

# **Réteges kettős hidroxidok és aminosav interkalált változataik mechanokémiai előállítására és szerkezeti jellemzése**

PhD Tézisek

**Ferencz Zsolt**



Témavezetők: Dr. Pálinkó István  
Dr. Sipos Pál

Kémia Doktori Iskola  
Anyag- és Oldatszerkezeti Kutatócsoport  
Szerves Kémiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar | Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2016

## 1. BEVEZETÉS

A réteges kettős hidroxidok (LDH-k) agyagásványszerű anyagok, rétegeiket általában két és háromvegyértékű fémionok alkotják. A három vegyértékű fémionok a brucitjellegű rétegeket többlet pozitív töltéssel ruházzák fel. Ezt a többlet pozitív töltést a rétegek között elhelyezkedő részlegesen, vagy teljesen hidratált anionok kompenzálják. Ezek az anionok nagyon sokfélék lehetnek, egyszerű szerves anionoktól (mint a  $\text{NO}_3^-$ ) kezdve, egészen nagyméretű szerves anionokig (mint például az aminosavak). Az LDH-k egyik jellemző tulajdonsága, hogy a rétegek közötti anionok cserélhetőek, ezzel lehetőség nyílik az LDH szerkezetek módosítására, és a kompozit anyagok funkcionálisítására.

Annak ellenére, hogy az esetek többségében két és háromvegyértékű kationok alkotják a rétegeket, négyvegyértékű fémionok rétegekbe való beépüléséről is olvashatók közlemények. A szakirodalom pl. az Sn(IV)-tartalmú LDH-k esetében ellentmondásos: vannak kutatók, akik azt állítják, hogy sikerült Sn(IV)-et beépíteni az LDH-k rétegekbe, míg mások ezeket az állításokat cáfolják. Munkám egyik célja olyan Sn(IV)-tartalmú LDH-k előállításának volt, amelyek kétséget kizárólag a rétegekben tartalmazzák az Sn(IV)-t.

Az LDH-k fő felhasználási lehetőségeiket anioncserélő tulajdonságaiknak, illetve nagy fajlagos felületeiknek köszönhetik. A fontosabb felhasználási területek a következők: katalizátor, katalizátorhordozó, biológiailag aktív komponens szállító hordozó, égésgátló, szenzor, elektród, szerves szintézisekben szintonhordozó. Ezek az anyagok ugyan jórészt megtalálhatók a természetben ásványokként, de ha a cél a gyakorlati felhasználás, akkor általában szintetikus úton állítják elő őket. A leggyakrabban használt szintézismódszerek az oldatkémiai módszerek, úgymint az együttes lecsapás vagy a karbamid hidrolízises módszer. Ugyanez elmondható az interkalációs módszerekről is, itt is az oldatkémiai módszerek dominálnak, leggyakrabban a direkt anioncsere vagy a dehidratáció-rehidratáció módszerét alkalmazzák.

Munkám során egy kevésbé elterjedt technikát, a mechanokémiát alkalmaztam az LDH-k szintézisére és interkalációjára. A szintézisek során egy kétlépéses őrlési eljárást használtam, amelynek első lépése a prekursorok (általában a két- és három vegyértékű fémek sói, illetve hidroxidjai) száraz őrlése, amit (miután a rendszerhez

vizet vagy NaOH-oldatot adtunk) nedves őrlés követ. Munkám célja Ca(II)Al(III)- és Ca(II)Fe(III)-LDH-k mechanokémiai előállítására volt, valamint a reakcióparaméterek optimalizálása annak érdekében, hogy (közel) fázistiszta termékeket állítsunk elő. Egy további cél volt az LDH-k funkcionálizálása különböző aminosavak rétegek közötti interkalációjával, szintén mechanokémiai módszerek segítségével. Az előállított termékeket minden esetben a lehető legtöbb szerkezetvizsgálati módszerrel szándékoztunk jellemezni, annak érdekében, hogy tiszta képet kapjunk szerkezetéről.

## 2. KÍSÉRLETI RÉSZ

### Felhasznált anyagok és szintézismódszerek

#### *Ca(II)Sn(IV)-LDH-k*

A minimális karbonáttartalmú, koncentrált NaOH (~20 M) törzsoldatot Millipore MilliQ víz és *a.r.* tisztaságú szilárd NaOH felhasználásával készítettük. A pontos koncentrációt a lúgoldat sűrűsége alapján határoztuk meg. Az oldatot légmentesen lezárt, lúgálló Pyrex üvegben tároltuk a levegő CO<sub>2</sub>-jától elzárva, ezzel megakadályozva a további karbonátosodást. A kísérleti munka során ebből a lúgoldatból hígítással állítottuk elő a szintézisekhez szükséges különféle koncentrációjú NaOH-oldatokat.

Az Sn(IV)-tartalmú LDH-k előállításánál mind oldatkémiai, mind mechanokémiai módszereket alkalmaztunk. Az együttes lecsapás módszerének alkalmazásakor, a két fémion sóját (CaCl<sub>2</sub> és SnCl<sub>4</sub>) különböző arányokban tartalmazó oldatot lassan NaOH-oldatba csepegtettük, folyamatosan kevertetés mellett. A kapott oldatot 24 órán át kevertettük. Az így keletkezett csapadékot légszárazra szűrtük lúgálló vákuumszűrőt (Nalgene) és szűrőmembránt (Versapor, 0.45 μm) alkalmazva. A kapott szilárd terméket szobahőmérsékleten exsikkátorban, száraz SiO<sub>2</sub> fölött tároltuk. Bizonyos minták esetében öregítést alkalmaztunk (6 h, 70°C).

A mechanokémiai szintéziseket kétféleképpen végeztük el. Vagy egyszerű achát mozsarat, vagy rázómalmost alkalmaztunk. A szintézisek során mind az őrlési frekvencia (11,6 s<sup>-1</sup>), mind a kiindulási anyagok összömege (3 g) állandó volt. Két módszert vizsgáltam, az egy- illetve kétlépéses őrlési folyamatokat. Az előbbiben csupán egy 3 órás száraz őrlésnek vetettük alá a mintát. Ezzel szemben a kétlépéses módszer esetében a száraz őrlést (1 h) nedves őrlés (2 h, 0,7 ml hozzáadott víz)

követte. A szintézist követően a termékeket szobahőmérsékleten exsikkátorban, száraz SiO<sub>2</sub> fölött tároltuk. Az achát mozsár használatakor a fenti kísérletek eredményeinek reprodukálása volt a cél, így az alkalmazott módszerek, analógok a fent említettekkel. Ebben az esetben a kiindulási anyagokat (összesen 3 g) homogenizáltuk, majd a keveréket két részre osztottuk. Az egyikhez megfelelő mennyiségű vizet adtunk, míg a másik részét további változtatások nélkül analizáltuk. A víz hozzáadása után folytattam az őrlést, mindaddig, amíg egy homogén elegyet nem kaptam. Az így keletkezett anyagokat exsikkátorban tároltam.

#### *Ca(II)Al(III)- és Ca(II)Fe(III)-LDH-k*

A Ca(II)Fe(III) és Ca(II)Al(III) minták esetében kizárólag mechanokémiai szintézismódszert alkalmaztunk, amelyek analógok a már előbb említett módszerekkel. A szintézisek kétféleképpen végeztük el, kézi őrléssel, egyszerű achát mozsár alkalmazásával, illetve rázómalom segítségével. Az achát mozsár alkalmazásakor a prekursorokat a mozsárba helyeztük és 5 percig kézi őrlésnek vetettük alá őket. Ezt követte a meghatározott mennyiségű víz vagy NaOH hozzáadása a keverékhez, amely után 1 órán át folytattuk az őrlést. A rázómalomban kivitelezett kísérletek esetében a prekursorokat az őrlőtégelyekbe helyeztük, majd egy órási őrlésnek (száraz őrlés) vetettük alá őket, amelyet a megfelelő mennyiségű víz hozzáadása illetve a két órás őrlés (nedves őrlés) követett. A reakcióparaméterek szisztematikus változtatásával közel fázistiszta LDH előállítás volt a cél. A változtatott reakcióparaméterek a hozzáadott víz és/vagy NaOH-oldat mennyiség, a golyó/minta tömegarány, az őrlési frekvencia, a száraz őrlés ideje és a nedves őrlés ideje voltak.

#### *Interkaláció LDH-kban*

Különböző aminosav anionok rétegek közötti interkalációját minden esetben mechanokémiai módszerekkel valósítottuk meg, egy némileg módosított kétlépéses őrlési folyamattal. A szintézis első lépése a prekursorok száraz őrlése volt. Itt a kiindulási anyagokat (jellemzően az LDH-kat alkotó fémek fémsóit, vagy hidroxidjait) 1 óra hosszáig őrlöttük. Ezután a megfelelő mennyiségű NaOH-oldat és az aminosav hozzáadása követte, végül 2 órás őrlés zárta a műveletet. A szintézis befejeztével a termékeket mostuk, szárítottuk, majd exsikkátorban tároltuk szobahőmérsékleten. Mind a prekursorok tégelybe helyezése, mind az aminosavak, illetve NaOH-oldat

adagolása, valamint a tégelyek lezárása N<sub>2</sub>-atmoszféra alatt történt. Így a zavaró CO<sub>2</sub> jelenléte kizárható volt. A golyó/minta tömegarány (B/S) 100-as értékre állítottuk a teljes szintézis folyamán. Ezt az értéket az alap LDH-k szintézisének optimalizálása során állapítottuk meg.

Az interkalációs folyamat optimalizálását a reakcióparaméterek szisztematikus változtatásával értük el. Ezek a paraméterek a NaOH:Fe, a Fe:aminosav molarányok, illetve az aminosav beviteli formái voltak.

### **Szerkezetvizsgálati módszerek**

A (por)röntgendiffraktogramokat a  $2\theta = 3\text{--}60^\circ$  tartományban,  $4^\circ/\text{perc}$  pásztázási sebesség mellett egy Rigaku Miniflex II és egy DRON-2 készüléken vettük fel CuK $\alpha$  és FeK $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) sugárzást használva. A reflexiók pontos helyzetét Gauss-típusú függvények illesztésével határoztam meg. A reflexiók pozíciói  $0,05^\circ$  ( $2\theta$ ) pontossággal reprodukálhatóak voltak. Ez alapján a bázislap-távolságokat  $\pm 0,01 \text{ nm}$  pontossággal tudtam meghatározni.

Az eredeti és a szerves anionokkal interkalált LDH-k Fourier-transzformált infravörös (FTIR) spektrumait egy DTGS detektorral felszerelt BIORAD FTS-65A/896 típusú spektrométerrel vettük fel. Egy spektrumot 256 interferogramból állítottunk elő, a spektrumok felbontása  $4 \text{ cm}^{-1}$  volt. A spektrumok alapvonal-korrekciójához, szükség szerinti simításához és a gazda LDH spektrumának kivonásához a WIN-IR programcsomagot használtuk fel. A minták előkészítéséhez KBr-ot alkalmaztunk, pasztillákba tömörítés nélkül.

A Raman spektrumokat egy folyékony nitrogénnel hűtött germánium detektorral és CaF<sub>2</sub> sugárosztóval ellátott BIO-RAD Digilab FT-Raman spektrométerrel vettük fel. A gerjesztési vonalat a 1064 nm-en sugárzó Spectra Physics T10-106C Nd:YVO<sub>4</sub> lézer biztosította. A spektrumokat  $3600\text{--}100 \text{ cm}^{-1}$  tartományban,  $4 \text{ cm}^{-1}$  felbontás mellett rögzítettük. Minden esetben 1024 interferogram szolgáltatja a spektrumokat. A mintapozícióban a gerjesztési energia 280 mW volt. A spektrométert a BIO-RAD Win IR 3.3-as szoftver segítségével kezeltük. A mintákat standard NMR csövekben mértük, szobahőmérsékleten. Az eredményeket a GRAMS/AI 7.00 szoftver segítségével dolgoztuk fel.

A termogravimetriás mérést (TG/DTG) egy Setaram Labsys derivatográf segítségével végeztük el, N<sub>2</sub>-atmoszféra alatt  $2^\circ\text{C}/\text{perc}$  felfűtési sebesség mellett. Mind

a tömegvesztés–hőmérséklet (termogravimetria – TG), mind a tömegvesztés differenciálja–hőmérséklet (differenciál termogravimetria – DTG) görbéket rögzítettük. Minden kísérlet esetében megközelítőleg 20 mg mintán végeztük a vizsgálatot (melyet pontosan bemértünk a kerámia mintatartóba) az exsikkátorból való eltávolítás után azonnal.

Az előállított termékekre jellemző morfológiai tulajdonságok, a hozzávetőleges kémiai összetétel meghatározásához és az elemtérkép felvételéhez Hitachi S-4700 pásztázó elektronmikroszkópot használtunk, változó gyorsítófeszültséget alkalmazva. A mintákat kétoldalú szénragasztó segítségével rögzítettük a mintatartón. Annak érdekében, hogy kontrasztosabb képeket tudjunk előállítani, a mintákat arannyal vontuk be egy katódbevonó segítségével (Quorum Technologies SC7620). A felvitt aranyréteg vastagsága néhány nanométer volt. Az anyagok kémiai összetételét a mikroszkóphoz csatolt energiadiszperzív mikroanalitikai készülékkel (Röntec QX2, EDX) határoztuk meg.

A röntgensugár-abszorpciós spektrumokat (XAS) a svédországi Lund Egyetem MaxLab szinkrotronjában, az I811 állomáson vettük fel a Fe K élén. A mérőállomás egy szupravezető sugár-forrás, ami a 1,5 GeV gyorsító feszültségű MAX II tároló gyűrűhöz kapcsolódik. A fotonfluxus megközelítőleg  $2 \times 10^{15}$  foton/s volt.

### **3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK**

#### **T1. A kétlépéses mechanokémai módszer segítségével sikeresen állítottam elő Ca(II)Sn(IV)-LDH-t.**

1.1 Bebizonyosodott, hogy a hagyományos együttes lecsapás módszerével Ca(II)Sn(IV)-LDH előállítása nem lehetséges. A Ca(II)Sn(IV)-LDH előállítására a megfelelő módszernek a kétlépéses őrlési módszer bizonyult. A rétegek kialakulásához szükséges megfelelő hidroxidmennyiséget a mintákhoz adott víz biztosította.

#### **T2. Elsőként interkaláltam cisztin és valin anionokat Ca(II)Sn(IV)-LDH-ba a kétlépéses őrlési módszer alkalmazásával.**

2.1 Az interkaláció sikerességét XRD, IR, Raman, SEM és SEM-EDX mérésekkel bizonyítottuk.

### **T3. A reakciókörülmények optimalizálásával sikerült mechanokémiai úton közel fázisztiszta Ca(II)Al(III)-LDH-t előállítani.**

- 3.1 Az XRD eredmények megerősítették, hogy kézi őrlés alkalmazásával is lehetséges az LDH szintézise; ugyanakkor ezekben a mintákban nagyobb részben az el nem reagált kiindulási anyagok voltak jelen, tehát a kézi őrléssel biztosított mechanikai energia a teljes átalakításhoz kevésnek bizonyult.
- 3.2. A rázómalomban alkalmazott kétlépéses őrlési módszer segítségével közel fázisztiszta LDH-t állítottunk elő, a reakciókörülmények optimalizálásával. Bebizonyosodott, hogy annak ellenére, hogy a hozzáadott víz mennyiségnek (nedves őrlés) nagyon fontos szerepe van a szintézisben, a legmeghatározóbb reakcióparaméter a golyó/minta tömegarány (ennek az értéke minimum 100 kell, hogy legyen), azaz a közvetített mechanikai energia.

### **T4. Elsőként határoztam meg az optimális szintézisparamétereket a rázómalomban végrehajtott, fázisztiszta Ca(II)Fe(III)-LDH mechanokémiai előállításához.**

- 4.1. A fázisztiszta Ca(II)Fe(III)-LDH mechanokémiai szintézisének optimális paraméterei: 2-es Ca:Fe mólarány, 100-as golyó/minta tömegarány, 11,6 Hz-es őrlési frekvencia, 1 h száraz őrlés, 2 h nedves őrlés, 22,15 H<sub>2</sub>O:Fe mólarány.

### **T5. Sikeresen határoztam meg az optimális reakciókörülményeket a cisztin és tirozin Ca(II)Fe(III)-LDH-ba történő mechanokémiai interkalációjához, valamint feltártam a gazda LDH és a vendég anionok interkalációs tulajdonságainak részleteit.**

- 5.1. Az interkaláció optimalizálásához egy némileg módosított kétlépéses őrlési folyamatot használtam. Bebizonyosodott, hogy tirozinát anion interkalációja minden esetben sikeres volt, míg a szerves anionokkal interkalált LDH (tiszta LDH) kialakulása és a cisztinát anionokkal interkalált LDH képződése között minden esetben kompetíció alakult ki.
- 5.2 Meghatározva a rétegek közötti terek méretét a szerves anionokkal interkalált LDH-k esetében és ismerve az aminosav anionok dimenzióit, megmutattam, hogy a cisztinát anion kettős réteget alkotva helyezkedik el az LDH rétegei között, úgy, hogy az anionok párhuzamosan helyezkednek el az LDH rétegeihez képest. A tirozinát anionok is képesek hasonló viselkedésre, viszont esetünkben egy, a rétegekre merőlegesen elhelyezkedő egyrétegű elrendeződés is elképzelhető.

#### 4. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTÁSA

Bemutatott eredményeim főként alapkutatási jellegűek. Mindazonáltal a réteges kettős hidroxidoknak és interkalált származékaiknak sokféle felhasználási lehetőségük van a katalízistól kezdve, a gyógyszeripari felhasználásokon keresztül, egészen környezetvédelmi alkalmazásokig. Az értekezésemben bemutatott eredmények alapján elmondható, hogy mechanokémiai úton lehetőség nyílhat olyan LDH-k előállítására, amelyek esetén a hagyományos oldatkémia módszerek nem működnek. Ez a módszer az ipar számára is eredményezhet új felhasználási lehetőségeket, hiszen a porok kezelése ipari méretekben egyszerűbb, mint az oldatoké.

#### 5. KÖZLEMÉNYEK, KONFERENCIAMEGJELENÉSEK

##### 5.1 Az értekezés témaköréhez kapcsolódó, referált folyóiratban megjelent közlemények

[1] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Ádok-Sipiczki, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.: Mechanochemically assisted synthesis of pristine Ca(II)Sn(IV)-layered double hydroxides and their amino acid intercalated nanocomposites,

*J. Mater. Sci.* **49**, 8478–8486 (2014).

I(m pact)F( actor): 2,371

I( degen)H( ivatkozás): 5

[2] **Ferencz, Zs.**, Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.: Optimisation of the synthesis parameters of mechanochemically prepared CaAl-layered double hydroxide,

*Appl. Clay Sci.* **112-113**, 94–99 (2015).

IF: 2,467<sub>2014</sub>

IH: 4

[3] **Ferencz, Zs.**, Szabados M., Varga G., Csendes, Z., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Carlson, S., Sipos, P., Pálinkó, I.: Mechanochemical synthesis and intercalation of Ca(II)Fe(III)-layered double hydroxides,

*J. Solid State Chem.* **233**, 236–243 (2016).

IF: 2,133<sub>2014</sub>

IH: –



## 5.2 Az értekezés témaköréhez kapcsolódó, konferenciakiadványban megjelent teljes közlemények

[4] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Sipiczki, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.: Mechanochemical synthesis of M(II)Sn(IV) layered double hydroxides, In: Melník M, Segl'a P, Tatarko M: Recent Developments in Coordination, Bioinorganic and Applied Inorganic Chemistry, Bratislava: Slovak Technical University Press, 2013, pp. 47–57 (ISBN:978-80-227-3918-4).

[5] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Sipos, P., Pálinkó, I. Ca-Fe Réteges kettős hidroxidok mechanokémiai előállítás, a szintézis optimalizálása, In: Endrődi B, Laufer N. "XXXVI. Kémia Előadói Napok", Szeged JATE press, 2013, pp. 83–87 (ISBN:978-963-315-145-7).

[6] Szabados, M., **Ferencz, Zs.**, Sipiczki, M., Sipos, P., Pálinkó, I. Tiszta és hierarchikus szerkezetű CaFe-réteges kettős hidroxidok szintézise dörzsmozsárban, In: Endrődi B, Laufer N. "XXXVI. Kémia Előadói Napok", Szeged JATE press, 2013, pp. 88–92 (ISBN:978-963-315-145-7).

## 5.3 Az értekezés témaköréhez kapcsolódó konferenciamegjelenések

[1] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Sipiczki, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.: Mechanochemical synthesis of M(II)Sn(IV) layered double hydroxides, XXIV. International Conference on Coordination and Bioinorganic Chemistry, Recent Developments in Coordination, Bioinorganic, and Applied Inorganic Chemistry, 2013, Smolenice (Szlovákia). (szóbeli előadás)

[2] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Sipos, P., Pálinkó, I. Ca-Fe Réteges kettős hidroxidok mechanokémiai előállítás, a szintézis optimalizálása, XXXVI. Kémia Előadói Napok. 2013, Szeged. (szóbeli előadás)

[3] Szabados, M., **Ferencz, Zs.**, Sipiczki, M., Sipos, P., Pálinkó, I. Tiszta és hierarchikus szerkezetű CaFe réteges kettős hidroxidok szintézise dörzsmozsárban, XXXVI. Kémia Előadói Napok, 2013, Szeged. (szóbeli előadás)

[4] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Sipos, P., Pálinkó, I. Mechanokémia a réteges kettős hidroxidok szintézisében, XIX Nemzetközi Vegyészkonferencia, 2013, Baia-Mare (Románia). (szóbeli előadás)

[5] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I. Mechanochemical intercalation of amino acids into layered double hydroxides, 4<sup>th</sup> International Colloid Conference – Surface Design and Engineering, 2014, Madrid (Spanyolország). (poszter)

[6] **Ferencz, Zs.**, Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I. Mechanochemistry in the synthesis of Ca-Al layered double hydroxides. 22 ICM&T – International conference on Materials and Technology, 2014, Portorož (Szlovénia). (szóbeli előadás)

[7] **Ferencz, Zs.** Ádok, M. Sipos, P. és Pálinkó, I. Mechanokémia a réteges kettős hidroxidok szintézisében és interkalációjában, XX Nemzetközi Vegyészkonferencia, 2014, Cluj (Románia). (szóbeli előadás)

[8] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Ádok-Sipiczki, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I. A mechanochemical approach for the synthesis of CaFe-layered double hydroxides, 4<sup>th</sup> Nanomaterials and Nanotechnology Meeting NanoOstrava 2015, 2015 Ostrava (Csehország). (szóbeli előadás)

[9] **Ferencz, Zs.**, Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I., Mechanochemistry in the intercalation of CaFe-layered double hydroxides, 18<sup>th</sup> International Symposium on Intercalation Compounds, 2015, Strasbourg (Franciaország). (poszter és szóbeli előadás)

#### **5.4 Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó, referált folyóiratban megjelent közlemények**

[1] **Ferencz, Zs.**, Ádok-Sipiczki, M., Hannus, I., Sipos, P., Pálinkó, I.: Structural features of intercalated CaFe-layered double hydroxides studied by X-ray diffractometry, infrared spectroscopy and computations, *J. Mol Struct.* **1090**, 14–18 (2015).

IF: 1,602<sub>2014</sub>

IH: –

[2] Sipiczki-Ádok, M., Bugris, V., Mészáros, Sz., Srankó D. F., **Ferencz Zs.**, Szabados, M., Kukovecz Á., Kónya Z., Sipos P., és Pálinkó I.: Réteges kettős hidroxidok – különleges, könnyen funkcionálizálható összetett anyagok, *Magyar Kémiai Folyóirat – Kémiai Közlemények* **120**, 106–115. (2014).

### **5.5 Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó konferenciakiadványban megjelent teljes közlemények**

[1] Tóth, V., **Ferencz, Zs.**, Sipos, P., Pálinkó, I.: CaZAl-réteges kettős hidroxidok interkalálása mechanokémia módszerekkel, In: Endródi B, Laufer N. "XXXVI. Kémia Előadói Napok", Szeged JATE press, 2013, pp. 93–97 (ISBN:978-963-315-145-7).

[2] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I. A mechanochemical approach to the synthesis of Mg-Al layered double hydroxides, In: Szélpál Sz.: 1<sup>st</sup> Innovation in Science 2014- Doctoral Student Conference, eBook of abstracts, 2014, pp. 44–45 (ISBN 978-963-9970-52-6).

[3] Szabados, M., **Ferencz, Zs.**, Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I. A mechanochemical method to synthesise CaFe-layered double hydroxides, In: Szélpál Sz.: 1<sup>st</sup> Innovation in Science 2014 – Doctoral Student Conference, eBook of abstracts, 2014, pp. 62–63 (ISBN 978-963-9970-52-6).

[4] Czene, M, **Ferencz, Zs**, Sipos, P, Pálinkó, I. Baeyer-Villiger oxidációs reakció Ca(II)Sn(IV)-réteges kettős hidroxidon (Bayer-Villiger oxidation reaction over Ca(II)Sn(IV)-layered double hydroxide) In: Bohner, B, Mesterházy, E. "XXXVIII. Kémiai Előadói Napok: Program és előadás-összefoglalók", Szeged JATE press, 2015, pp. 54–58 (ISBN:978-963-9970-64-9).

### **5.6. Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó konferenciamegjelenések**

[1] Erdei, Gy., **Ferencz, Zs.**, Rácz, Cs., Csavdári, A.: Táplálékkiegészítőkben használt ciklodextrin zárványkomplexek előállítás és vizsgálata, XIII. Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia, kémia szekció, 2010, Cluj (Románia). (szóbeli előadás)

[2] Erdei, Gy., **Ferencz, Zs**, Rácz, Cs., Csavdári, A. Szabó, G.: Táplálékkiegészítőkben használt  $\beta$ -ciklodextrin zárványkomplexek előállítás és vizsgálata, XVI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, 2010., Cluj (Románia). (poszter)

[3] Erdei, Gy., **Ferencz, Zs.**, Rácz, Cs., Csavdári, A., Szabó, G.: Táplálékkiegészítőkből használt  $\beta$ -ciklodextrin zárványkomplexek előállítása és vizsgálata, 2010. évi őszi Tudományos Diákköri Konferencia, Komplexkémia–Peptidkémia szekció 2010, Szeged. (szóbeli előadás)

[4] Erdei, Gy., **Ferencz, Zs.**, Rácz, Cs., Csavdári, A., Szabó, G.: Táplálékkiegészítőkből használt  $\beta$ -ciklodextrin zárványkomplexek előállítása és vizsgálata, Erdélyi Múzeum Egyesület, Őszi Természettudományi Konferencia, Chemistry session 2010, Cluj (Románia). (szóbeli előadás)

[5] Tóth, V., **Ferencz, Zs.**, Sipos, P., Pálinkó, I.:  $\text{Ca}_2\text{Al}$  réteges kettős hidroxidok interkalálása mechanokémia módszerekkel, "XXXVI. Kémia Előadói Napok", 2013, Szeged. (szóbeli előadás)

[6] **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I.: A mechanochemical approach to the synthesis of Mg-Al layered double hydroxides, 1<sup>st</sup> Innovation in Science 2014 – Doctoral Student Conference, 2014, Szeged. (szóbeli előadás)

[7] Szabados, M., **Ferencz, Zs.**, Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I.: A mechano-sonochemical method to synthesise CaFe-layered double hydroxides, 1<sup>st</sup> Innovation in Science 2014 – Doctoral Student Conference, 2014, Szeged. (szóbeli előadás)

[8] Czene, M, **Ferencz, Zs.**, Sipos, P, Pálinkó, I.: Baeyer-Villiger oxidációs reakció  $\text{Ca(II)Sn(IV)}$ -réteges kettős hidroxidon (Baeyer-Villiger oxidation reaction over  $\text{Ca(II)Sn(IV)}$ -layered double hydroxide), XXXVIII. Kémiai Előadói Napok, 2015. Szeged. (szóbeli előadás)

[9] Bruszel, B., **Ferencz, Zs.**, Szabados, M., Kukovecz, Á., Kónya, Z. Sipos, P., Pálinkó, I.: Preparation of  $\text{Pd}^{2+}$ - and  $\text{Mn}^{2+}$ -doped CaFe-layered double hydroxides, 18<sup>th</sup> International Symposium on Intercalation Compounds, 2015, Strasbourg (Franciaország). (poszter)

Közlemények folyóiratban, összesen: **5**

a dolgozathoz kapcsolódóan: **3**

Halmazott impakt faktor, összesen: **8,573**

a dolgozathoz kapcsolódóan: **6,971**

Független hivatkozások, összesen: **9**

a dolgozathoz kapcsolódóan: **9**