

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Réteges kettős hidroxidok előállítása ultrahang besugárzással  
segített mechanokémiai módszerrel**

**Szabados Márton**

Témavezetők:

Dr. Pálinkó István

Dr. Sipos Pál

Kémia Doktori Iskola

Anyag- és Oldatszerkezeti Kutatócsoport

Szerves Kémiai Tanszék

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2016

## Bevezetés és célkitűzés

Az elmúlt évtizedekben igen nagy népszerűsége tettek szert a réteges kettős hidroxidok (LDH-k). Az anyag típus rétegeit általában két- és háromvegyértékű fémionok építik fel, melyeket hidroxid anionok vesznek körbe oktaédes elrendeződésben. A rétegek pozitív töltéssel rendelkeznek, amelynek kompenzálására teljesen vagy részlegesen hidratált anionok épülnek be a rétegek közti térbe. Széles körben változtatható a rétegek és a rétegek közti tér kémiai összetétele, illetve hőkezeléssel keverékok alakíthatóak ki belőlük, amelyek „emlékezve” az eredeti szerkezetre, rehidratálással akár vissza is alakulhatnak LDH-vá. LDH-k a természetben is megtalálhatók, összetételük is változatos, azonban, ha gyakorlati alkalmazásuk a cél, akkor általában mesterséges körülmények között szokás előállítani őket, így szintézisükre és utólagos módosításukra a kutatók sokféle módszert dolgoztak ki az évek során. A szerkezet könnyű hangolhatósága, a viszonylag nagy fajlagos felület és anioncsere kapacitás szerteágazó alkalmazási lehetőségeket kínál. Lehetnek katalizátorok, katalizátorhordozók, adszorberek, a gyógyszeriparban hatóanyag stabilizálók, hordozók, vagy éppen polimerekben adalékanyagként is szolgálhatnak.

Az értekezéshez vezető kísérleti munka során egy szintézismódszert, a mechano-hidrotermális technikát fejlesztettük ultrahangos besugárzás alkalmazásával. Az így módosított eljárást CaAl-, CaFe-, CaAlFe- és ZnAl-LDH-k előállítására használtuk fel. Különös gondot fordítottunk a szintézist befolyásoló körülmények megismerése, illetve különböző szerves anionok (oxo, halogenid, és azid anionok) beépítési lehetőségének tanulmányozására.

Fő vizsgálati módszerként a por röntgendiffraktometriát alkalmaztuk, azonban a rendelkezésünkre álló lehető legtöbb szerkezetvizsgálati módszerrel is jellemeztük a kapott mintákat annak érdekében, hogy minél teljesebb képet kapjunk az előállított LDH-k felépítéséről. A röntgendiffraktometria mellett infravörös és röntgenabszorpciós spektroszkópiával, termogravimetriás elemzéssel és pásztázó elektronmikroszkópiás mérésekkel, valamint a hozzá csatolt energiadiszperzív röntgen analitikai berendezés használatával is tanulmányoztuk az elkészített mintákat.

## Kísérleti rész

### Felhasznált anyagok és a szintézis menete

A ZnAl-, CaAl-, CaAlFe- és a CaFe-LDH-k előállításához kiindulási reagensként a megfelelő fém-hidroxidokat használtuk fel, azonban  $\text{Zn(OH)}_2$  és  $\text{Fe(OH)}_3$  nem állt rendelkezésünkre, így azokat magunk állítottuk elő.

#### *ZnAl-, CaAl-, CaAlFe- és a CaFe-LDH-k szintézise*

Az előállítás első lépésében a kiindulási anyagok őrlése történt vízmentes környezetben, egy kétkarú rázómalomban. Az összeőrölt reagenseket üveg ultracentrifuga csövekbe töltöttük, majd a porkeverékekhez vizes oldatokat öntöttünk. Következő lépésként a csöveket ultrahangos fürdőbe helyeztük és ultrahangos besugárzásnak tettük ki őket. Végül a kezelés után a mintákat mostuk, és különféle hőmérsékleteken ( $40\text{ }^\circ\text{C}$  és  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ) szárítottuk.

A kísérleteink során a reakcióparaméterek szisztematikus változtatásával próbáltunk meg elérni, hogy a lehető leginkább fázistiszta mintákat tudjunk előállítani. Ennek érdekében változtattuk a száraz előőrlés és az ultrahangos besugárzás idejét, utóbbinak erejét és impulzus jellegét is. A porkeverékekhez adott vizes oldatok oldott anion koncentrációját és az ultrahangos fürdő hőmérsékletét is variáltuk. A tanulmányozás céljától függően a kapott mintákat nem mindig tisztítottuk mosási procedúra alkalmazásával. Azonban ha igen, akkor a kalciumtartalmú minták mosásánál desztillált vizet alkalmaztunk a keletkező melléktermékek oldható részének eltávolítása érdekében, a cinktartalmú LDH-k esetén 25 tömeg%-os  $\text{NH}_3$ -oldattal távolítottuk el a szintézis után megmaradt  $\text{Zn(OH)}_2/\text{ZnO}$ -ot az LDH részecskék mellől. Az így kapott fázistiszta ZnAl-LDH-kat 1 órán át  $900\text{ }^\circ\text{C}$ -on hőkezeltük egy izzítókemencében, hogy vizsgáljuk használhatóságukat, mint cinkspinell prekursorok.

#### *Oxo-, halogenid és azid anionok beépítése az LDH-k rétegeközi térbe*

A ZnAl-LDH szintézisének csak hidroxid és karbonát anionokat jutattunk be a rétegek közötti térbe, a CaAlFe-LDH esetén azonban klorid aniont is beépítettünk. A CaAl-LDH-t sikerrel állítottunk elő  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  ionokat tartalmazó rétegeközi térrel, valamint a fenti anionokon túl perklorát és azid aniont is sikerült CaFe-LDH-kba bejuttatnunk.

## **Az alkalmazott szerkezet vizsgálati módszerek**

A röntgendiffraktogramokat egy Rigaku MiniFlex II típusú por röntgendiffraktométerrel készítettük. A kapott reflexiók azonosításához és Miller-indexeléséhez a PCPDFWIN (2.01 verzió) programot használtuk, ami JCPDS-ICDD (Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Centre for Diffraction Data – 1998) adatbázison alapult. Az LDH-k egy rétegének és rétegeközi távolságának összegét az első és legintenzívebb reflexió helyzetéből számoltuk a Bragg-egyenlet alapján. A reflexiók félértékszélességének és a részecskék átlagos átmérőjének meghatározásához az Xpowder (2004.04.47 PRO verzió) nevű szoftvert alkalmaztuk.

Az LDH-król készült Fourier-transzformált infravörös spektrumokat egy BIORAD FTS-65 A/896 típusú spektrométerrel vettük fel. DTGS (deuterált triglicin-szulfát) detektort és KBr háttérrel alkalmaztunk diffúz reflexiós üzemmódban. Egy spektrum elkészítéséhez 256 interferogram készült,  $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$  hullámszám-tartományban,  $4 \text{ cm}^{-1}$  felbontással. A spektrumok alapvonal-korrekcióját az Origin nevű programcsomag használatával végeztük el.

A termikus vizsgálatokhoz egy Setaram Labsys terméknevű derivatográf állt rendelkezésünkre. A méréseket levegő atmoszférán végeztük. A berendezéssel tömegvesztés-hőmérséklet, tömegvesztés differenciálja-hőmérséklet és hőáram-hőmérséklet görbéket tudunk rögzíteni.

Az LDH részecskék morfológiájának tanulmányozására egy Hitachi S-4700 pásztázó elektronmikroszkópot (Scanning Electron Microscope) használtunk. A mikroszkóphoz csatolt Röntec QX2 energiadiszperzív (Energy Dispersive X-ray analysis – EDX) rendszer segítségével információkat nyertünk a minták kémiai összetételéről és az elemek térbeli eloszlásáról.

A réteges kettős hidroxidok röntgenabszorpciós spektroszkópiái (XAS) vizsgálatát Svédországban, a lundii egyetemen végeztük a MaxIV-lab szinkrotronban, az I811-es sugár kilépési állomáson. A mérések során a vastartalmú LDH-k rétegeiben elhelyezkedő vasatomok K-elektronhéját gerjesztettük röntgensugárzással, fluoreszcens üzemmódban. A mérési eredmények értékeléshez a Demeter nevű programcsomagot használtuk és a görbék szimulálása csak egyszeres szóródási paraméterek illesztésével történt.

## Új tudományos eredmények

**T1. A mechano-hidrotermális módszert lényegesen továbbfejlesztettük ultrahangos besugárzás alkalmazásával. Ezzel a módszerrel jól fejlett kristályokat tudtunk előállítani, és növelni tudtuk a kialakuló részecskék átmérőjét.**

Az ultrahangos kezelés többféleképpen is képes volt segíteni az LDH-k képződését. A CaAl-LDH esetében a részecskék nagyobb átmérőjűek lettek, míg a ZnAl-LDH keletkezésekor az ultrahangos besugárzással növelni lehetett az LDH-vá alakuló kiindulási anyagok mennyiségét a mechanikus keveréses és a keverésmentes állapotokhoz képest.

**T2. Elsőként állítottunk elő közel fázistiszta CaFe- és CaAlFe-LDH mintákat ultrahangos besugárzással segített mechano-hidrotermális technikával.**

A közel fázistiszta CaFe-LDH előállításának körülményei: 2:1 Ca<sup>II</sup>:Fe<sup>III</sup> molarány, 90 perc száraz előőrlés (100 golyó/minta tömegarány, 11,6 Hz rázási frekvencia), 12 óra ultrahangos besugárzás (60 W-os teljesítményen, folyamatos besugárzással), 0,1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vagy 0,4 M NaCl, NaBr, NaI, NaNO<sub>3</sub>, NaClO<sub>4</sub>, NaN<sub>3</sub> vizes oldat, 70 °C.

A közel fázistiszta CaAlFe-LDH előállításának körülményei: 3:1:1 Ca<sup>II</sup>:Al<sup>III</sup>:Fe<sup>III</sup> molarány, 1 óra száraz előőrlés (100 golyó/minta tömegarány, 11,6 Hz rázási frekvencia), 4 óra ultrahangos besugárzás (60 W-os teljesítményen, folyamatos besugárzással), 0,1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vagy 0,2 M NaCl vizes oldat, 75 °C.

**T3. A fázistiszta ZnAl-LDH minták készítéséhez, olyan tisztítási eljárást dolgoztunk ki, mellyel az LDH fázis sértetlen maradt a felesleges cinkvegyületek eltávolítása közben.**

A 25 tömeg%-nyi ammóniát tartalmazó vizes oldatot találtunk a legalkalmasabbnak a tisztításhoz, így az át nem alakult cinktartalmú kiindulási anyagok cink-tetramin komplex formájában eltávolíthatók voltak az LDH részecskék mellől. A mosás során 0,1 g tömegű tisztítatlan ZnAl-LDH mintához öntöttünk 20 ml ammóniaoldatot és 5 perc ultrahangos kezelés után az LDH-t 0,45 µm pórusátmérőjű szűrőpapíron fogtuk fel és mostuk desztillált vízzel.

**T4. A CaFe–Cl<sup>-</sup>- és a CaAlFe–Cl<sup>-</sup>-LDH-k szintézisekor bizonyítottuk, hogy az ultrahangos besugárással segített mechano-hidrotermális módszer nem igényel CO<sub>2</sub> mentes atmoszférát a karbonát anion interkalációjának elkerülésére. A CaFe-LDH esetén további egyszerű szervetlen anionok (F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ClO<sub>4</sub><sup>-</sup> és N<sub>3</sub><sup>-</sup> anionok) interkalációja is sikeres volt. Ezek a szintézisek sem igényelték a CO<sub>2</sub> kizárását.**

Az interkaláció sikerességét a röntgendiffraktogramokon az LDH-k reflexióinak x-tengelyi eltolódása jelezte, illetve az, hogy a karbonát anion beépülésére jellemző rétegtávolsághoz tartozó reflexióknak nem volt jele. Az infravörös spektroszkópiai vizsgálatok szintén nem jelezték karbonát anion bekötődését a rétegek közé meghatározó mennyiségben. A szintézisekhez használt vizes közeg anionkoncentrációjának nagysága volt a meghatározó a karbonát anion beépülésének megakadályozására.

**T5. Az azid aniont elsőként építettük be CaFe-LDH rétegek közötti terébe az ultrahangos kezeléssel segített mechano-hidrotermális technikát alkalmazva. A CaFe-LDH és az azid anionok között igen erős kölcsönhatás lépett fel, az LDH rétegei képesek voltak 300 °C-ig stabilizálni az azid anionokat, megakadályozva, hogy azok N<sub>2</sub> molekulaként távozzanak a rétegek közötti térből.**

Röntgendiffraktometriás vizsgálatok bizonyították az azid anion sikeres beépítését, valamint az ismert liotróp sorban (az anionok LDH-kba épülési erősségére) is sikerült megközelítőleg elhelyezni az azid aniont az LDH-k reflexióinak félértélszélessége és a keletkező átlagos részecskeátmérők alapján. Az infravörös spektroszkópiai mérések igazolták az azid anion jelenlétét az eredeti és a 300 °C-on hőkezelt mintákban egyaránt.

## **Az eredmények gyakorlati jelentősége**

A kísérleti eredmények alapján elmondhatjuk, hogy az ultrahangos besugárzással segített mechano-hidrotermális technika egy viszonylag egyszerű, kevés lépést tartalmazó és hatékony módszer az LDH-k előállítására. Az ultrahangos kezelésnek köszönhetően az alkalmazott hőmérséklet is csökkenthető a hagyományos technikához képest, ami energetikai és így környezetvédelmi szempontból is igen fontos. Ez a módszer a szilárd fázisban és a folyadék fázisban végbemenő folyamatokat egyesíti, így olyan LDH-k létrehozására illetve anionok beépítésre adhat lehetőséget, vagy teheti egyszerűbbé, amelyek megvalósítása a tisztán szilárd, vagy a folyadék fázisban nem vagy csak rossz hatékonysággal lehetséges. Erre jó példa az azid anion, amelynek beépítését oldatfázisban a robbanékony fém-azid sók keletkezése akadályozhat meg, míg szilárd formában a ráható mechanikai erők hatására semmisülhet meg az azid anion, még mielőtt a rétegek közé jutna.

## **Közlemények, konferenciamegjelenések**

### **MTMT azonosító: 10038905**

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

[1] **Márton Szabados**, Rebeka Mészáros, Szabolcs Erdei, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz, Pál Sipos, István Pálinkó: Ultrasonically-enhanced mechanochemical synthesis of CaAl-layered double hydroxides intercalated by a variety of inorganic anions

*Ultrasonics Sonochemistry*, **31**, pp. 409–416 (2016).

Impakt faktor: 4,556<sub>2015</sub>

Független hivatkozások: 2

[2] **Márton Szabados**, Krisztián Pásztor, Zita Csendes, Szabolcs Muráth, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz, Stefan Carlson, Pál Sipos, István Pálinkó: Synthesis of high-quality, well-characterized CaAlFe-layered triple hydroxide with the combination of dry-milling and ultrasonic irradiation in aqueous solution at elevated temperature

*Ultrasonics Sonochemistry*, **32**, pp. 173–180 (2016).

Impakt faktor: 4,556<sub>2015</sub>

Független hivatkozások: 0

[3] **Márton Szabados**, Csaba Bús, Mónika Ádok-Sipiczki, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz, Pál Sipos, István Pálinkó: Ultrasound-enhanced milling in the synthesis of phase-pure, highly crystalline ZnAl-layered double hydroxide of low Zn(II) content  
*Particuology*, **27**, pp. 29–33 (2016).

Impakt faktor: 2,280<sub>2015</sub>

Független hivatkozások: 0

### **Az értekezés témaköréhez kapcsolódó, konferencia és egyéb kiadványban megjelent teljes közlemények**

[1] **Márton Szabados**, Zsolt Ferencz, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya, Pál Sipos, István Pálinkó: A mechano-sonochemical method to synthesise CaFe-layered double hydroxides, *1<sup>st</sup> Innovation in Science 2014 – Doctoral Student Conference*, Szeged, Magyarország, 2014, pp. 62–63, ISBN 978-963-9970-52-6

[2] Mészáros Rebeka, **Szabados Márton**, Sipos Pál, Pálinkó István: Ultrahangos kevertetéssel segített újszerű szintézis CaAl réteges kettős hidroxidok előállítására, *XXXVII. Kémiai Előadói Napok*, Szeged, Magyarország, 2014, pp. 46–50, ISBN 978-963-9970-53-3

[3] Bús Csaba, **Szabados Márton**, Sipos Pál, Pálinkó István: Cink-aluminát spinel újszerű előállítása, *XXXVIII. Kémiai Előadói Napok*, Szeged, Magyarország, 2015, pp. 64–68, ISBN 978-963-9970-64-9

[4] **Márton Szabados**, Zsolt Ferencz, Gábor Varga, Stefan Carlson, Pál Sipos, István Pálinkó: Comparative structural study of layered double hydroxides prepared and intercalated by commonly as well as scarcely applied methods, *Max IV Lab Activity Report*. Lund: Lund University, 2016, Paper I811\_808

### **Az értekezés témaköréhez kapcsolódó konferenciamegjelenések**

[1] **Márton Szabados**, Rebeka Mészáros, Zsolt Ferencz, Pál Sipos, István Pálinkó: Ultrasound assisted technique to prepare phenolate contained layered double hydroxides, *III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia*, Poszter szekció, Pécs, Magyarország, 2014. ápr. 15-17.



- [2] **Márton Szabados**, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya, Pál Sipos, István Pálinkó: A sonochemical method to synthesize and modify layered double hydroxides, *4th International Colloids Conference*, Poszter szekció, Madrid, Spanyolország, 2014. jún. 15-18.
- [3] **Márton Szabados**, Csaba Bús, Ádok Mónika, Pál Sipos, István Pálinkó: Combination of novel methods to prepare pristine and hierarchically-ordered ZnAl-layered double hydroxides, *12th YoungChem, International Congress of Young Chemists*, Poszter szekció, Szczecin, Lengyelország, 2014. okt. 8-12.
- [4] **Márton Szabados**, Rebeka Mészáros, Zsolt Ferencz, Pál Sipos, István Pálinkó: An improved mechano-hydrothermal method to synthesize CaAl-layered double hydroxides, *22nd International Conference on Materials and Technology*, Szóbeli előadás, Portorož, Szlovénia, 2014. okt. 20-22.
- [5] **Szabados Márton**, Bús Csaba, Sipos Pál, Pálinkó István: ZnAl-réteges kettős hidroxidok szintézise ultrahangos kevertetés segítségével, *XX. Nemzetközi Vegyész-konferencia*, Előadás, Kolozsvár, Románia, 2014. nov. 6-9.
- [6] **Márton Szabados**, Diána Makk, Pál Sipos, István Pálinkó: The effect of ultrasonic treatment in a novel synthesis route of layered double hydroxides, *2015 International Congress on Ultrasonics*, Poszter szekció, Metz, Franciaország, 2015. máj. 11-14.
- [7] **Márton Szabados**, Csaba Bús, Pál Sipos, István Pálinkó: A fast and easy protocol for the preparation of layered double hydroxides, *NanoOstrava 2015, 4th Nanomaterials and Nanotechnology Meeting*, Szóbeli előadás, Ostrava, Cseh Köztársaság, 2015. máj. 18-21.
- [8] **Márton Szabados**, Szabolcs Erdei, Pál Sipos and István Pálinkó: An ultrasonically-enhanced mechanochemical way for the preparation of CaAl-layered double hydroxides having various inorganic anions intercalated, *18th International Symposium on Intercalation Compounds*, Poszter szekció, Strasbourg, Franciaország, 2015. máj. 31- jún. 4.

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

[1] Zsolt Ferencz, **Márton Szabados**, Mónika Ádok-Sipiczki, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya, Pál Sipos, István Pálinkó: Mechanochemically assisted synthesis of pristine Ca(II)Sn(IV) - layered double hydroxides and their amino acid intercalated nanocomposites *Journal of Materials Science*, **49**, pp. 8478–8486 (2014).

Impakt faktor: 2,371

Független hivatkozások: 6

[2] Sipiczki-Ádok Mónika, Bugris Valéria, Mészáros Szilvia, Srankó Dávid Ferenc, Ferencz Zsolt, **Szabados Márton**, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán, Sipos Pál és Pálinkó István: Réteges kettős hidroxidok – különleges, könnyen funkcionálizálható összetett anyagok, *Magyar Kémiai folyóirat – Kémiai Közlemények*, 2014, **120**, pp. 106–115, ISSN 1418-9933

[3] Zsolt Ferencz, **Márton Szabados**, Gábor Varga, Zita Csendes, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya, Stefan Carlson, Pál Sipos, István Pálinkó: Mechanochemical synthesis and intercalation of Ca(II)Fe(III)-layered double hydroxides *Journal of Solid State Chemistry*, **233**, pp. 236–243 (2016).

Impakt faktor: 2,265<sub>2015</sub>

Független hivatkozások: 1

## **Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó, konferencia és egyéb kiadványban megjelent teljes közlemények**

[1] Zsolt Ferencz, **Márton Szabados**, Mónika Sipiczki, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya, Pál Sipos, István Pálinkó: Mechanochemical synthesis of M(II)Sn(IV) layered double hydroxides, *Recent Developments in Coordination, Bioinorganic and Applied Inorganic Chemistry*, Pozsony, Szlovákia, 2013, **11**, pp. 47–57, ISBN 978-80-227-3918-4

[2] Ferencz Zsolt, **Szabados Márton**, Sipos Pál, Pálinkó István: CaFe réteges kettős hidroxidok mechanokémiai előállítás, a szintézis optimalizálása (Synthesis and optimisation of CaFe layered double hydroxides) *XXXVI. Kémiai Előadói Napok*, Szeged, Magyarország, 2013, pp. 83–87, ISBN 978-963-315-145-7

[3] **Szabados Márton**, Ferencz Zsolt, Sipiczki (Ádok) Mónika, Pálinkó István, Sipos Pál: Tiszta és hierarchikus szerkezetű CaFe réteges kettős hidroxidok szintézise dörzsmozsárban (Syntheses of pristine and hierarchical CaFe-layered double hydroxides in a mortar) XXXVI. *Kémiai Előadói Napok*, Szeged, Magyarország, 2013, pp. 88–92, ISBN 978-963-315-145-7

[4] Rebeka Mészáros, **Márton Szabados**, Mónika Ádok-Sipiczki, Pál Sipos, István Pálinkó: Immobilisation of a phenolate deriviate with a mechano/hydrothermal technique aided by ultrasonic irradiation, *The 20<sup>th</sup> international symposium on analytical and environmental problems*, Szeged, Magyarország, 2014, pp. 239–242, ISBN 978-963-12-1161-0

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

[1] **Márton Szabados**, András Sági, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya: Self-cleaning surfaces based on titanate nanowires, *YISAC 2011 18th young investigators' seminar on analytical chemistry*, Szóbeli előadás, Újvidék, Szerbia, 2011. jún. 28- júl. 1.

[2] **Szabados Márton**, Pálinkó István, Kukovecz Ákos, Bugris Valéria: Poliakrilátionok interkalálása réteges kettős hidroxidba és a kapott hibrid széleskörű jellemzése, *Országos Tudományos Diákköri Konferencia*, Előadás, Eger, Magyarország, 2013. ápr. 4-6.

[3] **Márton Szabados**, Rebeka Mészáros, Zsolt Ferencz, Pál Sipos, István Pálinkó: Ultrasound assisted technique to prepare phenolate contained layered double hydroxides, *III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia*, Poszter szekció, Pécs, Magyarország, 2014. ápr. 15-17.

[4] **Márton Szabados**, Rebeka Mészáros, Zsolt Ferencz, Csilla Hancsákné Dudás, Pál Sipos, István Pálinkó: Ultrasound/assisted adsorption/intercalation of phenol/phenolate on/in CaFe-layered double hydroxide, *32nd European Congress on Molecular Spectroscopy*, Poszter szekció, Düsseldorf, Németország, 2014. aug. 24-29.

[5] **Szabados Márton**, Nagy László, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán, Sipos Pál, Pálinkó István: ZnCaAl réteges kettős hidroxid előállítása és alkalmazása dimetil-karbonát szintézisében, *MKE 2. Nemzeti Konferencia*, Poszter szekció, Hajdúszoboszló, Magyarország, 2015. aug. 31 - szept. 2.

Közlemények folyóiratban, összesen: **6**

az értekezéshez kapcsolódóan: **3**

Halmazott impakt faktor, összesen: **16,028**

az értekezéshez kapcsolódóan: **11,392**

Független hivatkozások, összesen: **9**

az értekezéshez kapcsolódóan: **2**