

# Aerogél tartalmú tűzálló falazatok vizsgálata

**Az aerogélek igen nagy fajlagos felületű, nagyon porózus, nyílt cellás belső struktúrával rendelkező szárított gélek, melyek sűrűsége és hővezető-képessége legkisebb a ma ismert szilárd anyagok között, emiatt a legígéretesebb, nagy hatékonyságú szigetelő anyagokként tartják számon. Az aerogélek ezen tulajdonságai vezettek a kemencék tűzálló falazataiban történő felhasználásához. A cikk összefoglalást ad a különböző aerogélekről, majd leírja a Hőker Kft. által gyártott kemencék különböző aerogél- és a kovaföld tartalmú tűzálló falazatainak hőtani szempontból történő vizsgálatát. A vizsgálatok alapvető célja volt a falazatok különböző vastagságaiban mért hőmérséklet értékek összehasonlítása és ez alapján javaslat az alkalmazhatóságra. A vizsgálatok eredményei megmutatták, hogy a 30% aerogél tartalmú tűzállóanyag keverékek alkalmasak kemenceépítésre.**

## 1. Bevezetés

Az első aerogélt 1931-ben Samuel Kistler készítette Kaliforniában. Vízüvegből ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  vizes oldatából) gyártott szilika aerogélt. A létrehozott anyagot pontosabb lenne habnak nevezni, azonban az aerogél név terjedt el leginkább. Azóta több, különböző alapanyagból is elő tudtak állítani aerogélt. Az aerogélek különleges tulajdonságaik porózus szerkezetükből következnek. Így például az aerogélek pórusméretétől függ, milyen hullámhosszúságú fényt engednek át. A fokozatos terhelést jól viselik, de hirtelen, nyíró hatásokra könnyen hasadnak. Erősen higroszkóposak, ezért vagy távol kell tartani tőlük a nedvességet, vagy kémiailag szükséges módosítani a szerkezetüket. A fizikai paraméterek és az adalékanyagok megválasztásával gyártáskor szabályozni tudjuk az aerogélek pórusméretét, így akár molekula specifikus szűrőket is előállíthatunk [1]. Csoportosításuk fő alkotójuk szerint történik a következők alapján.

### 1.1. Szilika aerogél tulajdonságai és előállítása

A világ legkisebb sűrűségű szilárd anyagai. 2003-ban sikerült előállítani  $1,9 \text{ mg/cm}^3$  sűrűségű szilika aerogélt (összehasonlításként a levegőé  $1,2 \text{ mg/cm}^3$ ). Ipari méretekben  $10\text{--}300 \text{ mg/cm}^3$  sűrűségű,  $600\text{--}1000 \text{ m}^2/\text{g}$  fajlagos felületű szilika aerogélt gyártanak. A laza, porózus szerkezetet felépítő elemi részecskék mérete  $2\text{--}10 \text{ nm}$ , azaz nemcsak a pórusok nanoméretűek, hanem a szilárd vázát alkotó részecskék is. A világ legjobb hőszigetelő anyaga a rendkívül kicsi hővezetőképességének köszönhetően ( $0,03\text{--}0,004 \text{ W/mK}$ ). Kiváló hőszigetelő képessége annak köszönhető, hogy a nanoporózus szerkezet miatt a levegő nem tud körüljárni az aerogél pórusrendszerében. A szilika aerogélek kiváló elektromos szigetelők, erősen nedvszívók és rendkívül kis törésmutatójú anyagok ( $1,03$ ). A nyomószilárdságuk jó, annak ellenére, hogy a laza szerkezetük miatt igen törékenyek.

Előállításuk során először fém-

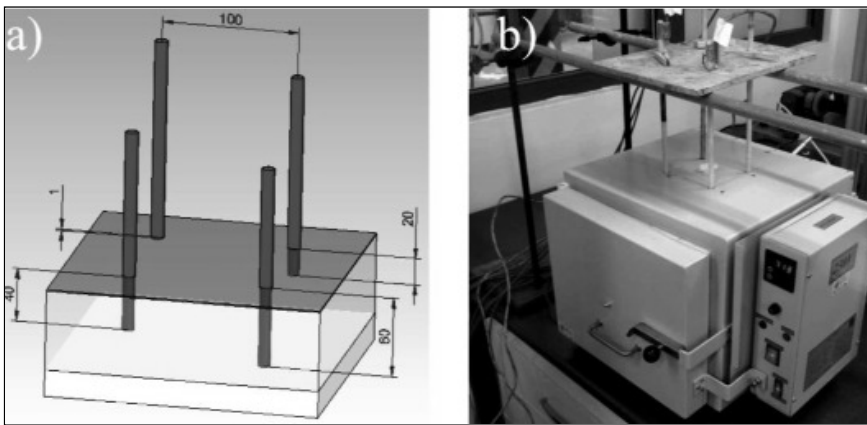
alkoxidokból oldószer felhasználásával gélt készítenek. Ezekben a gélekben a háromdimenziós térháló üregeit nem levegő, hanem oldószer tölti ki. Az alkoxidok gélesítésének két alapfolyamata van: a hidrolízis és a kondenzáció. Alapvetően a gél savanyúsága (pH) határozza meg, hogy a két alapfolyamat közül melyik sebessége lesz a meghatározó, illetve ezek a folyamatok befolyásolják, hogy milyen méretű részecskék és pórusok jönnek létre. Az így létrejövő oldószeres géleket meg kell szárítani, el kell távolítani belőlük az oldószert, úgy, hogy a gélek laza háromdimenziós térhálójára ne omoljon össze, mert csak a laza szerkezet tudja biztosítani a nagy porozitást. Ezt szuperkritikus szárítással érik el, melyben szuperkritikus folyadékra cserélik ki a meglévő oldószert. A szuperkritikus folyadék az oldószercsere után gázként távozik a légköri nyomás és szobahőmérséklet elérésekor.

### 1.2. Szén aerogélek tulajdonságai és előállítása

A szén aerogélek kovalens kötésekkel összetartott, szénvázú ( $\text{--C--C--}$ ) porózus rendszerek. Két típusuk van: kolloidális ( $12\text{--}15 \text{ nm}$ -es részecskék lazán összekötve grafitzalagokkal); illetve polimeres ( $7\text{--}9 \text{ nm}$ -es részecskék, melyek kiszélesedett nyakukon keresztül kapcsolódnak egymáshoz). A szén aerogélek előállításának első lépése egy polimer aerogél rendszer készítése, amelynek alapanyagai általában rezorcinol ( $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})$ ) és formaldehid ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Második lépésben a polimer aerogélt  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ -on pirolizálják inert, oxigénmentes atmoszférában. A szén aerogélek jellemző paraméterei: pórusméretük általában  $2\text{--}50 \text{ nm}$ ; fajlagos felületük  $400\text{--}1000 \text{ m}^2/\text{g}$ ; sűrűségük  $7\text{--}50 \text{ mg/cm}^3$ . A szén aerogélek egyik legfontosabb tulajdonsága, amely egyúttal meg is különbözteti a szén aerogéleket a szilika szerkezetektől, az elektromos vezetőképességük. E tulajdonságuk

**Ferenczi Tibor** okl. kohómérnök 1988-ban végzett a Nehézipari Műszaki Egyetemen metallurgus memókként. Munkahelyei: DIMAG Rt., Hengermű Kft. Jelenleg a Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézetében dolgozik memóktanár beosztásban. Az integrált Metallurgiai és Öntészeti Laboratórium vezetője. Oktatási területei: Pormetallurgia, Különleges hidrát és timföldtermékek, Felülettisztítás, Precíziós Öntészet.

**Dobó Zsolt** PhD-hallgató és junior kutató a Miskolci Egyetem Energia- és Minőségügyi Intézetében. 2011-ben kohómérnök MSc-szakra szerzett diplomát. Energiagazdálkodással, megújuló- és alternatív energiákkal foglalkozik.



■ **1. ábra.** Kísérleti berendezés a) a hőelemek elhelyezése a tűzálló falazatban, b) a kemence mérés közben

alapján szuper-kondenzátorként alkalmazhatók; 2000–5000-szer kisebb méretűek, mint az ugyanilyen teljesítményű hagyományos kondenzátorok.

### 1.3. Aerogélek alkalmazási lehetőségei

A szűrő és szeparációs technikai alkalmazásuk szorosan kötődik a pórusos szerkezetükhöz. A gázok, folyadékok át tudnak áramlani az aerogélek pórusain és lyukain, nagyobb molekulák azonban nem, ezért ultra-, mikro-, molekulaszűrőkként, membránokként hasznosítják az aerogéleket. Érdekes alkalmazási példa a víztisztítás, vagy az aerogél-fésűk között átvezetett emberi vérből az AIDS-vírus kiszűrésére folytatott kísérletek. Az egyik legismertebb szeparációs célú felhasználásuk (NASA) a csillagközi porok gyűjtése. A szigeteléstechikai hasznosításuk is elterjedt (épületekben, járművekben: ablakként, szigetelő réteggént). A hűtőszekrényekbe való beépítésüket ipari méretekben a környezetvédők harcolták ki, annak érdekében, hogy az ózonréteget károsító poliuretánhabot kiváltsák [2].

A legfigyelemreméltóbb szigetelőréteggént való felhasználásuk szintén a NASA-hoz kapcsolódik: a Mars Roverben fogják alkalmazni a szilika aerogélt. Már a Mars-béli űrhajósok ruhájának prototípusát is elkészítették. Először 2000 körül állítottak elő hajlékony aerogélt, majd az így létrehozott szálakat különböző anyagokkal keverve az aerogélek alkalmazási területei tovább szélesedtek. Hasznosíthatók katalízisnél katalizátor-

hordozóként, teniszütőkben (növelik a keménységet, a kontrollálhatóságot, rezgéscsillapító hatásúak), gyógyszerhatóanyag célba juttatásra (polimer aerogélek tervezett felhasználási célja), hidrogéngáz-tárolásra (fosszilis fűtőanyagok helyettesítésére hidrogén-meghajtású gépkocsikban, mely a szén aerogélek ígéretes hasznosítási terve), valamint energiatárolásra is (a szén aerogélek az infravörös sugárzásnak csak 0,3%-át tükrözik vissza, mely napenergia-tárolásnál fontos szempont) [2].

### 2. Kísérleti módszerek leírása

A Hőker Kft. által átadott, azonos típusú kemencék falazatát kovaföld és szilika aerogél meghatározott arányú keverékből készítették úgy, hogy a tűzállófalazatok kovaföld tartalma 0, 10, 30, 50, 100 tömegszázalék volt. A kemence belső terét először kovaföld alapú szigetelőanyag veszi körül. Ezután következik a vizsgálandó szigetelőanyag 6 cm vastagságban, majd a külső acélborítás. A kemencék tetején egy 10 cm élhosszúságú négyzetet jelöltünk ki, melynek sarkain 1 cm átmérőjű furatokat készítettünk. A falazat különböző vastagságaiban uralkodó hőmérséklet mérése érdekében, az elkészített furatokba 0, 20, 40, és 60 mm mélységben, valamint a belső térben K-típusú hőelemeket helyeztünk el. Az 1a ábra a hőelemek helyét mutatja a falazatban, míg az 1b ábrán a kemence fényképe látható.

A kutatómunka célja két szerkezetileg egyforma, hagyományos, csak kovaföldből készült és különböző

mértékű aerogélt tartalmazó falazattal ellátott kemence párhuzamos, összehasonlító vizsgálata volt. A mérések során az adatok rögzítését egy ADAM 4000 szériás modulokból összeállított mérő regisztrálóegység végezte. A mérőszoftver 30 másodpercenként rögzítette a hőmérsékletet. A kemencék hőmérséklete 700 °C-ig növekedett, felfűtési idejük minden esetben legalább 5 óra időtartamot vett igénybe. Ezután a fűtés kikapcsolása, majd legalább 1 napos hűlési szakasz következett. A felfűtési adatokból 5 óra, a lehűlési adatokból 15 óra időtartamot rögzítettünk.

Az aerogél alapú tűzállóanyag használatának a magas hőszigetelő képességen túl további fontos előnye, hogy a kovaföldhöz képest kisebb a tömege. A vizsgált különböző keverékek látszólagos (tömörítetlen) sűrűségadatait az 1. táblázat foglalja össze.

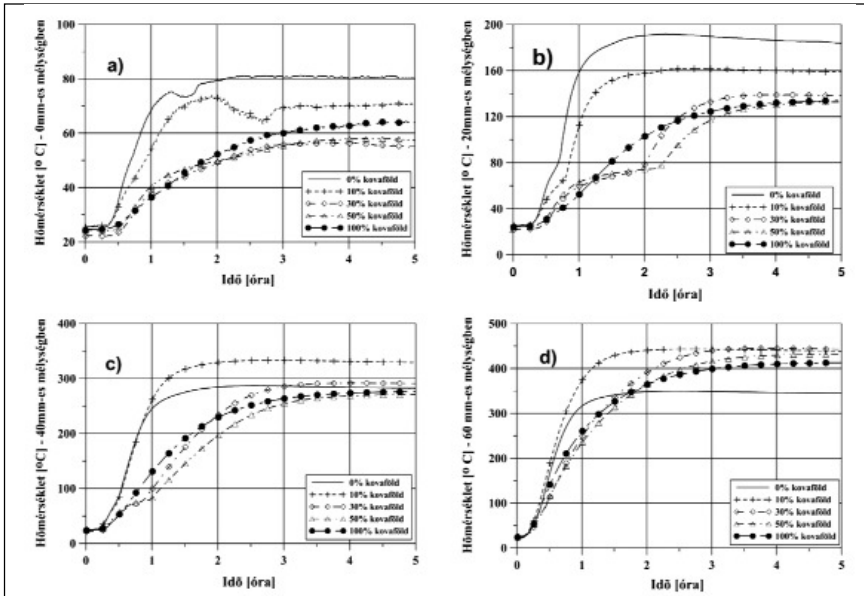
**1. táblázat.** A sűrűség változása a kovaföld-tartalom függvényében

Kovaföld-tartalom, tömeg%	Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>
0	78,6
10	102,5
40	154,9
50	180,6
100	243,1

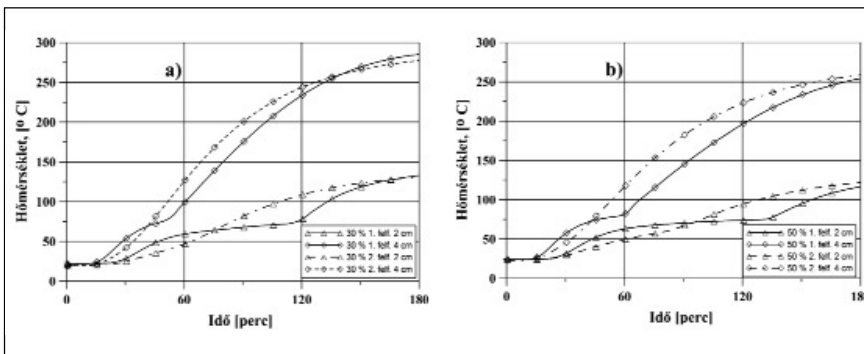
A mérés alapján megállapítható, hogy az alkalmazott aerogél sűrűsége harmada az alkalmazott kovaföldének.

### 3. A mérési eredmények

Különböző vegyi anyagok hevítésekor az ásványi összetételtől függően számos tömeg- és entalpiaváltozással járó folyamat játszódik le, amely termogravimetriás mérési módszerrel követhető. A minőségi kiértékelés alapja a DTA-görbe, amelyről megítélhető a folyamat jellege (exoterm, endoterm) és a DTA-csúcs hőmérsékletéből következtetni lehet a lejátszódó folyamatra. A tömegváltozással járó folyamatoknál minőségi vizsgálatra használható a DTG-görbe is. A mennyiségi kiértékelésnél meghatározandó a folyamat kezdete és



■ 2. ábra. A hőmérséklet változása az idő függvényében különböző mélységű mérési helyeken I.



■ 3. ábra. A hőmérséklet változása az idő függvényében a különböző mélységű mérési helyeken II.

vége, majd a TG-görbéről leolvasható a tömegváltozás. A hőmérséklet-mérés adatainak az idő, a kovaföld-tartalom és mérés helye szerint rendszerezett értékeit a 2. és 3. ábra foglalja össze.

Az első felfűtési görbéken erős töréspontok figyelhetők meg. A második felfűtés során az észlelt töréspontok kisimulnak (3. ábra). A 2. ábrán megfigyelhető töréspontoknál kb. 70 °C környékén megkezdődik az

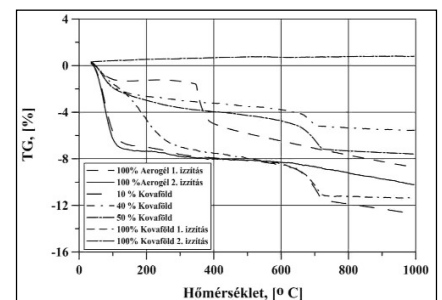
2. táblázat. A derivatogramokból számított tömegvesztés adatai a kovaföldtartalom és a hőmérséklet függvényében

Minta megnevezés	Tömegváltozás, %					
	Hőmérséklet-tartomány, °C					Teljes
	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	
aerogél +0 (m/m)% kovaföld	1,56	3,74	1,47	1,23	1,01	9,01
aerogél +0 (m/m)% kovaföld ismételt izzítás	7,54	0,66	0,29	0,90	1,01	10,40
aerogél+10 (m/m)% kovaföld	7,22	0,91	0,61	3,35	0,82	12,91
aerogél+40 (m/m)% kovaföld	2,83	0,59	0,55	1,57	0,21	5,75
aerogél+50 (m/m)% kovaföld	3,12	0,98	0,81	2,57	0,25	7,73
100 (m/m) % kovaföld	4,84	2,83	0,93	2,78	0,10	11,48

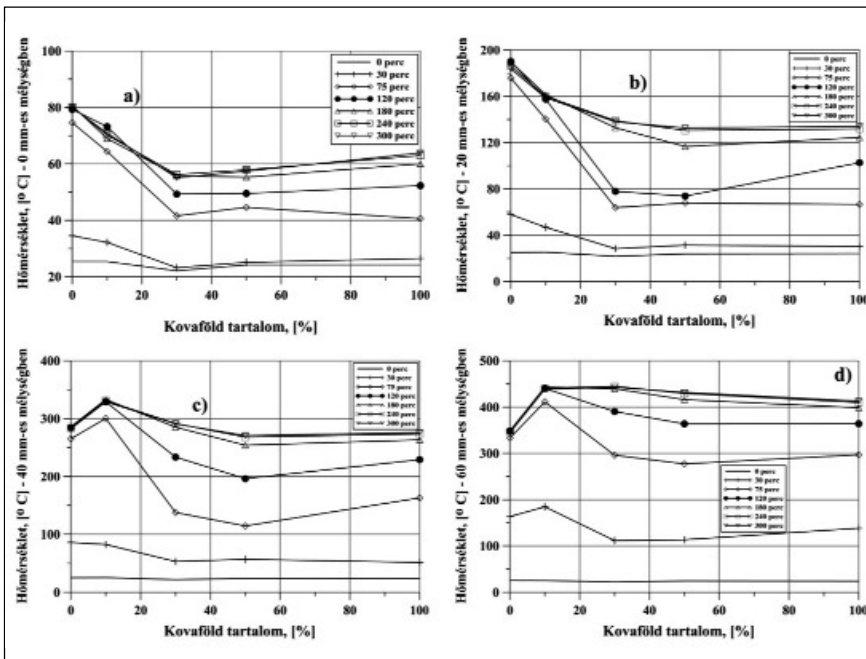
adszorbeált víz eltávozása. A víz párolgása hőelvonással jár, ennek hatására csökken a hőmérséklet, ezért láthatók töréspontok. Ezt a feltételezést igazolják a derivatogrammal készített felvételek is, amelyeken közel 10% víz eltávozás figyelhető meg a 0–200 °C tartományban. A derivatogramok (4. ábra) és a belőlük készített 2. táblázat adatait tanulmányozva megállapítható, hogy minden esetben két határozott hőmérséklet intervallumban történik jelentős tömegvesztés.

A kovaföld izzítási vesztesége közel megegyezik az aerogélével, ismételt (második) izzítás azonban már nem okoz további tömegvesztést. A tiszta aerogél minták esetében közel 10% tömegvesztés volt kimutatható a kezeletlen és az előkezelt aerogél esetében is. Ennél az összetételnél a tömegvesztés hőmérséklet-tartománya a második izzítás esetében lejjebb tolódik, ami azt jelentheti, hogy a második tömegvesztéssel új adszorpcióra képes felület jöhet létre. Az észlelt tömegvesztés függ az aerogél/kovaföld keverési arányától. A legkisebb tömegvesztés a kb. 30% tömeg% kovaföld tartalmú minták esetében volt mérhető. Megállapítható továbbá, hogy minél nagyobb a tűzállóanyag-keverék kovaföldtartalma, annál nagyobb hőmérséklet-különbségek mérhetők a mélység függvényében.

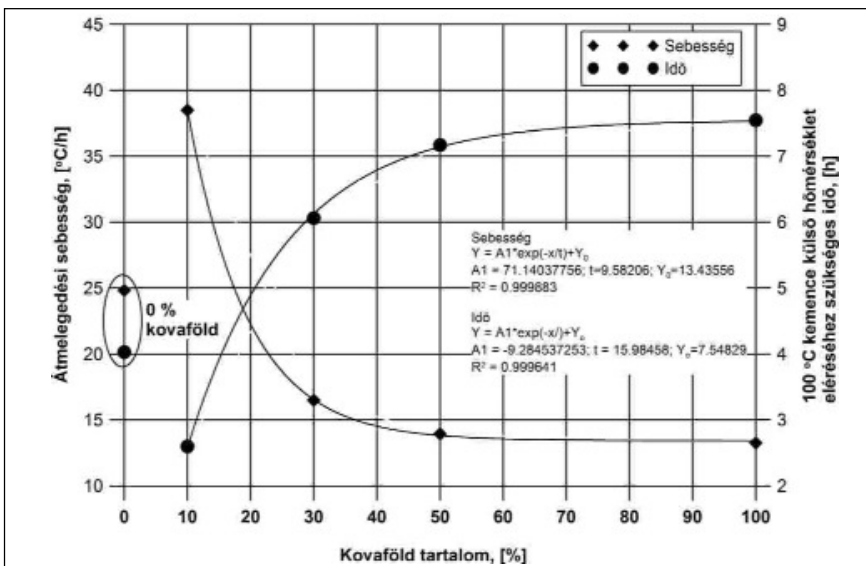
Tiszta aerogél szigetelő falazat esetében a kemence külső felületén nagyobb, 6 cm mélységben pedig sokkal kisebb értékeket lehet mérni a többi más összetételű falazat azonos mélységben mért értékeivel összehasonlítva. Keverék szigetelőanyagok esetében jobb szigetelő hatás figyelhető meg. Az 5. ábra adatai alapján



■ 4. ábra. Termogravimetriás (TG) görbe a hőmérséklet függvényében különböző tűzálló anyagok esetén



■ 5. ábra. Hőmérséklet-változás a kovaföldtartalom függvényében különböző mérési helyek esetén



■ 6. ábra. A kemence átmelegedési sebessége különböző keverékek esetén

megállapítható, hogy a nagy aerogél tartalmú keverékek esetében az aerogél jobb hőszigetelő hatása nem érvényesül.

A 30% (m/m) kovaföld tartalmat elérve az egyes mélységekben már nem nő tovább a zónák hőmérséklete az idő függvényében. A mérési eredmények igazolták, hogy a legkülső zónában a hőmérséklet minden esetben magasabb, mint 40 °C, ami folyamatosan üzemelő kemencék esetében kockázatot jelent.

A felfűtési adatokból látható, hogy

a különböző tűzállóanyag keverékek és azonos kemencetér hőmérséklet esetében a kemence egyensúlyi külső hőmérséklete változik. A vizsgált esetekben (adott kemenceszerkezetnél) a külső (fal) hőmérséklet magasabb, mint az előírt 40 °C. A legnagyobb eltérés a 100% aerogél falzatnál volt kimutatható, de az eltérés már 30% (m/m) kovaföld tartalomnál lecsökken a 100% kovaföldével közel megegyező értékre. A mért adatok alapján meghatározható a kemencék „átmelegedési sebessége”, valamint

a sebesség ismeretében a 100 °C hőmérséklet eléréséhez szükséges idő. Az eredmények a 6. ábrán láthatók.

Látható, hogy a 100%-os aerogél falazat gyors átmelegedését már 30% (m/m) kovaföld adagolás is jelentősen lecsökkenti. Az 1. táblázat adatait felhasználva kimutatható, hogy a javasolt 30% (m/m) kovaföld tartalmú kemencefalazat tömege a fele a 100% kovaföldet tartalmazó falazat hasonló adatának.

#### 4. Összefoglalás

A tiszta aerogél szigetelőanyag nem nyújt elegendő védelmet a konvektív hőáram ellen. 30% (m/m) aerogél tartalmú keverék esetében a legkisebb a melegítés hatására bekövetkező tömegváltozás. Ilyen keverék alkalmazása esetén – az eredetileg tisztán kovaföldet tartalmazó konstrukciójú – kemencék falazatának tömege felére csökkenthető. A felfűtési görbén észlelt töréspontok a vízvesztéssel magyarázhatók. A töréspont megfigyelhető a második felfűtésnél is, azonban, mivel kovaföld esetében ekkor nem mutatható ki tömegváltozás, a töréspont az aerogél szerkezetváltozásával kell, hogy következzen. A mérési eredmények alapján 30% (m/m) aerogél tartalmú tűzállóanyag keverékek használata tűnik célszerűnek.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Felhasznált irodalom

- [1] Pásztor Balázs: Aerogél a sokoldalú anyag – A megszilárdult füst, Élet és tudomány 63. évf. 47/2008 1482–1483 oldal
- [2] Sinkó Katalin: Aerogél a megszilárdult füst, <http://www.chem.elte.hu/departments/kolloid/szakirany/letoltes/Aerogel.pdf>