

# Hőszigeteléssel töltött falazóblokkok hőtechnikai és állagvédelmi vizsgálata

Ahhoz, hogy a tervezett épülethatároló szerkezet megfeleljen a 2018 óta hatályos „költsoptimalizált” épületenergetikai követelményeknek [1], kiemelkedő hőszigetelő képességű épületburkot kell terveznünk. Jelentős mértékű hőszigetelés alkalmazása esetén az épületszerkezetek viselkedése a megszokottól eltérhet, és akár állagvédelmi problémák is felmerülhetnek.

**A ZONBAN SEM** a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet, sem pedig a tanúsításról szóló 176/2008 (VI. 30.) Kormányrendelet [2] nem írja elő az energetikai tanúsítás tekintetében az állagvédelmi, illetve pára- és nedvességtechnikai vizsgálatok kötelező szükségességét. Ha a tervezési szabványokat nézzük, az épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításáról szóló hatályos MSZ 24140 szabvány [3] 4. fejezete a nedvességtechnikai-állagvédelmi számításokról szól, ám ez a szabvány is csupán egy állandósult állapotbeli, egydimenziós, grafoanalitikus, Glaser-módszeren alapuló számítási eljárást közöl. A szintén hatályos, épületek és épületszerkezetek hő- és nedvességtechnikai viselkedéséről szóló MSZ EN ISO 13788 szabvány [4] szintén a Glaser-módszert alapul vevő megoldást mutat be. E szabvány szerint elvégezve az állagvédelmi számításokat, immár akár havi bontásban is megállapíthatjuk egy egydimenziós(nak egyszerűsített) épületelem esetén a kritikus felületi nedvességet, és a szerkezeten belüli páralecsapódást megelőző belső felületi hőmérsékletet. A tapasztalat szerint a hazai, épületszerkezeti és épületenergetikai tervezéssel foglalkozó szakemberek szinte kivétel nélkül e két szabvány valamely eljárása szerint ellen-

őrzik a határolószerkezetek állagvédelmi megfelelőségét, mivel az e szabványok szerinti „egyszerűsített” számítások találhatóak meg a hazai fejlesztésű energetikai számításokra alkalmas szoftverekben (Auricon EnergetiC, Winwatt).

Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a szabványokban szereplő egyszerű grafoanalitikus módszer alapvetően

nedvességkapacitása sem. Azonban ezek az egyszerűsítések a jelenleg alkalmazott épülethatároló szerkezeteinknél egyáltalán nem állnak fenn, emiatt a valóságot lényegesen jobban közelítő módszer alkalmazására lenne szükség.

Az alacsony és közel nulla energiaigényű épületek kiemelkedően hőszigetelt határolószerkezeteinek káro-

sodásmentes és valóban energiahatékony kialakítását az új határolószerkezetek megfelelő együttes hő- és nedvességtechnikai tervezése garantálhatja [6]. A kapcsolt hő- és nedvességtranszport (*Heat and Moisture, HAM*) számításokat immáron *számítógépes numerikus szimulációval* kell elvégeznünk, melyekhez alkalmazhatunk külön erre a célra kifejlesztett (pl. WUFI, Delphin) vagy multifizikai szimulációkat lehetővé tévő (pl. Comsol) szoftvereket.

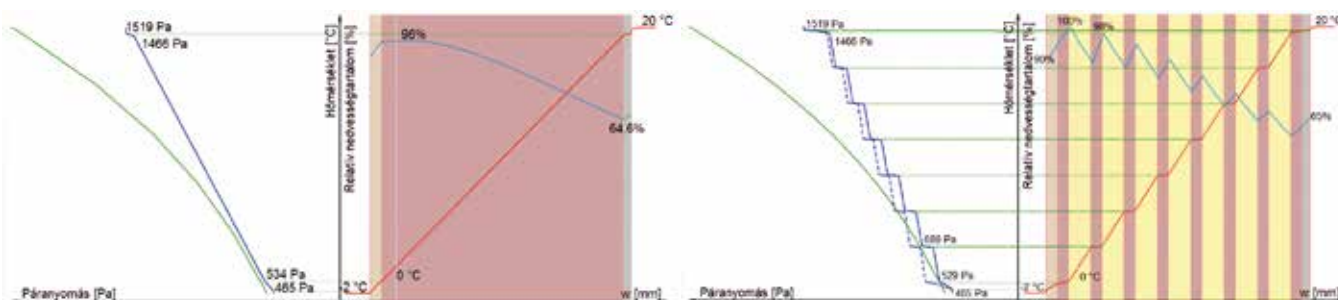
A hő- és nedvességvándorlás numerikus szimulációval

történő számítását az MSZ EN 15026 [7] szabályozza. A szabványban közzétett eljárást felhasználva dinamikusan (akár órás bontásban), továbbá az anyagok hő- és nedvességkapacitásának, valamint a páradiffúzió mellett a folyadéktranszport figyelembevételével is tudjuk vizsgálni az épülethatároló szerkezeteket, és számolni tudunk a az őket érő külső- és belső környezeti hatásokkal is (lásd **1. ábra**).



**1. ábra:** Határolószerkezetet érő hő- és nedvességhatások [6]

könnyűszerkezetű épületszerkezetek állagvédelmi vizsgálatára készült az 1950-es évek végén [5], melyet hűtőházak szerelt falainak analizálására alkotott meg Glaser. Ilyen esetekben valóban jó közelítéssel állandónak tekinthető a könnyűszerkezetes fal két oldalán fennálló hőmérséklet, mivel nem éri csapadék vagy napsugárzás a szerkezetet, valamint nem túl jelentős a szerkezetek hő- és



**2. ábra:** Egydimenziós páratechnikai vizsgálat: a falazóblokkot katalógusadataival egy réteggént (balra), illetve rétegenként (jobbra) figyelembe véve

A hő- és nedvességtranszport egyidejű figyelembevétele az állagvédelmi vizsgálatok mellett a valós hőtechnikai viselkedést is lényegesen jobban közelíti, mivel a szimulációkban számolni tudunk azzal, hogy az anyagtulajdonságok módosulnak a nedvességtartalmuk és a hőmérséklet változásával. Ebből következően a dinamikus szimulációval végzett, teljes körű hő- és nedvességtechnikai vizsgálat elvégzéséhez jelentősen több bemenő adat ismeretére van szükségünk, mint az egyszerűsített módszerekhez. Míg egy grafoanalitikus páratechnikai vizsgálatot az adott rétegrendben szereplő anyagok hővezetési tényezőjének és páradiffúziós ellenállási számának ismeretében elvégezhetünk, addig egy HAM szimulációhoz ismernünk kell ezeken túl az anyagok testsűrűségét, fajhőjét, szorpciós izotermáját és folyadéktranszport-tényezőjét is, természetesen a releváns esetekben a hőmérséklet- és nedvességtartalom függvényében.

Az előbbiekben bemutatott módszereket a következőkben egy közetgyapot hőszigeteléssel töltött falazóblokkokból készült falazat vizsgálatán keresztül fogjuk bemutatni. A hőszigeteléssel töltött falazóblokkok a szigorodó épületenergetikai követelmények megjelenésével az utóbbi időben kezdtek elterjedni hazánkban is, azonban történetük lényegesen régebbre datálható [8]. Könnyen belátható, hogy a könnyűszerkezetes szerelt falszerkezetekhez képest ezek a falszerkezetek jelentős hő- és nedvességkapacitással bírnak, ráadásul külső oldaluk csupán az alkalmazástechnikailag előírt 2 cm-nyi hőszigetelő vakolattal van elválasztva az időjárás viszontagságaitól. Míg egy utólagosan külső hőszigetelő rendszerrel ellátott homlokzati falszerkezet esetén a hőszigetelés állagromlás esetén javítható vagy újra elkészíthető, addig a falazóblokkokban gyárilag elhelyezett

hőszigetelés esetén nincs módunk semmilyen utólagos javításra. A falazatnak (és praktikusán az épületnek) a teljes tervezett élettartam alatt megfelelően kell működnie, ezért kiemelt fontosságú, hogy a falazóblokkok tartósak legyenek, valamint hő- és nedvességtechnikai szempontból megfelelően teljesítsenek az adott körülmények között. A bonyolult, egydimenziós állapotban nehezen vizsgálható inhomogén belső szerkezetük miatt viszont a hőszigeteléssel töltött falazóblokkok kihívás elé állítják az állagvédelmi vizsgálatot elvégezni kívánó tervezőket, mivel a hagyományos egydimenziós módszerek számos esetben páratechnikai problémát jeleznek.

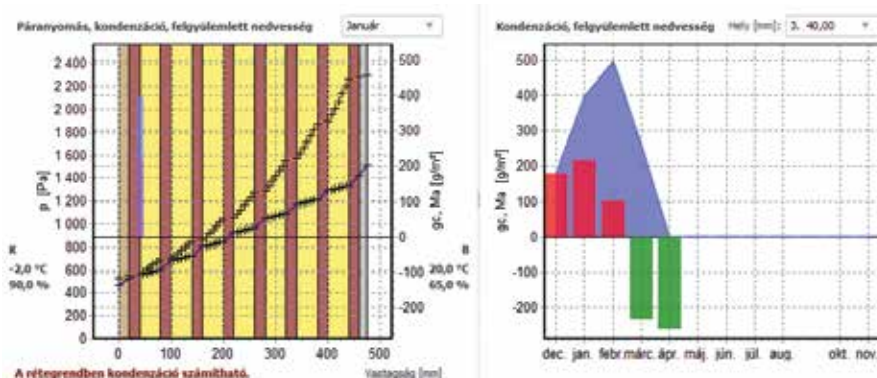
### Egyszerűsített módszerekkel végzett számítások

Az egyszerűsített, állandósult állapotbeli páratechnikai vizsgálatot először egy általunk kiválasztott, 44 cm vastagságú referencia falazóblokk katalógusadatai alapján végeztük el. A falazóblokkokra 2 cm hőszigetelő külső vakolat és 1,5 cm belső vakolat került. A katalógusadatokkal történő számítás hátránya, hogy a teljes falazóblokkot egy homogén és izotróp szerkezetként tudjuk csak figyelembe venni, azaz nincs lehetőségünk a falazóblokkon belüli hőszigetelés és égetett kerámia elkülönítésére. Könnyen belátható, hogy e két anyag épületfizikai tulajdonságai jelentősen eltérnek egymástól, ezért az együttes, átlagos modellezésük nem adhatja vissza a falazóblokkok valós viselkedését sem. A falazóblokkot elmetaszve és rétegenként modellezve is elvégeztük az egydimenziós páratechnikai számítását. Ez esetben a modell hiányossága, hogy a metszetben nem szereplő belső távtartók, illetve a falazóelem nűtfédes kapcsolatait figyelmen kívül kell hagynunk. Az anyagtulajdonságokat (égetett kerámia és közetgyapot hőszige-

telés) ez esetben a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének Épületfizika laboratóriumában mértük meg [9]. A két, előbbiekben említett vizsgálat összehasonlítása látható a **2. ábrán**. Az ábrák jobb oldalán látható a falszerkezet és a bennük kialakuló hőmérséklet (*piros*), illetve relatív nedvességtartalom (*zöld* és *sötétkék*), míg bal oldalon a telítési (*zöld*) és parciális (*sötétkék*) párányomásgörbék találhatók. A vizsgálatokat -2 °C külső és 20 °C belső hőmérsékletre, valamint 90%-os külső és 65%-os belső relatív nedvességtartalomra végeztük el az Auricon EnergetiC szoftver alkalmazásával, az MSZ 24140 szabvány szerkezetben belüli páralecsapódás-vizsgálatának előírása alapján.

A **2. ábrát** megfigyelve jelentős különbségeket láthatunk a két egydimenziós modell eredményei között. Míg homogen szerkezetként modellezve a vizsgált környezetben nem tapasztalunk nedvességkondenzációt a szerkezetben, addig rétegenként figyelembe véve a falazóblokkot, a külső hőszigetelő rétegben a relatív nedvességtartalom eléri a 100%-ot és páralecsapódás áll fenn. Ráadásul a külső hőszigetelő rétegben a hőmérséklet 0 °C alatti, ezért a lecsapódott pára meg is fagyhat! Ha a vizsgálatot -2 °C külső hőmérséklet helyett -5 °C-ra végezzük el (ez az MSZ 24140 szabvány által a felület állagvédelmi ellenőrzésére előírt külső hőmérséklet), mindkét modell esetén páralecsapódás áll fenn. Az MSZ 24140 szabványban közölt módszerrel vizsgálva komoly fejtörést okozhat tehát a közetgyapattal töltött falazóblokk állagvédelmi ellenőrzése, mert *a megfelelőséget nem tudjuk minden esetben garantálni*.

Vizsgáljuk meg, hogy az MSZ EN ISO 13788 havi bontású módszere alapján milyen eredményt kapunk! A számításokat ezúttal is Auricon EnergetiC szoftver alkalmazásával végeztük el, a környezeti



3. ábra: Rétegenként figyelembe vett havi bontású egydimenziós páratechnikai vizsgálat

állapotokat az MSZ 24140 szabvány A1 táblázata alapján havi bontásban vettük fel. Az eredményeket áttekintve megállapítható, hogy a téli hónapokban a falazóblokk külső oldalának legszélső hőszigetelő rétegében páralecsapódás várható. A harmonizált szabvány előnye továbbá, hogy alkalmazásával a felgyülemlett nedvesség mennyisége is havi bontásban határozható meg, mely vizsgálat alapján látható, hogy a külső hőszigetelő rétegben decembertől februárig felgyülemlett nedvesség várhatóan május hónapra teljesen kiszáradhat (lásd 3. ábra).

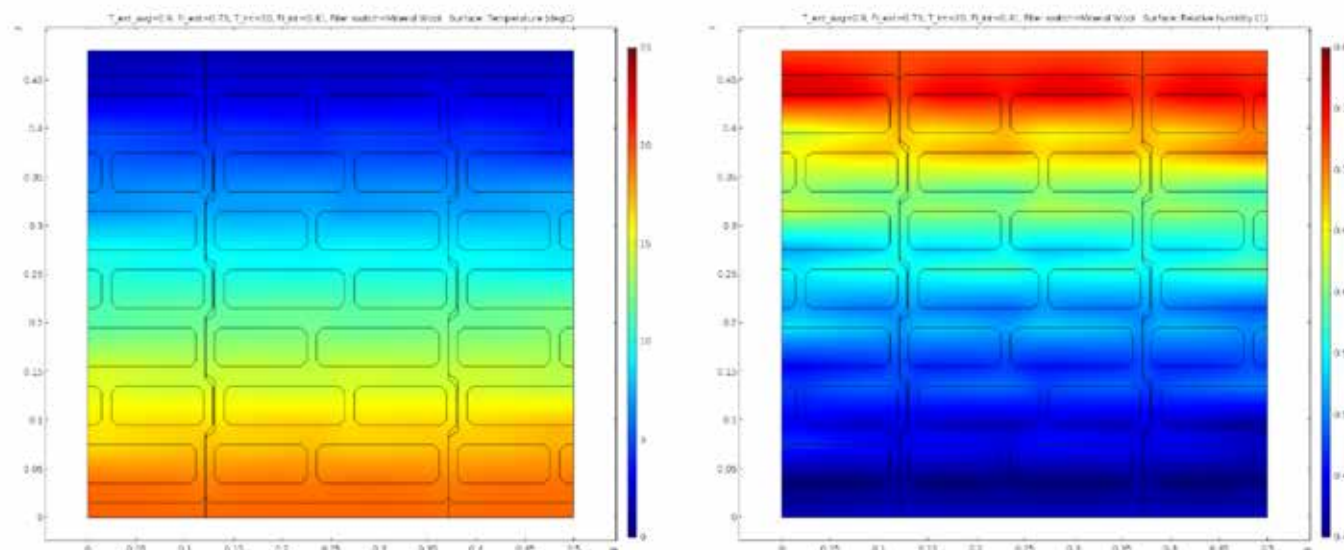
Bár az eredmény az előbbieknél biztatóbb, azonban a téli hónapokban történő kondenzáció miatt a tervezőben felmerülhet, hogy inkább elkerüli a falazóblokk alkalmazását, és a bevált, biztonságos megoldásokat választja. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az előbbieken bemutatott szimplifikált módszerek a bevezetőben közölt egyszerűsítések miatt valóban csak korlátozottan tudják

modellezni a valóságot és a falazóblokkok nedvességtechnikai viselkedését. Ezért folytassuk az ellenőrzést kapcsolt hő- és nedvességtranszport egyidejű modellezését lehetővé tevő módszerek alkalmazásával!

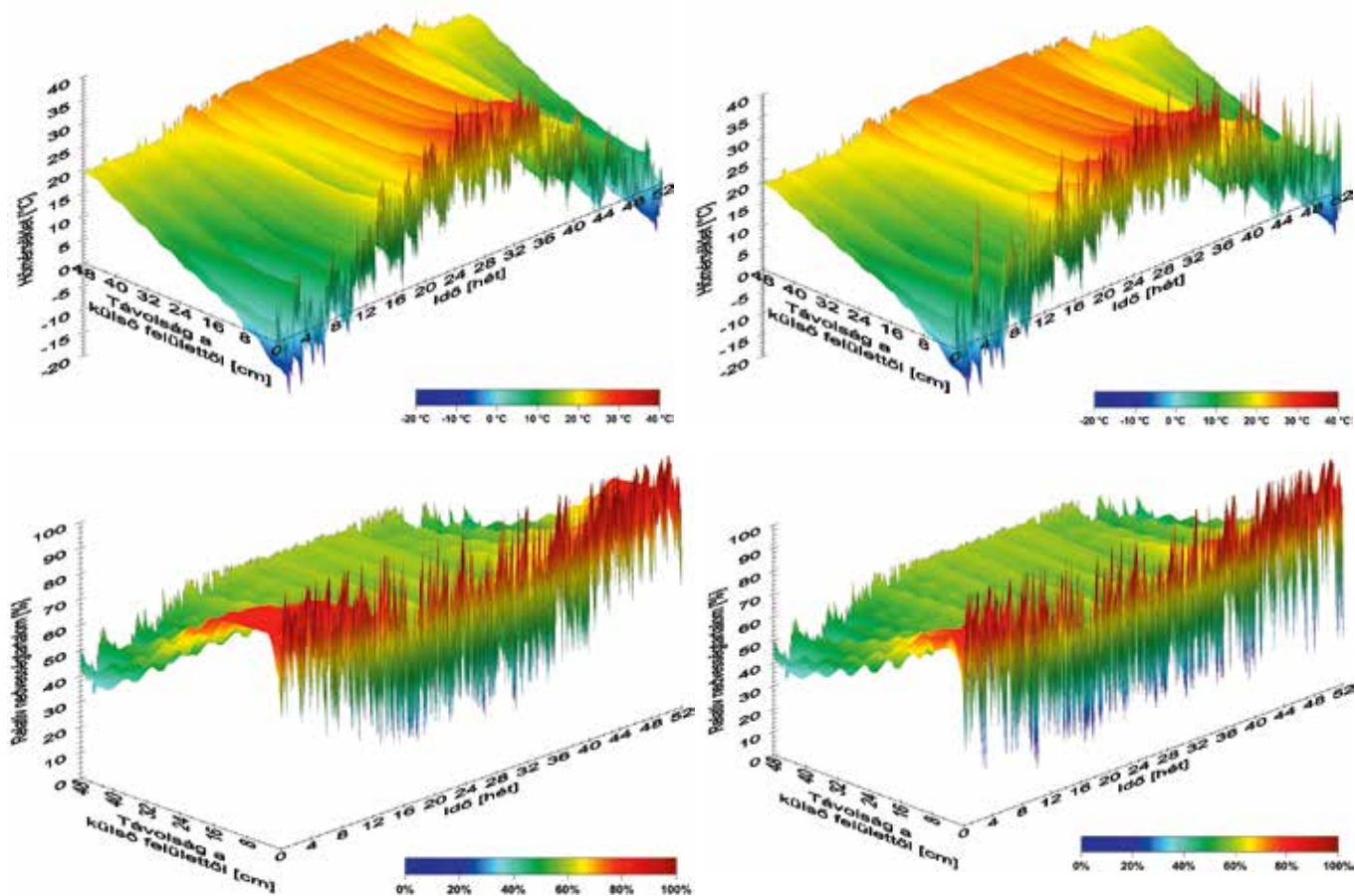
### Kapcsolt hő- és nedvességtranszport (HAM) modellezés

A kőzetgyapattal töltött falazóblokkból készülő falszerkezetet a HAM modellezéshez vízszintes metszetben, két dimenzióban modelleztük (lásd 4. ábra), Comsol Multiphysics végeeselemes szoftverkörnyezetben. Ez esetben tehát figyelembe tudtuk venni a falazóblokk valós kialakítását, a hőszigetelő töltetek elhelyezkedését, a belső távtartók és a nutfédes falazóblokkok közötti kapcsolat hő- és nedvességtechnikai hatásait is. A szimulációkat immáron valós, órás bontású sokévi átlagok alapján generált Meteoronorm klímafájl alkalmazásával készítettük el, budapesti külső környeze-

tet feltételezve, míg a belső hőmérsékletet és relatív nedvességtartalmat az MSZ EN 15026 szabványban közölt módon a külső hőmérséklet- és nedvességállapotok függvényében vettük fel. A dinamikus szimuláció mellett havi bontásban is elkészítettük a számításokat, állandósult állapotot feltételezve, valamint csak hőtechnikai szimulációt is végeztünk, mely során a nedvességtranszportot és annak hatásait egyáltalán nem vettük figyelembe. A legfontosabb különbség az állandósult állapotbeli havi (4. ábra) és teljes, éves lefutású órás bontású dinamikus szimuláció (5. ábra) között, hogy előbbi esetén csupán a hőmérsékletet és relatív nedvességtartalmat tudjuk figyelembe venni, utóbbi esetben azonban a tájolás és az ebből következő eltérő nap-sugárzás, illetve a szél és csapóeső határait is modelleztük. Állandósult állapotbeli szimuláció esetén kutatásaink során végeztünk *csak hőtechnikai* (melyben csak hőmérsékletfüggő anyagtulajdonságokat alkalmaztunk), *kapcsolt hő- és nedvességtechnikai*, valamint olyan kapcsolt hő- és nedvességtechnikai szimulációkat, melyekben *elhagytuk az evaporáció hatásait*, ezáltal a nyári állapot is érdemben kiértékelhetővé vált. Az eltérő fizika és környezeti peremfeltételek miatt eltérő hőmérséklet- és nedvességtartalmakat kaphatunk a szerkezeteken belül, mely azok hőátbocsátási tényezőjét is jelentősen befolyásolhatja. Az állagvédelmi vizsgálatokon túl elemeztük tehát az állandósult állapotbeli és a dinamikus szimulációval égtájanként meghatározott hőátbocsátási tényezőket is.



4. ábra: HAM szimuláció január hónap budapesti átlagos környezeti állapotait figyelembe véve



5. ábra: Dinamikus HAM szimulációval kapott órás bontású hőmérséklet és relatív nedvességtartalmak a falszerkezeten belül északi (bal) és déli (jobb) tájolás esetén

Az 5. ábrán láthatjuk, hogy eltérő égtájak szerinti tájolás figyelembevételével a közetgyapottal töltött falazóblokk külső harmada jelentősen eltérő hőmérséklet és relatív nedvességtartalmakat kaphatunk. A külső felülethez közeli zónákban északi tájolás esetén kissé nagyobb relatív nedvességtartalmak és kisebb hőmérsékletek alakulnak ki, mivel az ilyen tájolású felületeket nem éri direkt napsugárzás, ami felmelegítené és szárítaná a szerkezetet. Megfigyelhető emellett az is, hogy a 80% körüli relatív nedvességtartalom a téli hónapokban akár a falazóblokkok külső harmadában is jelen lehet. Továbbá budapesti klíma mellett a mértékadó szélirány nyugati-északnyugati, ami azt jelenti, hogy ebben az irányban jelentősebb a felületek hőátadási tényezője (mivel a hőátadási tényező a szélesség növekedésével szintén növekszik), és a csapóesők is nagyobb mértékben vannak kitéve.

### Állagvédelmi vizsgálat dinamikus szimulációval

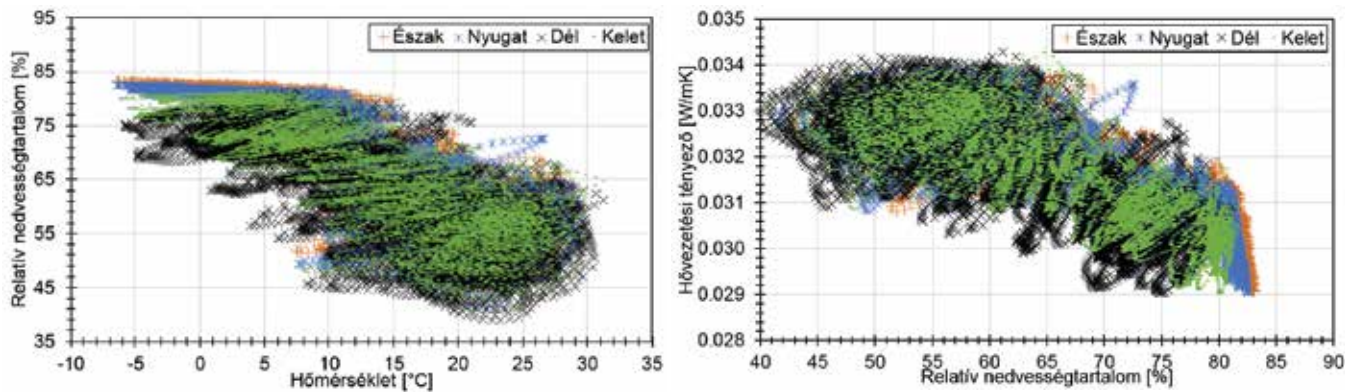
A dinamikus szimuláció eredményeit tekintve megállapítható, hogy 100%-os relatív nedvességtartalom budapesti klíma mellett nem alakul ki a falazóblokk-

okban. Láthatjuk továbbá azt is, hogy a falazóblokkon belüli legkülső hőszigetelő rétegben kialakuló minimum hőmérséklet égtáj függvényében  $-5,8\text{ °C}$  és  $-6,4\text{ °C}$  között alakul, azaz a külső hőszigetelő réteg télen megfagyhat. Ahhoz, hogy megbizonyosodjunk róla, hogy a fagyás nem okoz károsodást, az állagvédelmi megfelelést vizsgálhatjuk a határoló szerkezetben található anyagokban bekövetkező fagyás-olvadási ciklusok száma szerint [10], valamint a fagyás pillanatában a hőszigetelő rétegben található nedvességtartalom alapján. A 6. ábrán láthatóak a hőszigetelő rétegben egy év leforgása alatt előforduló átlagos hőmérsékletek és relatív nedvességtartalmak. Megfigyelhető, hogy a legalacsonyabb hőmérséklet mellé társuló legmagasabb relatív nedvességtartalmak az északi tájolású határoló szerkezetben találhatóak. A fagyás-olvadási ciklusok számát tekintve északi tájolás esetén 20, keleti és nyugati tájolás esetén 19, míg déli tájolás esetén 18 történik egy évben. A fagyás pillanatában az átfagyó hőszigetelés nedvességtartalma nem kritikus, ezért amennyiben a hőszigetelés megfelelő minőségű, nem történik jelentős állagromlás a fala-

zóblokk szempontjából. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a nedvességtartalom emelkedésével a közetgyapot hőszigetelés tekintetében előfordulhat a hőtechnikai [11] vagy mechanikai [12] tulajdonságok romlása, ezért például a hőszigetelés kötőanyagának megfelelése (pl. polimerizációjának hiánytalansága) fontos, melyre a gyártóknak különös figyelmet kell fordítaniuk!

### Hővezetési tényező változása

A 6. ábrán a relatív nedvességtartalom függvényében mutatjuk a legkülső hőszigetelő réteg hővezetési tényezőjét. Látható, hogy az értékek  $0,029\text{ W/mK}$  és  $0,0345\text{ W/mK}$  között változnak a hőszigetelés pillanatnyi hőmérsékletének és nedvességtartalmának függvényében. A laboratóriumi mérések során a száraz állapotban,  $10\text{ °C}$ -on meghatározott átlagos hővezetési tényező  $0,031\text{ W/mK}$  volt, azaz előfordul olyan állapot, amikor a közetgyapot hővezetési tényezője több mint 11%-kal nagyobb, mint ha nem vettük volna figyelembe a hőmérséklet- és nedvességtartalom-változás hatásait. A fűtési időnyben, október 15. – április 15. között, égtájtól függően és



**6. ábra:** A külső hőszigetelő rétegben kialakuló órás bontású hőmérséklet és relatív nedvességtartalom állapotok előfordulása (balra), a relatív nedvességtartalmakhoz tartozó hővezetési tényezők (jobbra)

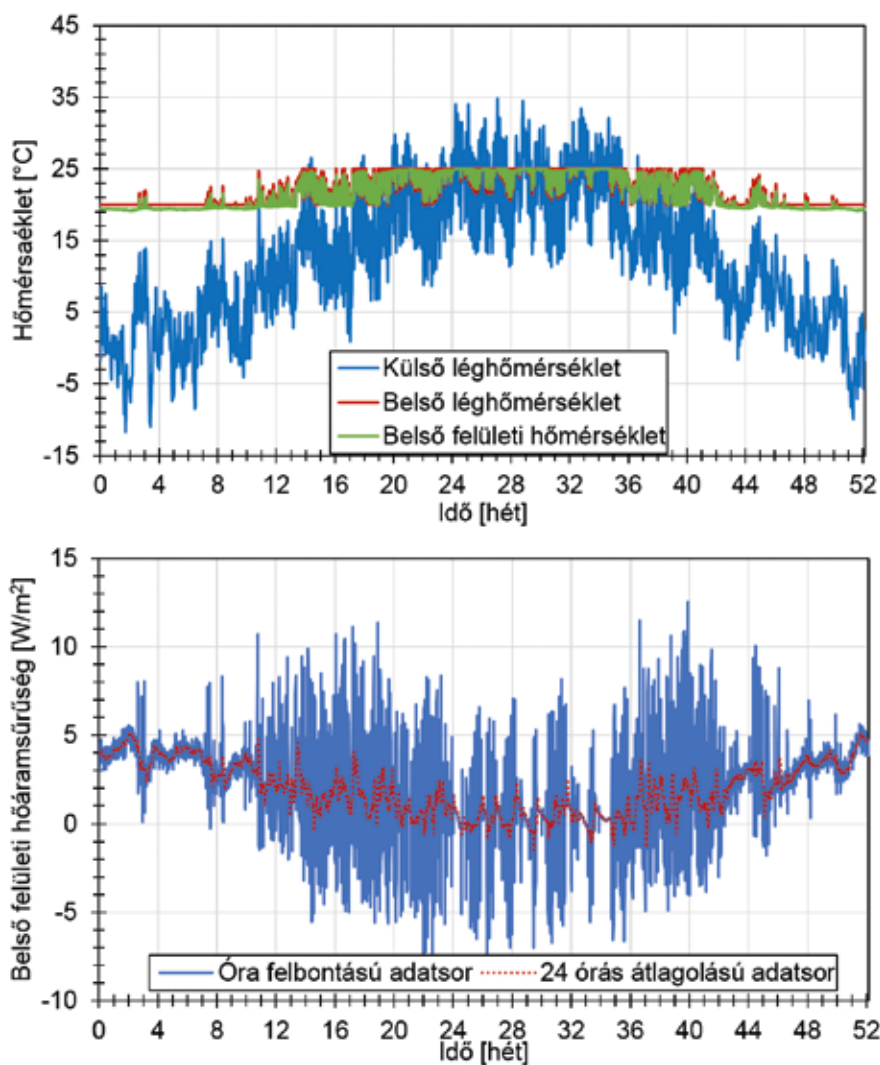
a teljes keresztmetszetben véve a közetgyapot hőszigetelő anyagot, átlagosan 1,6 – 1,9%-kal, míg *egész évben* vizsgálva 3,7 – 4%-kal számolhatunk a kiindulási hővezetési tényezőnél nagyobb értékekkel. A hőszigetelés, illetve természetesen a rétegendet alkotó többi anyag (ége-

tett kerámia, külső és belső vakolatok) hőmérséklet- és nedvességtartalomtól függő viselkedése miatt a falszerkezet hőátbocsátási tényezője is eltérő lesz az állandósult állapotban meghatározottaktól (állandó anyagtulajdonságok fel-tételezésével).

## Hőátbocsátási tényező meghatározása

Egy határolószerkezet pillanatnyi (pl. órai) hőátbocsátási tényezője meghatározható az adott órában a belső felületen mérhető hőáramsűrűség, illetve a külső és belső léghőmérséklet különbségének hányadosaként. A hőátbocsátási tényező függ az egyes anyagok hő- és nedvességtéchnikai tulajdonságaitól (és azok hővezetési tényezőre gyakorolt hatásaitól), valamint a felületi hőátadási tényezőktől, illetve azok környezeti körülmények vagy a szerkezeten belüli hő- és nedvességtartalom-eloszlások pillanatnyi változásától is. Ezáltal könnyen belátható, hogy hasonlóan ahhoz, ahogy a valós viselkedést dinamikus szimulációval modellezve a külső és belső környezet és az anyagtulajdonságok is óráról órára változnak, úgy egy határolószerkezet hőátbocsátási tényezője is óráról órára elétérő lehet.

A **7. ábrán** egy déli tájolású falszerkezet esetén ábrázoltuk a külső és belső léghőmérséklet alakulását (melyeket peremfeltételként definiáltunk a szimuláció során), valamint a szimuláció segítségével nyert kialakuló belső felületi hőmérsékleteket, illetve belső felületi hőáramsűrűségeket. Utóbbi érték jelentős változékonysága miatt a diagramon feltüntettük a 24 órás átlagos értékeket is. A pozitív hőáramsűrűség hőveszteséget (a belső térből kifelé irányuló hőáramot) jelent. Az **1. táblázatban** összefoglaltuk a vizsgálatunk során kapott hőátbocsátási tényezőket, melyeket a „katalógus” 0,16 W/m<sup>2</sup>K-es hőátbocsátási tényezőjéhez viszonyítva érdemes megfigyelnünk, hiszen azt a pusztán hőtechnikai szimuláció a fűtési idényben vissza is igazolta (a szimuláció során a hőmérsékletváltozás hatásait is figyelembe vettük, az eltérés ebből adódik).



**7. ábra:** Déli tájolású budapesti falszerkezet belső felületi hőmérséklete (bal), valamint belső felületi hőáramsűrűsége (jobb) az idő függvényében

	Állandósult havi, csak hőtechnikai szimuláció	Állandósult havi, HAM szimuláció evaporáció nélkül	Állandósult havi állapot, HAM szimuláció evaporációval	Dinamikus HAM szimuláció északi tájolással	Dinamikus HAM szimuláció nyugati tájolással	Dinamikus HAM szimuláció déli tájolással	Dinamikus HAM szimuláció keleti tájolással
<b>Éves átlag</b>	0.171	0.21	n.a.	0.197	0.190	0.167	0.18
<b>Fűtési idény</b>	0.167	0.195	0.223	0.23	0.224	0.204	0.215

1. táblázat: Hőátbocsátási tényezők alakulása a számítási módszer függvényében

A vizsgálat alapján kijelenthetjük, hogy az állandósult állapotbeli havi hőtechnikai, illetve HAM szimulációk között jelentős különbség van. Az épületek pontos modellezése szempontjából elkerülhetetlen a HAM szimulációk alkalmazása. Az éves átlagokat a fűtési idény időtartamára vett átlagokkal összehasonlítva kijelenthető, hogy jelentős különbség adódik a kettő között, ami leginkább a dinamikus szimulációk eredményeiben mutatkozik meg. Látható továbbá, hogy a budapesti éghajlaton az állandósult állapotbeli szimulációkkal vizsgált falazatok esetén az evaporációt is tartalmazó fűtési idényben mért érték *nem tér el jelentős mértékben* a dinamikus szimulációval kapott értéktől. A csak hőtechnikai szimulációval előállított hőátbocsátási tényező az éves átlag tekintetében (melyben a nyári hónapok hőátbocsátási tényezőit is figyelembe vettük) csak kis mértékben tért el a déli tájolású dinamikus szimulációval kapott értéktől, azonban *csak fűtési idényre vizsgálva* azt a különbség jelentősnek mondható. Megfigyelhető továbbá, hogy az északi tájolású falszerkezetek hőátbocsátási tényezője közel 13%-kal nagyobb fűtési idényben, mint a déli tájolású falszerkezeté, éves átlag tekintetében pedig közel 18%-os különbségről beszélhetünk. Az eltérő tájolású határolószerkezetek eltérő hőátbocsátási tényezőit az égtájanként különböző napsugárzás, szél, illetve csapóeső hatása okozza, melyet a tervezés során az eredmények tükrében érdemes figyelembe venni. Látható, hogy a fűtési idényben a vizsgált szerkezetre a „katalógusértékhez” képest akár 44%-kal magasabb hővezetési tényezőt is kaphatunk, ha figyelembe vesszük a környezeti hatásokat, valamint az anyagok hő- és nedvességtechnikai viselkedését is!

## Összegzés és megállapítások

Cikkünkben bemutattuk egy kőzetgyapot hőszigeteléssel töltött falazóblokk számos eltérő, de szabványos módszerrel elvégzett hő- és nedvességtechnikai

állagvédelmi vizsgálatait. Megállapítottuk, hogy az egyszerűsített grafoanalitikus módszerekkel szemben a falszerkezetet budapesti éghajlaton dinamikus szimulációval vizsgálva a falazóblokk tekintetében páratechnikai probléma nem áll fenn. Kijelenthető továbbá, hogy a falszerkezet hőtechnikai teljesítőképessége a csak hőtechnikai megközelítésű vizsgálatokkal kapható értékeknél kedvezőtlenebb, a falszerkezet hőátbocsátási tényezőjét jelentős mértékben befolyásolja a természetes nedvességtartalom változásának figyelembevétele. Mint látható volt, a hőátbocsátási tényező égtájanként változó értéket vesz fel, az északi és déli tájolás esetén jelentős különbségek adódhatnak, melyek ezáltal számottevően befolyásolhatják az épületek hőveszteségét is. Javasolt tehát a dinamikus HAM szimuláció alkalmazása mind a határolószerkezetek állagvédelmi, mind pedig a hő- és nedvességtechnikai vizsgálatok esetén.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében. ■

## Irodalomjegyzék

- [1] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, <http://www.njt.hu>
- [2] 76/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról, <http://www.njt.hu>
- [3] MSZ 24140:2015 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai
- [4] MSZ EN ISO 13788:2013 Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A kritikus felületi nedvességet és a szerkezeten belüli páralecsapódást megelőző belső felületi hőmérséklet. Számítási módszerek (ISO 13788:2001)

- [5] Glaser H., Wärmeleitung und Feuchtigkeitsdurchgang durch Kühlraumisolierungen. Kältetechnik 3, pp. 86-91, 1958.
- [6] Nagy B., Szagri D., Tóth E., Dinamikus hő- és nedvességtranszport szimulációk alapjai. Megtérülő Épületenergetika IV(1), pp. 33-39, 2017.
- [7] MSZ EN 15026:2007 Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A nedvességvándorlás becslése numerikus szimulációval
- [8] Bozsaky D., Építési Hőszigetelő Anyagok. Terc Kft., 2017.
- [9] Nagy B., Tóth E., Hygrothermal behaviour of hollow and filled ceramic masonry blocks. RILEM Proceedings PRO 112: Moisture in Materials and Structures. pp. 279-288, 2016.
- [10] Ruisinger, U., Grunewald, J., Feuchteatlas zur Vermeidung Planungsbedingter Feuchteschäden. TU Dresden, 2009.
- [11] Nagy B., Simon T.K., Energy and hygrothermal performance of built-in mineral wool thermal insulations. MATEC Web of Conferences 163. p. 08001, 2018.
- [12] Simon T.K., Mlinárik L., Vargha V., Effect of water vapor on the compressive strength of a mineral wool insulation board. Journal of Building Physics 39, pp. 285-294, 2015.



### Nagy Balázs

szerkezet-építőmérnök MSc, épületenergetikai szakmérnök, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék



### Dr. habil. Stocker György

docens, tanszékvezető helyettes, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék