

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**Funkcionalizált szilika aerogélek előállítása és lehetséges alkalmazási területeik felderítése**

**Bereczki Helga Fruzsina**

**Témavezető: Dr. Lázár István** egyetemi docens



Debreceni Egyetem  
Kémiai Tudományok Doktori Iskola  
Debrecen, 2017.



## I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A szilika aerogélek (a továbbiakban: aerogélek) a világ legkisebb sűrűségű szilárd anyagai közé tartoznak, és számos különleges tulajdonsággal bírnak. Rendkívül nagy a fajlagos felületük ( $500-1200 \text{ m}^2/\text{g}$ ) és porozitásuk ( $80-98,9\%$ ), így kiemelkedő elektromos, hő- és hangszigetelők, valamint saját sűrűségükhöz ( $0,003-0,6 \text{ g/cm}^3$ ) képest rendkívül nagy a nyomószilárdságuk. Ezen speciális jellemzőkből adódóan az aerogélek már néhány területen felhasználást nyertek, alkalmazzák őket például épületek és üreszközök szigetelőanyagaiként, illetve nagyenergiájú részecskék detektálására és kozmikus porrészecskék befogására is.

Az aerogélek az elmúlt közel harminc évben számos anyagtudományi kutatás középpontjában álltak. Ezek azonban csak csekély mértékben terjedtek ki kémiai módosításuk (funkcionalizálásuk) és annak tulajdonságokra gyakorolt sokrétű hatásának tanulmányozására. Előállítási módszerüknek, a szol-gél eljárásnak köszönhetően az aerogélek igen változatos szerves oldalláncokkal és komplexképzőkkel funkcionálizálhatóak. Az így nyert új anyagok nem csak fizikai tulajdonságaik tekintetében különböznek jelentősen a módosítatlan, ún. natúr aerogélektől, hanem kémiai viselkedésükben is. Ennek köszönhetően akár olyan területeken is felhasználást nyerhetnek, amely a natúr aerogélek esetében elképzelhetetlen lett volna.

A Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén kutatócsoportunk több, mint 10 éve folytat vizsgálatokat az aerogélek és kompozitjaik előállítása és vizsgálata területén. Ezen kutatásokhoz kapcsolódva kezdtem meg doktori munkámat, melynek kezdetén kettős célt tűztem ki. Először is célom volt új, kémiaileg módosított aerogélek előállítása és szerkezetük, összetételük valamint morfológiájuk vizsgálata. Tekintettel arra, hogy a funkcionizált aerogélek a gyakorlatban eddig csak igen minimális felhasználást nyertek, ezért munkám második felében célul tűztem ki az általam előállított új anyagok potenciális alkalmazási lehetőségeinek felderítését. Több különböző területet is kiválasztottam annak érdekében, hogy minél szélesebb körben vizsgálhassam meg a funkcionizált aerogélekben rejlő lehetőségeket. Az általam előállított anyagok közül néhányat mint új típusú állófázisokat teszteltem a nagynyomású folyadékkromatográfia (HPLC) területén, másoknak poli(metil-metakrilát) (PMMA) kompozitok töltőanyagaiként való alkalmazhatóságát vizsgáltam meg, míg a katalitikusan aktív funkciós csoportokkal módosított aerogéleknek pedig katalitikus tulajdonságait jellemeztem.

## II. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI TECHNIKÁK

### A szerkezet és a morfológia jellemzése

A nitrogén adszorpciós/deszorpciós porozimetriás méréseket egy Quantachrome Nova 2200e típusú poroziméterrel végeztem. A mintaelőkészítés során a körülbelül 20 mg tömegű örölt aerogél mintákat 24 órán át 100 °C-on deszorbeáltattam.

A pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) vizsgálatokat egy Hitachi S-4300 típusú berendezés segítségével végeztük. A körülbelül 2-4 mm nagyságú monolitikus aerogél mintadarabokat egy alacsony olvadáspontú ötvözet (Wood-fém) segítségével rögzítettük egy mintatartó lemezen, majd az aerogél felületekre arany vezetőréteget porlasztottunk. Az alkalmazott gyorsítófeszültség 5-15 kV volt.

A Fourier-transzformációs infravörös (FT-IR) spektrumokat egy Nicolet Nexus FT-IR spektrométer segítségével rögzítettük. A mintaelőkészítés során az örölt aerogélből káliumbromidos pasztillát készítettünk.

A mágneses magrezonancia spektroszkópiai (NMR) mérések Bruker AM 360 spektrométeren készültek.

### Kromatográfias vizsgálatok

A folyadékkromatográfias méréseket Jasco gyártmányú HPLC készüléken végeztem, amely ERC 3315 on-line eluens gázmentesítőből, Jasco LG-980-02 kisnyomású gradiensképző egységből, Jasco PU-980 pumpából, Jasco AS-1555 automata mintaváltóból és injektorból, Jasco UV-975 scanning UV/VIS detektorból és a CromPass számítógépes vezérlő/kiértékelő programból állt.

### Aerogél-PMMA kompozitok vizsgálata

Az előállított aerogél-PMMA kompozitok Shore D keménységeit az EN ISO 868:2003 szabvány szerint eljárva egy D-típusú keménységmérő műszer segítségével határoztuk meg. A nyomószilárdságokat egy Instron 8874 típusú szervohidraulikus rendszerű biaxiális biomechanikai anyagvizsgáló berendezés segítségével mértük meg. Az ütőszilárdság méréseket egy kis méretű, egyedi tervezésű Gardner-típusú berendezéssel határoztuk meg.

A szimulált testfolyadék (SBF)-oldatokat  $(\text{HOCH}_2)_3\text{CNH}_2$ , NaCl, KCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , és  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  felhasználásával készítettük el. Az oldat pH-ját  $7,40 \pm 0,02$  értékre állítottuk be 0,1 M sósav segítségével. Az *in vitro* bioaktivitás tanulmányokat úgy végeztem, hogy a kompozit darabokat SBF oldatban áztattam 37 °C-on, 20 napon keresztül, majd a kompozitok felületét SEM módszerrel vizsgáltam.

## **Katalitikus vizsgálatok**

A CuAM12 és CuAM14 aerogélek katalitikus tulajdonságainak vizsgálata során szintén a HPLC módszert alkalmaztam. A választott modellreakció a fenol vizes közegben történő hidrogén-peroxidos oxidációja volt, melynek során a fenol koncentrációjának időbeli változását követtem nyomon. A meghatározáshoz egy Phenomenex Lichrosphere 5 RP-18e (4,6 mm × 150 mm, 5 µm szemcseméret) kolonnát használtam, az eluens pedig 40% metanol–60% kálium-dihidrogén-foszfát (0,025 mM) / foszforsav (0,52 mM) puffer (pH 4) volt. A detektálás 254 nm hullámhosszon történt, az injektált térfogat 20 µl volt.

A tömegspektrometriás (MS) méréseket egy MicroTOF-Q típusú, kvadrupól-repülési idő tömeganalizátorral felszerelt berendezésen végeztük. A vizsgálatokhoz elektroporlasztásos ionforrást (ESI) használtunk, ahol a porlasztási feszültség 3 kV volt. Szárítógázként nitrogént alkalmaztunk, 180°C-on, 4,0 l/perc áramlási sebesség mellett. A spektrumokat digitalizálással rögzítettük 2 GHz frekvenciával. A kiértékelés a Bruker DataAnalysis 3,4 szoftver segítségével történt.

## **III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK**

### **1. Új típusú, kémiaailag módosított aerogéleket állítottam elő, valamint jellemeztem azok morfológiáját és szerkezetét.**

#### **1.1. Elsőként dolgoztam ki módszert (3-glicidoxi)-propil- és hexadecil-csoportokkal, valamint Kryptofix[2.2]-vel, [ciklén-Cu]- és [ciklám-Cu]-komplexszekkel kémiaailag módosított aerogélek előállítására.**

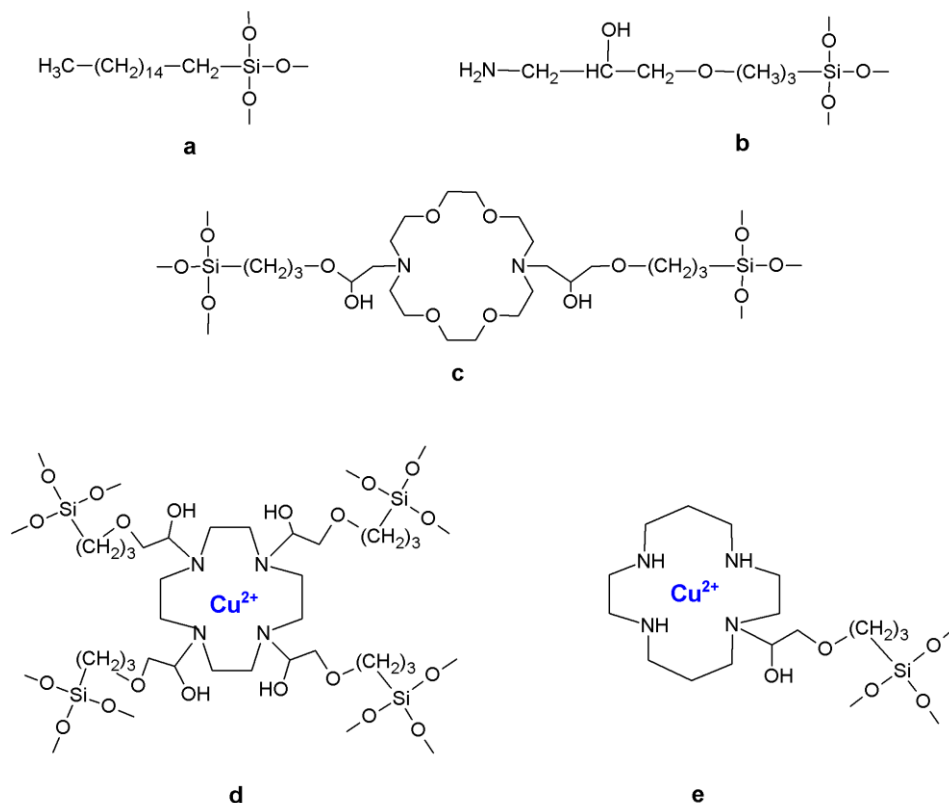
Az aerogéleket (1. ábra) a bázis-katalizált szol-gél módszer segítségével állítottam elő. Az eljárás során először két oldatot készítettem („A” és „B” oldatok). Az „A” oldat tartalmazta a fő szilán reagenst (tetrametil-ortoszilikát), illetve a különböző módosító ágenseket is (körülbelül 10 térfogatszázalékban), leggyakrabban metanolos közegben. A „B” oldat tartalmazta a katalizátort, amely NH<sub>3</sub> vagy (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vizes-metanolos oldata volt. Az „A” és „B” oldatokat intenzív keverés mellett elegyítettem, majd azonnal műanyag öntőformába öntöttem. A gélesedés befejeződését követően az alkogéleket öregítettem, majd lépcsőzetes oldószercserének vettem alá, melynek során az eredeti, vizes-metanolos anyaoldószeret acetonnal cseréltem le. Az utolsó lépésként szuperkritikus szén-dioxidos szárítást hajtottam végre.

#### **1.2. Megállapítottam, hogy a kémiai módosítás nem gyakorolt jelentős hatást az aerogélek morfológiai jellemzőire.**

Az előállított aerogélek morfológiáját nitrogén adszorpció/deszorpció porozimetriával és SEM technikával vizsgáltam. A porozimetriás eredmények tanulsága szerint az anyagok a aerogélekre általánosan jellemző fajlagos felülettel ( $367,4\text{-}1060\text{ m}^2/\text{g}$ ) és karakterisztikus pórusátmérővel ( $13,3\text{-}31,7\text{ nm}$ ) rendelkeznek. A SEM felvételeken minden esetben megfigyelhető az aerogélekre jellemző, makropórusokkal tagolt „gyöngyfűzér-szerű” szerkezet, noha a CuAM12 és CuAM14 gélek esetében nagyméretű ( $400\text{-}500\text{ nm}$ ) aggregátumok is kialakultak a struktúrában.

### 1.3. Bizonyítottam, hogy a funkció csoportok kovalens módon épültek be a szilika vázba.

Az előállított aerogélek összetételét FT-IR és  $^1\text{H}$  NMR módszerekkel vizsgáltam. A spektrumokon megtalálhatóak a szerves funkció csoportok jelenlétére utaló csúcsok. A vizsgálatokat gondos mintaelőkészítés (FT-IR esetében többlépcsős vizes-metanolos mosás,  $^1\text{H}$  NMR esetében lúgos feltárás) előzte meg, így biztosítani tudtam, hogy a beazonosított szerves molekularészletek nem a felületen fizikailag adszorbeálódott vegyületekből származnak.



1. ábra. Az előállított funkcionális aerogélek szerkezeti képletei. (a) Si-C16, (b) Si-Gly, (c) Si-Kry, (d) CuAM12, (e) CuAM14.

### 1.3. Bizonyítottam, hogy a funkció csoportok kovalens módon épültek be a szilika vázba.

Az előállított aerogélek összetételét FT-IR és  $^1\text{H}$  NMR módszerekkel vizsgáltam. A spektrumokon megtalálhatóak a szerves funkciós csoportok jelenlétére utaló csúcsok. A vizsgálatokat gondos mintaelőkészítés (FT-IR esetében többlépcsős vizes-metanolos mosás,  $^1\text{H}$  NMR esetében lúgos feltárás) előzte meg, így biztosítani tudtam, hogy a beazonosított szerves molekularészletek nem a felületen fizikailag adszorbeálódott vegyületekből származnak.

## **2. Elsőként vizsgáltam meg az előállított natúr (Si-0) illetve funkcionáliszt (Si-Gly, Si-C16, Si-Kry) aerogélek alkalmazhatóságát HPLC-s állófázisokként.**

### **2.1. Natúr illetve funkcionáliszt szilika aerogél töltetű HPLC kolonnákat állítottam elő.**

Első lépésként az aerogéleket golyósmalomban megőröltem, majd az aerogél porokat, melyek szemcsemérete száraz állapotban 25-125  $\mu\text{m}$  között volt, folyadéksuszpenziós módszerrel töltöttem konvencionális rozsdamentes acél kolonnákba. Ezt követően az állófázisokat HPLC pumpa segítségével a nyomás fokozatos emelésével tömörítettem, majd a megfelelő oldószerek folyamatos átáramoltatásával kondicionáltam.

### **2.2. Jellemeztem az új típusú, aerogél alapú állófázisok alapvető kromatográfiai tulajdonságait, és megállapítottam, hogy azok 2-5 vegyületből álló tesztegyek elválasztására alkalmasak.**

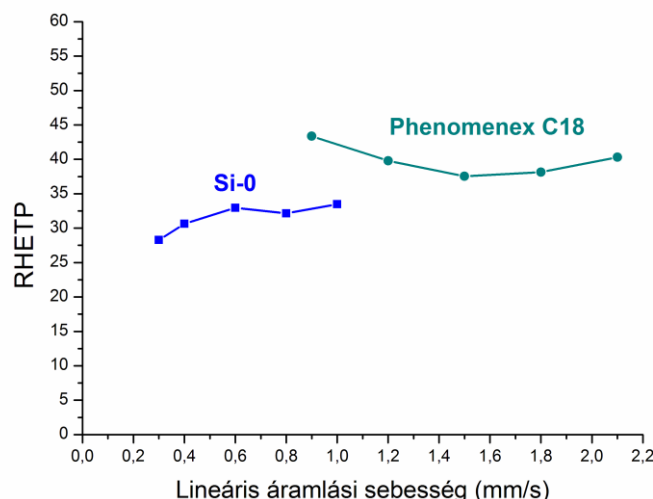
Az elválasztások során különféle eluens összetételeket alkalmazva fény derült arra, hogy az Si-0, Si-Gly és Si-Kry kolonnák normál fázisként, míg az Si-C16 kolonna fordított fázisként viselkedtek, mivel az eluens polárosságának csökkenésével az első három esetben nőttek, míg az utóbbi esetben csökkentek a retenciós idők. Az optimális mozgófázis összetételt alkalmazva (abszolút etanol : hexán = 10 : 90 az Si-0, Si-Gly és Si-Kry esetében, illetve metanol : víz = 5 : 95 az Si-C16 esetében) 0,6-1,0 ml/perc áramlási sebességek mellett izokratikus módban 2-3 tesztvegyület alapvonal elválasztását valósítottam meg. Az Si-C16 esetében az elválasztási hatékonyság növekedéséhez vezetett a gradiens elúció alkalmazása, mely segítségével 5 vegyületet sikerült elválasztani. A kromatogramokon nagymértékű sávszélesedés volt megfigyelhető, mely minden bizonnyal a szemcsék belsejében kialakuló gátolt tömegtranszporttal magyarázható.

### **2.3. Megállapítottam, hogy az ideális elválasztási körülmények elérése érdekében 1,0 ml/perc alatti áramlási sebesség és szubmikronos szemcseméret alkalmazása szükséges.**

Az optimális elválasztási paraméterek meghatározása céljából megvizsgáltam az áramlási sebességének az elméleti tényérmagasságokra gyakorolt hatását. A kapott van Deemter görbékből egyértelműen kitűnik, hogy az optimális áramlási sebesség számottevően 1,0

ml/perc alatti, azonban a rendelkezésemre álló HPLC készülék a 0,3 ml/perc alatti értékeket nem tudta biztosítani. Figyelembe véve továbbá a kromatogramokon látható óriási csúcscsúszásokat, az elválasztási körülmények optimalizálása érdekében a nagyon kis áramlási sebességek mellett szintén kicsi, lehetőleg szubmikronos méretű szemcseméretekre is szükség van. Ekkor az analit molekulák az aerogél szemcsék belsejébe illetve szemcsékből kifelé történő diffúziójának sebessége összemérhetővé válik a mozgófázis lineáris áramlási sebességével, így a sávcsúszás feltehetőleg nem jelentkezik.

**2.4. Az aerogél kolonnákat egy kereskedelmileg hozzáférhető C18-as (Phenomenex, 5  $\mu$ m) kolonnával összevetve megállapítottam, hogy az aerogél struktúra óriási porozitásából adódó előnyös tulajdonságok már a nem optimális körülmények (túl nagy szemcseméret, az ideálisnál nagyobb áramlási sebesség) ellenére is megmutatkoznak.**



**2. ábra.** Si-0 aerogél és a Phenomenex C18 kolonna RHETP értékeinek összehasonlítása. Elválasztási körülmények: Si-0: hexán:abszolút etanol=90:10 eluens, 0,3-1,0 ml/perc áramlási sebesség; Phenomenex C18: víz:metanol=55:45 eluens, 0,4-1,2 ml/perc áramlási sebesség.

Összehasonlítás céljából az aerogél kolonnákat egy 5 mikronos Phenomenex C18 típusú kolonnával vettem össze a redukált elméleti tányérmagasság (az elméleti tányérmagasság és a szemcseméret hányadosa) értékek segítségével (2. ábra). Az eredmények arra utalnak, hogy annak ellenére, hogy az aerogél kolonna számottevően nagyobb átmérőjű és szélesebb méreteloszlású szemcséket tartalmaz, hatékonysága összevethető a xerogél alapú C18-as kolonnáéval.

**3. Elsőként alkalmaztam és teszteltem natúr és funkcionalizált örölt aerogéleket ((Si-0, Si-0<sub>500°C</sub>, Si-C16 és Si-Ph) *in situ* szabadgyökös tömbpolimerizációval előállított PMMA kompozitok töltőanyagaiként.**

### **3.1. Módszert dolgoztam ki PMMA-aerogél kompozitok homogén szerkezetű, buboréktól mentes előállítására.**

A kompozitokat szabadgyökös tömbpolimerizációval állítottam elő, kumén-hidroperoxid katalizátor és N,N-trimetil-anilin redoxpár segítségével. Frissen desztillált metil-metakrilátból indultam ki, és a reakciót 60 °C-on, atmoszférikus nyomáson és inert atmoszférában (nitrogén) valósítottam meg. A szintézist megelőzően az őrlött aerogéleket 100 °C-on, dinamikus vákuum alatt fél órán át deszorbeáltattam.

### **3.2. Bizonyítottam, hogy az aerogélek, mint töltőanyagok javítják a PMMA mechanikai tulajdonságait.**

A kompozitok mechanikai tulajdonságainak jellemzése érdekében megmértem a Shore D keménységeket, valamint a nyomó- és ütőszilárdságokat. Meglepő módon azt tapasztaltam, hogy a Shore D keménységek és a nyomószilárdságok kivétel nélkül minden esetben számottevően megnöttek a tiszta PMMA-hoz képest. Az ütőszilárdságok esetében növekedést csak a funkcionizált aerogélek esetében tapasztaltam. Ez az erősítő hatás különösen figyelemre méltó akkor, ha figyelembe vesszük, hogy a kompozitok rendkívül kis mennyiségben (4-9 m/m%) tartalmaznak aerogélt, illetve hogy a monolitikus aerogélek nyomószilárdsága a néhány tized MPa-t is alig éri el.

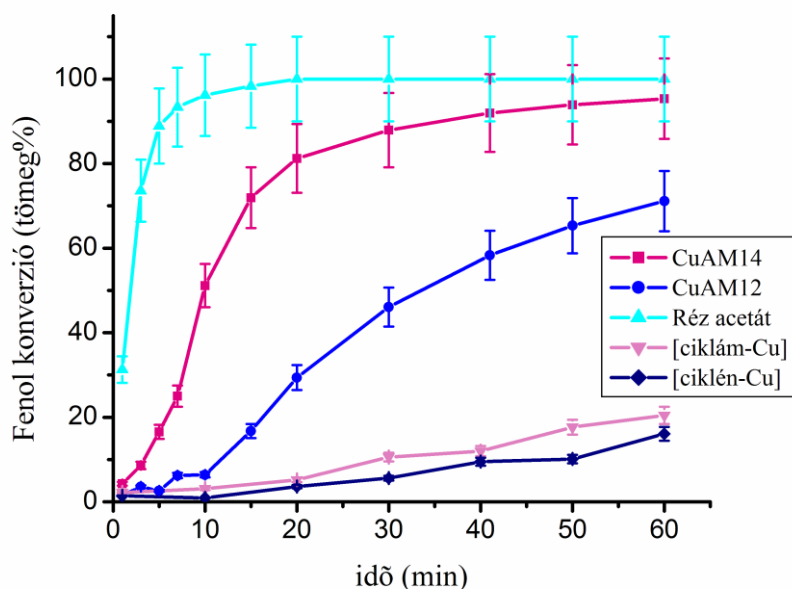
### **3.3. Kimutattam, hogy szimulált testfolyadékban történő áztatás hatására bizonyos PMMA-aerogél kompozitok felülete az aerogél szemcsék kioldódása révén porózussá alakítható.**

A szimulált testfolyadékot (SBF) elterjedten használják PMMA alapú csontcementek és mesterséges ízületi implantátumok biokompatibilitásának fiziológiás körülmények között történő vizsgálatára. A kompozitokat 20 napon keresztül áztattam SBF-ben, majd ezt követően a felületen bekövetkező változásokat SEM-val vizsgáltam. Meglepő módon azt tapasztaltam, hogy az Si-C16 és az Si-0 kompozitok esetében az aerogél kioldódott a PMMA mátrixból, szivacsos felületet és lyukakat hagyva maga után.

### **4. Elsőként teszteltem tetraaza-makrociklusos (ciklén ill. ciklám) Cu(II)-komplexszekkel kémiai módosított aerogélek katalizátorként való felhasználhatóságát.**

**4.1. Bizonyítottam, hogy a komplexek aerogél felszínhez történt kémiai rögzítése a CuAM14 esetében 7-szeres, a CuAM12 esetében pedig 15-szörös hatékonyság növekedéshez vezetett, és a jelenség az ún. zárttér-hatás („confinement effect”) segítségével értelmezhető.**

Modellreakcióként a fenol hidrogén-peroxidos oxidációját választottam. Összehasonlíthatás céljából a katalitikus tesztek homogén fázisban, csak a szabad komplexeket illetve Cu(II)-ionokat tartalmazó oldatokkal is megismételtem. Míg homogén fázisban a [ciklén-Cu] és [ciklám-Cu] komplexek igen gyenge aktivitást mutattak, hiszen 60 perc alatt a teljes fenol mennyiségnek csupán rendre 16 illetve 21 százalékát bontották el, addig a CuAM12 és CuAM14 aerogéleknél ez az érték rendre 95 illetve 71 százalék volt (3. ábra). A jobb összehasonlíthatóság kedvéért a görbék kezdeti, közel lineáris szakaszáról kiválasztott pontokra egyenest illesztettünk. Ezek alapján számítottuk a katalitikus ciklusfrekvenciát, mely megadja az egységnyi aktív hely által időegység alatt átalakított fenol mennyiségét. A CuAM12 és CuAM14 esetében ez az érték rendre 15-szörösen illetve 7-szeresen meghaladja a szabad [ciklén-Cu] illetve a [ciklám-Cu] komplexekét.



3. ábra A szabad  $\text{Cu}^{2+}$  ionok és [ciklén-Cu] illetve [ciklám-Cu] komplexek, valamint a CuAM12 és CuAM14 aerogél katalizátorok esetében kapott kinetikai görbék.

**4.2. ESI-MS technika segítségével megállapítottam, hogy a makrociklusos aerogél katalizátorok alkalmazása mellett a fenol oxidációja kinonok keletkezésén keresztül játszódik le, melyet gyűrűnyílás és lépcsőzetes oxidáció követ. A folyamat végén rövid szénláncú karbonsavakat kapunk, melyek nem toxikusak, így a környezetre nézve nem károsak.**

Méréseim során megállapítottam, hogy az alkalmazott körülmények mellett 240 perc elteltével a reakcióelegyekben toxikus komponensek már nem találhatóak, csupán a

természetben is előforduló, rövid szénláncú karbonsavak (például akrilsav, malonsav, maleinsav, borostyánkősav, oxálsav).

**4.3. Az aerogél katalizátorok újrahasznosíthatóságának vizsgálata során megállapítottam, hogy még négy izolált katalitikus ciklus után is aktívak maradtak, bár bizonyos hatékonyságbeli romlás bekövetkezett; a CuAM14 esetében 50 százalékkal, a CuAM12 esetében pedig mintegy 85%-al csökkent a fenolkonverzió sebessége az utolsó ciklus végére.**

A hatékonyság romlásának több magyarázata is lehetséges. Ezek közül a legvalószínűbb az, hogy az oxidáció során az termékek egy része adszorbeálódik az aerogél felületen, blokkolva ezáltal az aktív helyeket. Ezt az elméletet támasztja alá az aerogélek sötétbarna elszíneződése, mely a ciklusok előrehaladtával egyre erősödik. Emellett a katalitikus aktivitás csökkenése az amorf szilikagélek vízben való nem elhanyagolható mértékű oldhatóságából is fakadhat.

#### **IV. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI**

Munkám során új típusú funkcionizált aerogéleket állítottam elő, és olyan területeken teszteltem, melyekre az irodalomban jelenleg nem található példa. Az eredmények rámutatnak arra, hogy a funkcionizált aerogélek a jövőben előrelépést jelenthetnek és hasznosíthatóvá válhatnak az elválasztástechnikában, valamint a polimer kompozitok fejlesztésében. A kromatográfias vizsgálatok eredményeit figyelembe véve elmondhatjuk, hogy az aerogélek elsősorban a szuperkritikus folyadékromatográfia területén válhatnak be, mint új típusú állófázisok. Mivel töltőanyagként az aerogélek számottevően javították a PMMA mechanikai tulajdonságait, valamint szükség esetén a kompozit felülete porózussá tehető, ezért az aerogél-PMMA kompozitok felhasználást nyerhetnek az orvosi biológiában stabilabb, hosszabb élettartamú csontcementekként, vagy nagy teherbírású, hőstabil műanyagokként az ipar számos területén. A funkcionizált aerogélek katalizátorként való alkalmazhatósága némileg kevesebb sikerrel kecsegtet. Noha kezdetben az ún. zárttér hatásnak köszönhetően megnövekedett hatékonyságok figyelhetők meg, ezek a mérsékelt újrahasznosíthatóságból adódóan nem bizonyultak tartósnak. Így a funkcionizált aerogélek ilyen irányú fejlesztése még számos kihívást tartogat.

## Publikációk

### *Az értekezés témájához tartozó közlemények:*

1. I. Lázár, H. F. Bereczki, S. Manó, L. Daróczy, Gy. Deák, I. Fábián, Z. Csernátony. Synthesis and study of new functionalized silica aerogel poly(methyl-methacrylate) composites for biomedical use. *Polymer Composites* 36 (2) **2015** 348-358.  
Impakt faktor (2015): 2,008
2. H. F. Bereczki, L. Daróczy, I. Fábián, I. Lázár. Catalytic activity of silica aerogels functionalized with Cu(II) complexes of cyclen and cyclam. *Microporous and Mesoporous Materials* 234 **2016** 392-400.  
Impakt faktor (2016): 3,349

### *Az értekezés témájához tartozó konferencia előadások:*

1. Bereczki H. F., Lázár I. Aerogélek, mint új típusú folyadékkromatográfiás állófázisok. *XXXII. Kémiai Előadói Napok Tudományos Szimpózium*, 2010. október 25-27., Szeged
2. Bereczki H. F., Kuttor A., Lázár I., Fábián I. Funkcionalizált szilika aerogélek, mint új típusú folyadékkromatográfiás állófázisok. *MTA Szervetlen és Fémorganikus Kémiai Munkabizottság és az MTA Anyag- és Molekulaszerkezeti Munkabizottság előadóülése*, 2011. március 24 – 26., Demjén
3. Bereczki H. F., Kuttor A., Lázár I., Fábián I. Funkcionalizált szilika aerogél állófázisok folyadékkromatográfiás alkalmazásai. *Magyar Kémikusok Egyesülete I. Nemzeti Konferencia*, 2011. május 22-25., Sopron
4. Bereczki H. F., Lázár I., Manó S., Daróczy L., Deák Gy., Fábián I., Csernátony Z. Poli(metil-metakrilát)-funkcionalizált szilika aerogél kompozitok előállítása tulajdonságai és oldódása szimulált testfolyadékban. *XXXIV. Kémiai Előadói Napok Tudományos Szimpózium*, 2011. november 2-4., Szeged

### *Az értekezés témájához tartozó konferencia poszterek:*

1. H. F. Bereczki, I. Lázár, Gy. Deák, S. Manó, L. Daróczy, I. Fábián, Z. Csernátony. Functionalized silica aerogel-poly(methyl methacrylate) composites for potential use in bone cements. *International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry and Materials*, 2012. október 3-5., Nizza, Franciaország
2. H. F. Bereczki, N. Linares, J. García Martínez, I. Fábián, I. Lázár. Mesoporous silicas functionalized with macrocyclic copper(II) complexes and their use as catalysts. *4th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials*, 2015. március 9-13., 2015, Sitges, Spanyolország



**DEBRECENI EGYETEM**  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/25/2017.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bereczki Helga Fruzsina  
Neptun kód: VDGR5T  
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Bereczki, H. F.**, Daróczy, L., Fábíán, I., Lázár, I.: Sol-gel synthesis, characterization and catalytic activity of silica aerogels functionalized with copper(II) complexes of cyclen and cyclam. *Microporous Mesoporous Mat.* 234, 392-400, 2016. ISSN: 1387-1811.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.07.026>  
IF: 3.349 (2015)
2. Lázár, I., **Bereczki, H. F.**, Manó, S., Daróczy, L., Deák, G., Fábíán, I., Csernátóny, Z.: Synthesis and study of new functionalized silica aerogel poly(methyl methacrylate) composites for biomedical use. *Polym. Compos.* 36 (2), 348-358, 2015. ISSN: 0272-8397.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pc.22949>  
IF: 2.004

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 5,353**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 5,353**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.02.14.

