

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Kolloidstabilitás ionos folyadékok jelenlétében:  
Kölcsönhatások hangolása részecskediszperziókban**

**Takács Dóra**

Témavezető:

**Dr. Szilágyi István**

*egyetemi docens*



Kémia Doktori Iskola

Természettudományi és Informatikai Kar

Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2024

## 1. Bevezetés és az értekezés célkitűzései

Az ionos folyadékok (IL) olyan, viszonylag alacsony – definíció szerint 100 °C alatti – hőmérsékleten folyékony halmazállapotú anyagok, amelyek a hagyományos oldószerektől eltérően teljes egészükben ionokból állnak. Ebből adódóan sajátos fizikai kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, beleértve a széles elektrokémiai ablakot, a kiváló kémiai és hőstabilitást, valamint a rendkívül alacsony gőznyomást, amely tulajdonság révén „zöld” oldószereknek vagy közegeknek minősülnek. Ezen figyelemre méltó jellemzőik, valamint az ionos alkotóelemeik természetén alapuló hangolhatóságuk érdekessé teszi őket számos alkalmazás szempontjából. Mivel az IL-ekben diszpergált nano- és kolloid méretű részecskék felhasználása dinamikusan fejlődő terület – különösen a szintézis, katalízis és különféle elektrokémiai jellegű alkalmazások területén –, ezért kiemelt jelentőségű ezen rendszerekben az IL komponensek kölcsönhatásainak feltérképezése a benne diszpergált részecskékkel. Az IL-tartalmú diszperziók kolloidstabilitását illetően az alkotó ionok határfelületi rendeződésének, illetve rétegződésének fontos szerepe van, ami nagymértékben befolyásolja az alkalmazás sikerét.

Jól ismert tény, hogy vizes diszperziókban a töltéssel rendelkező részecskék aggregációs folyamatait a vonzó (van der Waals, mágneses dipól) és taszító (elektrosztatikus, sztérikus) erők közötti egyensúly szabályozza. Ezeket a kölcsönhatásokat jól leírják az olyan klasszikus elméletek, mint a DLVO-elmélet (maga a név Boris Derjaguin, Lev Landau, Evert Verwey és Theodoor Overbeek kutatók nevéből származó mozaikszó). Azonban, ha kizárólag ionokból áll az oldószer, mint az IL-ek esetében, az elektrosztatikus erők szerepének megítélése nagy kihívást jelent. Az IL-ekben megfigyelt stabil diszperziók ugyanis ellentmondanak a DLVO-elméletnek, ami instabil diszperziók létezését jósolja magas elektrolitkoncentrációnál, mivel az IL-ek erős ionos jellegükből adódóan hatékonyan árnyékolják a részecskék közötti elektrosztatikus taszító erőket. Következésképpen az IL-ek alkotó komponensei és a diszpergált részecskék közötti kölcsönhatások megértése elengedhetetlen az IL-tartalmú diszperziók felhasználási körének szélesítéséhez.

Habár az IL-ek tömbfázisú fizikai kémiai jellemzése előrehaladott, a határfelületi tulajdonságaik vizsgálata csak a közelmúltban kezdődött meg. A (nano)részecskék IL-ekben történő diszpergálása során az IL komponensek határfelületi önrendeződése, és ezáltal a részecskefelületek solvatációja a diszperziók stabilitását jelentősen befolyásolja. Ennek ellenére a kolloid jelenségek és a releváns fizikai kémiai paraméterek megértése ezekben a közegekben még mindig nagyon korlátozott. Ezért az elsődleges célunk a modellként szolgáló

latex részecskék töltés- és aggregációs viszonyainak feltérképezése volt IL-ek jelenlétében. Különös figyelmet fordítottunk a különböző tényezőkre, mint a víz- vagy sótartalom, hatásának feltárására, hogy megértsük, hogyan befolyásolják ezek a paraméterek a kolloidstabilitást.

Ezen felül, az ionspecifikus hatás gyakran gátat szab a kolloid rendszerek alkalmazhatóságának, ugyanis a jelenség nagyban befolyásolja a rendszerek stabilitását. A szervesetlen ionok Hofmeister-sorozatához hasonlóan – amely rendszerezés eredetileg a fehérjék szervesetlen sók általi destabilizálásán alapult – az IL kationok és anionok is sorba rendezhetők az adott felülethez való adszorpciós affinitásuk és felületi töltésre gyakorolt hatásuk alapján. A második célunk ezért az ionspecifikus kölcsönhatások vizsgálata volt IL-ek jelenlétében különböző funkciós csoportokkal rendelkező latex részecskék esetén. Ez a jelenség megfelelően tanulmányozható vizes diszperziókban a részecskék alapvető töltésviszonyainak és aggregációs folyamatainak nyomon követésével az IL-ek alkotóionjainak szisztematikus változtatása mellett.

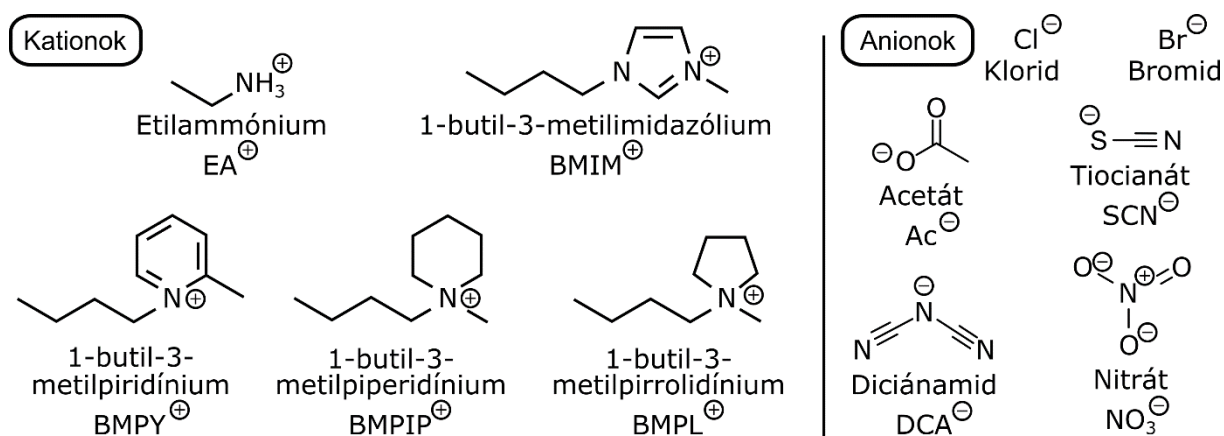
Ezen túlmenően, az előzőekben ismertetett tulajdonságaik vonzó alternatív közeggé teszik az IL-eket a molekuláris oldószerekkel szemben a réteges anyagok delaminálására, hiszen egyedülálló módon lehetővé teszik az egyetlen lépésben megvalósuló delaminációt, illetve a keletkező 2D-s nanolapok stabilizálását folyadékfázisban. Bár a spontán exfoliáció valószínűtlen, a réteges szerkezetű részecskék megfelelő IL-ekben történő kevertetése, illetve szonikálása alkalmas módja lehet a rétegek közötti erőhatások leküzdésére, ezáltal pedig az egy vagy néhány rétegből álló nanolapok előállítására. Ezért a harmadik célunk az IL alkotóionjai és a réteges anyagok – nevezetesen a réteges kettős hidroxidok (LDH) – közötti kölcsönhatások tanulmányozása volt, mind vizes, mind pedig vízmentes IL közegben. Először az IL kationok és anionok hatását vizsgáltuk az LDH részecskék töltés- és aggregációs viszonyaira vizes diszperziókban. A kutatás fókuszában az IL-ek kolloidstabilitásra kifejtett hatása áll, amely alapján lehetőség nyílik az oldószer kijelölésének optimalizálására specifikus alkalmazási területeken.

Végezetül, a kapott információk és az IL alkotók LDH felületéhez való affinitása alapján, két IL-t választottunk delaminációs közegként. Ezeket az IL-eket korábban már alaposan jellemezték, és a kedvező határfelületi tulajdonságaik, valamint mérsékelt viszkozitásuk várhatóan előnyös a delaminációs folyamatokban. Ezért a negyedik cél az volt, hogy bizonyítsuk az LDH-k IL-ekben történő delaminációjának koncepcióját mérsékelt körülmények között, ami kiváló módszer lehet 2D kettős hidroxid nanolap diszperziók egy lépésben történő előállítására nem illékony, „zöld” oldószerek felhasználásával.

## 2. Kísérleti rész

A vizsgált részecskék közül a polisztirol alapú, gömb alakú amidin (AL) és szulfát (SL) csoportokkal funkcionizált latex részecskék kereskedelmi forgalomban kaphatóak, míg a réteges kettős hidroxid (LDH) együttes lecsapással került előállításra. Az SL felületi jellemzőinek hangolásához pozitív töltésű poliimidazolium (IP-2) réteget adszorbeáltattunk a negatív töltésű részecske felületére. Az IP-2 polimert a Prof. Paul J. Dysonnal (EPF Lausanne, Svájc) való együttműködés biztosította.

A részecskék és a kompozitok méretét és töltését dinamikus (DLS), illetve elektroforetikus fényszórás (ELS) mérések által vizsgáltuk. Ugyanezen technikákkal követtük nyomon a részecskék polimerrel történő felületi funkcionizálását, valamint az egyes rendszerek kolloidstabilitását különböző kísérleti körülmények között. A részecskediszperziókban lejátszódó aggregációs folyamatokat a részecskeméret időbeli változásának ütemével jellemeztük, míg a töltésviszonyokat elektroforetikus mobilitás vagy zéta potenciál értékekkel, illetve az ezekből meghatározott felületi töltéssűrűséggel számszerűsítettük. A kereskedelmi forgalomban kapható IL-eket (1. ábra), illetve azok vizes oldatait viszkozitás és törésmutató meghatározása révén jellemeztük, amely adatok elengedhetetlenek a fényszóráson alapuló mérések során.



**1. ábra:** Az alkalmazott IL alkotó kationok és anionok.

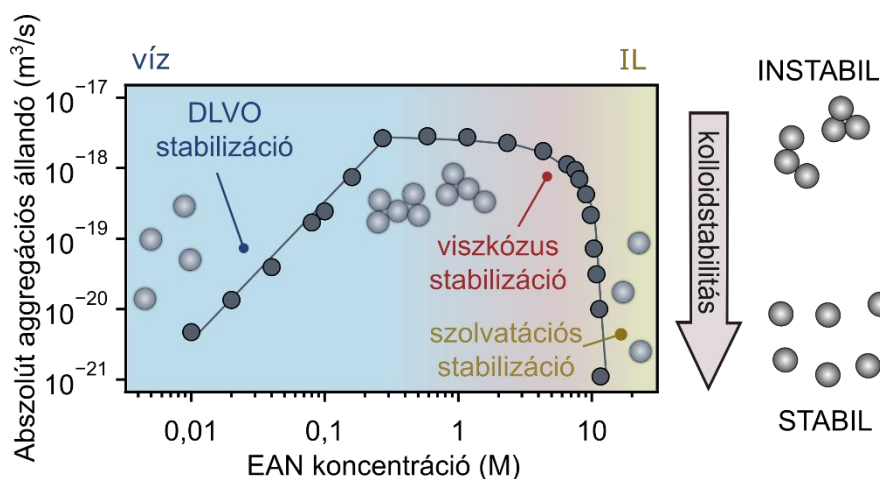
A részecskék szerkezetét por röntgen diffrakció (XRD), kisszögű röntgenszórás (SAXS), valamint kis- és nagyszögű röntgen szórás (SWAXS) által vizsgáltuk, míg a méretbeli és a morfológiai jellemzők atomerő (AFM) és transzmissziós elektron (TEM) mikroszkópia révén kerültek jellemzésre. A SAXS és a SWAXS mérések Prof. Matija Tomšič (Ljubljana Egyetem, Szlovénia) csoportjával együttműködve valósultak meg.

### 3. Új tudományos eredmények

**T1. Három fő aggregációs tartomány került azonosításra latex diszperziókban az IL-víz arány változtatásával: (1) híg IL-tartalmú diszperziókban az aggregációs folyamatokat DLVO-típusú erők irányítják; (2) az IL-tartalom növelésével az aggregáció lelassul a közeg megnövekedett viszkozitása következtében; (3) tiszta IL-ben az IL komponensek határfelületi rétegződése nagy stabilitású diszperziót eredményez [2].**

Etil-ammónium-nitrát (EAN) híg vizes oldatában mind a szulfát latex (SL), mind az IP-2 polimerrel bevont szulfát latex részecskék (SL-IP-2) aggregációját elsősorban DLVO-típusú elektrosztatikus kölcsönhatások irányítják. Ebben a tartományban az aggregáció sebessége meredeken nőtt az IL-tartalom növelésével, mígnem elért egy határértéket (2. ábra), amit a részecskék diffúziós sebessége határoz meg. Tovább növelve az IL koncentrációt, a részecskék diffúziós sebességét limitálja a közeg megnövekedett viszkozitása, ami a stabilitás enyhe növekedésében nyilvánul meg (viszkózus stabilizáció). Majd tömény IL-ben – amikor a víz csak kis mennyiségben van jelen – nagy stabilitású diszperziók figyelhetők meg, ami ellentmond a korábbi, kolloidstabilitást leíró elméletnek, amelyek a részecskék gyors aggregációját jósolják magas iontartalom esetén.

Tiszta EAN-ban nem lehetett kimutatni a részecskék elektroforetikus fényszórás mérések során alkalmazott elektromos tér hatására történő elmozdulását. Ez alapján az IL-ekben diszpergált részecskék töltését teljes mértékben árnyékolják az adszorbeálódó ionok, vagyis a tömény IL-ekben megfigyelt stabilizáció az IL komponensek határfelületi rétegződése következtében kialakuló oszcillációs taszítóerők által értelmezhető (szolvatációs stabilizáció).



**2. ábra:** EAN koncentrációjától függő aggregációs tartományok SL részecske esetén.

**T2. Szervetlen só jelenléte IL-tartalmú latexdiszperziókban megváltoztatja az IL ionok határfelületi önrendeződését, és ezáltal befolyásolja a kolloidstabilitást. A hatás mértéke függ a hozzáadott ionok jellegétől (méret, hidrofobicitás és a részecskefelülethez való affinitás) és a részecskék felületi tulajdonságaitól [2].**

Az előzőekben tárgyalt széles EAN koncentrációtartományban vizsgáltuk a szervetlen só (nátrium-nitrát) hozzáadásának kolloidstabilitásra kifejtett hatását. Ezáltal a nátriumionok részecskeaggregációra gyakorolt hatását lehetett nyomon követni, mivel a nitrátionok már eleve jelen voltak a rendszerben az EAN komponenseként. Negatív töltésű SL részecskék esetén jelentős stabilizáció volt megfigyelhető a köztes EAN koncentrációtartományban, ami a nátriumionok határfelületen történő feldúsulásának tudható be. Ez a stabilizáló hatás a hozzáadott só mennyiségének növelésével kifejezettebbé vált. Ezzel szemben, a pozitív töltésű SL-IP-2 részecskék esetén a só jelenléte nem befolyásolja a kolloidstabilitást. A hozzáadott ionok hatását tehát leginkább azok töltése, mérete, felülethez való affinitása, illetve a vizsgált részecske felületének karakterisztikája határozza meg.

**T3. Az ionspecifikus hatás erősen befolyásolja a latex részecskék töltés- és aggregációs viszonyait híg vizes IL közegű diszperziókban, amely hatás azonban elfedhető a részecske felületének poliimidazolium polimerrel (IP-2) történő módosításával. Ugyanakkor a kolloidstabilitásért felelős erőhatások leírhatók a DLVO-elmélettel [4].**

A polimer alapú latex részecskék felületi töltését és kolloidstabilitását különböző anionokat és BMIM<sup>+</sup> kationokat tartalmazó vizes IL oldatok jelenlétében vizsgálva bebizonyosodott, hogy a pozitív töltésű amidin latex (AL) részecskék töltés- és aggregációs viszonyai érzékenyek a jelenlévő anionok anyagi minőségére. Az ionspecifikus adszorpció a felületi töltéssűrűség eltérő mértékű módosításához vezet, ezáltal a kritikus koagulációs koncentráció (CCC) értékek a Cl<sup>-</sup> > Br<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Ac<sup>-</sup> sorrendet követték. Az anionok ezen sorrendje megfelel a fordított Hofmeister-sorozatnak, amelyben az egyes ionok a pozitív töltésű hidrofób felületekhez való affinitásuk alapján foglalják el a helyüket. Amíg az eltérő destabilizáló hatásért az ionspecifikus adszorpció a felelős, addig a részecskeaggregáció mechanizmusa a DLVO-elméletbe foglalt vonzó- és taszító erőket feltételezve jól leírható. Az ionspecifikus kölcsönhatások azonban elfedhetőnek bizonyultak a negatív töltésű SL részecske pozitív töltésű IP-2 polimerrel történő felületmódosítása révén, aminek következtében a különböző anionok azonos mértékben befolyásolták a kolloidstabilitást, azaz az SL-IP-2 részecskék CCC értékei azonosak voltak különböző IL-ek jelenlétében, azok anyagi minőségétől függetlenül.

**T4. Híg vizes IL közegű LDH diszperziókban az aggregációs folyamatokat DLVO-típusú erők vezérlik, ugyanakkor az IL komponensek adszorpciója lényegesen befolyásolja a részecskék közötti elektrosztatikus kölcsönhatások erősségét, ezáltal pedig a kolloidstabilitást. A Hofmeister-sorozat alapul véve az IL anionokat és kationokat sorbarendeztük az LDH diszperziókkal szembeni destabilizáló erejük alapján [3].**

Az IL-ek összetételét szisztematikusan változtatva vizsgáltuk az IL anionok és kationok kolloidstabilitásra gyakorolt hatását LDH diszperziókban, ami által rendezni tudtuk az IL-eket alkotó ionokat az LDH felületéhez való adszorpciós affinitásuk alapján a szervesetlen ionok Hofmeister-sorozatához hasonlóan. A meghatározott CCC értékek erős függést mutattak mind az ellenionok ( $\text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{DCA}^- > \text{SCN}^- > \text{NO}_3^-$ ), mind pedig a mellékionok ( $\text{BMIM}^+ > \text{BMPIP}^+ > \text{BMPL}^+ > \text{BMPY}^+$ ) kémiai minőségétől. Az aggregációs folyamatokat alapvetően DLVO-típusú erők irányítják, míg az IL komponensek eltérő adszorpciós affinitásuk miatt különböző mértékben módosítják az LDH felületi töltéssűrűségét, ezáltal különböző CCC értékeket eredményeznek. A CCC-ben megfigyelhető eltérés mértéke sokkal jelentősebb volt az ellenionok esetén, szemben a mellékionokkal, mivel azok adszorpciója az ellentétes töltésű részecske felületére elektrosztatikailag kedvezményezett, ami a felületi töltés jelentősebb változásához vezet. További értékes információt szolgáltatott az IL-eket és a szervesetlen sókat alkotó anionok jelenlétében meghatározott CCC-k összehasonlítása. A  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  és  $\text{SCN}^-$  anionok esetén mért CCC értékek jelentős eltérést mutattak  $\text{BMIM}^+$  vagy  $\text{K}^+$  mellékionok jelenlétében, amely jelenség rávilágított az IL-ek esetén megfigyelhető ionpárképződés fontosságára.

**T5. Bizonyításra került a réteges szerkezetű LDH részecskék IL-ekben (EAN, BMIMSCN) történő delaminációjának koncepciója, ami által egy- és néhány rétegű kettős hidroxid nanolapokat tartalmazó, stabil IL diszperzió állítható elő [1].**

Beigazolódott, hogy egyetlen lépésben megvalósítható az LDH részecskék IL közegben (EAN, BMIMSCN) történő delaminációja mérsékelt körülmények között. A folyamat ultrahangos kezeléssel, illetve kevertetéssel volt segítve, miáltal egy- és néhány rétegből álló kettős hidroxid nanolapok keletkeztek. A réteges szerkezet IL-ekben történő megbontását az LDH – és annak vizes diszperziója – esetén megfigyelhető diffrakciós csúcsok eltűnése igazolta. A folyamat hatására mind a részecskék vastagsága, mind pedig az átmérője jelentősen csökkent, ami jelzi a részecskék hasadását is az IL-ekben bekövetkező delamináció mellett. A kapott delaminált LDH-tartalmú IL diszperziók több hónapon keresztül stabilak voltak egyéb komponensek hozzáadása nélkül.

#### **4. Gyakorlati alkalmazások**

A disszertáció célja az IL-tartalmú diszperziókban megfigyelhető alapvető kolloid jelenségek vizsgálata volt, így az eredmények elsődleges hasznosulása a feldolgozható IL-alapú és -tartalmú diszperziók fejlesztésének területén várható. Az IL komponensek határfelületi rendeződése és a részecskefelületek szolvatációja olyan kritikus tényezők, amelyek befolyásolják ezen diszperziók stabilitását, és ezáltal felhasználhatóságát. Az ionspecifikus hatás, illetve a víz és a szerves sók részecskék közötti kölcsönhatásokra gyakorolt hatásának megértésével a részecske-IL rendszerek stabilitása hangolható. Jelen eredmények alapján egy adott rendszerben a különböző aggregációs tartományok kvalitatív módon megjósolhatók, amennyiben a részecskék és az alkalmazott IL-ek fizikai-kémiai jellemzői, valamint a stabilitást befolyásoló paraméterek ismertek. Ez különösen fontos olyan speciális alkalmazásokhoz tervezett diszperziók esetén, mint a kompozitok, illetve a hőátadó közegek fejlesztése vagy a heterogén katalízis.

Egy másik fontos szempont, hogy az ionspecifikus hatás gyakran gátolja az összetett IL közegek diszperziókban való alkalmazhatóságát. Ezért az ionspecifikus hatás elfedésének lehetősége előnyös lehet az összetett, különböző ionokat tartalmazó kolloid rendszerek stabilitásának biztosítása szempontjából, például akkumulátorok fejlesztésénél, valamint katalízisnél.

A réteges szerkezetű anyagok szuszpenzióban történő delaminálása a leghatékonyabb módja nagy mennyiségű, egyrétegű, grafénszerű nanolapok előállításának. Az oldószerrel kiváltott delamináció során a több rétegből álló részecskéket megfelelő – gyakran szerves – oldószerben diszpergálják, majd a delamináció ioncsere következtében megy végbe, olyan egyéb komponensek (például polimer vagy felületaktív anyag) jelenlétében, amely stabilizálni tudja a keletkező diszperziót. Napjainkban a fő kihívást ezen a területen az elterjedt szerves oldószerek „zöldebb” alternatívával való helyettesítése jelenti. Ebből adódóan, a réteges anyagok – mint amilyen az LDH is – IL-ekben történő delaminálásának koncepciója mérsékelt körülmények között környezetbarátabb és hatékonyabb utat kínál a nanolapok előállításához. Ennek nagy jelentősége lehet anyagszintézis terén, ugyanis lehetőséget biztosít nagyobb mennyiségű 2D anyagok előállítására, ami különösképp elektronikai alkalmazások, érzékelők és bevonatok fejlesztés terén hasznosítható.



---

## 5. Tudományos közlemények listája

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10074020

### Az értekezéshez kapcsolódó tudományos közlemények

---

- Dóra Takács**, Gábor Varga, Edit Csapó, Andrej Jamnik, Matija Tomšič, István Szilágyi  
*Delamination of layered double hydroxide in ionic liquids under ambient conditions*  
JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS 13 (2022) 11850.  
DOI: 10.1021/acs.jpcclett.2c03275                      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 3                                      Impakt faktor: 5,7
- Dóra Takács**, Matija Tomšič, István Szilágyi  
*Effect of water and salt on the colloidal stability of latex particles in ionic liquid solutions*  
COLLOIDS AND INTERFACES 6 (2022) 2.  
DOI: 10.3390/colloids6010002                      SJR indikátor: Q2  
Független hivatkozások: 5                                      Impakt faktor: 2,4
- Dóra Takács**, Bojana Katana, Adél Szerlauth, Dániel Sebők, Matija Tomšič, István Szilágyi  
*Influence of adsorption of ionic liquid constituents on the stability of layered double hydroxide colloids*  
SOFT MATTER 17 (2021) 9116.  
DOI: 10.1039/D1SM01074C                      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 5                                      Impakt faktor: 4,0
- Bojana Katana, **Dóra Takács**, Felix D. Bobbink, Paul J. Dyson, Nizar B. Alsharif, Matija Tomšič, István Szilágyi  
*Masking specific effects of ionic liquid constituents at the solid–liquid interface by surface functionalization*  
PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS 22 (2020) 24764.  
DOI: 10.1039/D0CP02805C                      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 7                                      Impakt faktor: 3,7

### Az értekezés témájához nem kapcsolódó tudományos közlemények

---

- Dóra Takács**, Maja Adžić, Nejra Omerović, Milan Vraneš, Jaroslav Katona, Marko Pavlović  
*Electrolyte-induced aggregation of zein protein nanoparticles in aqueous dispersions*  
JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE 656 (2023) 457.  
DOI: 10.1016/j.jcis.2023.11.123                      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 1                                      Impakt faktor (2022): 9,9
- Dóra Takács**, Tamás Szabó, Andrej Jamnik, Matija Tomšič, István Szilágyi  
*Colloidal interactions of microplastic particles with anionic clays in electrolyte solutions*  
LANGMUIR 39 (2023) 12835.  
DOI: 10.1021/acs.langmuir.3c01700                      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 3                                      Impakt faktor (2022): 3,9

- 
3. Zsófia Vargáné Árok, Szilárd Sáringer, **Dóra Takács**, Coline Bretz, Ádám Juhász, István Szilágyi  
*Effect of salinity on solution properties of a partially hydrolyzed polyacrylamide*  
JOURNAL OF MOLECULAR LIQUIDS 384 (2023) 122192.  
DOI: 10.1016/j.molliq.2023.122192      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 2      Impakt faktor (2022): 6,0
  
  4. Bojana Katana, Kata Panna Kókai, Szilárd Sáringer, Adél Szerlauth, **Dóra Takács**, István Szilágyi  
*The influence of solvents and colloidal particles on the efficiency of molecular antioxidants*  
ANTIOXIDANTS 12 (2023) 99.  
DOI: 10.3390/antiox12010099      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 3      Impakt faktor (2022): 7,0
  
  5. **Dóra Takács**, Tamás Péter, Zsófia Vargáné Árok, Bojana Katana, Snežana Papović, Slobodan Gadzuric, Milan Vraneš, István Szilágyi  
*Structure–stability relationship in aqueous colloids of latex particles and gemini surfactants*  
JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B 126 (2022) 9095.  
DOI: 10.1021/acs.jpcc.2c06259      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 2      Impakt faktor: 3,3
  
  6. Nizar B. Alsharif, Gergely F. Samu, Szilárd Sáringer, Adél Szerlauth, **Dóra Takács**, Viktória Hornok, Imre Dékány, István Szilágyi  
*Antioxidant colloids via heteroaggregation of cerium oxide nanoparticles and latex beads*  
COLLOIDS AND SURFACES B: BIOINTERFACES 216 (2022) 112531.  
DOI: 10.1016/j.colsurfb.2022.112531      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 7      Impakt faktor: 5,8
  
  7. Adél Szerlauth, Edina Balog, **Dóra Takács**, Szilárd Sáringer, Gábor Varga, Gábor Schuszter, István Szilágyi  
*Self-assembly of delaminated layered double hydroxide nanosheets for the recovery of lamellar structure*  
COLLOIDS AND INTERFACES SCIENCE COMMUNICATION 46 (2022) 100564.  
DOI: 10.1016/j.colcom.2021.100564      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 5      Impakt faktor: 4,5
  
  8. Bojana Katana, **Dóra Takács**, Adél Szerlauth, Szilárd Sáringer, Gábor Varga, Andrej Jamnik, Felix D. Bobbink, Paul J. Dyson, István Szilágyi  
*Aggregation of halloysite nanotubes in the presence of multivalent ions and ionic liquids*  
LANGMUIR 37 (2021) 11869.  
DOI: 10.1021/acs.langmuir.1c01949      SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 7      Impakt faktor: 4,3
-

9. Nizar B. Alsharif, Katalin Bere, Szilárd Sáringer, Gergely F. Samu, **Dóra Takács**, Viktória Hornok, István Szilágyi  
*Design of hybrid biocatalysts by controlled heteroaggregation of manganese oxide and sulfate latex particles to combat reactive oxygen species*  
 JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY B 9 (2021) 4929.  
 DOI: 10.1039/D1TB00505G SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 4 Impakt faktor: 7,6
10. Tímea Hegedűs, **Dóra Takács**, Livia Vásárhelyi, István Szilágyi, Kónya Zoltán  
*Specific ion effect on aggregation and charging properties of boron nitride nanospheres*  
 LANGMUIR 37 (2021) 2466.  
 DOI: 10.1021/acs.langmuir.0c03533 SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 13 Impakt faktor: 4,3
11. Bojana Katana, **Dóra Takács**, Edit Csapó, Tamás Szabó, Andrej Jamnik, István Szilágyi  
*Ion specific effects on the stability of halloysite nanotube colloids—inorganic salts versus ionic liquids*  
 JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B 124 (2020) 9757.  
 DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c07885 SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 19 Impakt faktor: 3,0
12. **Dóra Takács**, Gábor Schuszter, Dániel Sebők, Ákos Kukovecz, Dezső Horváth, Ágota Tóth  
*Magnetic-field-manipulated growth of flow-driven precipitate membrane tubes*  
 CHEMISTRY – A EUROPEAN JOURNAL 25 (2019) 14826.  
 DOI: 10.1002/chem.201902830 SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 7 Impakt faktor: 4,9

### Tudományometriai adatok

Referált közlemények: 16	az értekezéshez kapcsolódó: 4
Összesített impakt faktor: 80,3	az értekezéshez kapcsolódó: 15,8
Független hivatkozások: 93	az értekezéshez kapcsolódó: 20

### Az értekezés témaköréhez kapcsolódó konferencia-részvételek

- Dóra Takács**, István Szilágyi (előadás)  
*Influencing the colloidal interactions in ionic liquid-based dispersions by altering the water and salt content*  
 96th ACS Colloid and Surface Science Symposium  
 2022. július 10–13., Golden, Colorado, USA
- Dóra Takács**, Bojana Katana, István Szilágyi (előadás)  
*Effect of ionic liquid constituents on the stability of layered double hydroxide dispersions*  
 18th European Student Colloid Conference  
 2022. június 26–30., Szeged, Magyarország

3. **Dóra Takács**, István Szilágyi (előadás)  
*Tuning the aggregation of latex particles in ionic liquids by changing the water and salt content*  
28th EUCHEM Conference on Molten Salts and Ionic Liquids  
2022. június 5–10., Pátra, Görögország
4. **Dóra Takács**, Bojana Katana, István Szilágyi (előadás)  
*Effect of ionic liquid constituents on the stability of nanoclay colloids*  
33rd Australian Colloid and Surface Science Student Conference  
2022. január 31–február 2., online
5. **Dóra Takács**, István Szilágyi (előadás)  
*Tuning colloidal interactions in ionic liquid-water mixtures, Oral presentation*  
35th Conference of the European Colloid and Interface Society  
2021. szeptember 5–10., online
6. **Dóra Takács**, Bojana Katana, Felix D. Bobbink, Paul J. Dyson, István Szilágyi (poszter)  
*Masking specific effects of ionic liquid constituents at the solid-liquid interface by surface functionalization*  
Geneva Colloids 2021  
2021. április 8–9., online
7. **Dóra Takács**, Bojana Katana, István Szilágyi (előadás)  
*Tuning particle stability in aqueous solutions of ionic liquids*  
XLIII. Kémiai Előadói Napok  
2020. október 27–29., online

---

**Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó konferencia-részvételek**

---

1. **Dóra Takács**, István Szilágyi (előadás)  
*Heteroaggregation of microplastics with anionic clays in aquatic environment*  
38th International Conference on Solution Chemistry  
2023. július 9–14., Belgrád, Szerbia
2. **Dóra Takács**, Ágota Tóth (előadás)  
*Mágneses tér hatása a paramágneses csapadékmintázatokra*  
XXXIV. Országos Tudományos Diákköri Konferencia  
2019. március 21–23., Budapest, Magyarország
3. **Dóra Takács**, Gábor Schuszter, Dezső Horváth, Ágota Tóth (előadás)  
*Mágneses tér hatása a paramágneses csapadékmintázatokra*  
XLIII. Kémiai Előadói Napok  
2018. október 15–17., Szeged, Magyarország