

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

---

**Funkcionális és gemini tenzidek önrendeződésének jellemzése tömbfázisban  
és szilárd/folyadék határfelületen**

**Páhi Barbara Annamária**

Témavezető: Dr. Király Zoltán

Egyetemi docens

---

Kémia Doktori Iskola  
Szegedi Tudományegyetem  
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2010

## Bevezetés és célkitűzések

Az SZTE Kolloidkémiai Tanszékén közel három évtizede folynak felületaktív anyagokkal kapcsolatos kutatások. E kutatómunka magába foglalja a kationcserélő agyagásványok organofilizálását kationos tenzidekkel; anioncserélő réteges szerkezetű kettős hidroxidok organofilizálását anionos tenzidekkel; emulziók, mikroemulziók és katalitikusan aktív nemesfém nanorészecskék stabilizálását ionos és nemionos tenzidekkel; és a tenzidek önrendeződésén alapuló, mezopórusos szerkezetű anyagok előállítását ún. templát módszerrel.

Az elmúlt évtizedek során a klasszikus tenzidek (pl. alkiltrimetil ammónium haloidok; alkilszulfátok és alkilszulfonátok alkáli sói; alkilezett vagy alkilarilezett polietilén-glikol származékok) tulajdonságait már alaposan feltérképezték, és így e tenzidek (egyébként igen széleskörű) alkalmazási lehetőségei többé-kevésbé ismertté váltak. Napjainkban előtérbe kerültek az új típusú tenzidek (pl. az iker-szerkezetű gemini tenzidek; funkcionális tenzidek) szintézisére irányuló kutatások, ill. e tenzidek tulajdonságainak és alkalmazási lehetőségeiknek kiterjedt vizsgálata.

Gyakorlati felhasználásuk során a tenzidek nanoszerkezeteket alkotnak, molekula szerkezetükből adódóan spontán önrendeződésre képesek mind oldatban, mind határfelületeken. Micellaképződésük valamint szilárd/folyadék (S/L) határfelületi adszorpciójuk hajtóereje termodinamikai okokra vezethető vissza. A termodinamikai hajtóerő tanulmányozásának közvetlen, és egyben legfontosabb kísérleti módszere a mikrokolorimetria. Kutatásaim egyik célja volt, hogy egy funkcionális tenzid, az (1*R*,2*S*)-(-)-*N*-dodecil-*N*-metilefedrinium bromid (DMEB) királis kationos tenzid micellaképződését vizsgáljam konduktometriás titrálással és titrációs mikrokolorimetriával. Feladatomból volt, hogy a tenziddel hidrofil montmorillonitot organofilizáljak, majd szerves közegű szuszpenziókat készítek annak eldöntésére, hogy a DMEB alkalmas-e a montmorillonit kellő mértékű hidrofóbizálására és elősegíti-e az organokomplex duzzadását alkalmasan megválasztott szerves közegben. Az immobilizált efedrin származék ugyanis olyan heterogenizált homogén katalizátornak tekinthető, amely potenciális lehetőséget ad enantioszelektív katalitikus reakciók kivitelezésére.

Feladataim közé tartozott további két, a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt-től kapott, új típusú gemini tenzid, az  $\alpha,\alpha'$ -[2,4,7,9-tetrametil-5-decil-4,7-diil]bisz[ $\omega$ -hidroxil-poli(oxietilén)] (Surfynol 465, S465) nemionos és a bisz(4-(2-dodecil)benzol-szulfonát)-Jeffamin só (DBSJ) anionos gemini tenzid micellaképződésének vizsgálata is, előszűrőként

annak eldöntésére, hogy ezek a vegyületek alkalmazhatók-e ún. fokozott hatékonyságú, harmadlagos kőolajkiszorítási eljárásokban (Enhanced Oil Recovery, EOR).

Az EOR szempontjából fontos paraméter a tenzidadszorpció mértéke a tárolókőzetben. Célul tűztem ki, hogy dinamikus módszerrel meghatározzam e két tenzid adszorpció izotermáját Algyői homokkő felületén, valamint az EOR folyamatok során adszorpció veszteségnek tekinthető adszorbeált anyagmennyiségeket. Ehhez ki kellett dolgoznom a valós folyamatot szimuláló, dinamikus adszorpció mérés technikáját; összeállítanom egy automatizált frontális oszlopkromatográfiás mérőrendszert; kidolgoznom a mérési eredmények kiértékelésének módját.

A vizsgálandó tenzidek molekulatömeg eloszlásának meghatározására alkalmas módszer a tömegspektrometria. Feladatomból volt egy tömegspektrometriás detektorral kombinált folyadékkromatográfiás rendszer (HPLC-MS) beüzemelése, tenzidek vizsgálatára történő optimalizálása. Célom volt a polidiszperz tenzidek molekulatömeg eloszlásának meghatározása után, az EOR folyamatok szempontjából alkalmas minták adszorpciójának és deszorpciójának komponens-szelektív vizsgálata. A mérések kivitelezéséhez alkalmassá kellett tennem a HPLC-MS mérőrendszert. Kutatómunkám további célja volt a fenti, újszerű mérőrendszer alkalmazásával elért eredmények kiértékelési módszerének kidolgozása is.

Munkám tehát nem csak alap kutatás jellegű, mert a megtervezett méréseket a gyakorlati alkalmazhatóság motiválta.

## **Kísérleti anyagok és módszerek**

### *Kísérleti anyagok*

Doktori munkám során vizsgáltam az (1*R*,2*S*)-(-)-*N*-dodecil-*N*-metil-efedrinium bromid (DMEB) királis tenzidet, a  $\alpha,\alpha'$ -[2,4,7,9-tetrametil-5-decil-4,7-diil]bisz[ $\omega$ -hidroxil-poli(oxietilén)] (Surfynol 465 vagy S465) nemionos gemini tenzidet, valamint a MOL Nyrt. megbízásából a Pannon Egyetem laboratóriumaiban szintetizált bisz(4-(2-dodecil)benzolszulfonát)-Jeffamin Só (DBSJ) anionos gemini tenzidet.

A DMEB segítségével organofilizált hidrofil nátrium montmorillonit felhasználásával szerves közegű szuszpenziókat készítettem. Duzzasztóközegként *n*-hexánt, etanolt, tetrahidrofuránt és toluolt alkalmaztam.

A Surfynol 465 micellaképződésének befolyásolásához adalékként etanolt, *n*-propanolt, *n*-butanolt, *n*-pentanolt, *n*-hexanolt illetve karbamidot használtam.

A Jeffamin D230 só, NP-10 (10 etilénoxid csoportot tartalmazó nonilfenil-poliglikol-éter), vagy kókuszDEA (kókuszsav-dietanol-amid) adalékokat, emellett fő komponensként DBSJ gemini tenzidet tartalmazó tenzidkeverékeket a MOL Nyrt. megbízásából a Pannon Egyetem laboratóriumaiban szintetizálták. A DBSJ adszorpciós veszteségét PEG 20,000 (20,000 átlagos molekulatömegű polietilén-glikol) illetve PVA (20,000 átlagos molekulatömegű polivinil-alkohol) felhasználásával próbáltam csökkenteni.

Folyadékkromatográfias és tömegspektrometriás adszorpciós vizsgálatokhoz az Algyői olajmező porított kőzetének 100-250 µm szemcseméretű frakcióját használtam. Az oszloptöltet holtterfogatának meghatározását deutérium-oxiddal végeztem.

### *Vizsgálati módszerek*

A tenzidek kritikus micellaképződési koncentrációját és a micellaképződést kísérő entalpiaváltozást egy VP-ITC (Microcal, USA) titrációs mikrokaloriméterrel vizsgáltam.

Az ionos tenzidek cmc értékeinek és disszociációs állandójának konduktometriás meghatározására egy Radelkis OK-0907P platina harangelektrodot és egy TitroLine 96 típusú automata bürettát használtam.

A DBSJ gemini tenzid és több tenzidkeverék dinamikus adszorpcióját és deszorpcióját egy általam összeállított, UV és törésmutatómérő detektorokat tartalmazó frontális adszorpciós oszlopkromatográfias mérőrendszerrel (nagynyomású folyadékkromatográf, HPLC) tanulmányoztam.

A tenzidek molekulatömeg eloszlását ESI-MS (electrospray ionizációs tömegspektrometria) módszerrel határoztam meg.

A DBSJ áramlási frontjait egyszerre négy csatornán, a komponensekre nézve szelektív, a kitűzött céloknak megfelelően általam átalakított LC-MS (tömegspektrometriás detektorral kombinált folyadékkromatográf) mérőrendszerrel specifikusan detektáltam pozitív és negatív ionizáció mellett.

Az adszorbens Algyői homokkő fajlagos felületét BET módszerrel határoztam meg standard körülmények között (nitrogén gőz adszorpciója 77 K hőmérsékleten), Micromeritics Gemini 2375 automata szorptométerrel.

A DMEB oldatában szuszpendált EMX-826 montmorillonit (DME-M) illetve az etanol, n-hexán, THF és toluol oldószerekben duzzasztott szuszpenziók bázislap távolságát Philips röntgendiffraktométerrel vizsgáltam.

## Az értekezés tézisei

**T1.** Konduktometriás és mikrokolorimetriás titrálással meghatároztam az (1*R*,2*S*)-(-)-*N*-dodecil-*N*-metil-efedrinium bromid (DMEB) oldhatóságának és kritikus micellaképződési koncentrációjának (cmc) hőmérsékletfüggését. A két függvény metszéspontja alapján a tenzid Krafft-hőmérséklete 280 K.

A konduktometriás módszerrel 288–328 K között meghatározott látszólagos disszociációs állandók ( $\alpha_{app}$ ) hőmérsékletfüggésének tanulmányozása során arra a következtetésre jutottam, hogy a micellákat alkotó tenzidmolekulák mindegyike teljes mértékben disszociál tenzid kationra és bromid ellenionra. A micella töltését a micella diffúz elektromos kettősrétegének szerkezete határozza meg. A közvetlenül, titrációs mikrokolorimetriával 288–348 K tartományban meghatározott entalpiák ( $\Delta_{mic}H_{cal}$ ) és a cmc hőmérsékletfüggéséből számolt van't Hoff entalpiák ( $\Delta_{mic}H_{vH}$ ) jó egyezést mutatnak, ha  $\alpha_{app}$  hőmérsékletfüggését nem veszem figyelembe. Eredményeim alátámasztják Gilányi elméletét [T. Gilányi, J. Colloid Interface Sci., 78 (1988) 641].

A hőmérséklet emelkedésével a DMEB micellaképződése exoterm folyamatból endotermbe vált át 292 K-en, ahol a folyamat atermikus és tisztán entrópia kontrollált. E hőmérséklet alatt a kedvezőtlen entalpiatagot (pozitív) a kedvező entrópiatag (pozitív) túlkompensálja. A hidrofób effektus hőmérsékletfüggésére visszavezethető entalpia-entrópia kompenzációnak köszönhetően a szabadentalpia tag (negatív) széles hőmérséklettartományban is csak kis mértékben változik.

A DMEB micellaképződési entalpiáinak hőmérsékletfüggését (moláris hőkapacitás) összehasonlítva a megfelelő anionos és kationos tenzidek prototípusaival (nátrium dodecil szulfát, NaDS, ill. dodecil trimetilammónium bromid, DTAB) megállapítható, hogy az ionos fejcsoport szerkezete ill. összetétele sokkal kisebb mértékben befolyásolja a micellaképződés energetikáját, mint a tenzid alkiláncának hosszúsága.

**T2.** Az efedrin bázisú királis kationos tenzid (DMEB) ioncsere adszorpciójával organofilizáltam Na-montmorillonitot (Na-M), melynek eredményeképpen előállítottam egy heterogenizált homogén katalizátort (DME-M), amely aktív és enantioszelektív katalizátornak bizonyult aldehidek dietilcinkkel történő alkilálásában [Á. Mastalir, Z. Király, Catal. Commun. 9 (2008) 1404].

Röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálatokkal kimutattam, hogy a réteges szerkezetű katalizátor organikus közegben (toluol, etanol, tetrahidrofurán, n-hexán) duzzasztható. A szerves közeg minőségének és összetételének variálásával szabályozni lehet az interlamelláris tér nagyságát.

**T3.** ESI-MS módszerrel,  $\text{Na}^+$  és  $\text{K}^+$  kationizációval meghatároztam az  $\alpha,\alpha'$ -[2,4,7,9-tetrametil-5-decil-4,7-diil]bisz[ $\omega$ -hidroxil-poli(oxietilén)] (Surfynol-465, S465) nemionos gemini tenzid molekulatömeg eloszlását. A szám szerinti molekulatömeg átlag ( $M_N$ ) 698 Da illetve 702 Da értéknek adódott, a tenzid polidiszperzitás indexe  $\text{PD}=1.04$ . Megállapítottam továbbá, hogy a S465 átlagosan  $11.4 = (702 - 202) / 44$  etilénoxid egységet tartalmaz.

**T4.** Titrációs mikrokalorimetriás méréseim szerint a S465 cmc értéke desztillált vízben a hőmérséklet emelésével a 288-348 K tartományban csökken. A víz szerkezetét építő (structure-maker) alkoholok közül a n-pentanol és a n-hexanol beépülnek a tenzidmicellák szerkezetébe és csökkentik a cmc-t. Azonos koncentráció esetén a lánchossz növekedésével, illetve azonos lánchossz esetén az alkohol koncentrációjának növekedésével csökken a cmc. A víz szerkezetét törő (structure-breaker) karbamid már 0.1 M koncentrációban is növeli a cmc-t, ami a karbamid koncentrációjának növekedésével (0.1 M-5 M) tovább növekszik.

A S465 micellaképződése desztillált vízben és karbamid jelenlétében a 298-348 K tartományban, 40 mM n-pentanol és 20 mM n-hexanol jelenlétében a 298-328 K tartományban endoterm. A folyamat entrópiakontrollált és  $\Delta_{\text{mic}}H_{\text{cal}}$  kismértékben csökken a hőmérséklet emelkedésével. Az entalpia-entrópia kompenzáció következtében a szabadentalpia hőmérsékletfüggésében csak kismértékű csökkenés tapasztalható.

A titrációs mikrokalorimetriával meghatározott entalpiák és a cmc hőmérsékletfüggéséből számolt van't Hoff entalpiaértékek desztillált víz és karbamid esetén nagyon jó egyezésben vannak a kalorimetriásan mért értékekkel, mely azt az elméletet támasztja alá, hogy a karbamid nem épül be a micellákba. Megtöri a tenzidmolekulákat körülvevő víz hidrogénhidas szerkezetét, ezzel az egyedi tenzidmolekulák helyzetét teszi energetikailag kedvezőbbé, így nagyobb koncentrációban fognak micellákat képezni. n-pentanol és n-hexanol esetében viszont a kalorimetriás és van't Hoff entalpiaértékek közötti eltérés szignifikáns. Az eltérés oka, hogy az alkoholmolekulák beépülnek a micellákba, elősegítve az egyedi tenzidmolekulák micellákba rendeződését is. Az adalékanyagok beépülésének mértéke egyre növeli a mért és a számított entalpiaértékek közötti eltérést.

**T5.** ESI-MS módszerrel meghatároztam a MOL Nyrt. megbízásából a Pannon Egyetem laboratóriumaiban szintetizált bisz(4-(2-dodecil)benzol-szulfonát)-Jeffamin só (DBSJ) anionos gemini tenzid molekulatömeg eloszlását és polidiszperzitását. Kimutattam, hogy a 883 Da szám szerinti átlagos molekulatömegű tenzid 10-13 szénatomszámú alkilcsoportokból áll, súlyozott átlaguk 12.0. A tenzidmonomereket összekötő poli-propilénoxid (PPO) egységek száma 1-5, melyek súlyozott átlaga 2.7.

**T6.** A konduktometriával és titrációs mikrokolorimetriával DBSJ-re meghatározott cmc értékek igen jó egyezést mutatnak. A cmc a 288-348 K tartományban a hőmérséklet emelkedésével a 0.060-0.118 mM intervallumban változik. A tenzid asszociációs hajlama a hőmérséklet emelkedésével csökken. Ez a tendencia ionos tenzidekre jellemző.

A DBSJ micellaképződése 288.5 K-en atermikus, a folyamat ekkor tisztán entrópia kontrollált. E karakterisztikus hőmérséklet alatt  $\Delta_{\text{mic}}H > 0$ , a folyamat endoterm, fölötte pedig  $\Delta_{\text{mic}}H < 0$ , a folyamat exoterm és az aggregáció az entrópia és az entalpia tag által is kedvezményezett. A hidrofób effektus hőmérsékletfüggése által okozott entalpia-entrópia kompenzációnak köszönhetően a szabadentalpia tag (negatív) széles hőmérséklettartományban is csak kis mértékben változik.

A közvetlenül, titrációs mikrokolorimetriával meghatározott entalpiák ( $\Delta_{\text{mic}}H_{\text{cal}}$ ) és a cmc hőmérsékletfüggéséből számolt van't Hoff entalpiák ( $\Delta_{\text{mic}}H_{\text{vH}}$ ) jó egyezést mutatnak egymással.

**T7.** Összeállítottam egy UV és törésmutatómérő detektorokat tartalmazó frontális adszorpciós oszlopkromatográfiás mérőrendszert (nagynyomású folyadékkromatográf, HPLC). A mérőrendszerre kidolgoztam egy módszert, mellyel folyamatos üzemmódban, áramló rendszerben tanulmányozhattam tenzidoldatok szilárd/folyadék határfelületi adszorpcióját, retencióját, ill. dinamikus deszorpcióját, vízzel történő elúcióját a szeged környéki EOR (enhanced oil recovery, harmadlagos kőolajkiszorítási eljárás) szempontjából fontos adszorbensen: Algyői homokkő oszloptölteten. A kidolgozott módszerrel az EOR kiszorítási eljárást tudtam modellezni laboratóriumi körülmények között.

A DBSJ adszorpciós izotermájának platója 3.43 mg/g, mely összemérhető a megfelelő tenzidhomológok (nátrium decil benzol szulfonát, NaDBS, illetve nátrium dodecil benzol szulfonát, NaDDBS) Bentheim homokkővön [N.M. van Os, G. Haandrikman, Langmuir 3

(1987) 1051], illetve Fontainebleau-i homokkővön [J. Rouquerol, S. Partyka, J. Chem. Tech. Biotechnol. 31 (1981) 584.] mért adszorpciós kapacitásával. Nagyobb molekulamérete miatt azonban a DBSJ adszorpciós kapacitása kisebb.

Jeffamin D230 só, NP-10 (nonilfenol-poliglikol-éter, mely 10 etilénoxid (EO) csoportot tartalmaz), valamint kókuszDEA (kókuszsav-dietanolamid) adalék; PEG 20,000 (20,000 molekulatömegű polietilén-glikol) és PVA 20,000 (20,000 molekulatömegű polivinil-alkohol) polimer áldozati ágensek jelenlétében a DBSJ adszorpciója algyői homokkővön csökken. A plató értékei rendre 1.83, 1.87 valamint 2.36; 1.73 és 1.79 mg/g.

**T8.** Összeállítottam egy szakaszos, de nagy frekvenciájú mintavétellel működő, tömegspektrométert tartalmazó adszorpciós oszlopkromatográfiás mérőrendszert (LC-MS), mellyel az áramlási frontokat egyszerre négy csatornán, polidiszperz minták esetén a komponensekre nézve specifikusan tudom detektálni, pozitív és negatív ionizáció mellett is.

Megállapítottam, hogy a DBSJ-t alkotó decil és undecil homológok adszorpciójaának mértéke viszonylag csekély és közel reverzibilis. Az adszorpciós affinitás a C13>C12>C11>C10 sorrendben csökken: a DBSJ polidiszperz cocogem tenzid komponenseinek adszorpciója annál nagyobb, minél hosszabb a tenzid felületaktív alkil-benzolszulfonát csoportjának szénlánc. A C10 és C11 benzolszulfonát homológok deszorpciója normál viselkedést mutat, a C12 és C13 láncok deszorpciója viszont késleltetett: az elúció során e komponensek koncentrációja a C10 és C11 komponensek leszorítása során az oszloptölteten megnő, e komponensek először tovább dúsulnak a felületen, ezt követően azonban vízzel eluálhatók. Az áttörési frontok  $-(PO)_n-$  polipropilén oxid spacer (hídcsoport) szerinti vizsgálata során megállapítottam, hogy a polidiszperz tenzid komponenseinek adszorpciója, ill. az adszorpció mértéke nem, vagy csak kis mértékben függ a spacer csoport hosszúságától.

**T9.** Az EOR folyamatokban való felhasználás szempontjából kvantitatív szám adatot adtam arra vonatkozólag, mennyi a DBSJ adszorpciós vesztesége az algyői homokkő felületén. Mivel azonban az adszorpció reverzibilis, ez a veszteség vízzel történő elúció esetén ugyancsak olajkihozatalra fordítható, ami többletolaj kihozatalt eredményez. Kimutattam, hogy a DBSJ gyakorlatban való felhasználása esetén az algyői homokkő felületén legalább  $V_p=2.5$  pórustérfogatnyi, 5 g/L tenzidoldat szükséges a monomolekulás borítottság eléréséhez.

## Tudományos közlemények

### Az értekezés témájában megjelent tudományos dolgozatok

1. **Annamária B. Páhi**, Dénes Varga, Zoltán Király, Ágnes Mastalir  
*Thermodynamics of micelle formation of the ephedrine-based chiral cationic surfactant DMEB in water, and the intercalation of DMEB in montmorillonite*  
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 319( 2008) 77-83  
**IF<sub>2008</sub>: 1.926**

2. **Annamária B. Páhi**, Zoltán Király, Ágnes Mastalir, József Dudás, Sándor Puskás, Árpád Vágó  
*Thermodynamics of Micelle Formation of the Counterion Coupled Gemini Surfactant Bis(4-(2-dodecyl)benzenesulfonate)-Jeffamine Salt and Its Dynamic Adsorption on Sandstone*  
Journal of Physical Chemistry B, 112 (2008) 15320–15326  
**IF<sub>2008</sub>: 4.189**

3. **Annamária B. Páhi**, Zoltán Király, Sándor Puskás  
*Mass spectrometric characterization of the non-ionic gemini surfactant Surfynol 465 and a microcalorimetric study of its micelle formation in water*  
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 345( 2009) 13-17  
**IF<sub>2008</sub>: 1.926**

### Az értekezés témájához nem kapcsolódó tudományos dolgozatok

4. Attila Keresztes, Mária Szűcs, Attila Borics, Katalin Kövér, Enikő Forró, Ferenc Fülöp, Csaba Tömböly, Antal Péter, **Annamária Páhi**, Gabriella Fábán, Mariann Murányi, Géza Tóth  
*New Endomorphin Analogues Containing Alicyclic beta-Amino Acids: Influence on Bioactive Conformation and Pharmacological Profile*  
Journal of Medicinal Chemistry, 51 (2008) 4270-4279  
**IF<sub>2008</sub>: 4.898**

**Összesített hatástényező: 12.939**

### Nemzetközi konferenciák kiadványaiban megjelent közlemények

1. **A. B. Páhi**, Z. Király:  
*A Thermometric Titration Study on the Effect of Temperature and Various Cosolutes on the Micellization of a Novel Gemini Surfactant.*  
Russian International Conference on Chemical Thermodynamics, 2005. június 27-július 2.  
Moszkva, Oroszország, abstract Vol. II., PV-75.

2. **A. B. Páhi**, D. Varga, Z. Király  
*Thermodynamics of Micellization of the Ephedrine-Based Chiral Cationic Surfactant DMEB*  
12<sup>th</sup> IACIS International Conference on Surface and Colloid Science, 2006. október 15-20.  
Peking, Kína, abstract p. 88.

3. **A. B. Páhi**, Z. Király  
*Microcalorimetric Study of the Micelle Formation of a Nonionic Gemini Surfactant*  
12<sup>th</sup> IACIS International Conference on Surface and Colloid Science, 2006. október 15-20.  
Peking, Kína, abstract p. 88.
4. **A. B. Páhi**, Z. Király  
*Thermodynamics of the Micelle Formation of a Nonionic Gemini Surfactant Surfynol-465*  
The VIII<sup>th</sup> International Symposium „Young people and multidisciplinary research”, 2006.  
május 11-12., Temesvár, Románia, abstract p. 57.
5. **A. B. Páhi**, D. Varga, Z. Király  
*Thermometric and Conductometric Titration Studies on the Micelle Formation of (-)-N-Dodecyl-N-Methylephedrinium Bromide*  
The VIII<sup>th</sup> International Symposium „Young people and multidisciplinary research”, 2006.  
május 11-12., Temesvár, Románia, abstract p. 56.
6. **A. B. Páhi**, Z. Király  
*Microcalorimetric Study of the Micellization of a Novel Gemini Surfactant in Aqueous Solution in the Presence of Structure-maker and Structure-breaker Additives*  
3<sup>rd</sup> Zsigmondy Colloquium, 2006, április 6-7., Berlin, Németország, abstract p. 84.
7. **A. B. Páhi**, D. Varga, Z. Király, Á. Mastalir, I. Dékány  
*Characterization of a Cationic Chiral Surfactant by Conductometric Titration, Surface Tension Measurements, Titration Microcalorimetry and X-ray Diffraction Measurements*  
3<sup>rd</sup> Zsigmondy Colloquium, 2006, április 6-7., Berlin, Németország, abstract p. 83.
8. D. Varga, **A. B. Páhi**, Z. Király, Á. Császár, Á. Mastalir  
*Thermodynamics the Micelle Formation of the Chiral Surfactant Dodecylmethylephedrinium Bromide*  
20<sup>th</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society and 18<sup>th</sup> European Chemistry at Interfaces Conference 2006. szeptember 17-22., Budapest, Magyarország, abstract p 262.
9. **A. B. Páhi**, Z. Király  
*Titration Microcalorimetric Study on the Effect of Micelle Builder and Micelle Breaker Agents on the Aggregation of a Nonionic Gemini Surfactant*  
20<sup>th</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society and 18<sup>th</sup> European Chemistry at Interfaces Conference, 2006. szeptember 17-22., Budapest, Magyarország, abstract p 261.
10. **A. B. Páhi**, T. Aradi, Z. Király, J. Dudás, S. Puskás, Á. Vágó  
*Micelle Formation of a Cocogem Surfactant Studied by Electromotive Force Measurements, Conductometry and Titration Microcalorimetry.*  
9<sup>th</sup> Conference on Colloid Chemistry; Colloids for Nano- and Biotechnology, 2007. október 3-5., Siófok, Magyarország, abstract p.118.
11. **A. B. Páhi**, T. Aradi, Z. Király, I. Dékány, J. Dudás, S. Puskás, Á. Vágó  
*Thermodynamics of Micelle Formation of a Novel Cocogem Surfactant, and the Dynamic Adsorption Behaviour of the Cocogem on Sandstone.*  
21<sup>st</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society (ECIS 2007), 2007. szeptember 10-14. Genf, Svájc, abstract p.522.

12. **A. B. Páhi**, Z. Király, I. Dékány  
*Thermodynamics of Micelle Formation of a Gemini Surfactant in the Absence and in the Presence of Micelle Builder and Micelle Breaker Additives.*  
15<sup>th</sup> International Conference on Biological Calorimetry – Pannonia ISBC, 2008. május 24-30., Pécs, Magyarország, abstract p 107.
13. **A. B. Páhi**, Z. Király, Á. Mastalir, I. Dékány:  
*Thermodynamics of Micelle Formation of the Chiral Cationic Surfactant DMEB in Water, and the Intercalation of DMEB in Montmorillonite in Relation to Chiral Catalysis.*  
17<sup>th</sup> International Symposium on Surfactants Solution (SIS2008), 2008. augusztus 22-27., Berlin, Németország, abstract p.124.
14. S. Puskás, **A. B. Páhi**, Z. Király:  
*Thermodynamics of Micelle Formation of a Gemini Surfactant in the Absence and in the Presence of Micelle Builder and Micelle Breaker Additives.*  
17<sup>th</sup> International Symposium on Surfactants Solution (SIS2008), 2008. augusztus 22-27., Berlin, Németország, (előadás) abstract p. 44.
15. **A. B. Páhi**, Z. Király, J. Dudás, S. Puskás:  
*Thermodynamics of Micellization of a Novel Cocogem Surfactant and the Dynamic Adsorption of the Cocogem on Sandstone.*  
22<sup>nd</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society (22<sup>nd</sup> ECIS), 2008. augusztus 31-szeptember 5., Krakó, Lengyelország, abstract p.362.
16. **Páhi B. A.**, Puskás S., Vágó Á., Dudás J., Király Z.:  
*Thermodynamics of micelle formation of a novel cocogem surfactant, and the dynamic adsorption of the cocogem on sandstone*  
27<sup>th</sup> International Petroleum & Gas Conference and Exhibition, 2008. szeptember 16-19., Siófok, Magyarország, Conference Proceedings on CD-ROM, p. 1-18.
17. **A. B. Páhi**, Z. Király, J. Dudás, S. Puskás  
*Thermodynamics of Micelle Formation of a Novel Cocogem Surfactant and the Dynamics Adsorption of the Cocogem on Sandstone*  
13<sup>th</sup> IACIS International Conference on Surface and Colloid Science and the 83<sup>rd</sup> ACS Colloid & Surface Science Symposium, 2009. június 14-19., New York, USA, abstract p. 149-150.