaa rakennuksen kuntotutkimuksessa?

1 Onko rakenteessa merkittävä lähde?

Materiaalinäytteet, vaurion laajuus, mikrobikasvu, VOC-potentiaali

2 Voiko siitä vapautua epäpuhtauksia?

Materiaalin kosteustila, kuivumisvaihe, materiaalin kunto, ilmavirtaus tai häiriöt

3 Onko reitti sisäilmaan?

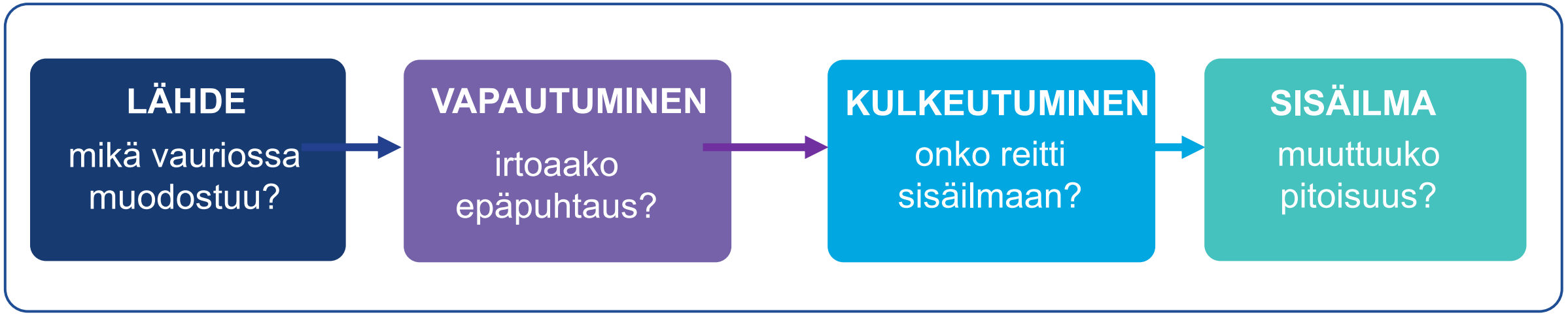
Ilmavuotoreitit, liittymät, ilmatiiviys, paine-ero ja painevaihtelut

Käytännön hyöty: tutkimukset ja korjaukset voidaan kohdentaa siihen kohtaan ketjua, joka ylläpitää riskiä.

Lähteet: Haverinen-Shaughnessy et al. 2008; Nakajima 2026; Lappalainen et al. 2026.

Building-related exposure risk

= riski, että rakennusperäinen lähde vapauttaa ja kuljettaa epäpuhtauksia oleskelutilan sisäilmaan



→ Väitöskirjatutkimuksessa kehitetään riskinarviointimalli kosteusvaurion kokonaisvaltaisen rakennuksesta peräisin olevan riskin arviointiin.

Lähteet: Lappalainen, unpublished

Kosteusvaurion sisäilmavaikutus syntyy vasta, kun lähde, vapautuminen ja kulkeutuminen yhdistyvät.

Tämä selittää, miksi sama vaurio voi eri olosuhteissa näkyä sisäilmassa eri tavoin – ja miksi kuntotutkimuksessa tarvitaan ketjun arviointia, ei pelkkää vauriolöydöstä.

Kiitos mielenkiinnosta!

Lähteet

Adams et al. (2020). Appl. Environ. Microbiol. 86(17), e01047-20.
Airaksinen et al. (2004). Indoor Air 14(2), 92–104.
Hachem et al. (2010). Indoor Built Environ. 19(2), 275–285.
Haverinen et al. (2001). Indoor Air 11(3), 192–199.
Haverinen et al. (2003). Atmos. Environ. 37(4), 577–585.
Haverinen-Shaughnessy et al. (2008). Sci. Total Environ. 399, 19–27.
Knudsen et al. (2017). Build. Environ. 122, 161–170.
Lawton et al. (1998). Indoor Air 8, 2–11.
Lappalainen et al. (2026). Build. Environ. 301, 114799.
Lappalainen et al. (2026). Sci. Total Environ. 1019, 181512.
Lappalainen & Pasanen (2026). IOP Conference manuscript.
Li et al. (2020). Energies 13(5), 1177.
Muise & Seo (2009). Aerobiologia 25, 7–14.
Nakajima (2026). Buildings 16, 2801.
Rao et al. (2006). In Research in Building Physics and Building Engineering, 845–852.
Spencer-Williams et al. (2025). Sci. Total Environ. 986, 179710.
Vornanen-Winqvist et al. (2018). Int. J. Environ. Res. Public Health 15(2), 230.