

Mit kell tudni a hőhidakról?

Épületeink hőenergia-igényének mérsékléséhez, a korszerű épületek vizsgálatához és a modern gépészeti rendszerek méretezéséhez is fontos az épületszerkezetek hővesztésének lehető legpontosabb megismerése. A modern és alacsony energiaigényű épületek hővesztéségeinek meghatározására a régebben alkalmazott ökol-szabályok, több évtizedes közelítések már pontatlanok, sok esetben kártékonyak. Ezért is lenne fontos, hogy a tervezők a kornak megfelelő számítási módszereket alkalmazzanak mind a tervezés, mind pedig a tanúsítások során. Meg kell említeni továbbá, hogy a csomóponti vizsgálatokkal nem csupán az épületeink energiaigényét ismerhetjük meg pontosabban, hanem az állagvédelmi problémákat (pl. penészesedés) is hatékonyan tudjuk megelőzni, mivel annak várható kialakulása gondos és korszerű tervezéssel bizonyosan elkerülhető. Szakcikkünkben az előbb említettek okán a hőhidakról, a vonalmenti hőátbocsátási tényező meghatározásáról, valamint a penészesedés kialakulásának részletes számítással történő elkerüléséről olvashatnak.

A hőhidak definíciója

A hőhidak definiálásakor az internet korában számtalan jobb és rosszabb megfogalmazást olvashatunk, melyek legtöbbször a hőhidak alapvető típusainak felsorolásában merül ki. (A vadabb definíciókat inkább nem is említjük, lásd pl. a Wikipédián az „energiaelnyelő lyukak” szócikket, ami finoman szólva is szakszerűtlen...)

Hőhidnak az épületszerkezetek azon részét nevezzük, amelynél a környező elemek átlagos hőáramaihoz képest eltérő mértékű, többdimenziós hőáramlás alakul ki. Másképp, de ezzel egyenértékűen megfogalmazva, a hőhid az épületszerkezeti kialakításon belüli azon rész, ahol többdimenziós hőáram-sűrűség-változás, illetve hőmérséklet-változás alakul ki. Már az előbbi meghatározásokból is látszik, hogy a hőhidak számszerűsítése (pl. vonalmenti hőátbocsátási tényező) csak a teljes épületszerkezet és az azt alkotó csatlakozó

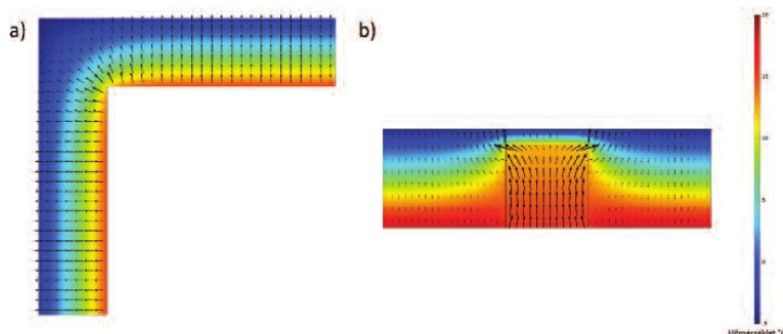
épületelemek ismeretében lehetséges. Fontos megemlíteni, hogy a gyakorlatban az épületszerkezetek esetében általában negatív hőtechnikai hatás esetén beszélünk hőhidakról. Az építőipari marketinges nyelvzetben bevett és gyakran hangoztatott kifejezéssé vált a „hőhidmentes” kialakítás, azonban ilyen szerkezeti kialakítás a valóságban gyakorlatilag nem létezik. A hőhidak által okozott hatásokat legfeljebb csökkenteni tudjuk gondos tervezéssel. A „hőhidmentes” megnevezés tehát azokra az építészeti kialakításokra helytálló csupán, amelyek esetében a hőhidak okozta többlethővesztés az adott számítási rendszerben elhanyagolható mértékű, például passzívház-építésnél akkor tekinthetjük az építési megoldást hőhidmentesnek, ha a külső méretekre vonatkoztatott, vonalmenti hőátbocsátási tényező $\psi \leq 0,01 \text{ W/mK}$.

A hőhidak előfordulása, típusai

A hőhidak legkönnyebben beazonosítható típusa, a geometriai hőhid ott alakul ki, ahol az épületszerkezet esetében megváltozik annak geometriai formája vagy helyzete. Hőhid alakul ki ezáltal a falsarkoknál, minden kiugró, kiálló szerkezeti elemnél az eltérő vastagságú rétegek miatt, az eltérő szögben csatlakozó elemek esetében (pl. falsarok, magastető-térfal csatlakozása stb.), illetve az azonos szerkezeti elemek méretváltásakor is (1/a ábra).

Ahol a szerkezet geometriai értelemben nem változik, azonban a szerkezetet alkotó anyagokban és azok hővezetési tényezőjében változás áll be, ott anyag-eredetű hőhidakról beszélhetünk. Általános példája a falszerkezettel azonos vastagságú, más anyagból készülő pillér nem egyenletes minőségű anyagból vagy a szakaszosan készülő, monolitikus szerkezetek, illetve akár egy falfelületen két azonos vastagságú, de eltérő hővezetési tényezővel rendelkező hőszigetelő réteg egymás melletti alkalmazása (1/b ábra). Az anyag-eredetű hőhidak gyakran ismétlődnek periodikusan. Ilyen esetekben egy épületszerkezeti elem szabályos, jól meghatározható mintázat szerint ismétlődnek a hőhidak és a szerkezet inhomogenitását okozó eltérő anyagok, gondoljunk például a magastetők esetében a tetőszerkezetben a szarufákra és a közöttük elhelyezett hőszigetelésre.

Előfordulhat, hogy egy szerkezetben a hőhidak nem a szerkezet miatt, hanem a rájuk ható, eltérő környezeti hatások miatt alakulnak ki a szerkezeteken belül. A környezeti eltérések miatti hőhidak esetében a szerkezetek felületi (hőátadási) ellenállása eltérő. A felületi ellenállások eltérését akár a konvektív, akár a sugárzásos tag különbsége is okozhatja. A konvektív hőátadási tényező leginkább a felületre ható légsebességtől és áramlási viszonyoktól függ, például a felületek elé tölt bútorok gátolják a légmozgást.



1.ábra – A két legjellemzőbb hőhidtípus szemléltetése, hőmérsékleteloszlás és hőáramvektorok

a) Falsarokban kialakuló geometriai hőhid

b) Külső oldalon hőszigetelt vasbeton pillér, vázkitöltő falazattal

azonban ez esetben egy-egy hőkép alapján az energetikai számításhoz szükséges vonalmenti hőátbocsátási tényezőket meghatározni nem tudunk. A 3. ábrán egy külső oldalon hőszigeteléssel ellátott fal és földem csatlakozása látható. A hőképen megfigyelhető, hogy mind a falcsatlakozásnál, mind pedig a fal és földem csatlakozásánál jól látható hőhíd alakul ki, noha utóbbi esetben expandált polisztirolhabból készült holker díszlécet is rögzítettek.

Nagy felbontású (pl. legalább 320x240-es mikrobolométer-mátrixszal¹ rendelkező), nagy termikus érzékenységű (pl. <30 mK) hőkamerák képén a kis felületi hőmérséklet-különbségeket okozó anyagváltozások vagy egyéb hatások, például az egyes anyagokban bekövetkezett nedves-ségtartalom-változások is megfigyelhetők. A 3. ábrán láthatók az előre gyártott, kerámiapapucsos, feszített vasbeton földemgerendák és a közöttük elhelyezkedő béllestestek, valamint a belső vakolat mögött lévő falazóblokkok elhelyezkedése is. A hőhidak, sajnos, sok esetben mű-

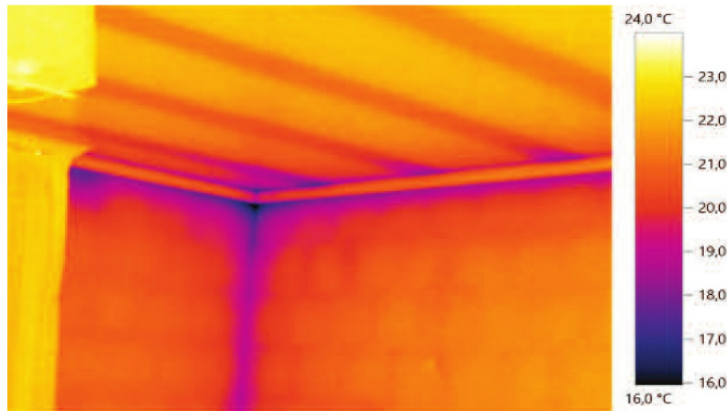


4. ábra – Kialakult penész a párale-csapódással sújtott hőhidas épület-szerkezeteken

légmozgástól elzárt környezet pedig kiváló életkörülményeket biztosít a penészgombák megtelepedésére.

Hőhidak figyelembevétele a hatályos épületenergetikai rendeletek és szabványok tükrében

A jelenleg hatályos épületenergetikai szabályozás szerint közel nulla energiaigényre vonatkozó követelménynél jobb épületeket csak részletes módszer alkalmazásával lehet tanúsítani



3. ábra – Hőfénykép egy sarokcsatlakozásban kialakuló hőhídról

szer nélkül, szabad szemmel is felismerhetők a környezetükben kialakuló penészedés miatt (4. ábra). Az alacsony felületi hőmérséklet miatt a levegőben lévő nedvesség lecsapódik az épületszerkezet felületére, a több napig fennálló nedves,

a 176/2008. kormányrendelet (tanúsítási rendelet) értelmében. Egyúttal pedig a 7/2006. TNM-rendelet (épületenergetikai rendelet) értelmében ezeknél az alacsony energiaigényű épületeknél a hőátbocsátási tényező meghatározásakor a rétegtervben

lévő inhomogenitások hatását, valamint a szerkezeti csatlakozásoknál keletkező hőhídvesztéseket is az MSZ EN ISO 10211:2017 szabvány szerinti numerikus szimulációval kell számítani. A részletes számítások hőhíd-szimulációihoz hőhídkatalógusokat is használhatunk, melyekben a gyakran előforduló épületszerkezeti kialakítások vonalmenti hőátbocsátási tényezőit találhatjuk meg az előbb említett, harmonizált szabvány alapján meghatározva. Publikált hőhídkatalógussal, melyben belső méretek szerinti értékek szerepelnek, azonban jelenleg még csak néhány építőipari termékgyártó rendelkezik. Ezen katalógusok mellett elméletben alkalmazható lenne hazánkban is az MSZ EN ISO 14683:2017 szabvány, ami gyakorlatilag egy olyan hőhídkatalógus, amelyben a vonal menti hőátbocsátási tényezőket mind külső, mind pedig belső méretek szerint megadták. Azonban az ebben a harmonizált szabványban közölt szerkezeti csomópontok jelentősen eltérnek a hazai tervezési és építési módoktól, valamint az épületszerkezeteket sem a hazai épületenergetikai követelmények szerint alakították ki, emiatt a benne található értékek a gyakorlatban igen ritkán alkalmazhatók. Az említett szabványban tetőcsomópontok esetén például kizárólag lapos tetővel rendelkező épületek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit találjuk, így kis hajlásszögű vagy magastetővel rendelkező épületekre nincsenek értékek. A numerikus szimulációk alkalmazása nem csupán az épületenergetikai számítások és tanúsítás során, de az épületek tervezése során is szükséges lehet, mivel az MSZ 24140:2015 szabvány szerint az új és felújított épületek, épületszerkezetek hő- és páratechnikai méretezése, valamint a meglévő épületszerkezetek energetikai és állagvédelmi ellenőrzése során szintén az előbb említett, harmonizált szabvány szerint kell számítani a határoló-szerkezetek azon csomópontjainak veszteségáramait és felületi hőmérsékleteit, ahol két- vagy háromdimenziós hőáramok alakulnak ki.

¹A hőkamerák érzékelő elemét hívjuk mikrobolométernek, ez mátrixszerűen felépítve alkotja a hőkamerák érzékelőjét. A hőkamerában tehát az érzékelő mátrix minden egyes pixele egy elemi mikrobolométer (leggyakrabban vanádiumoxid- vagy amorf szilícium-alapú), amelyben az őt érő infravörös sugárzás elektromos ellenállás-változást okoz, és ezt használjuk a hő érzékelésére.



Dr. Nagy Balázs egyetemi adjunktus, a BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén, a Klímaváltozás és Épületenergetika kutatócsoportjának tagja, valamint a tanszék akkreditált anyagvizsgáló laboratóriumának minőségirányítási vezetője és témavezetője. PhD-fokozatát 2019-ben szerezte meg, témája a modern falazott épületszerkezetek higrotermikus (kapcsolt hő- és nedvességtechnikai) viselkedése volt. Főbb kutatási témakörei az épületfizika, épületenergetika, épületszerkezetek és építéstechnológia. A Magyar Tudományos Akadémia köztestületének tagja, valamint a nemzetközi épületfizikai szövetség (IABP) és a CIB W040 hő- és nedvességtranszport-bizottságának tagja. Az egyetemi oktatás és kutatás mellett szakmagyakorló, a Magyar Mérnöki Kamara tagja. Épületfizikai tervező, energetikai tanúsító, felelős műszaki vezető és műszaki ellenőr jogosultságokkal rendelkezik.

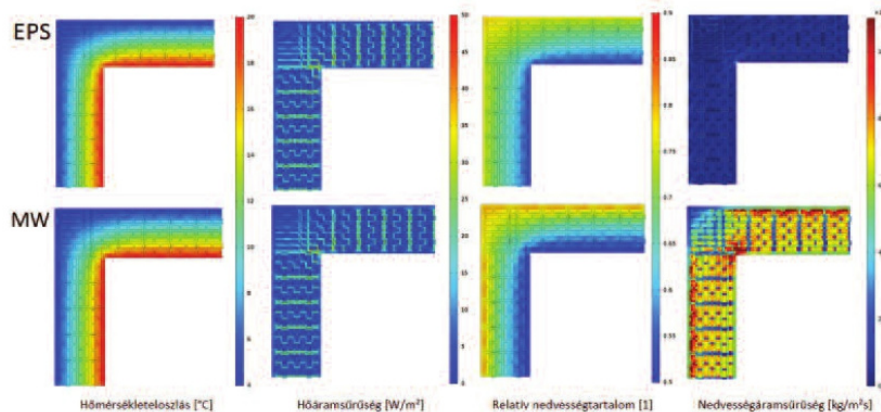
Állagvédelmi számítások a hőhidak káros hatásainak elkerülése érdekében

Bár, jelenleg sem az épületenergetikai rendelet, sem pedig a tanúsítási rendelet nem írja elő az állagvédelmi és nedvességtechnikai vizsgálatok szükségességét, az épületek és épülethatható szerkezetek hőtechnikai számításáról szóló hatályos magyar szabvány, a már az előbbieken is említett MSZ 24140:2015 4. fejezete a nedvességtechnikai-állagvédelmi számításokról szól. Ez a szabvány, amely a 2012-ben visszavont MSZ 04-140/2:1991 szabvány utóda, azonban csupán egy állandósult állapotbeli, egydimenziós, grafoanalitikus, Glaser-módszeren ala-

akár havi bontásban is elvégezhetjük, megállapítva egy egydimenziós épületemeleten a kritikus felületi nedvességet és a szerkezeten belüli páralecsapódást megelőző belső felületi hőmérsékletet. Az előbbi szabványok tehát egyszerű és egydimenziós problémák esetére nyújtanak közelítő számításokat, azonban a hőhidak valószínűleg többszörös problémát jelentenek.

Az MSZ EN 15026:2007 szabvány újít megoldást a többdimenziós hő- és nedvességvándorlás numerikus szimulációval történő számítására, melyet felhasználva dinamikusan, akár órás bontásban, valamint az anyagok hő- és nedvességkapacitásának és a páradiffúzió mellett a folyadéktranszport

szítésére van szükség. Az épületszerkezeti kialakításokon belüli relatív nedvességtartalom eloszlásának, valamint a nedvességáram-sűrűségek térbeli és időbeli alakulásának ismeretében immáron nemcsak a felületen található, de akár a szerkezeten belüli állagvédelmi problémák is felderíthetők, és gondos tervezéssel kiküszöbölhetők. Az 5. ábrán azt láthatjuk, hogy bár mind az EPS-sel, mind pedig az ásványgyapattal töltött falazóblokkok hasonló hőtechnikai teljesítőképességgel rendelkeznek, az EPS-sel töltött szerkezeten keresztül mégis csekély nedvességvándorlás alakul ki, az ásványgyapot-töltet viszont kevésbé állja útját a fűtési idényben általában belső térből külső irányba vándorló párának. E két eltérő hőszí-



5. ábra – Expandált polisztirolhabbal (EPS) és ásványgyapattal (MW) töltött falazóblokkokból készített falsarok-kialakítások kétdimenziós, kapcsolt hő- és nedvességtranszport-szimulációja

puló számítási eljárást közül. A szintén hatályos hő- és nedvességtechnikai viselkedésről szóló, harmonizált MSZ EN ISO 133788:2013 szabvány szintén egy egyszerű, Glaser-módszeren alapuló megoldást mutat be, amelyben a számításokat immáron

figyelembevételével is tudjuk vizsgálni az épületszerkezeteinket és a hőhidakat.

Az épületszerkezeten belüli hőhidak (vagy akár nedvességhidak) hatásának elemzéséhez tehát ez az utóbbi szabvány szerinti numerikus szimulációk elké-

getelő töltet tehát akár az épület nedvességgazdálkodását, akár pedig a bentlakók hőérzetét és komfortját is eltérően befolyásolhatja.

Dr. Nagy Balázs