

# Nanotechnológiás hőszigetelőanyagok vizsgálata tömör téglafalazaton

Lakatos Ákos, PhD

okl. létesítménymérnök; alakatos@eng.unideb.hu

Ahhoz, hogy kellő mértékben csökkentsük a falakon keresztüli hőveszteséget a hagyományos szigetelőanyagokat (polisztirol, gyapottáblák) ma már nagy méretekben kell alkalmazni (20-25 cm). Bizonyos helyeken ez a vastagság nem alkalmazható (műemlékvédelem, telekhatár stb.), ezért a nanotechnológiás hőszigetelő anyagok (aerogél, kerámia tartalmú hőszigetelő festékek stb.) használata egyre inkább indokoltá válik. Ezek az anyagok sokkal jobb hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért sokkal kisebb méretekben is alkalmazhatók. Ebben a publikációban megvizsgálom a hőszigetelő képességét egy 1,3 cm vastag aerogél táblának és egy 5 mm vastag vákuum-kerámia hőszigetelő-festéknek egy 25 cm vastag téglafalazatra felhordva.

\*

Nowadays, to sufficiently reduce the heat loss through the wall structures with the so-called traditional insulations (polystyrene and fibrous slabs), huge thicknesses (20-25 cm) should be applied. In some cases there is no place for their applications, since the use of nano-insulation materials (aerogel, vacuum ceramic paints) take place. They are said to be much more efficient insulations than the above mentioned ones, since they should be used in thinner forms. In this article the thermal insulating capability of solid brick wall covered with a silica-aerogel slab with 1.3 cm, moreover with a vacuum ceramic hollow contained paint with 5 mm thick are investigated.

\*\*\*

Az újonnan tervezett és kivitelezett épületekre egyre szigorúbb rendelkezések vonatkoznak, amelyek kiemelik a pazarló energiafelhasználás és az ez által történő károsanyag-kibocsátás minimalizálását, lehetőség szerinti megszüntetését. Az egyre inkább energia- és környezettudatos gondolkodásmód felszínre törése következtében a fogyasztói oldalon is mind növekvő az igény az ilyen irányú törekvésekre. Érdemes azonban nem csak az újonnan építésre kerülő házaknál figyelembe venni az energiafelhasználás mértékét. A Központi Statisztikai Hivatal 2013-as felmérése szerint egy átlagos magyar háztartás kiadásainak megközelítőleg 25%-át a háztartási energia teszi ki. Ebből is a legnagyobb részt, 75-85%-ot a fűtési hőigény fedezése. 2011-es Eurostat adatok szerint Lengyelországgal, Romániával és a Balti államokkal együtt azon országok egyike vagyunk az Európai Unión belül, amelyek végső energiafelhasználása terén a lakossági szektor energiafelhasználása volt a legnagyobb, megközelítőleg 34%-kal. A közvetlen energiafelhasználáson belül a gáznemű és a folyékony szénhidrogének dominálnak. Magyarországon a földgáz felhasználása a legjellemzőbb. A régi elavult épületszerkezetek, melyek a mai előírásoknak nem felelnek meg, utólagos hőszigeteléssel ellátva korszerűsíthetők. Így javítva a fal-szerkezet hőátbocsátási tényezőjét, aminek következtében csökken a fűtési igény és így a CO<sub>2</sub> kibocsátás is. Habár ezek jellemzően nagy beruházást igényelnek a háztartásoktól, hosszútávon az energiakiadások csökkenése miatt megtérülnek. Ezen cikk célja,

hogy bemutassa a ma ismert leghatékonyabb (nanotechnológiás) szigetelőanyagok alkalmazását egy egyszerű 25 cm tömör téglafalazaton. A cikk szemlélteti, hogy hogyan változik a falazatok kezdeti késleltetése és ellenállása, továbbá foglalkozik a fal menti hőátadási tényezőkkel is. A mérési eredményekből effektív hővezetési tényezőket határoz meg. [1-6]

## Az anyagok bemutatása

### Aerogél

A szilika aerogél egy szilíciumdioxid-alapú anyag, szilíciumatomok laza, dendritikus hálózata. Gyártása során a szilika-alkogélból óvatosan eltávolítják a folyadékot, helyét levegővel töltik ki, s így kapják meg a 99,8% levegőt tartalmazó végterméket. Néhány aerogél tömege kb. 0,01 g köbcentiméterenként. Az aerogél hőszigetelő paplan egy olyan flexibilis kompozit anyag, amely tulajdonképpen üvegszál térhálóba ágyazott aerogél. Teljességgel ártalmatlan jellemzői miatt biztonságosan alkalmazható az élet számos területén. Valamelyest összenyomható és plasztikus, így jól illeszthető bárholva anélkül, hogy veszítene szakítószilárdságából és rugalmasságából. Különböző hőmérsékleti tartományokra optimalizált összetételben, tűzgátló kivételben, különböző vastagságban (2, 5, 6, 10 mm) is kapható. A szilika részecskék között kicsik az érintkezési felületek. A nanopórusok üregei kisebbek, mint a bennük levő gázmolekulák szabad ütközéséhez szükséges út hossza. A gázmolekulák az üreg falaival ütköznek, ezért minimális a konvekciós hőáramlás. A nanopórusok mérete kisebb, mint az infravörös hősugarak hullámhossza, ezért a felülete a hősugarak nagy részét visszaveri és szétszórja. A különböző gyártmányok különböző hővezetési tényezővel rendelkeznek, de átlagosan ezen értékek kisebbek, mint a levegő hővezetési tényezője, szemben a műanyag habokéval. [7-9]

### Vákuum-kerámia hőszigetelő festékanyag

A vákuum-kerámia hőszigetelő bevonatok 10-50 mikrométeres nagyságrendű, belül lyukas vákuumizált kerámiagolyókat tartalmaznak, melyeket magas (1500 °C) hőmérsékleten megolvasztott üvegből nyernek gáznyomás alatt. Lehűlés közben, ahogy a nyomás megszűnik, a kerámiagolyókban vákuum alakul ki, úgyhogy az anyag a golyók belsejéből a felületre diffundál ki. A golyókat különböző adalékanyagot tartalmazó (legfőképpen akril) festékmasszába keverik. Az összekevert masszát ecsettel vagy festékporszóval hordják fel a felületre. [10]

## Szilárdtestek hővezetése

### Hővezetés dielektrikumban

A homogén szilárdtestek  $\lambda$  hővezetési tényezője egyszerűen megállapítható, annak az egyensúlyi hőáramnak a mérése útján, amely mintában  $dT/dx$  hőmérséklet gradiens hatására folyik:

$$q = \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

ahol  $Q$  termikus energiaáram (az egységnyi keresztmetszeten az időegység alatt átáramlott energia). A hővezető-képességet definiáló (1) egyenlet alakjából következik, hogy a termikus energia terjedése sztochasztikus folyamat. Az energia nem egyszerűen a minta egyik végén belép és egyenes pályán halad a másik végéig, hanem diffundál a mintán keresztül, miközben gyakori ütközéseket szenved. Ha az energia eltérítés nélkül egyenesen haladna a mintán keresztül, akkor a hőáramot megadó kifejezés nem függne a hőmérséklet-gradienstől, hanem csak a minta két vége közötti  $\Delta T$  hőmérsékletkülönbségtől (minta hosszától függetlenül). A vezetési folyamat véletlenszerű természete követeli meg a hőáram kifejezésében a hőmérséklet-gradienst. A kinetikus gázelmélet alapján – bizonyos közelítésben – a hővezető-képességre a következő kifejezés adódik:

$$\lambda = \frac{1}{3} C \times u \times \Lambda \quad (2)$$

ahol  $C$  az egységnyi térfogatra eső fajhő,  $u$  a részecske átlagsebessége és  $\Lambda$  a részecske közepes szabad úthossza két ütközés között. Ezt az összefüggést először Debye alkalmazta szilárd dielektrikumok hővezető-képességének leírására, ahol  $C$  a rácsrezgések- vagy fononoktól származó fajhő,  $u$  hang terjedési sebessége és  $\Lambda$  a fononok közepes szabad úthossza (szilárd kristályokban ez kb  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  m nagyságrendbe esik). A fonon  $\Lambda$  közepes szabadúthosszát főleg két folyamat, a geometria szórás és más fononokon bekövetkező szórás szabja meg. Ha az atomok közötti erők tisztán harmonikusak lennének, akkor a különböző fononok között ütközés nem volna, vagyis ekkor a közepes szabad úthosszat kizárólag a kristály határfelületén, valamint a rácshibákon való szóródás korlátozná. Vannak bizonyos esetek, amikor ezek a hatások döntőek. [11]

### Az effektív hővezetési tényező

A fent említett elméletet kiterjesztve tömb (középméretű  $\sim 10^{-1}$ - $10^{-3}$  m nagyságrendű) anyagokra (normál hőszigetelő táblák), már nem beszélhetünk homogén mintákról, így a hővezetés is teljesen más-hogy történik. Alapvető tény, hogy egy porózus (gáztöltésű) cellás hőszigetelő anyagban a hőterjedés négy részre osztható: a gáz hővezetése ( $\lambda_{v,g}$ ), a hősugárzás ( $\lambda_s$ ), a vezetés a szilárdtesten keresztül ( $\lambda_{v,sz}$ ) illetve a gáz konvekciója ( $\lambda_k$ ) (ha van elég tér, de általában nincs és így ez a tag nulla),

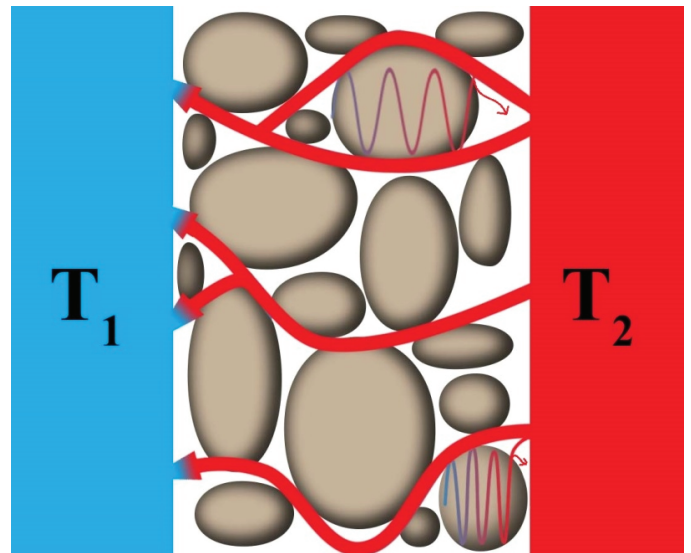
$$\lambda_{eff} = \lambda_{v,sz} + \lambda_{v,g} + \lambda_{es} + \lambda_k \quad (3)$$

ahol  $\lambda_{eff}$  az egész tömbi anyagra jellemező effektív hővezetési tényező, amely mérhető laboratóriumi körülmények között (hőárammérős, kalibrált kamra, doboz módszer stb.)

### Effektív hővezetési tényező a vákuumkerámia szigetelőanyagoknál

A cellaméret csökkentésével ( $\delta < 1$  mm) a gáz konvekciós részét lehet minimalizálni, elhanyagolni. Vákuum cellákat tartalmazó hőszigetelő anyagoknál ez a konvekciós tag és a gáz vezetése ténylegesen nulla, tehát csak a szilárdtesten belüli vezetés és a hősugárzás marad, ami viszont egy tömb anyagnál jelentős. A fent említett módon, mivel a hőterjedés nem lineáris, hanem véletlenszerű, a hő mindig azon az úton fog haladni előre (a hidegebb oldal felé), ahol neki a legkönnyebb átjutni (lásd 1. ábra). Az egyszerű, de beszédes 1. ábrán láthatók azok a fontos hőterjedési folyamatok, amelyek a

festékanyagba kevert vákuumkerámia szigetelőanyagban történnek. A rajz segítségével értelmezhető a hő lassú, hullámszerű terjedése a gömbök belsejében, a vezetés a vákuumgömb falában, a rendkívül gyors hődiffúzió a festékanyagon keresztül, illetve a reflexió a vákuumgolyó felületéről. Ezen közlemény nem hivatott feltárni azon törvényszerűségeket, melyek kifejezetten a vákuum gömbökön keresztüli hőterjedésre és azok kiváló hőszigetelő-képességre vonatkozik. Ebben a cikkben egy tetszőlegesen választott (nem nevesített) 5 mm vastag vákuumkerámia golyókat tartalmazó hőszigetelő festékanyaggal, mint egy egybefüggő hőszigetelő réteggel foglalkozunk.



1. ábra. Hőterjedés a vákuumkerámias hőszigetelőfestékanyagon keresztül

Laboratóriumi körülmények között az úgynevezett maganyag (egy vákuumkerámia gömb) hővezetési tényezőjének a mérése nehézkes, mert mindig csak az effektív (az egész szigetelő réteg) hővezetési tényezőről fogunk információt kapni. Mivel a kötőanyag (akril, festék sztirol stb.) és a vákuumgolyó hővezetési tényezője között (átlagos szabad úthossz) nagyságrendi (akár több is) különbség van, ha a festékanyag és a kerámia gömbök aránya nem megfelelő, azaz az effektív hővezetési tényezőben már a festékanyag vezetési hőterjedése dominál, akkor az elnyomja a vákuumgolyók nagyon jó hőreflektáló és hőszigetelő képességét. Tehát ezen anyagoknál döntő a vákuumgolyók mérete, eloszlása, sűrűsége.

### A diffúzió

A fenti gondolatsor egyszerűen a nanométeres nagyságrendbeli polikristályos anyagoknál jelenlevő, atomi diffúzióból ismert szemcsehatár és térfogati diffúzióval magyarázható. Egy kristályos szilárdtestben az egyes rácshelyek periodikus struktúrát alkotnak. Ezek a helyek az atomokra nézve a legkisebb potenciális energiájú pozíciók. Az atomok egyik helyről a másikra ugrással tudnak átmenni bizonyos feltételek teljesülése esetén. Az atom és a kristály fajtájától és természetétől függően különböző ugrási mechanizmusok lehetségesek.

A diffúzió egyik fajtája a koncentráció-különbség hatására bekövetkező atommozgás (Fick I, II törvényei alapján).

$$\vec{J} = -D_A \times \text{grad}c \quad (4)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_A \times \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (5)$$

ahol  $\bar{J}$  a diffúziós fluxus,  $D_A$  a diffúziós együttható, és grad (c) a koncentráció gradiens,  $t$  az idő. A hővezetési egyenleteket ugyanígy felírva kapjuk, a (6)-os és (7)-es egyenletek, amelyek már közel állnak az (1) egyenlethez.

$$\bar{q} = -D_T \times \text{grad}T \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \times \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (7)$$

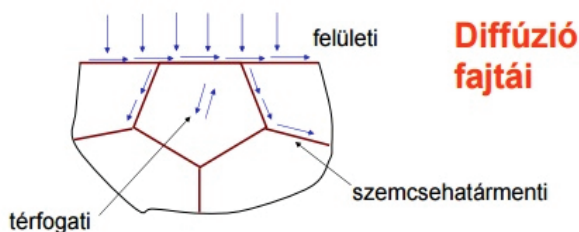
itt  $q$  a hő fluxusa,  $D_T$  a hődiffúziós együttható, és grad ( $T$ ) a hőmérséklet gradiens. Ennek megfelelően lehet összekapcsolni az atomi diffúziót a hődiffúzióval.

$$D_T = \frac{\lambda_{\text{eff}}}{\rho \times c_p} \quad (8)$$

ebben a képletben a  $\rho$  az anyag sűrűsége,  $c_p$  pedig a fajhő.

A mikroelektronikában használt fémes vékonyréteg filmek általában polikristályos szerkezetűek. A kristályszemcséket elválasztó határok mentén az áramló atomok gyorsan tudnak haladni. Ez azért történhet meg, mert a szemcsékben végbemenő mozgás aktiválási energiája nagyobb, mint a határok menti atomtranszporté. Tehát, diffúziós szempontból itt az is érdekes, hogy az atomok mozgékonyasága ( $D$  diffúziós együtthatója) több nagyságrenddel különbözik a szemcsék belsejében, illetve a határokból. Minthogy az atomok vándorlásához kristályhibák (leggyakrabban üres rácshelyek) szükségesek,  $D$  nyilván a határokból a nagyobb. [12-15]

Ezzel értelmezhető, hogy a festékanyag, a vákuumgömbök körül, mint szemcsehatár viselkedik, ahol sokkal könnyebben megy a hő.



2. ábra. Atomi diffúziós formák [14]

#### Effektív hővezetési tényező az aerogél hőszigetelő paplannál

A fentiek szerint az aerogél hőszigetelő paplan egy olyan flexibilis kompozit anyag. A szilica-aerogél is extrém kicsi hővezetési tényezővel és remek hővisszaverő képességgel rendelkezik, a nanoporozus  $\text{SiO}_2$  hálózatának köszönhetően, hasonlóan a fenti említett vákuum-kerámia festékekhez. Ez a jó hőszigetelő-képesség részben az anyagon (aerogél) belüli szabad úthossznak köszönhető. A tábla effektív hővezetési tényezője is a (3)-as egyenlettel adható meg, csak itt különösen nagy szerepe van a szálfinomságnak, a száliránynak és a szálak érintkezésének. Éppen ez a másik része az aerogél remek hőszigetelő képességének, mert a szálak teljesen véletlenszerűen helyezkednek el és hoznak létre nano-cellákat, nagy belső felülettel. A paplanok porozitása 99% körüli.

Elméleti szilárdtest fizikai számítások alapján mind egy aerogélnak, mind egy vákuumkerámia gömbnek a hővezetési tényezője 0,001-0,002 W/mK tartományba esik.

#### Effektív hővezetési tényező vizsgálata kalibrált kamra módszerrel

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületfizikai laboratóriumában rendelkezésre áll egy mérési módszer, mely lehetővé teszi falazatok hőellenállását analizálni állandósult állapotban. A vizsgálatok az MSZ EN ISO 8990 „Hőszigetelés. Hőátbocsátási tulajdonságok meghatározása állandósult állapotban; Kalibrált kamra segédkamra előírás figyelembevételével hajthatók végre. Mivel a hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkező bevonat önmagában nem áll meg, olyan falazatra volt szükséges felvinni, melynek az eredeti hővezetési ellenállását ismertük. 25 cm-es téglából készült mindkét oldalán 1,5 cm vakolattal rendelkező  $1,2 \times 1,2 \text{ m}^2$  falazaton végezzük a méréseket. A mérési módszer leírása részletesen megtalálható korábbi közleményeinkben. [6, 15, 16]

Ha mérjük egy falazat hideg és meleg felületén a hőmérsékletet, illetve a levegő hőmérsékletét, melyek a meleg oldal fűtésével és a hideg oldal hűtésével jönnek létre, akkor a hőmérséklet különbségeket könnyen meg tudom határozni, az állapot állandósulása után ( $\Delta T_{\text{fal}}^{\text{CC}}$ ,  $\Delta T_{\text{lev}}^{\text{CC}}$ ). Továbbá ha regisztráljuk a meleg oldalon bevitt fűtési teljesítményt ( $P^{\text{CC}}$ ) és az állapot állandósulásától eltelt időt, akkor a hő fluxus segítségével ( $\Phi^{\text{CC}}$ ), illetve a felfelülettel ( $A^{\text{CC}}=1,44 \text{ m}^2$ ) a fal ellenállása kiszámolható a felületi hőátadási tényezők nélkül.

$$R_{\text{fal}}^{\text{CC}} = \frac{\Delta T_{\text{fal}}^{\text{CC}} \times A^{\text{CC}}}{P^{\text{CC}}} = \frac{\Delta T_{\text{fal}}^{\text{CC}}}{\Phi^{\text{CC}}} \quad (9)$$

Ha a felületi hőátadási tényezőket is számítani szeretnénk, akkor a következő egyenletekre van szükségünk.

$$R_{\text{lev}}^{\text{CC}} = \frac{\Delta T_{\text{lev}}^{\text{CC}} \times A^{\text{CC}}}{P^{\text{CC}}} = \frac{\Delta T_{\text{lev}}^{\text{CC}}}{\Phi^{\text{CC}}} \quad (10)$$

itt  $R_{\text{lev}}$  a teljes hőátbocsátási ellenállás és az értékét az alábbi egyenlet szerint is megkaphatjuk.

$$R_{\text{lev}}^{\text{CC}} = R_{\alpha}^{\text{CC}} + R_{\text{fal}}^{\text{CC}} \quad (11)$$

$$R_{\alpha}^{\text{CC}} = R_{\text{lev}}^{\text{CC}} - R_{\text{fal}}^{\text{CC}} \quad (12)$$

$$R_{\alpha}^{\text{CC}} = \frac{1}{\alpha_{\text{is}}^{\text{CC}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{es}}^{\text{CC}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{is,es}}^{\text{CC}}} \quad (13)$$

$$\alpha_{\text{is,es}}^{\text{CC}} = \frac{1}{R_{\alpha}^{\text{CC}}} \quad (14)$$

ahol  $\alpha_{\text{is}}^{\text{CC}}$ ,  $\alpha_{\text{es}}^{\text{CC}}$  és  $\alpha_{\text{is,es}}^{\text{CC}}$  rendre a belső-, külsőfelületi és a mi esetünkben számítható közös felületi hőátadási együtthatók. Azért számítható csak, ez, mert a levegőt mindkét oldalán terelőlapal és ventilátorral keverjük. Ha ismerjük egy alapfalazat hőátbocsátási ellenállását, a mi esetünkben egy 25 cm-es téglafal, mindkét oldalán hagyományos (1,5 cm) vakolattal, illetve ezen falazat ellenállását, úgy ha egy ismert vastagságú ( $d$ ) szigetelőanyaggal bevonjuk, akkor a szigetelőanyag effektív hővezetési tényezője a következő képlettel meghatározható, ahol  $R^{\text{CC}}$  lehet a felületi vagy léghőmérsékletből számított ellenállás egyaránt:

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{d_{\text{szigetelés}}}{(R_{\text{szigetelt, fal}}^{\text{CC}} - R_{\text{fal}}^{\text{CC}})} \quad (15)$$

#### Eredmények

##### A falazatok ellenállásának vizsgálata

A vizsgálatok során először egy 5 mm vastag vákuumkerámia tartalmú hőszigetelő festékekkel, majd annak eltávolítása után 1,3 cm vastag

1. táblázat. A mérési eredmények

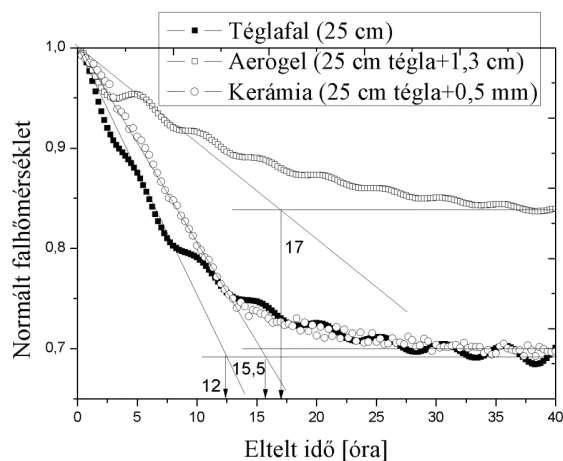
Falfelület [m <sup>2</sup> ]	1,44	d [m]=	0,013	d [m]=	0,005	
	Tégla	Hiba (+-%)	Aerogél	Hiba (+-%)	Kerámia	Hiba (+-%)
Teljesítmény [W]	94,02	-	68,68	-	59,28	-
Fluxus [W/m <sup>2</sup> ]	65,29	-	34,00	-	41,17	-
Falhőmérsékleti különbség	28,15	1	32,28	-	23,84	-
Levegőhőmérsékleti különbség	38,83	1,5	37,95	0,1	31,59	0,2
Fal felületi ellenállás [m <sup>2</sup> K/W]	0,43	1	0,95	1,80	0,57	1,60
Fal ellenállás a levegővel [m <sup>2</sup> K/W]	0,59	1,5	1,12	1,50	0,76	1,49
Felületi ellenállás [m <sup>2</sup> K/W]	0,16	1,25	0,17	1,65	0,18	1,70
Effektív hővezetési tényező a fal felületből [W/mK]			0,0251	2,06	0,033	2,00
Effektív hővezetési tényező a levegővel [W/mK]			0,0249	2,12	0,029	2,30
Effektív hővezetési tényező átlag [W/mK]			0,025	2,09	0,031	1,80
alfák [W/m <sup>2</sup> K] $\alpha_{is,es}$	6,11		5,85		5,31	
$R_{is,es}$ (1/24+1/8) [m <sup>2</sup> K/W]	0,16667					
$\alpha_{is,es}$ [W/m <sup>2</sup> K]	6					

aerogél hőszigetelő paplannal vontam be a vakolattal ellátott téglafalazatot. Az eredményeket az 1. táblázatban mutatom be.

Látható a táblázatból, hogy mind a falon, mind a „levegőben” mért hőátbocsátási ellenállásokat, az azokból számítható effektív hővezetési- és felületi hőátadási tényezőket vizsgáltam. Az eredményekhez a legkisebb négyzetek módszerét felhasználva hibaterjedést is becsültem. A végértékek azt mutatják, hogy a legnagyobb ellenállást az aerogéllal bevont falazat mutatja, továbbá ehhez az anyaghoz tartozik a legkisebb effektív hővezetési tényező (0,025 W/mK) is. A kerámiatartalmú festék-szigetelőanyag effektív hővezetési tényezőjére 0,03 W/mK adódik. Érdekes, hogy ezen értékek elmaradnak a gyártó által közölt (névleges) értékektől (az aerogél esetében némileg 0,013-0,02 W/mK, a kerámiaszigetelő esetében viszont jócskán, egy nagyságrendi különbséggel). A különböző falazatok esetén az ellenállásokból, meghatároztam a felületi hőátadási tényezőket is. Itt annyi megkötést alkalmaztam, hogy külső (szabványok szerint 24 W/m<sup>2</sup>K), illetve belső (szabványok szerint 8 W/m<sup>2</sup>K) felületi tényező helyett, egy közös „alfát” (6 W/m<sup>2</sup>K) vettem alapul. A mérések alapján a sima téglafal esetében ez a közös felületi hőátadási tényező 6,11-re, az aerogéllal szigetelt falra 5,85-re, míg a kerámiaszigetelésnél 5,31 W/m<sup>2</sup>K-re adódik.

### A falazatok kezdeti késleltetésének vizsgálata

A kalibrált kamra módszer tökéletes lehetőséget nyújt a falazatok kezdeti késleltetésének a vizsgálatára is. Kezdeti késleltetésen, azt az időt értjük, amíg a falszerkezet külső, illetve belső felületén be nem áll a hőmérséklet egyensúly. Ezen elv részletesen bemutatásra került egy korábbi publikációban. [16]



3. ábra. A falazatok kezdeti késleltetése

Ha az eltelt idő függvényében vizsgálom a belső (meleg oldali) felületi hőmérsékletet (lásd 3. ábra), akkor azt tapasztalom, hogy a hőmérséklet hiba függvény/hibafüggvény komplementer (erf/erfc) jelleget vesz fel. Itt a könnyebb összehasonlíthatóság miatt a hőfokokat 1-re normáltam. Egy lineárisval illesztve a hőmérséklet-függvények kezdeti szakaszát, illetve egy mássikkal az állandósult hőfokot, és ezek metszéspontját levetítve az x (a mi esetünkben az idő) tengelyre, akkor egy kezdeti késleltetésnek megfelelő időértéket kapunk. Ez a hagyományos késleltetéssel szemben, ami a periodikus hőmérséklet-függvények amplitúdójának hányadosa a védett, illetve támadott oldalon, annyival ad másabb információt, hogy ez inkább a kezdeti reflexió (hővisszaverő) ellenállással van összefüggésben, mielőtt még a hő-tömeg elkezdene „dolgozni”. Ezen durva becslés alapján a téglafal kezdeti késleltetése 12 órára, a kerámiával bevont falra 15,5 míg az aerogéllal ellátott fal kezdeti retardációs (visszatartó) ideje 17 órára adódik.

### Összefoglalás

Az épületek hőszigetelése (nemcsak utólagosan) napjainkban rendkívül fontos. Ahhoz, hogy megfelelően tudjuk tervezni az épületburkot, az építő és szigetelőanyagok hőtechnikai paramétereinek pontos ismerete elengedhetetlen. Sokszor kizárólag a gyártó által megadott, úgynevezett névleges értékek vannak csak birtokunkban, melyek egyfajta mérési körülmény alapján és mérőeszközzel voltak meghatározva. Mivel a hőtechnikai paraméterek sokszor „körülmény” (hőmérséklet, nedvességtartalom) függők, ezért a pontos tervezéshez a további laboratóriumi vizsgálatok rendkívül fontosak. Ezeket a hőtechnikai vizsgálatokat nemcsak az egyes anyagokra, hanem a belőlük épített szerkezetekre is ki kell terjeszteni.

Ebben a cikkben bemutattam, hogy a Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Épületfizikai Laboratóriumában a falazatok és a beépített szigetelőanyagok vizsgálata hogyan történik. Kettő, napjainkban leginkább elterjedni látszó nanotechnológiás módszerrel előállított szigetelőréteget vizsgáltam (aerogél, vákuum-kerámia hőszigetelőfesték), téglafalazatra felhordva. A közlemény elméleti modellt mutat be a hőterjedésre e szigetelőanyagokon keresztül szilárdtest fizikai egyenletei alapján. Párhuzamot vontam az atomok és a hő diffúziója (terjedése) között, melyek alapján az effektív hővezetési tényező jól értelmezhető, nanométeres szinten. Vizsgáltam a falazatok hővezetési ellenállását, azok kezdeti késleltetési idejét, valamint a



rétegek effektív hővezetési tényezőjét is. Az megállapítható, hogy a hőátadási tényezők között nagy különbség nem adódik. Továbbá a mérési eredmények azt mutatják, hogy a gyártók által közölt névleges értékek és a beépítés utáni értékek között különbség várható. Ez természetesen adódhat abból is, hogy a paraméterek meghatározása eltérő berendezésekkel, eltérő körülmények között történik.

### Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését és a kutatásokat a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

### Felhasznált irodalom

- [1] Kalmár F.: Energy analysis of building thermal insulation. In Proceedings of the 11th conference for building physics, Dresden, Deutschland, pp.103–112. 26–30 September (2002).
- [2] Kalmár, F., Kalmár T.: Energy class, building structure and solar gains. Journal of Harbin Institute of Technology (New Series) 14 (SUPPL.) , pp. 81-84. (2007.)
- [3] Gróf Gy.: Hatékonyabb hőszigetelés a hővezetési tényező bizonytalanságának csökkentésével. Energia0067azdálkodás, 2013/6.
- [4] Lakatos A., Kalmár F.: Materials and Structures. Investigation Of Thickness And Density Dependence Of Thermal Conductivity Of Expanded Polystyrene Insulation Materials. 46:1101–1105 (2013)
- [5] Lakatos A., Kalmár F.: Services Engineering Research And Technology Analysis of water sorption and thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials". Vol:34. Issue: 4. 407-416. (2013)
- [6] Lakatos, A.: Measurements of Thermal Properties of Different Building Materials. Insulating Materials Advanced Materials Research. Vol. 1016 (2014) pp 733-737
- [7] Schmidt M., Schwertfeger F.: Applications for silica aerogel products J. Non-Cryst. Solids, 225 (1) (1998), pp. 364–368
- [8] Douglas M.S., Alok M., Ulrich B.: Aerogel-based thermal insulation J. Non-Cryst. Solids, 225 (1) (1998), pp. 254–259
- [9] Jelle B.P.: Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities Energy and Buildings 43 (2011) 2549–2563
- [10] Lan W., Kexing F., Liang Y., Botao, W.: The Application of Ceramic Coatings in Petroleum Chemical and Building Industries, International Conference on Material and Environmental Engineering, 21.03-24.03.2014, Jiujiang (Jiangxi, China), Atalantis Press, ISBN 978-94-6252- 004-2, 2014, pp. 146-149.
- [11] Kittel C.: Bevezetés a szilárdtestfizikába, 1985
- [12] Lakatos Á.: PhD disszertáció/PhD dissertation - Diffúzió és diffúzió kontrollált jelenségek vizsgálata fém/félvezető nanorétegekben SNMS technikával. PhD thesis - Investigation of diffusion and diffusion controlled processes in metal/semiconductor nanolayers by SNMS technique. 2011.
- [13] Lakatos A, Erdelyi G, Langer G.A, Daroczi L., Vad K., Csik A. D. L. Beke: Investigations of diffusion kinetics in Si/Ta/Cu/W and Si/Co/Ta systems by secondary neutral mass spectrometry (2010), Vacuum, 84 (7) pp. 953–95
- [14] Krállics Gy., Reé A.: Diffúzió BME, Anyagtudományi és technológiai tanszék, 2009/10, előadás jegyzet]
- [15] Lakatos, A., Csáky, I., Kalmár, F.: Thermal conductivity measurements with different methods: a procedure for the estimation of the retardation time. Materials and Structures. (2015). 48, 5, 1343-1353.
- [16] Lakatos A: Comprehensive Thermal Transmittance Investigations Carried out on Opaque Aerogel Insulation Blanket. Materials and Structures (Submitted) 2016

## XXIV. Nemzetközi Energia és Innovációs Fórum 2017.

A szakmai és nemzetközi fórumokkal együttműködve megkezdtük a XXIV. Nemzetközi Energia és Innovációs Fórum előkészítését, melyre ezúttal Esztergomban a Bellevue Hotelben kerül sor 2017. március 7-9 között. A konferenciát közvetlenül követi március 10-én a 2. Sahara Tudós Csúcstalálkozó (Sahara Scientists Summit), melynek témája a globális folyamatokba történő bekapcsolódás magyar tudás-, és szolgáltatás exporttal.

Esztergom és a Bellevue Hotel melletti döntésünket a város és a táj szépsége mellett nagyban segítette, hogy a Bellevue Hotel olyan új környezetbarát technológiákat helyezett üzembe, amelyek a környezettudatosság fontos szerepét tükrözik a vállalkozás életében.

A XXIV. Nemzetközi Energia és Innovációs Fórumon a partnereinktől beérkezett javaslatok alapján 2017-ben is újabb érdekes témákat tűzünk napirendre és ezek között ún. „fókuszpontokat” alakítunk ki. Erősebb lesz a nemzetközi részvétel és kiemelt helyet kap az EU, az Arab Emírátsok és Afrika.

Megmarad a három nap fő tagoltsága, azaz nemzetközi és szakhatósági előadásokkal indulunk, majd az innovációs és startup blokkal folytatjuk. Ezt követően pedig, változik a már megszokott sorrend és az első nagy kihívást jelentő „fókuszpont”: **a nukleáris energia termelés globális szerepe a fenntarthatóságban, különös tekintettel a tengervíz sótalánításra és Paks II.**

**versenyképessége a távhőszolgáltatásba történő bekapcsolódással.**

A gázkörkép az LNG piac aktualitásaival indul, tekintettel arra, hogy az Amerikai Egyesült Államok megkezdte a cseppfolyós földgáz európai szállítását. Mit tesz, mit tehet a Gazprom, és hogyan befolyásolja mindez a magyar gazdaságot? Mekkora lehetőségek vannak a CNGLNG közép-európai piacában és bekapcsolódik-e végre a hazai biogáz termelés ebbe az új piaci szegmensbe?

A villamosenergia-termelés, az áramtárolás és a hatékony kiszabályozás „jó gyakorlatát” is bemutatjuk a konferencián, a norvég, a szlovák tapasztalatokat elemezve és egy új magyar szabadalmat bemutatva. Szándékaink szerint ismét foglalkozunk az elektromos autóval és több autógyár modelljeit is tesztelhetik majd vendégeink. Ugyancsak „fókuszpontba” kerül: **az információs és kommunikációs technológia (ICT), amelynek fejlődése és sokrétű alkalmazása alapvetően meghatározza mindennapi életünket.**

**További információk:**

Nagy Tünde

Mobil: 06 70 946 3954

E-mail: titkarsag@sunwo.eu