

## Hőszigetelő anyagokkal töltött falazóblokkok többdimenziós kapcsolt hő- és nedvességtranszport vizsgálata

### Multi-dimensional heat- and moisture transport analysis of masonry blocks filled with thermal insulations

*NAGY Balázs<sup>1</sup>, doktorandusz*  
*Dr. TÓTH Elek DLA<sup>1</sup>, címzetes egyetemi tanár*

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K.I.85., Magyarország, <http://www.em.bme.hu>  
[nagy.balazs@epito.bme.hu](mailto:nagy.balazs@epito.bme.hu), [toth.elek@epito.bme.hu](mailto:toth.elek@epito.bme.hu)

*This study deals with heat and moisture migration problems within thermal insulation filled masonry blocks. The aim of the research is to analyse a 44 cm thick ceramic masonry block using different filler materials, such as stone wool, expanded perlite, polyurethane foam, aerogel and air. The comparison based on steady-state multi-dimensional conjugated heat- and moisture transport simulations of the blocks, in which case the material properties are set from operative standards.*

*Kutatásunkban a hőszigetelő anyagokkal töltött falazóblokkok hő- és páratechnikai kérdéskörével foglalkozunk. Jelen cikkünkben egy 44 cm-es kerámia falazóblokkot vizsgálunk különböző töltetekkel: kőzetgyapottal, expandált perlittel, poliuretánhabbal, aerogéllal és levegővel. A falazóblokkok összehasonlítását állandósult peremfeltételek melletti többdimenziós kapcsolt hő- és nedvességtranszport szimulációk segítségével, a hatályos szabványos anyagtulajdonságokkal végeztük.*

Épületfizika, numerikus szimuláció, hő- és páratechnika, hőszigetelés, falazóblokkok.

## 1. BEVEZETÉS

Napjaink egyre inkább energiatudatos és komfort szemléletű építészete a hagyományos építőanyagok és építőelemek fejlesztését is szükségessé teszi. A kerámia falazóblokkok, mint építőelemek azonban évezredek óta velünk vannak, de a 19. században váltak az egyik legelterjedtebb megoldássá az építésben az iparosított gyártástechnológia és tömegtermelésük révén. A 20. században az új gyártástechnológiák lehetővé tették, hogy a téglák tömege csökkenhessen, manapság például faforgácsot, mely az égetés után pórusokat alkot a kerámiában, ezzel csökkentve a testsűrűséget, és javítva a hőtechnikai tulajdonságokat.

A kerámiák testsűrűségét azonban szilárdsági okokból nem lehet egy ponton túl tovább csökkenteni. A falazóblokkok tömegét ezért üregekkel csökkentették tovább, mely miatt egy falazóblokkra kevesebb agyagszükséglet jutott, valamint a téglák hőszigetelő képessége is tovább javult. A falazóblokkok tömegcsökkenése miatt egyre nagyobb méretben lettek kezelhetőek a kőművesek számára. Az 1970-es évekbeli olajválság rávilágított az energiatudatos építési megoldások szükségességére is, amely további fejlesztéseket eredményezett a falazóblokkok esetén is. Elkezdődött az energiatudatos tervezés a „hő útjának” növelésével. Ez a tervezési elv a mai napig megmaradt az iparban, és még a mai modern falazóblokkok fejlesztése esetén is általában a kézzel, geometriai alapon történő tervezés a bevett gyakorlat. A falazóblokkok geometriája, valamint a kerámia hőtechnikai tulajdonságai viszont szintén korlátot jelentenek. Napjaink épületenergetikai követelményeinek való megfelelést egyre nehezebben lehet megoldani pusztán falazóblokkok alkalmazásával, kvázi-homogén kialakítású falazatokkal. A gyártók megtalálták azonban a piaci rést és hőszigetelő anyagokkal töltött téglákat kezdtek el fejleszteni, valamint forgalmazni. A hőszigetelő anyagokkal töltött üregek ugyanis lényegesen jobb hőtechnikai tulajdonságokkal rendelkeznek, mintha az üregekben levegő lenne. Bár a

mozdulatlan levegő hővezetési tényezője igen alacsony ( $\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$ ), azonban a téglák üregeiben a levegő áramlik ( $\lambda_{\text{ekv}} = 0,06-0,27 \text{ W/mK}$ ) a hőszigetelő anyagokkal töltött üregek kedvezőbbnek bizonyulnak. Jelenleg különböző gyártók eltérő hőszigetelő anyagokkal töltik a falazóblokkjaikat, előfordulnak expandált polisztirolhabbal ( $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ ), kőzetgyapottal ( $\lambda = 0,036$ ) és duzzasztott perlitel ( $\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ ) töltött téglák is. Az iparban még együttesen nem alkalmazzák a falazóblokkok geometriai és a töltetek, valamint a kerámia anyagának egymásra gyakorolt kölcsönhatásának vizsgálatát, együttes optimalizálását.

Kutatásunkban a legelterjedtebb töltött égetett agyag falazóblokk geometriát alapul véve vizsgáljuk az előbbieken felsorolt anyagokon túl a PUR hab ( $\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$  és az aerogél ( $\lambda = 0,012 \text{ W/mK}$ ) hatását a falazóblokkok egyenértékű hővezetési tényezőjének szempontjából. Továbbá elemezzük az egyes falazóblokkok két jellemző helyen felvett vonal menti hőmérséklet- és relatív nedvességtartalom eloszlását. A kutatás során hőmérséklet és nedvességfüggő nem-lineáris anyagtulajdonságokat alkalmazunk a hatályos MSZ EN ISO 10456:2008 szabvány alapján.

## 2. KAPCSOLT HŐ- ÉS NEDVESSÉGTRANSPORT

### 2.1. Megoldandó parciális differenciál egyenletek

A kapcsolt hő- és nedvességtransport probléma numerikus megoldását a következő parciális differenciálegyenletekkel írhatjuk fel [1] alapján, melyek közül az (1)-es a hőtransportot, míg a (2)-es a nedvességtransportot írja le:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\lambda \nabla T) + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p_v}{\partial t} + \nabla \cdot (-D \nabla p_v) + \mathbf{u} \cdot \nabla p_v = 0 \quad (2)$$

Ahol  $\rho$  a testsűrűség ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_p$  a fajlagos hőkapacitás ( $\text{J/kgK}$ ),  $\lambda$  a hővezetési tényező ( $\text{W/mK}$ ),  $T$  a termodinamikai hőmérséklet ( $\text{K}$ ),  $t$  az idő ( $\text{s}$ ). Továbbá  $p_v$  a parciális párányomás ( $\text{Pa}$ ),  $D$  a nedvességtransport tényező ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) és  $\mathbf{u}$  a sebességtér ( $\text{m/s}$ ). A vizsgálatok során csak a páradiffúziót vesszük figyelembe, ezért a nedvességtransport tényező [3] alapján a következő:

$$D = p_{v,\text{sat}}(T) \cdot \delta_{\text{air}} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{w(rH)} \quad (3)$$

Ahol  $p_{v,\text{sat}}$  a hőmérsékletfüggő telítési párányomás ( $\text{Pa}$ ),  $\delta_{\text{air}}$  a levegő páradiffúziós tényezője ( $\text{kg/msPa}$ ),  $\mu$  a páradiffúziós ellenállási szám (-),  $w$  pedig az adott relatív nedvességtartalom melletti víztartalom ( $\text{kg/m}^3$ ).

### 2.2. Peremfeltételek

Megkötésként hőáram peremfeltételt alkalmaztunk, melyet a következő egyenlettel adunk meg:

$$\mathbf{n} \cdot (\lambda \nabla T) = (h_c + h_r)(T_{\text{inf}} - T) \quad (4)$$

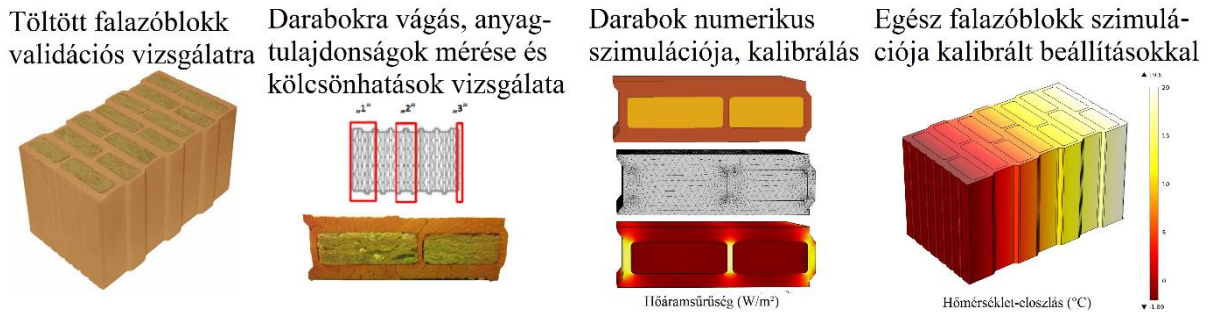
Ahol  $h_c$  a konvektív, míg  $h_r$  a sugárzásos hőátadási tényező ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány alapján számítva.  $T_{\text{inf}}$  felület melletti léghőmérsékletet a belső oldalon  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ , a külső oldalon  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ -nak adtuk meg az MSZ 24140:2015 alapján. A vonatkozó szakirodalom [1, 2 és 4] alapján a páraáram peremfeltételét a következő képlettel írhatjuk le:

$$\mathbf{n} \cdot (D \nabla p_v) = \beta_p h_c (p_{v,\text{inf}} - p_v) \quad (5)$$

Ahol  $\beta_p$  konstans ( $7,7 \cdot 10^{-9}$ ) a konvektív hőátadási tényező és a páraátadási tényező közötti kapcsolatot írja le,  $p_{v,\text{inf}}$  pedig a környezeti párányomás, belső oldalon  $0,65 \cdot p_{v,\text{sat}}$ , külső oldalon pedig  $0,9 \cdot p_{v,\text{sat}}$  a hatályos MSZ 24140:2015 szabványból következően.

### 3. NUMERIKUS SZIMULÁCIÓS MODELLEZÉS

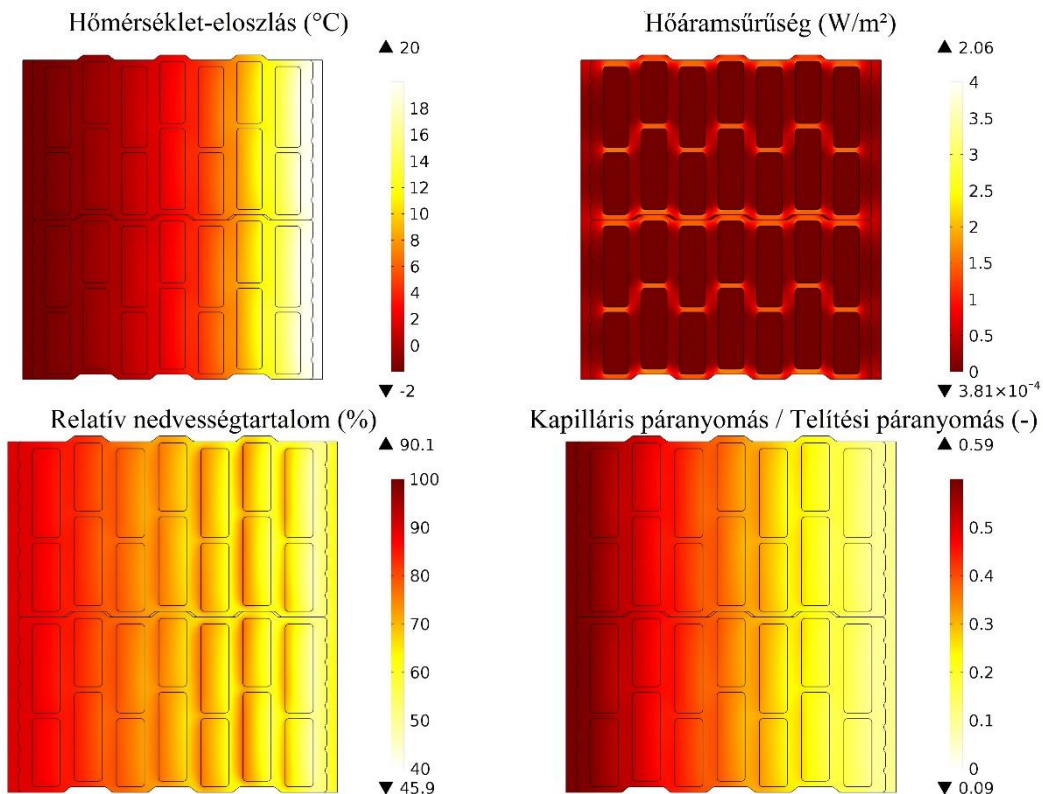
A töltött falazóblokkok numerikus modellezése során fontos az egyes anyagok kölcsönhatásának vizsgálata, és a megváltozott anyagtulajdonságok visszavezetése a numerikus modellbe, azaz a modell kalibrálása, melyhez a falazóblokkok egyes jellemző szekcióinak laboratóriumi vizsgálata szükséges. A laborvizsgálatokkal támogatott numerikus szimulációs modellezési eljárást [5] az 1. ábrán mutatjuk be. Az egyes építőanyagok hő- és páratechnikai tulajdonságainak megismerése után a kísérleti falazóblokk jellemző szekcióinak laboratóriumi vizsgálatát végezzük el, melyek után a szimulációs modell segítségével feltárhatóak az anyagtulajdonság-változások. A megváltozott paramétereket ezután visszavezetjük a teljes falazóblokk numerikus modelljére.



1. ábra, Falazóblokkok hőtechnikai tulajdonságának meghatározása kalibrált szimulációval

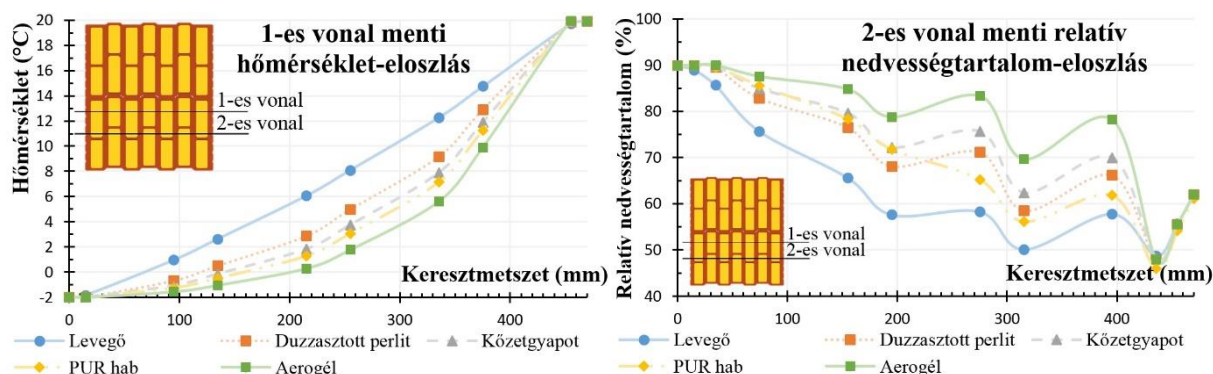
### 4. EREDMÉNYEK ÉS KONKLÚZIÓK

A szimulációk lefuttatása után a következő egyenértékű hővezetési tényezőket kaptuk a falazóblokkokra: A töltetlen  $\lambda = 0,26 \text{ W/mK}$ , az expandált perlittel töltött  $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$ , a kőzetgyapattal töltött  $\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$ , a PUR habbal töltött  $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ , az aerogéllal töltött pedig  $\lambda = 0,055 \text{ W/mK}$ . Látható, hogy a falazóblokkok hővezetési tényezője a töltőanyagok hővezetési tényezőjének függvényében változik, azonban a csökkenés nem egyenesen arányos.



2. ábra, Kőzetgyapattal töltött falazóblokk hő- és páratechnikai ábrái

A 2. ábrán két közetgyapottal töltött falazóblokk kapcsolatban látható. Az ábrákon megfigyelhető a hőmérséklet-eloszlás, valamint a falazóblokkokban található hőáramsűrűségek. Utóbbi ábrán jól látható, hogy a kerámia belső vázon keresztül nagyobb hőáramsűrűségek alakulnak ki. A kutatás kimutatta, hogy minél jobb hőszigetelő anyaggal töltjük a falazóblokkokat, a belső vázban annál jelentősebb hőáramok alakulnak ki, azaz annak kialakítása annál kritikusabb. A belső távtartó váz optimalizálásával a falazóblokk hőtechnikai tulajdonságai valószínűleg javíthatóak lennének. Látható továbbá, hogy a relatív nedvességtartalom megnövekszik az üregekben lévő hőszigetelő anyagokban a külső oldal felől. Mivel a növekvő nedvességtartalom a hővezetési tényező csökkenését is okozza, ezért fontos, hogy olyan anyagokkal töltsük a falazóblokkokat, amelyek az adott beépített állapotbeli környezet, valamint a rá ható változó peremfeltételek miatti hőmérséklet és nedvesség állapotváltozások miatt nem szenvednek jelentős hőtechnikai teljesítőképesség csökkenést.



3. ábra, Különböző anyagokkal töltött falazóblokk hőmérséklet- ill. nedvességtartalom-eloszlása

A 3. ábrán a különböző töltőanyagokkal számított falazóblokkok keresztmetszetének két eltérő, az ábrán található vonal mentén vizsgált hőmérsékleteinek valamint nedvességtartalmának értékei találhatóak. Megfigyelhető, hogy a hőmérsékletesés nem-lineáris, valamint minél alacsonyabb hővezetési tényezővel rendelkezik a töltet, annál inkább exponenciálisan alakul. Látható továbbá, hogy a kerámiában és a töltőanyagokban eltérő a hőmérsékletesés meredeksége is. Fontos megfigyelnünk továbbá azt, hogy minél jobb hőszigetelő képességű anyaggal töltjük az üregeket, annál jelentősebben képes átfagyni a falazóblokk a külső felülettől számítva a keresztmetszete mentén. Míg például duzzasztott perlit töltet esetén a külső oldaltól számított 12 cm-re található 0 °C alatti hőmérséklet, aerogél esetén ez az érték 20 cm. A töltetek alkalmazásának helyes megválasztása tehát állagvédelmi okokból is indokolt lehet.

A vizsgált falazóblokkok vonal menti nedvességtartalom értékei a 2-es ábránál már megfigyelhető jelenséget mutatják, a töltött üregekben a külső oldal felől a kerámia mellett feldúsul a nedvességtartalom. Látható továbbá, hogy a relatív nedvességtartalom összefüggésben van a töltőanyag nedvességfelvétel képességével, valamint fordítottnan összefügg az adott anyag hőmérsékletével.

## 5. HIVATKOZÁSOK

- [1] Hagentoft, C.-E., Assessment Method of Numerical Prediction Models for Combined Heat, Air and Moisture Transfer in Building Components: Benchmarks for One-dimensional Cases, *Journal of Building Physics* vol. 27., Sage Publications Inc., 2004, 327-352
- [2] Künzeli, H.M., Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components, Dissertation, Universität Stuttgart, Németország, 1994.
- [3] Krus, M., Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials, Dissertation, Universität Stuttgart, Németország, 1995.
- [4] Li, Q., Rao, J., Fazio, P., Development of HAM tool for building envelope analysis, *Building and Environment* vol. 44., Elsevier Inc., 2009, 1065-1073
- [5] Nagy, B., Orosz, M., Optimized Thermal Performance Design of Filled Ceramic Masonry Blocks, *Applied Mechanics and Materials* vol. 797., Trans Tech Publications Ltd., 2015, 174-181