

# Kolloid- és felületkémiai kutatások a DE Kémiai Intézetében

BÁNYAI István\*

Debreceni Egyetem, Kémiai Intézet, Egyetem tér 1. 4032 Debrecen, Magyarország

## 1. Bevezetés

A kolloidoknak, azoknak részecskének, amelyek mikroszkóppal nem jól vizsgálhatók (kisebbség, mint 500 nm) illetve a kémiájukban már szerepe van a méretnek, méreteloszlásnak és az alaknak (nagyobbak mint 1 nm) időről időre változik a szerepe a kémiai kutatásban. Volt időszak, mikor eredményeik az elméleti fizikai-kémiai kutatásokat segítették át a holtpontra, és volt olyan is, amikor a kémiai ipar szükségletei miatt nőtt meg a társadalom érdeklődése e kutatások iránt. Ma sok tényező mellett két nagyon fontos társadalmi érdek helyezte az érdeklődés középpontjába ezt, az amúgy mindig is alkalmazás orientált területet. Az egyik kétségtelenül a biokémia és a molekuláris biológia, illetve ennek a hatása az orvostudományra és a gyógyításra. Ennek során kolloidika találkozására mágneseles magrezonanciával (NMR) olyan távlatokat nyitott a szerkezetkutatásban, amelyet több Nobel-díjjal is elismertek. A másik terület a nanotechnológia. Ennek a tudománynak/technológiának az intenzív növekedési szakaszában vagyunk. Mint általában az ilyen periódusban, nagyon sokan a gyors (esetenként anyagi) sikerek reményében nagy erővel fordulnak a rohamosan fejlődő terület felé. A gyors haladás hoz váratlan sikereket, de igen sok kudarcot is, hiszen a fejlesztők esetenként megkísérelnek kihagyni alapvető kutatási lépéseket. Napjainkra, véleményem szerint, a nanotudomány egy konszolidációs szakaszba lépett és megkezdődött az alapvető törvényszerűségek felfedezése (esetenként újrafelfedezése), aminek következménye egy lassúbb, de egy jobb minőségű növekedés lesz.

A kolloidika és a felületi kémia kutatása a világ jelentős egyetemében a fizikai kémiai tanszékeken folyik. Hazánkban, „történelmi okokból”, minden nagyobb egyetemen külön tanszék, vagy legalább is nevesített részleg foglalkozott a fizikai kémiával ezzel az ágával. E diszciplína jellemzője, hogy a diszperz rendszerek teljes szabadentalpiájának leírása során nem tekintenek el a  $\gamma dA$  tag, azaz a felületi szabadentalpia hozzájárulásától (természetesen *nem* elhanyagolva a  $-SdT$  és a  $Vdp$  tagokat!). Ma hazánkban már csak a Debreceni Egyetemen van nevesítve kolloidika tanszék, ami természetesen távolról sem jelenti azt, hogy csak itt folynak kolloidika kutatások. Okként újfent csak „történelmi okokra” kell hivatkoznom, aminek egy természettudomány esetében csaknem mindig az a szerepe, hogy megmagyarázza azt, ami nem logikus, vagy ami megmagyarázhatatlan. E bemutatkozó írásban *A Kolloid- és Környezetkémiai Tanszéken*, és jogelődjein, az elmúlt 60 évben és a jelenleg folyó kutatásokat foglalom össze. A folyóirat szám egy másik közleményében a jelenlegi felületkémiai kutatások más vetületét foglalják össze a Kémiai Intézet Izotóp Laboratórium kutatócsoportjának munkatársai.

## 2. Történelmi elemek

A felületkémiai kutatások Debrecenben az Imre Lajos vezette Fizikai Kémiai Tanszék keretei között indultak meg, majd az ő általa vezetett Izotóp Laboratóriumban folytatódottak.<sup>1,2</sup> Mádi István kezdett el a kolloidokkal, mint hatékony szorbensekkel foglalkozni, elsősorban a radioaktív nuklidok adszorpciójával kapcsolatban. Ő és munkatársai a fémhidroxid felületek szorpciós sajátosságait, és oldatbeli viselkedését kutatták, radioizotópos mérési technikákat alkalmazva.<sup>3,4</sup> Ennek a közös szakmai vonalnak lett a következménye az, hogy a csoport a Fizikai Kémiai Tanszékéről az Izotóp Laboratóriumba került. Imre Lajos halálát követően a Laboratórium vezetését Mádi István vette át. Három alapvető irány alakult ki, a diffúzió, az adszorpció és az elektródfelületek vizsgálata. A mikroheterogén felületeken történő anyagtranszport vizsgálatában Varró Tibor játszott vezető szerepet. Ő és követői jelentős eredményeket értek a kísérleti technikák fejlesztésében. Céljuk az ionok diffúziójának vizsgálata volt ioncserélő gyantákban, növényi szövetekben, membránokban és talajokban. Munkáját korai halála után Antal Károly folytatta. Sikeres újdonságokat vezettek be a két detektoros radioaktív módszerekkel történő transzport mérések metodikájában.<sup>5-10</sup> A felületkémiai alapvető kutatások eredménye egy szabadalom lett, amelynek tárgya ma már egy forgalmazott gyógyászati segédeszköz.<sup>11</sup>

1989-ben a Debreceni Egyetemen (Kossuth Lajos Tudományegyetem) is létrejött az önálló Kolloidkémiai Tanszék. Joó Pál vezetésével az Izotóp Laboratórium kolloidikával foglalkozó munkatársaiból alakult meg. A Tanszék folytatta a transzport folyamatok vizsgálatát és kiterjesztette ezeket a kutatásokat agyagásványokra is. Módszerként az izotópos nyomjelzés mellett elektrokémiai vizsgálatokat is alkalmaztak.<sup>12</sup> Joó Pál gyümölcsöző együttműködésben Horányi Györggyel (MTA Központi Kémiai Kutatóintézet) az elektródfelületeket tanulmányozta. A módosított elektródok vizsgálatában és az elektródfelületeken történő adszorpció tanulmányozásában ért el jelentős eredményeket.<sup>10,13-23</sup> Berka Márta munkatársaival folytatta a hidroxid csapadékok felületi és adszorpciós tulajdonságainak vizsgálatát. Megállapították, hogy a kolloid állapotú hidroxidok adszorpciós kapacitása jelentős, és összefüggéseket találtak a keletkezésük módja, szerkezetük és adszorpciói egyensúlyaik között.<sup>3,4,24-28</sup> Berka Márta önállóan folytatta e kutatásokat az oxidfelületek felületi komplexképződési modelljének alkalmazásával. Meghatározta alkálifémek, alkáli-földfémek, valamint néhány átmeneti fém szilika és alumina komplexének stabilitását.<sup>29,30</sup> A Fizikai Kémiai Tanszéken Szalay Tibor végzett ipari jelentőségű felületi kémiai kutatásokat. Az ioncsere és adszorpciós folyamatokat tanulmányozta eredményesen wolfram oxidbronzokon.<sup>31,32</sup>

\*tel/fax: 52 512900/22384, Banyai.istvan@science.unideb.hu

1997-ben a Tanszék neve Kolloid- és Környezetkémiai Tanszékre változott. Borbély János vezetésével a biopolimerek vizsgálata és módosítása révén új kutatási irány kezdődött: a szerves nanoszerkezetek vizsgálata. A Bruckner Győző által felfedezett poli-gamma-glutaminsav (PGA), és a kitozán keresztkötésekkel való szerkezetmódosításával törekedtek új, elsősorban gyógyászati célokra alkalmas, természetes alapú nanorészecskék előállítására.<sup>33,34</sup> Módosított nanorészecskék szintézisét dolgozták ki,<sup>33-36</sup> és az önszerveződés kihasználásával összetett polimer nanorészecskéket is állítottak elő.<sup>37,38</sup> Tanulmányozták a polimerek fémmegkötő képességét<sup>39</sup>, illetve gyógyszerszállításra való alkalmasságukat is.<sup>35</sup>

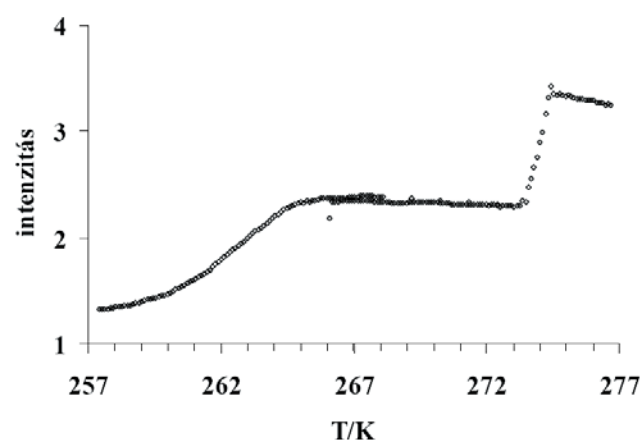
### 3. Jelenlegi kutatások

2005-ben a Tanszék vezetését Bányai István vette át, azzal a szándékkal, hogy korábbi dinamikus NMR kutatásait (l. e számban az NMR-ről szóló ismertetőt) és a kolloidok kutatását összehangolja. Erre kiváló példaként szolgált a Stockholm-i Királyi Műszaki Egyetem Fizikai Kémiai Tanszéke, ahol több látogatást is tett. A biopolimerek kutatása részben tovább folytatódott, de most már a vizsgálatokat kiegészítettük oldatbeli NMR szerkezetvizsgálatokkal. Több dimenziós NMR módszerrel igazoltuk Novák Levente sikeres szintézisét, a PGA benzilaminnal való funkcionálizálását.<sup>40</sup> A reakció érdekessége, hogy a PGA karboxil csoportjainak funkcionálizálását katalizátor nélkül valósítottuk meg dimetil-szulfidban. Kimutattuk, hogy a részleges hidrofobizálás eredményeképpen egy kisebb méretű makromolekula képződött. Ennek valószínű oka az, hogy a hidrofób benzil-csoportok a molekula belseje felé fordulva a részecskéket kompakt, gömbszerű kolloiddá alakították, és/vagy az aggregációs képesség is jelentősen csökkent a szubsztitúció hatására. Ezt diffúzió NMR-rel és NOE spektroszkópiával bizonyítottuk.<sup>41</sup> E kutatások folytatásaként előállítottuk a parciálisan hisztaminnal, valamint a hisztaminnal és benzilaminnal együttesen amidált amfifil makromolekulákat. A célunk az, hogy kolloid méretű ligandumokat állítsunk elő, amelyek fémkomplexei a részleges hidrofobizálás következtében alkalmasak lehetnek vízben kevésbé oldódó, hidrofób karakterű szubsztrátumok befogadására és átalakításuk katalízisére oxidációs reakciókban. Ezt az ún dendritikus katalízist magukkal a dendrimerekkel is tanulmányozzuk. A cél a működési mechanizmus megismerése, ennek ismeretében a polimerek módosításával, olcsóbb változatok szintézise, hogy gyakorlati alkalmazásuk gazdaságossá váljon. Ezt a Fábán István vezette CHEMIKUT innovatív kutatócsoport keretében végezzük, az NFÜ támogatásával.

Az NMR módszerek alkalmazásával a kolloidok oldatbeli viselkedése is igen hatékonyan tanulmányozható. PFGE NMR vizsgálatokkal igazoltuk, hogy a víz diffúziójának sebessége csökken mind ionos mind nem ionos micellák jelenlétében. A jelenség kvantitatív vizsgálatával meg tudtuk határozni micellák hidratációs számát.<sup>42</sup> Az anionos micellák az ellenionok NMR vizsgálatával is tanulmányozhatók.<sup>23</sup> Na-NMR-rel, a transzverzális relaxációsebesség ( $1/T_2$ ) mérésével a Na-dodecil-szulfát kiritikus micellaképződési koncentrációja is könnyen és gyorsan meghatározható. Ha a <sup>23</sup>Na ionok diffúziósebességét mérjük, akkor az ionos micellákkal egy hidrodinamikai egységet képező Na<sup>+</sup>-

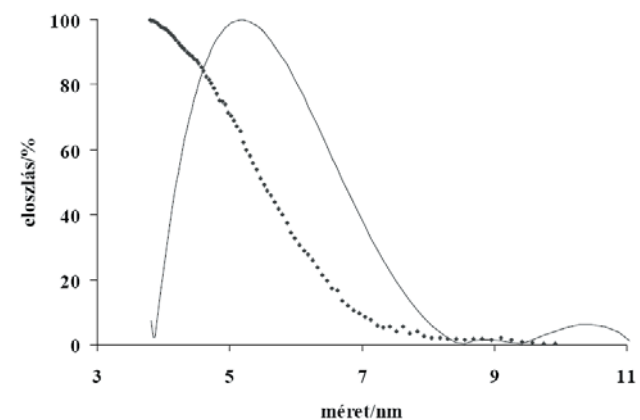
ionok száma is megadható. Ennek az értelmezése további elemzések tárgya.

A Buffalo-i (NY) Roswell Park Cancer Institute-tal együttműködve 2005-ben megkezdtük, az ott terápiás célokra már tesztelés alatt álló, poli-amido-amin dendrimerek (PAMAM) fizikai kémiai vizsgálatát.<sup>43</sup> Ennek előzménye Balogh Lajossal (Editor in Chief of Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine, Elsevier) az ott működő nukleáris medicina kutatócsoport akkori társigazgatójával való közös kutatómunkánk volt.<sup>44-46</sup> A PAMAM dendrimerek jelentős jövő elé néznek az irányított gyógyszerszállításban és alkalmazhatók a lokális sugárterápiában is.<sup>47,48</sup> A jelenleg is tartó együttműködésben vezérfonal az, hogy a klinikai alkalmazások során felmerülő váratlan komplikációk száma jelentős mértékben csökkenthető, ha előzetesen precíz alapkutatásokkal tisztázzuk az oldatbeli szerkezeti és dinamikai viszonyokat.



1. Ábra. A Kieselgel 60-ban lévő olvadt víz NMR jelének intenzitása a hőmérséklet függvényében. Olvadáspont görbe.

Ennek kapcsán intenzíven folytatjuk, és részben közlésre beküldtük a PAMAM dendrimerek egymással, és az oldószerrel valamint egyéb kismolekulákkal való kölcsönhatásának vizsgálatát multinukleáris NMR módszerekkel tárgyaló dolgozatunkat



2. Ábra Az 1. ábrán látható olvadásgörbéből számított kumulatív és differenciális méreteloszlás (eloszlási sűrűségfüggvény) a Kieselgel 60 jelzésű szilikára.

A jövőre nézve a debreceni NMR centrumban felhalmozódott tapasztalatok alapján, a DE Kutató Egyetemi programjának keretében, egy érdekesnek tűnő új irányt kezdtünk el. Az

oldatbeli és szilárdfázisú NMR vizsgálatok kombinált alkalmazását próbáljuk ki porózus testek (aerogélek), lágy anyagok és a környezetben fontos szorbensek vizsgálatára. Ennek biztató kezdeteként az 1. ábrán egy tipikus NMR olvadásgörbe látható, ami az NMR krioporozimetria elsődleges kísérleti adata. A krioporozimetria elve az, hogy az olvadáspont a görbületi sugár ( $x$ ) függvénye:

$$\Delta T_m = 4\sigma_{sl}T_m/x\Delta H_f\rho_s$$

Nagyon fontos, hogy ez az *un.* Gibbs-Thomson-egyenlet, termodinamikai egyenlet, azaz egyensúlyra vonatkozik. Érdekessége, hogy Gibbs mellett a második név ugyan egyértelműen egy személyhez, a későbbi Lord Kelvinhez kötődik az alkalmazók tudatában, egyes kutatók szerint két másik Thomson is jelentősen hozzájárult a felfedezéshez (Joseph John Thomson Nobel-díjas brit fizikus és James Thomson, Lord Kelvin bátyja). A módszer a gyakorlatban a következőképpen működik. A jégben lévő protonok relaxációs sebessége olyan nagy, hogy megfelelő módszerrel (egyszerű spin-echo), csak a folyadék víz protonjainak NMR jele látható a spektrumban. Így minden hőmérsékleten meg lehet mondani, hogy a víz hány százaléka fagyott meg, azaz mennyi adott méretű pórus van jelen. A 2. ábrán az olvadt víz mennyisége alapján számított pórusméret-eloszlás görbe mutatja a módszer teljesítőképességét és pontosságát, a vizsgált Kieszelgel 60 kolonna töltet hivatalos átlagos pórusmérete ugyanis 6 nm.

A további terveink szerint a kutatási pozícióinkat igyekszünk az alapkutatás és az igényes innovációs kutatás együttes végzésére helyezni, amint az egyetemünk fejlesztési koncepciójában megfogalmazódott. Ennek során visszatérünk hagyományainkhoz, diffúzió (I. Varró T. és munkatársainak korábban említett kutatását) és krioporozimetriás NMR technikával vizsgáljuk a faforgácsok szerkezetének változását impregnálószerkezetek adalékolásának hatására. (Baross program 2010).

Nemzetközi és hazai együttműködésekben igyekszünk ellensúlyozni a csoport viszonylag kis létszámát. 2011-től valószínűleg egy Kínai-Magyar TET pályázat keretében (a kínai fél már 2010.-ben hivatalosan jelezte a pozitív döntést) a dendrimerek és a PGA fizikai kémiai vizsgálatában együttműködünk Xiangyang Shi-vel a Sahnghaj-i Donghua University professzorával. A közös kutatásunk Balogh Lajos Ann Arbor-i (USA, University of Michigan) laboratóriumában kezdődött.<sup>44-46</sup> Közös kutatásokat illetve tapasztalatcserét tervezünk a Stockholmi-i Királyi Műszaki Egyetemen (KTH) működő ipari NMR-centrummal, amelyet Furó István vezet. Szintén ígéretes az együttműködés a Dél-Dakota-i Állami Egyetem Kémiai Intézetével (SDSU), ahol talajok kolloid kémiáját kutatják környezetvédelmi indíttatással.<sup>49-51</sup> Természetesen a hazai szakmai közösségben is igyekszünk kihasználni a kölcsönösen előnyös együttműködési lehetőségeket. Közös munkát végeztünk a Szegedi Tudományegyetem valamint a BME Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszékeivel a vas-oxid nanorészecskék NMR relaxációs vizsgálatában illetve gélek porozitásának vizsgálatában (egy dolgozat beküldve). Az ELTE Kémia Intézetének Határfelületi- és Nanoszerkezetek Laboratóriumával lipidek NMR vizsgálatában kezdtünk ígéretes közös kutatást, és a micellák NMR vizsgálataiban is számítunk a közreműködésükre.

A kutatócsoport összetétele igen szerencsés. A vegyészek mellett biológus, matematikus és környezetkutató kollégák is vannak a csoportban. A jövőben a kutatócsoport vezetése változik, és a szándékunk a környezettudomány irányába való elmozdulás, mert a kolloidok és határfelületek jelentősége a természeti és ipari környezetünkben igen nagy. Ennek egyik jele az, hogy a kutatócsoportunk neve 2011 január 1-től Környezeti Kolloidok Kutatócsoportra változott. A környezetkémiai kutatásokat sokoldalú együttműködés keretében végezzük, egy a Kémiai Intézetben folyó kutatóprogram keretében (CHEMIKUT), a régió kisebb és nagyobb ipari vállalataival karöltve.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatócsoport 2005-ös megalakulásában és működésének fejlődésében elvülhetetlen érdeme van a OTKA T49044 kutatási pályázatnak valamint a Bogdány Petrol és a Bomul Kft-knek. A környezettudományos kutatások TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0012 (CHEMIKUT) keretében folynak. A faforgácsokkal kapcsolatos projektet a Baross. REG\_EA\_KFI\_09 (desma091) pályázat támogatta. A csoport részt vesz Debreceni Egyetem kutatóegyetemi programjában. A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0007 számú projekt támogatta. A két TÁMOP projekt az Új Magyarország Fejlesztési Terven keresztül az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg

### Hivatkozások

1. Imre, L. *Kolloid-Zeitschrift*, 131, p. 21-38 **1953**, 131, 21-38.
2. Imre, L. *Kolloid-Zeitschrift* **1954**, 135, 161-176.
3. Párkányi Berka, M.; Mádi, I. *Acta Chimica Hungarica-Models in Chemistry* **1988**, 125, 695-703.
4. Párkányi Berka, M.; Mádi, I. *Acta Chimica Hungarica-Models in Chemistry* **1988**, 125, 705-715.
5. Varró, T.; Somogyi, G.; Bölskei, A.; Mádi, I. *Nuclear Track Detection* **1977**, 1, 181-188.
6. Varró, T.; Somogyi, G.; Varga, Z.; Mádi, I. *Radiochimica Acta* **1979**, 26, 117-121.
7. Varró, T.; Somogyi, G.; Mádi, I. *Journal of Radioanalytical Chemistry* **1981**, 67, 15-24.
8. Varró, T.; Gelencsér, J.; Somogyi, G. *Acta Biochimica Et Biophysica Hungarica* **1985**, 20, 65-65.
9. Antal, K.; Joó, P. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry-Articles* **1995**, 190, 251-256.
10. Antal, K.; Joó, P. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1999**, 105, 49-60.
11. Antal, K. Berényi, P. In *T/66 124, 92.07.06. SzKV 1994/9. 1434*; Szabadalmi Hivatal, Magyarország, 1994.
12. Joó, P.; Fitch, A. *Environmental Science & Technology* **1996**, 30, 2681-2686.
13. Joó, P.; Fitch, A. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1997**, 103, 365-372.
14. Joó, P.; Fitch, A.; Park, S. H. *Environmental Science & Technology* **1997**, 31, 2186-2192.
15. Horányi, G.; Joó, P. *Russian Journal of Electrochemistry* **2000**, 36, 1189-1194.
16. Horányi, G.; Joó, P. *Journal of Colloid and Interface Science* **2000**, 231, 373-378.
17. Horányi, G.; Joó, P. *Journal of Colloid and Interface Science* **2000**, 227, 206-211.
18. Joó, P.; Hollo, V.; Varga, K.; Hirschberg, G. *Magyar Kémiai Folyóirat* **2000**, 106, 148-158.

19. Joó, P.; Horányi, G. *Journal of Colloid and Interface Science* **2000**, *223*, 308-310.
20. Joó, P.; Lukács, M.; Szabó, O.; Antal, K. *Magyar Kémiai Folyóirat* **2000**, *106*, 362-373.
21. Joó, P.; Óri, N.; Lukács, M. *Magyar Kémiai Folyóirat* **2001**, *107*, 328-336.
22. Joó, P.; Varga, K. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* **2001**, *193*, 161-173.
23. Joó, P. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* **2003**, *229*, 97-105.
24. Párkányiné, Berka M.; Mádi, I. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1986**, *92*, 424-428.
25. Párkányiné Berka, M.; Mádi, I. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1986**, *92*, 437-442.
26. Csobán, K.; PárkányiBerka, M.; Joó, P. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1996**, *102*, 89-93.
27. Csobán, K.; Joó, P. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **1997**, *219*, 19-24.
28. Csobán, K.; Párkányi-Berka, M.; Joó, P.; Behra, P. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* **1998**, *141*, 347-364.
29. Berka, M.; Bányai, I. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1999**, *105*, 454-464.
30. Berka, M.; Bányai, I. *Journal of Colloid and Interface Science* **2001**, *233*, 131-135.
31. Szalay, T.; Németh, T.; Bartha, L. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie-Leipzig* **1978**, *259*, 641-652.
32. Szalay, T.; Ludányi, A.; Kiss, B. A. *Journal of Materials Science* **1987**, *22*, 3543-3546.
33. Szuromi, E.; Berka, M.; Borbély, J. *Macromolecules* **2000**, *33*, 5310-5310.
34. Krecz, A.; Pócsi, I.; Borbély, J. *Folia Microbiologica* **2001**, *46*, 183-186.
35. Bako, J.; Szepesi, M.; Veres, A. J.; Cserhati, C.; Borbély, Z. M.; Hegedus, C.; Borbély, J. *Colloid and Polymer Science* **2008**, *286*, 357-363.
36. Bodnar, M.; Daroczi, L.; Batta, G.; Bako, J.; Hartmann, J. F.; Borbély, J. *Colloid and Polymer Science* **2009**, *287*, 991-1000.
37. Hajdu, I.; Bodnar, M.; Filipcsei, G.; Hartmann, J. F.; Daroczi, L.; Zrinyi, M.; Borbély, J. *Colloid and Polymer Science* **2008**, *286*, 343-350.
38. Keresztessy, Z.; Bodnar, M.; Ber, E.; Hajdu, I.; Zhang, M.; Hartmann, J. F.; Minko, T.; Borbély, J. *Colloid and Polymer Science* **2009**, *287*, 759-765.
39. Bodnar, M.; Kjoniksen, A. L.; Molnar, R. M.; Hartmann, J. F.; Daroczi, L.; Nystrom, B.; Borbély, J. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *153*, 1185-1192.
40. Novák, L.; Bányai, I.; Fleischer-Radu, J. E.; Borbély, J. *Biomacromolecules* **2007**, *8*, 1624-1632.
41. Nagy, Z.; Novák, L.; Kozma, C.; Berka, M.; Bányai, I. *Progress in Colloid Polymer Science* **2008**, *135*, 200-208.
42. Vass, Sz.; Grimm, H.; Bányai, I.; Meier, G.; Gilanyi, T. *J. Phys. Chem. B* **2005**, *109*, 11870-11874.
43. Bányai, I.; Orszagh, I.; Berka, M.; Balogh, L. P. *Polymer Preprints 2005* **2005**, *46*, 519.
44. Shi, X.; Bányai, I.; Rodriguez, K.; Islam, M. T.; Lesniak, W.; Balogh, P.; Balogh, L. P.; Baker, J. R. *Electrophoresis* **2006**, *27*, 1758-1767.
45. Shi, X. Y.; Bányai, I.; Islam, M. T.; Lesniak, W.; Davis, D. Z.; Baker, J. R.; Balogh, L. P. *Polymer* **2005**, *46*, 3022-3034.
46. Shi, X. Y.; Bányai, I.; Lesniak, W. G.; Islam, M. T.; Orszagh, I.; Balogh, P.; Baker, J. R.; Balogh, L. P. *Electrophoresis* **2005**, *26*, 2949-2959.
47. Balogh, L. P.; Minc, L. D.; Berka, M. *Nanomedicine-Nanotechnology Biology and Medicine* **2007**, *3*, 338-338.
48. Balogh, L. P.; Minc, L. D.; Berka, M. *Nanomedicine-Nanotechnology Biology and Medicine* **2007**, *3*, 351-351.
49. Berka, M.; Rice, J. A. *Langmuir* **2004**, *20*, 6152-6157.
50. Berka, M.; Rice, J. A. *Langmuir* **2005**, *21*, 1223-1229.
51. Berka, M.; Pla, S. P.; Rice, J. A. *Langmuir* **2006**, *22*, 687-692.

### Colloid and surface chemistry research in the Chemistry Department of University of Debrecen

The paper summarizes the most important results achieved in Chemistry Department of UD in the last six decades on colloid and surface chemistry. Describes the main milestones and bifurcation points appeared in the checkered history of colloid and surface

chemistry in Debrecen until 2010. Recently, a new perspective has been opened by combination of NMR spectroscopy and colloid science. Since 2011 a new research group, named Laboratory of Environmental Colloids continues the activity in this field.