Miért penészedhet az épület az energetikai felújítás után?

Az épületek energetikai korszerűsítésének elsődleges célja a hőveszteségek és az energiafelhasználás csökkentése, valamint a komfortérzet javítása. A homlokzati hőszigetelés, a nyílászárók cseréje és a fűtési rendszer korszerűsítése megfelelő tervezés és kivitelezés mellett jelentős energiamegtakarítást eredményezhet. Mégis gyakran találkozhatunk azzal a jelenséggel, hogy egy korábban problémamentes épületben éppen az energetikai felújítást követően jelenik meg a penészesedés. Ennek oka általában nem maga a hőszigetelés, hanem az épület hő- és nedvességtechnikai egyensúlyának megváltozása, illetve a felújítás egyes elemeinek nem megfelelő összehangolása**.**

Nyílászárócsere és a légcsere csökkenése

Régebbi épületek esetében a meglévő nyílászárók illesztési hézagain keresztül folyamatos, bár energetikailag kedvezőtlen légcsere valósulhatott meg. A korszerű, fokozott légzárású nyílászárók beépítésével ez az ellenőrizetlen infiltráció jelentősen lecsökkenhet. Energetikai szempontból ez kedvező, ugyanakkor megfelelő szellőztetés hiányában a használat során keletkező nedvesség az épületben maradhat. A szükséges légcsere és a megfelelő beltéri környezeti feltételek biztosítása ezért az energetikai korszerűsítés lényeges részét képezi **[3].**

A főzés, mosás, zuhanyzás, ruhaszárítás, valamint maguk az épület használói folyamatos páraterhelést jelentenek. Ha a keletkező vízgőz eltávolításáról nem gondoskodunk, a belső levegő relatív páratartalma megemelkedik. A magasabb páratartalom növeli annak veszélyét, hogy a külső határoló szerkezetek alacsonyabb belső felületi hőmérsékletű részein penészképződéshez kedvező állapot alakuljon ki **[4; 5].**

Hőhidak és alacsony felületi hőmérsékletek

A penészesedés kialakulásában meghatározó szerepet játszhatnak a hőhidak. Ezek olyan szerkezeti helyek, ahol a környezetükhöz képest megváltozik a hőáramlás, és téli állapotban a belső oldali felületi hőmérséklet alacsonyabb lehet. Tipikus kritikus területek a külső falsarkok, födém- és falcsatlakozások, erkélylemezek, áthidalók, koszorúk, valamint a nyílászárók környezete **[2].**

Komplex energetikai korszerűsítés során a megfelelő vastagságú és folytonosan kialakított külső oldali hőszigetelés ezeknek a felületeknek a hőmérsékletét általában növeli. A megfelelően megtervezett és kivitelezett hőszigetelés ezért önmagában nem növeli, hanem csökkenti a felületi páralecsapódás és a penészesedés kockázatát. Probléma elsősorban akkor jelentkezhet, ha a hőszigetelés folytonossága megszakad, egyes szerkezeti elemek szigeteletlenül maradnak, vagy a csomópontok kialakítása hőtechnikailag nem megfelelő.

Különösen kedvezőtlen lehet a részleges energetikai felújítás. Ha például megtörténik a nyílászárók cseréje, de a külső határoló szerkezetek hőtechnikai korszerűsítése elmarad, egyszerre csökkenhet a természetes légcsere, miközben a kritikus szerkezeti felületek hőmérséklete lényegében változatlan marad. Ez a két hatás együttesen növelheti a penészesedés kialakulásának kockázatát.

Nem csak a harmatpont számít

A penészesedés vizsgálatakor gyakran kizárólag a harmatponti hőmérsékletet veszik figyelembe. A probléma azonban ennél összetettebb. Penészképződéshez nem feltétlenül szükséges látható felületi páralecsapódás. Tartósan magas felületi relatív páratartalom mellett a penészgombák számára már a kondenzáció kialakulása előtt kedvező mikroklíma jöhet létre **[1,4].**

Ezért az épületfizikai értékelés során a belső levegő hőmérséklete és relatív páratartalma mellett a kritikus szerkezetek belső felületi hőmérsékletét is vizsgálni kell. Az **MSZ EN ISO 13788:2013** szabvány számítási módszert határoz meg többek között a penészképződés elkerüléséhez szükséges kritikus felületi nedvességi állapot vizsgálatára.

A belső felületi hőmérsékleti tényező jelentősége

A hőhidas szerkezetek és a penészképződési kockázat számszerű értékelésére alkalmazható a **belső felületi hőmérsékleti tényező, az fRsi**. A dimenzió nélküli tényező azt fejezi ki, hogy az adott szerkezeti pont belső felületi hőmérséklete hol helyezkedik el a külső és belső léghőmérséklet közötti hőmérséklet-tartományban **[1; 2].**

A hőmérsékleti tényező összefüggése:

$$fRsi = (\theta si - \theta e) / (\theta i - \theta e)$$

ahol:

- **θsi** – a vizsgált szerkezet belső felületi hőmérséklete [°C],
- **θi** – a belső levegő hőmérséklete [°C],
- **θe** – a külső levegő hőmérséklete [°C].

Minél közelebb van az fRsi értéke 1-hez, annál magasabb a belső felületi hőmérséklet, és annál kedvezőbb a vizsgált szerkezeti pont hőtechnikai viselkedése. Az alacsony érték ezzel szemben jelentős helyi lehűlésre és hőhídhatásra utalhat **[2].**

A penészképződés szempontjából azonban nem célszerű minden épületre egyetlen, változatlan fRsi határértéket alkalmazni. A szükséges **fRsi,min** értéket a külső és belső klimatikus viszonyok, a belső nedvességterhelés és a megengedhető kritikus felületi relatív páratartalom figyelembevételével kell meghatározni **[1].**

Konkrét mérési példa – hőmérsékleti tényezővel

Egy energetikai felújítást követően penészesedést mutató lakóhelyiség vizsgálatakor például az alábbi állapot mérhető:

- belső levegő hőmérséklete: **θi = 23,7 °C**,
- belső relatív páratartalom: **φi = 50%**,
- külső levegő hőmérséklete: **θe = 0 °C**,
- általános belső falfelületi hőmérséklet: **20–21 °C**,
- külső falsarokban mért minimális felületi hőmérséklet: **θsi = 13,5 °C**.

A hőhidas falsarokra meghatározható belső felületi hőmérsékleti tényező:

fRsi = (13,5 − 0) / (23,7 − 0) = 0,57

Az **fRsi = 0,57** érték azt mutatja, hogy a vizsgált csomópont belső felülete a helyiség általános felületeihez képest jelentősen lehűl. Összehasonlításként, ha az általános falszakaszon 20,5 °C felületi hőmérsékletet mérünk, ugyanazon külső és belső hőmérséklet mellett:

fRsi = (20,5 − 0) / (23,7 − 0) = 0,86

A két érték közötti különbség jól szemlélteti a hőhíd hatását. Míg az általános falszakasz **fRsi = 0,86** értéke lényegesen kedvezőbb felületi hőmérsékleti állapotot jelez, a falsarok **fRsi = 0,57** értéke jelentős helyi lehűlésre utal.

A 23,7 °C-os belső léghőmérséklet és 50%-os relatív páratartalom mellett a levegő harmatpontja megközelítőleg **13 °C**. A 13,5 °C-os felület tehát már a kondenzációs tartomány közvetlen közelében található. Ennél azonban fontosabb, hogy a felület közvetlen környezetében kialakuló relatív páratartalom már a látható páralecsapódás előtt elérheti a penészképződés szempontjából kritikus tartományt.

Ha a belső relatív páratartalom változatlan, 23,7 °C-os belső léghőmérséklet mellett 50%-ról **60%-ra emelkedik**, a harmatpont megközelítőleg **15,5 °C-ra** növekszik. Ebben az esetben a változatlanul 13,5 °C-os felületi hőmérséklet már a harmatpont alatt lenne, tehát a felületi kondenzáció feltétele is fennállna.

A példa jól szemlélteti, hogy egy felületi hőmérséklet önmagában nem elegendő a szerkezet hőtechnikai minősítéséhez. A 13,5 °C-os értéket mindig az egyidejű külső és belső léghőmérséklet, valamint a belső nedvességi állapot figyelembevételével szükséges értékelni. Ebben nyújt segítséget az **fRsi hőmérsékleti tényező** alkalmazása.

Hőkamerás vizsgálat és az fRsi kapcsolata

A hőkamerás vizsgálat jól alkalmazható a kritikus szerkezeti pontok lokalizálására. A termográfiai felvételen azonosíthatók a falsarkok, koszorúk, áthidalók, födémcsatlakozások és nyílászárók környezetében kialakuló alacsonyabb felületi hőmérsékletű területek. A hőhidak részletes numerikus vizsgálatának módszertani alapját az **MSZ EN ISO 10211** tartalmazza.

A termográfiai vizsgálat során meghatározott minimális belső felületi hőmérsékletből, valamint az egyidejűleg mért külső és belső léghőmérsékletből az adott szerkezeti pont fRsi értéke meghatározható. A helyszíni termográfia eredményeinek értelmezésénél ugyanakkor figyelembe kell venni a mérési körülményeket, így különösen a külső–belső hőmérséklet-különbséget, a napsugárzás, a szél és a csapadék hatását, továbbá a vizsgált felület emissziós tulajdonságait. A termográfiai vizsgálatot ezért dokumentált hőmérséklet- és páratartalom-méréssel célszerű kiegészíteni.

A megfelelő páratartalom és szellőztetés jelentősége

Az energetikai korszerűsítés során a szellőztetés kérdését a hőszigeteléssel és a nyílászárócserével egyenrangú műszaki feladatként kell kezelni. A cél nem az épület

ellenőrizetlen légáteresztésének fenntartása, hanem a szükséges légcsere szabályozott biztosítása **[3].**

Ennek legegyszerűbb módja a megfelelő használói szellőztetés, hosszabb távon azonban energetikailag kedvező megoldást jelenthet a szabályozott gépi szellőztetés. Hővisszanyerős szellőztető rendszer alkalmazásával a szükséges frisslevegő-ellátás úgy biztosítható, hogy közben a távozó levegő hőtartalmának jelentős része visszanyerhető.

Hogyan vizsgálható a probléma?

A már kialakult penészesedés esetében önmagában a penész eltávolítása nem tekinthető a kiváltó ok műszaki megszüntetésének. Elsődlegesen meg kell határozni a nedvesedés és a kedvezőtlen felületi állapot okát **[4].**

A helyszíni vizsgálat során célszerű egyidejűleg meghatározni:

- a külső és belső léghőmérsékletet,
- a belső relatív páratartalmat,
- a kritikus felületek hőmérsékletét,
- a harmatponti hőmérsékletet,
- a kritikus pontok **fRsi hőmérsékleti tényezőjét**,
- a légcsere megfelelőségét,
- szükség esetén pedig az épületszerkezet nedvességtartalmát.

A mért és számított paraméterek együttes értékelése alapján elkülöníthető, hogy a penészesedés kialakulásában elsősorban szerkezeti hőhíd, elégtelen hőszigetelés, fokozott belső páraterhelés, elégtelen légcsere vagy ezek együttes hatása játszik szerepet.

Komplex energetikai felújításra van szükség

A penészesedés megelőzésének kulcsa a komplex tervezési szemlélet. Nem elegendő külön-külön vizsgálni a homlokzati hőszigetelést, a nyílászárócserét, a fűtési rendszert és a szellőztetést. Az épület energetikai és épületfizikai működését egységes rendszerként szükséges kezelni.

A megfelelően kialakított hőszigetelés növeli a belső felületi hőmérsékleteket és ezáltal az **fRsi hőmérsékleti tényezőt**, a korszerű nyílászárók csökkentik a filtrációs hőveszteséget, a szabályozott szellőztetés pedig gondoskodik a használat során keletkező nedvesség eltávolításáról **[1; 3].**

Összegzés

Az energetikai felújítást követően jelentkező penészesedés nem szükségszerű következménye az épület korszerűsítésének. Sokkal inkább arra hívja fel a figyelmet, hogy az épület hő- és nedvességtechnikai egyensúlya megváltozott, miközben a szellőzés, a hőhidak vagy egyes szerkezeti csomópontok kérdése nem kapott megfelelő figyelmet.

A penészesedési kockázat műszaki értékelésében a belső relatív páratartalom és a harmatpont mellett fontos szerepet kap a **belső felületi hőmérséklet és az abból meghatározható fRsi**

hőmérsékleti tényező. A módszer lehetőséget biztosít arra, hogy a kritikus szerkezeti pontokat számszerű épületfizikai jellemző alapján is értékeljük**.**

A korszerű épületenergetikai szemlélet ezért nem korlátozódhat az energiafogyasztás csökkentésére. A sikeres energetikai korszerűsítésnek egyszerre kell biztosítania az alacsony energiaigényt, a megfelelő belső komfortot, a szabályozott légcserét és az épületszerkezetek hosszú távú nedvességvédelmét.

Szakirodalom és szabványok

[1] **MSZ EN ISO 13788:2013.** *Épületszerkezetek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. Kritikus felületi nedvesség és szerkezeten belüli páralecsapódás elkerülésére szolgáló belső felületi hőmérséklet. Számítási módszerek.*

[2] **MSZ EN ISO 10211.** *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások.*

[3] **MSZ EN 16798-1.** *Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése.*

[4] **World Health Organization. (2009).** *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould.* Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

[5] **ASHRAE.** *ASHRAE Handbook – Fundamentals.* Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Tar Flórián