

Réteges kettős hidroxidot tartalmazó intelligens kompozit anyagok előállítása és jellemzése

Deák Ágota

Témavezető: **Dr. Janovák László**

Kémiai Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai kar
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2017.

I. Új tudományos eredmények:

T1. Lamellás szerkezettel rendelkező réteges kettős hidroxidokra (LDH) illetve ezek kompozitjaira vonatkozó eredmények.

1.1. Rétegeközi kinurénsav (KYNA) hatóanyag molekulákat tartalmazó LDH alapú kompozitok előállítás és jellemzői

A réteges szerkezettel rendelkező 2:1 Mg/Al-kettős hidroxidot (2:1 Mg/Al-LDH) csapadékképződéssel járó reakcióval állítottam elő. Az LDH lamellás szerkezetét elektronmikroszkópos felvételekkel igazoltam, ill. bemutattam, hogy a minta nagy fajlagos felülettel ($114.96 \pm 0.48 \text{ m}^2/\text{g}$) és pozitív (+641 mmol/100 g) felületi töltéssel rendelkezik, azaz alkalmas ellentétes töltésű hatóanyag molekulák rétegeközi megkötésére. E tulajdonságát kihasználva fájdalomcsillapító (^{1,2}) és gyomorfekély ellenes (³) tulajdonságokkal rendelkező kinurénsav molekulákat interkaláltam a rétegek közé és fluorometriás mérésekkel meghatároztam a hatóanyag adszorpciós kapacitását (121 mg KYNA/ g hordozó) a lamellás hordozóra vonatkoztatva. Ezt termoanalitikai (TG) mérésekkel is alátámasztottam (13,9 % KYNA tartalom), a kapott eredmények jó egyezést mutattak a kompozit elméletileg számolt KYNA tartalmával (12%) is. A kinurénsav molekulák rétegeközi interkalációját röntgendiffrakciós és Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiás mérésekkel is igazoltam, ezek alapján a KYNA molekulák paraffin típusú monoréteg elrendeződést mutatnak a rétegen belül.

1.2. Hatóanyag felszabadulás meghatározása a KYNA/ LDH alapú nanohibrid rendszerből, gasztrointesztinális körülmények között.

Kémiai összetételüknek köszönhetően a réteges kettős hidroxidok pH függő oldódási tulajdonságot mutatnak és savas körülmények között jelentősen megnő az oldhatóságuk (⁴). E tulajdonságukat kihasználva *in vitro* körülmények között bemutattam, hogy a KYNA/ LDH kompozit rendszer alkalmas pH- érzékeny hatóanyag leadásra. Gravimetriás, illetve röntgendiffrakciós mérésekkel igazoltam, hogy a mesterséges gyomornedv (SGJ) pH= 1.5 értékén a 2:1 Mg/Al-LDH t= 6 óra alatt teljesen feloldódik.

¹ M. Marosi et al., A novel kynurenic acid analogue: a comparison with kynurenic acid, An *in vitro* electrophysiological study. *J. Neural. Transm.* 117 (2010) 183–188.

² N. Varga et al., Targeting of the kynurenic acid across the blood–brain barrier by core-shell nanoparticles. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 86 (2016) 67–74.

³ G. B. Glavin et al., Kynurenic acid protects against gastroduodenal ulceration in mice injected with extracts from poisonous atlantic shellfish. *Prog. Neuro-Psychopharmacol.* 6 Biol. Psychiat. 13 (1989) 569-572.

⁴ M. L. Parello et al., Dissolution kinetics and mechanism of Mg–Al layered double hydroxides: A simple approach to describe drug release in acid media, *Journal of Colloid and Interface Science*, 351 (2010) 134–139.

Ezt a $2\Theta=11,39^\circ$ -nál található elsődleges reflexióra jellemző csúcs intenzitásának csökkenése is jól mutatta. Hatóanyag kioldódási tesztek alapján igazoltam, hogy – karbonsav származék lévén – a kinurénsav hatóanyag molekula oldódási kinetikája és mértéke is pH függő tulajdonságokat mutat, ui. 37°C hőmérsékleten, $\text{pH}=6,70$ értéken a kinurénsav az alkalmazott cellulóz alapú dializáló membránon (12-14 kDa) történő kioldódása koncentráció-függő, elsőrendű kinetikát ($k=4,75 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $R^2=0,9955$; $t_{1/2}=4,1$ óra) mutatott. A hatóanyag oldódási kinetikája $\text{pH}=1,50$ értéken már a Higuchi modellel volt jellemezhető ($k=5,91 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $R^2=0,9261$; $t_{1/2}=3,3$ óra), mely egy diffúzió-kontrollált folyamatot ír le. Azt is bemutattam, hogy a kinurénsav/ LDH nanohibrid rendszerből $1,5 \text{ pH}$ értéken, a kinurénsav egy késleltetett hatóanyag-leadási profilt ad ($k=1,49 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $t_{1/2}=12,9$ óra) a szabad KYNA-hoz képest ($k=5,91 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $t_{1/2}=3,3$ óra). Négy óra elteltével 18% kinurénsav szabadult fel kinurénsav/LDH nanohibrid rendszerből.

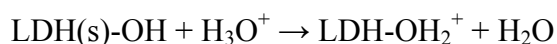
T2. Gömbi szerkezettel rendelkező ZnMgAl-LDH-ra illetve az LDH alapú kompozitokra vonatkozó eredmények.

2.1. Savas közegben, karbamid jelenlétében előállított gömbi réteges kettős hidroxidok szerkezeti tulajdonságai és jellemzői.

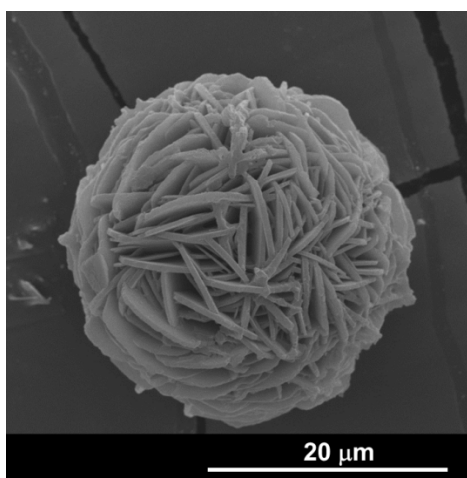
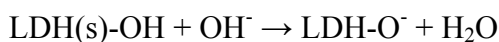
Gömbi morfológiával rendelkező ZnMgAl-réteges kettőshidroxid részecskéket alacsony pH ($=3$) értékeken, karbamid jelenlétében állítottam elő. Az előállítás során $2/1=[\text{Zn}+\text{Mg}]/\text{Al}$ molarányt alkalmaztam és a Zn/Mg aránya pedig $0,125$ volt. Az LDH gömbök sajátos alakja a szintézis során keletkező NH_3 és CO_2 gázbuborékok jelenlétével magyarázható. Elektronmikroszkópos felvételekkel igazoltam, hogy a $25\text{-}30 \mu\text{m}$ -es átmérővel rendelkező LDH gömbök esetében a „hagyományos” sík kiterjedésű LDH lamellák sugárirányú elrendeződése eredményez szférikus szerkezetet (**1. ábra**). Ennek a speciális orientációnak köszönhetően a nagy kristályossági fokkal rendelkező LDH gömbök strukturált felülettel rendelkeznek, viszont a mért alacsony fajlagos felület érték ($\sim 13 \text{ m}^2/\text{g}$) kompakt, tömött belső szerkezetre utal. Azt is megállapítottam, hogy a gömbi LDH pH függő felületi töltés értékeket mutat: alacsony pH értékeknél ($\text{pH}<4$) magas fajlagos felületi töltéssel rendelkezik ($+273,9 \text{ mmol}/100\text{g}$), míg magasabb pH értékeknél ($\text{pH}>4$) elveszti pozitív töltését. Ez a jelenség az oldatban lévő H^+ ill. OH^- ionok adszorpciójával magyarázható LDH felületén (⁵).

⁵ F.P. de Sá et al. Effect of pH on the adsorption of Sunset Yellow FCF food dye into a layered double hydroxide (CaAl-LDH-NO₃) Chemical Engineering Journal, 215–216 (2013) 122–127.

Alacsony pH értékeknél (pH<4) az LDH felületén (LDH(s)) lévő OH-csoportok protonálódnak:



Magasabb pH értékeknél (pH>4) az LDH elveszíti töltését illetve a pH tovább növelésével elérhető, hogy a felületén lévő OH-csoportok deprotonálódnak:



1. ábra. A gömbi morfológiával rendelkező LDH részecske pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvétele

2.2. Gömbi LDH Ag-montmorillonittal alkotott kompozitjára vonatkozó eredmények

Az LDH speciális pH- függő felületi töltés értékét kihasználva, olyan két komponensű rendszert szintetizáltam, mely pH <4 tartományban koherens gélt alkot, míg pH >4 tartományban inkoherens szolként viselkedik. Ehhez a változó felületi töltéssel rendelkező LDH mellé montmorillonit agyagásvány lamellákat választottam, ui. ennek az inert biokompatibilis anyagnak a felületi töltése negatív az általam vizsgált pH (=3-6) tartományban (⁶).

A montmorillonit agyagásvány lamellákat ezüst- nanorészecskékkel funkcionizáltam, a kompozit Ag tartalma 5% volt. Reológiai mérések alapján igazoltam, hogy alacsony pH értékeken (pH <4) a pozitív felületi töltéssel rendelkező LDH gömbök elektrosztatikus kölcsönhatásokat alakítana ki a negatív felületi töltéssel rendelkező Ag^o-montmorillonit lamellákkal, ezáltal egy kompakt, alaktartó gél szerkezetet kialakítva. Ezt a mért folyáshatár értékek is alátámasztották, ui.

⁶ Z. Navrátilová és R. Maršálek, Application of Electrochemistry for Studying Sorption Properties of Montmorillonite, Clay Minerals in Nature - Their Characterization, Modification and Application, Chapter 14, 326. DOI: 10.5772/2708

pH= 3 értéken az LDH/ Ag^o-montmorillonit (25/75 m/m%) kompozit esetén ez 9,90 Pa volt. A pozitív töltésű LDH gömbök jelenléte nélkül azonban az ugyanilyen koncentrációval rendelkező Ag^o-montmorillonit, illetve Na- montmorillonit szuszpenziók mindössze 0,184 és 2,307 Pa folyáshatár értékkel rendelkeztek pH=3-on. A pH növelésével ez a gélszerkezet szétesett, az LDH/ montmorillonit kompozit inkoherens szolként viselkedett, mely LDH részecskék töltésének elvesztésével volt magyarázható. A mért folyáshatár érték ebben az esetben mindössze 0,08 Pa volt, mely közel azonos volt a Na-montmorillonit és Ag^o-montmorillonit mintáknál kapott folyáshatár értékekkel (1,109 Pa illetve 0,05 Pa) ugyanilyen pH értéken. Ez a szerkezeti átrendeződés, azaz a szol-gél átmenetet SAXS mérésekkel is alátámasztásra került, ui. ezek a mérések is igazolták, hogy a pH csökkenésével az LDH/ Ag^o-montmorillonit (25/75 m/m%) kompozit esetén egy rendezettebb struktúra alakul ki. A pH= 3-as értéken a negatív felületi töltéssel rendelkező Ag^o-montmorillonit lamellák a pozitív felületi töltéssel bíró gömbi LDH felületét borítják kialakítva a koherens géles szerkezetet.

2.3. Az LDH-Ag-montmorillonit kompozitok pH-függő antibakteriális tulajdonságaira vonatkozó eredmények.

A $21,9 \pm 2,9$ nm Ag^o-nanorészecskék jelenlétét a montmorillonit agyagásvány hordozón spektrofotometriás, illetve transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) mérésekkel igazoltam. Az Ag^o-montmorillonit minta esetén $\lambda = 400$ nm-es maximum értéknél új abszorpciós csúcs jelent meg, mely Ag^o-nanorészecskék jelenlétének köszönhető a montmorillonit hordozón. Bemutattam, hogy a koherens szerkezet szétesésével az Ag^o-montmorillonit felületén immobilizált Ag^o-nanorészecskék hozzáférhetősége jelentősen megnő és ezáltal a minta antibakteriális tulajdonságokra tesz szert. Az eredmények alapján az Ag^o-montmorillonit kompozit már kis koncentrációban (30 μ l, 25 ppm-es Ag^o-mont. szuszpenzió) képes volt inaktíválni az *Escherichia coli* tesztbaktériumok által képzett bakteriális filmet (felületi baktérium koncentráció: 1.79×10^6 CFU/cm²).

T3. ZnMgAl-réteges kettős oxidokra (LDO) vonatkozó eredmények.

3.1. Az LDO részecskék szerkezeti tulajdonságai

A T2.1. pontban bemutatott gömbi szerkezetű LDH 12% Zn tartalommal bírt, mely hőkezelés hatására ZnO fázist eredményezett. Igazoltam, hogy a minta 600°C-on történő 2 órás hevítésével az LDH-ra jellemző szerkezet módosul, a kiindulási diffrakciós csúcsok (003, 006) eltűnnek és új csúcsok jelennek meg, a kialakuló oxid fázisoknak köszönhetően (100, 101, 110 a ZnO-ra, 200 a Mg(Al)O-ra). Bemutattam, hogy az így előállított réteges kettős oxid (LDO) fajlagos felülete (14,75 m²/g) kis mértékben nőtt a kiindulási LDH-hoz képest (12,84 m²/g).

3.2. Az LDO részecskék optikai tulajdonsága és gerjeszthetősége

Azt is igazoltam, hogy a 600°C-os hőkezelés hatására kiindulási gömbi szerkezetű LDH morfológiája nem változik, a kalcinálás után nyert LDO szerkezete nem omlott össze, nem sérült, a részecskék felszíne mind mikro- mind nanosinten tagolt maradt. Az LDO ZnO tartalmának köszönhetően egy érdes felülettel rendelkező UV-fénnyel gerjeszthető strukturált oxid részecskét állítottam elő. Az UV/Vis spektrofotometriás mérések alapján az LDO részecskék gerjesztési küszöbenergiája megegyezett a tiszta ZnO irodalmi értékével (⁷), mivel 3,2 eV- nak adódott.

T4. Polimer alapú kompozit vékonyrétegekre vonatkozó eredmények.

4.1. A vékonyrétegek fotokatalitikus tulajdonságai

Az LDO részecskék fotokatalitikus tulajdonságainak kiaknázása céljából polimer alapú kompozit vékonyrétegeket preparáltam porlasztásos filmképzéssel, ahol részecskék felületi immobilizációját poli-perfluorodecil-akrilát (pPFDAc) polimerrel biztosítottam. Szisztematikusan változtattam az LDO/ polimer arányát a vékonyrétegekben és a filmek fotokatalitikus sajátságát szilárd/ folyadék határfelületen jellemeztem. A mérések során benzoésav tesztmolekula fotodegradációját fotometriás mérésekkel követtem nyomon, UV-A fényforrás ($\lambda_{\max}= 365 \text{ nm}$) alkalmazása mellett. Bemutattam, hogy négy óra bevilágítási idő elteltével, a kiindulási polimer réteg nem mutatott fotokatalitikus aktivitást szemben az LDO tartalmú kompozit rétegekkel. A 240 perces fotokatalitikus mérések során, a kiindulási 0,17 g/L-es benzoésav vizes oldat koncentrációja 24%-kal csökkent a 80% LDO tartalmú kompozit film ($A= 25 \text{ cm}^2$) esetében.

⁷ A. Janotti, C.G. Van de Walle, Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor, Rep. Prog. Phys. 72 (2009) 126501.

4.2. A filmek felületi érdességének és felületi szabadenergia értékeinek alakulása az összetétellel.

Igazoltam, hogy a hibrid rétegek összetételével, azaz LDO/ polimer arány változtatásával a filmek érdessége szabályozható, ui. a kiindulási sík polimer filmre kapott érdesség ($R_q = 0,232 \pm 0,01 \mu\text{m}$) az LDO tartalom növekedésével egészen $7,593 \pm 0,488 \mu\text{m}$ -ig volt fokozható. Profilometriás és atomerő-mikroszkópos mérésekkel bizonyítottam, hogy az LDO/pPFDAc kompozit filmek mikro- és nano-érdességgel rendelkeznek ($R_q = 7,6 \mu\text{m}$ /profilometria/; $R_q = 38,4 \text{ nm}$ /AFM/). A rétegek egyre növekvő érdessége, ill. strukturált felülete az elektronmikroszkópos felvételeken is jól látható volt.

Bizonyítottam, hogy az LDO részecske tartalom növelésével a kialakított rétegek – peremszög mérésekkel, Zismann módszere alapján meghatározott – felületi szabadenergia értékei is változtak. A kiindulási fluoropolimerre (0% LDO tartalom) jellemző $22,4 \text{ mJ/m}^2$ felületi szabadenergia érték egészen $11,8 \text{ mJ/m}^2$ -ig csökkenthető volt (80% LDO tartalom).

4.3. A rétegek nedvesedési tulajdonságai

Az LDO/polimer kompozitokban a hidrophil tulajdonságú LDO részecskék arányának növelésével a hidrofób polimer alapú réteg felszíni érdessége növelhető volt. A felületi érdesség változtatásával a rétegek nedvesedési tulajdonságai is szabályozhatók voltak. Az LDO tartalmú polimer rétegek nedvesedési tulajdonságát peremszög méréssel vizsgáltam. A kiindulási sík felületű fluoropolimer rétegre jellemző $107,5^\circ$ -os peremszög érték növelhető volt a hozzáadott részecske tartalommal. A 80 és 90 m/m% LDO tartalmú polimer rétegek esetén szuperhidrofób tulajdonságú felületet sikerült kialakítani, ui. a mért peremszög érték $149,9^\circ$ és $150,6^\circ$ -nak adódott, azaz a felületi érdesség a felület jellegét, nedvesedési tulajdonságát fokozta.

4.4. Baktériumok adhéziójának vizsgálata kompozit rétegek felszínén

A felületek nedvesedési és morfológiai tulajdonságai a mikrobiológiai kölcsönhatások erősségét, illetve a bakteriális adhézió mértékét is nagyban befolyásolják. ⁽⁸⁾ Ennek megfelelően három baktérium törzs, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) (Gram-pozitív), *Escherichia coli* (*E. coli*) és *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (Gram-negatív baktériumok) adhézióját vizsgáltam az LDO/ fluoropolimer rétegeken kristályibolya sejtfestési eljárással. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy az egyre növekvő LDO részecske tartalommal a baktériumok adhéziója is nőtt. Elektronmikroszkópos felvételekkel is igazoltam, hogy a $0,6\text{-}2 \mu\text{m}$ mérettel rendelkező

⁸ K. Bohinc et al., Available surface dictates microbial adhesion capacity, International Journal of Adhesion & Adhesives, 50 (2014) 265–272.

baktériumok a kétkomponensű rétegek esetében a hidrofil LDO lamellák felületén helyezkednek el, azaz a baktériumok jobban preferálták a hidrofil, nagy energiájú felületet a hidrofób fluoropolimerrel szemben.

T5. Fotokatalizátor/polimer kompozit rétegekre vonatkozó eredmények

5.1. A hibrid rétegek tartósságának növelése szerves biokompatibilis adalékkal

A fotoreaktív kompozit rétegek kialakítása során a félvezető nanorészecskék rögzítése szerves polimerrel történt. A korábbi eredményeink alapján azonban az immobilizált fotokatalizátor részecskék a szerves polimer mátrixot is fotodegradálták⁽⁹⁾. Ennek kiküszöbölésére 116 m²/g fajlagos felülettel és lamellás szerkezettel valamint biokompatibilis⁽¹⁰⁾ tulajdonságokkal rendelkező hidroxiapatit (HAp) lamellákat szintetizáltam. Bemutattam, hogy 120 óra LED-típusú fényforrással (λ_{\max} = 405 nm) történő bevilágítási idő elteltével, HAp lamellák jelenlétében a [36%TiO₂ /24%HAp /40% polimer] kompozit rétegben a polimer degradációja mindössze 15% volt, míg HAp lamellát nem tartalmazó [60%TiO₂ /40%polimer] kompozitokban a polimer degradációja elérte a 35%-ot. Így bizonyítottam, hogy a lamellás szerkezetű HAp alkalmas komponensként szolgálhat a fotokatalizátor/polimer vékonyrétegek fotodegradációjának visszaszorítására azáltal, hogy inert „távtartóként” van jelen a fotokatalizátor részecskék és a rögzítő polimer mátrix között.

5.2. TiO₂/HAp kompozit katalizátorok szerkezeti tulajdonságai

Az optimális katalizátor tartalmú kompozit meghatározásához, változó összetételű TiO₂/HAp kompozitokat állítottam elő, melyben a TiO₂/HAp tömegaránya 0/100, 20/80, 40/60, 60/40, 80/20 és 100/0 szerint változott. Bemutattam, hogy a csapadékképződési módszerrel előállított TiO₂/HAp kompozitok esetén szinergikus hatás volt megfigyelhető a meghatározott fajlagos felület értékekben. A kiindulási TiO₂ és HAp komponensek fajlagos felülete 53 m²/g és 116 m²/g volt, ezzel szemben a 40/60 tömegarányú TiO₂/HAp kompozit fajlagos felülete 122 m²/g- nak adódott, mely jó egyezést mutatott a kisszögű röntgenszórásból (SAXS) számolt fajlagos felület értékkel (141 m²/g). Ez a jelenség azzal volt magyarázható, hogy a kompozitban a fotokatalizátor részecskék jobban diszpergáltak a HAp lamellák felületén.

⁹ Á. Veres et al., Photocatalytic performance of silver-modified TiO₂ embedded in poly(ethyl-acrylate-co-methyl metacrylate) matrix. *Colloid Polym Sci.* 292 (2014) 207–217.

¹⁰ M. P. Ginebra et al., Calcium phosphate cements as bone drug delivery systems: a review. *J. Contr. Release*, 113 (2006) 102–10.

Energiadiszperzív röntgenspektrometria (EDX) mérésekkel is igazoltam, hogy a változó mérettel rendelkező (~ 2,5 μm x 1,9 μm) HAp lamellák felületén homogén eloszlást mutattak a 19 ± 6 nm⁽¹¹⁾ TiO₂ fotokatalizátor részecskék.

5.3. A HAp lamellák szinergikus hatása a TiO₂/ polimer vékonyrétegek fotokatalitikus tulajdonságaira

A TiO₂/HAp/polimer kompozitokból előállított vékonyrétegek fotokatalitikus sajátságát szilárd/gáz határfelületen vizsgáltam. A mérések során a kiindulási 0,36 mM-nyi koncentrációval rendelkező etanol tesztmolekula fotodegradációját gázkromatográfiás mérésekkel követtem, LED-típusú fényforrás ($\lambda_{\text{max}} = 405$ nm) alkalmazása mellett. Bemutattam, hogy a fotokatalitikus mérések során a kiindulási etanol koncentrációja csökken a bevilágítási idő előrehaladtával. Azt is igazoltam, hogy az etanol fotodegradációja során szinergikus hatás jelentkezik. A TiO₂/ HAp kompozit katalizátorok tiszta TiO₂ tartalmára vonatkoztatott fotokatalitikus bontás értékek a 60% (5,61 mM EtOH/g TiO₂) és 80% (4,26 mM EtOH/g TiO₂) TiO₂ tartalmú minták esetében meghaladták a HAp tartalom nélküli és a 100% TiO₂ fotokatalizátort tartalmazó minta hatásfokát (4,04 mM EtOH/g TiO₂). Igazoltam, hogy ez a hatás a kompozitban lévő HAp tartalomnak volt köszönhető, mely biztosította a fotokatalizátor részecskék nagyobb diszpergáltságát, ezáltal nagyobb felületi hozzáférhetőségét. Ezáltal kevesebb fotokatalizátor tartalom alkalmazása mellett nagyobb fotokatalitikus hatásfok volt elérhető.

¹¹ G. F. Samu et al., Photocatalytic, photoelectrochemical, and antibacterial activity of benign-by-design mechanochemically synthesized metal oxide nanomaterials, *Catalysis Today*, 284 (2017) 3–10.

II. TUDOMÁNYOS TEVÉKENYSÉG (MTMT azonosító: 10048094)

A disszertáció témájához közvetlenül kapcsolódó tudományos közlemények:

1. **Deák Á.**, Csapó E, Juhász Á, Dékány I, Janovák L
Mg/ Al-layered double hydroxide (LDH) as potential drug carrier system for anti-ulcerant kynurenic acid molecules
Applied Clay Science (2017), bírálólat alatt
(IF₂₀₁₆= 3,101; FHSZ= 0)
2. Janovák L, **Deák Á.**, Tallósy PS, Sebők D, Csapó E, Bohinc K, Abram A, Palinkó I, Dékány I
Hydroxyapatite-enhanced structural, photocatalytic and antibacterial properties of photoreactive TiO₂/HAp/polyacrylate hybrid thin films
SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY, 326 (2017) 316-326
(IF₂₀₁₆= 2,589; FHSZ= 0)
3. **Deák Á.**, Janovák L, Csapó E, Ungor D, Pálincó I, Puskás S, Ördög T, Ricza T, Dékány I
Layered double oxide (LDO) particle containing photoreactive hybrid layers with tunable superhydrophobic and photocatalytic properties
APPLIED SURFACE SCIENCE 389 (2016) 294-302.
(IF₂₀₁₆= 3,387; FHSZ= 3)
4. **Deák Á.**, Janovák L, Tallósy SP, Bitó T, Sebők D, Buzás N, Pálincó I, Dékány I
Spherical LDH–Ag-montmorillonite heterocoagulated system with pH-dependent sol-gel structure for controlled accessibility of AgNPs immobilised on the clay lamellae
LANGMUIR 31:(6) (2015) 2019-2027.
(IF₂₀₁₅= 3,993; FHSZ= 5)

Összesített impakt faktora (Σ IF) = **9,969**

Független hivatkozások száma = **8**

Egyéb tudományos közlemények:

1. Masa R, **Deák Á**, Braunitzer G, Tóth Zs, Kopniczky J, Pelsőczy-Kovács I, Ungvári K, Dékány I, Turzó K
TiO₂/Ag-TiO₂ nanohybrid films are cytocompatible with primary epithelial cells of human origin: an in vitro study
JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY
In Press, Accepted Manuscript,
(IF₂₀₁₆= 1,483; FHSZ= 0)
2. Györgyey A, Janovák L, Adam A, Kopniczky J, Toth K L, **Deák Á**, Panayotov I, Cuisinier F, Dékány I, Turzó K.
Investigation of the in vitro photocatalytic antibacterial activity of nanocrystalline TiO₂ and coupled TiO₂/Ag containing copolymer on the surface of medical grade titanium
JOURNAL OF BIOMATERIALS APPLICATIONS 31:(1) (2016) 55-67.
(IF₂₀₁₆= 2,26; FHSZ= 1)
3. Tallósy Sz P, Janovák L, Nagy E, **Deák Á**, Juhász Á, Csapó E, Buzás N, Dékány I
Adhesion and inactivation of Gram-negative and Gram-positive bacteria on photoreactive TiO₂/polymer and Ag-TiO₂/polymer nanohybrid films
APPLIED SURFACE SCIENCE 371 (2016) 139-150.
(IF₂₀₁₆= 3,387; FHSZ= 5; FüggőHSZ= 1)
4. Janovák L, Tallósy Sz P, Sztakó M, **Deák Á**, Bitó T, Buzás N, Bártfai Gy, Dékány I
Synthesis of pH-sensitive copolymer thin solid films embedded with silver nanoparticles for controlled release and their fungicide properties
JOURNAL OF DRUG DELIVERY SCIENCE AND TECHNOLOGY 24:(6) (2014) 628-636.
(IF₂₀₁₄= 0,476; FHSZ= 2)

Egyéb témában megjelent publikációk összesített impakt faktora (Σ IF) = **7,606**

Független hivatkozások száma = 8

Függő hivatkozások száma = 1

Összesített publikációk összesített impakt faktora (Σ IF) = 17,575

Független hivatkozások száma = 16

Függő hivatkozások száma = 1

Oltalmi formák:

2 szabadalom (magyar nyelvű hazai)

1. Dékány Imre, Janovák László, Buzás Norbert, **Deák Ágota**

Reverzibilis heterokoaguláció által szabályozott, pH érzékeny, gyógyszerhatóanyag kibocsájtó nanoszerkezetű rendszer, eljárás annak előállítására és alkalmazása.

Magyar Szabadalom, bejelentés ideje: **2013.**, Ügyiratszám: **P1300744**

2. Janovák László, Dékány Imre, **Deák Ágota**, Varga Norbert, Mérai László

Vízlepergető és látható fénnel aktiválható fotoreaktív bifunkcionális vékonyrétegek kialakítására alkalmas bevonat.

Magyar Szabadalom, bejelentés ideje: **2017.**, Ügyiratszám: **P17007226/3**

Konferencia előadások:

1. László Janovák, **Ágota Deák**, Imre Dékány

Structural, morphological and photocatalytic characterization of photoreactive hybrid thin films with tunable wetting properties.

The 2nd International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM -2), Ljubljana, Slovenia, July 3-6, 2017 (**2017**)

2. **Deák Ágota**, Janovák László, Dékány Imre

Szuperhidrofób és fotokatalitikus tulajdonságú réteges kettős oxid rétegek előállítása és tulajdonságainak vizsgálata.

Tavaszi Szél Konferencia, Magyarország, Miskolc, 2017. márc. 31. – ápr. 2. (**2017**)

3. Janovák László, **Deák Ágota**, Dékány Imre

Szuperhidrofób és fotoreaktív bifunkcionális vékonyrétegek nedvesedési, morfológiai és fotokatalitikus tulajdonságai.

MTA Kolloidkémiai Munkabizottsági ülés, Magyarország, Velence, 2016. június 2-3. (**2016**)

4. I. Dékány, **Á. Deák**, L. Janovák, Sz. Tallósy
Novel Biocompatible TiO₂-Hydroxyapatite Composite Photocatalysts: Structural, Photocatalytic and Microbiological Properties.
New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM -1),
Göttingen, 7-10 June 2016. **(2016)**
5. László Janovák, **Deák Ágota**, Szabolcs Péter Tallósy, Imre Dékány
Synthesis and characterization of novel hybrid layers with superhydrophobic and photoreactive dual properties
9th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications –
SPEA9
Strasbourg, Franciaország, 2016.06.13-2016.06.17. **(2016)**
6. Masa Roland, Györgyey Ágnes, **Deák Ágota**, Janovák László, Tóth Zsolt, Pelsöczy-Kovács István, Ungvári Krisztina, Dékány Imre, Turzó Kinga
MG-63 oszteoszarkóma sejtek letapadásának és proliferációjának vizsgálata TiO₂ és Ag-TiO₂ nanohibrid réteggel fedett titán implantátumon.
A Magyar Fogorvosok Egyesületének Árkövy Vándorgyűlése. Perspektívák a paraimplantológiában és a komprehenzív fogászatban, Szeged, 2016. május 5 – 7. **(2016)**
7. A Venkei, Á Györgyey, A Ádám, **Á Deák**, L Janovák, K Ungvári, J Minárovits, I Dékány, E Urbán, K Turzo
Photocatalytic enhancement of antibacterial effects of TiO₂ and silver modified TiO₂ nanoparticles studied by in vitro Streptococcus salivarius model.
In: ESCMID (szerk.)
ECCMID 2016: 26th European Congress of Clinical Microbiology and Infectious Diseases.
Konferencia helye, ideje: Amsterdam, Hollandia, 2016.04.09-2016.04.12. Paper EV0868.
(2016)
8. Venkei Annamária, Ungvári Krisztina, **Deák Ágota**, Janovák László, Dékány Imre, Urbán Edit, Turzó Kinga
TiO₂ és ezüsttel módosított TiO₂ nanorészecskék antibakteriális hatásának fotokatalitikus fokozása a Streptococcus mitis in vitro modelljén.

A Magyar Fogorvosok Egyesületének Árkövy Vándorgyűlése. Perspektívák a paro-implantológiában és a komprehenzív fogászatban, Szeged, 2016. május 5 – 7. (2016)

9. Klemen Bohinc, **Ágota Deák**, Karmen Godič Torkar, Goran Dražič, Anže Abram, László Janovák and Imre Dékány
Bacterial adhesion to material surfaces covered by thin films.
EURADH 2016 Adhesion'16, Glasgow, 21-23 September 2016. (2016)

10. Masa Roland, Györgyey Ágnes, **Deák Ágota**, Janovák László, Ungvári Krisztina, Tóth Zsolt, Nagy Katalin, Dékány Imre, Turzó Kinga
Oszteoblaszt sejtek letapadásának és proliferációjának vizsgálata TiO₂-Ag nanohibrid réteggel fedett titán implantátumon.
In: s. n. (szerk.) Fogpótlástani Napok: Magyar Fogorvosok Egyesülete Fogpótlástani Társaságának XXI. kongresszusa és továbbképző tanfolyamai. 68 p.
Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2015.09.24-2015.09.26. Magyar Fogorvosok Egyesülete, pp. 43-44. (2015)

11. Venkei Annamária, Györgyey Ágnes, Ádám András, **Deák Ágota**, Janovák László, Dékány Imre, Ungvári Krisztina, Nagy Katalin, Urbán Edit, Turzó Kinga
TiO₂ és ezüsttel módosított TiO₂ nanorészecskék antibakteriális hatásának fotokatalitikus fokozása a Streptococcus salivarius in vitro modelljén.
In: s. n. (szerk.)
Fogpótlástani Napok: Magyar Fogorvosok Egyesülete Fogpótlástani Társaságának XXI. kongresszusa és továbbképző tanfolyamai. 68 p.
Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2015.09.24-2015.09.26. Magyar Fogorvosok Egyesülete, pp. 65-66. (2015)

12. László Janovák, **Ágota Deák**, Nikolett Nánási, Barbara Gubán, Zoltán Veréb, János Varga, Imre Dékány, Lajos Kemény:
Biocompatible and biodegradable polymeric scaffold and hydrogel based carriers for stem cell.
VII. International Forum On Plastic Surgery, Szeged, 2015. szeptember 17–19. (2015)

13. Janovák László, **Deák Ágota**, Juhász Ádám, Dékány Imre:
Szuperhidrofób szilika/ polimer hibrid vékonyrétegek nedvesedési és morfológiai tulajdonságai.
MTA Kolloidkémiai Munkabizottsági ülés
2015. június 4-5, Velence (**2015**)

14. László Janovák, Szabolcs Péter Tallósy, Judit Ménesi, **Ágota Deák**, Ádám Juhász, Norbert Buzás, Imre Dékány:
Development of photocatalyst/ polymer hybrid films for the inactivation of bacteria by visible light.
COST Action CM1101 WG3/WG4 Meeting; Belgrade, 30 June -01 July 2014. (**2014**)

15. Imre Dékány, László Janovák, Szabolcs Tallósy, **Ágota Deák**, Judit Ménesi, Mihály Sztakó, Ádám Juhász, Norbert Buzás:
Characterization of antibacterial silver and copper nanoparticles functionalized TiO₂ composite photocatalysts.
COST Action CM1101 WG3/WG4 Meeting; Belgrade, 2014, 30 June -01 July. (**2014**)

16. Imre Dékány, László Janovák, **Ágota Deák**, Mihály Sztakó, Ádám Juhász:
Properties of fluorinated acrylic copolymer/ SiO₂ hybrid superhydrophobic surfaces with tuneable wettability.
COST Action Workshop CM 1101 WG 2 and WG 5; Interactions in Colloidal Systems;
TU Berlin, Institut für Chemie 2014. 24.03. - 26.03. (**2014**)

Konferencia absztraktok (poszterek):

1. **Ágota Deák**, Klemen Bohinc, Karmen Godič Torkar, Anže Abram, Goran Dražić, Imre Dékány and László Janovák
Bacterial adhesion on photoreactive hybrid layers with tunable wetting properties.
The 2nd International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM -2), Ljubljana, Slovenia, July 3-6, **2017**
2. Imre Dékány, **Ágota Deák**, András M. Varga, Csaba Janáky, László Janovák
Wetting properties of roughened conducting polymer thin films with photocatalytic activity using visible light.
The 2nd International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM -2), Ljubljana, Slovenia, July 3-6, **2017**
3. **Á. Deák**, L. Janovák and I. Dékány
Visible light active photoreactive hybrid layers with superhydrophobic properties.
21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,
Szeged, Hungary, 23-26 April **2017**
4. L. Janovák, **Á. Deák** and I. Dékány
Structural and Morphological Characterization of Semiconductor Hybrid Thin Films with Tunable Wetting Properties.
21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,
Szeged, Hungary, 23-26 April **2017**
5. **Á. Deák**, L. Janovák, N. Nánási, I. Dékány
Nanostructured materials for controlled drug delivery.
8th year of the Central European Conference “Chemistry towards Biology”
Brno, 28th August – 1st September **2016**
6. L. Janovák, **Á. Deák**, E. Csapó, Á. Juhász, N. Varga, N. Nánási, I. Dékány, D. Sebők
Biocompatible hydrogel based nanostructured materials for controlled drug delivery.
11th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids,
Munich, Germany 22-26 June, **2015**