

Funkcionális kompozit rendszerek előállítása, jellemzése és alkalmazási lehetőségeik

Imre-Deák Ágota

okleveles vegyész

Témavezető:

Dr. Janovák László

egyetemi adjunktus



Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

**Természettudományi és Informatikai Kar
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék**

Szeged

2019

1. Bevezetés és célkitűzések

A kompozit anyagok egyre nagyobb szerepet töltenek be napjainkban, köszönhetően annak, hogy a komponensek társítása által kialakított összetett anyagok gyakran jobb tulajdonságokkal rendelkeznek a tiszta alkotóelemekből felépülő rendszereknél.

A kompozit anyagok két, vagy több anyag kombinációjaként állíthatók elő, ahol egy folytonos mátrixban oszlatjuk el a diszperz fázist. A kompozitok felhasználási területe rendkívül széles, ennek köszönhetően számos iparág – pl. jármű- és építőipar, elektromos- és elektronikai ipar, ill. gyógyszeripar – foglalkozik kompozitok előállításával és fejlesztésével, ill. egyéb területeken is alkalmazhatók, mint pl. sport alkatrészekben vagy a megújuló energia hasznosításban (szélerenergia).

Kutatómunkám fő motivációja volt különböző funkcionális kompozit anyagok és azok komponenseinek szintézise, ill. anyagszerkezeti jellemzése. Továbbá célom volt a kapott komponensek társítása révén kialakult hibrid anyagok előnyös anyagi tulajdonságait felhasználva, a kompozitok különböző alkalmazási lehetőségeit (pl. orvosi/orvosbiológiai hatóanyag kapszulázás, szabályozott hatóanyag leadás, öntisztuló felületek kialakítása stb.) is bemutatni.

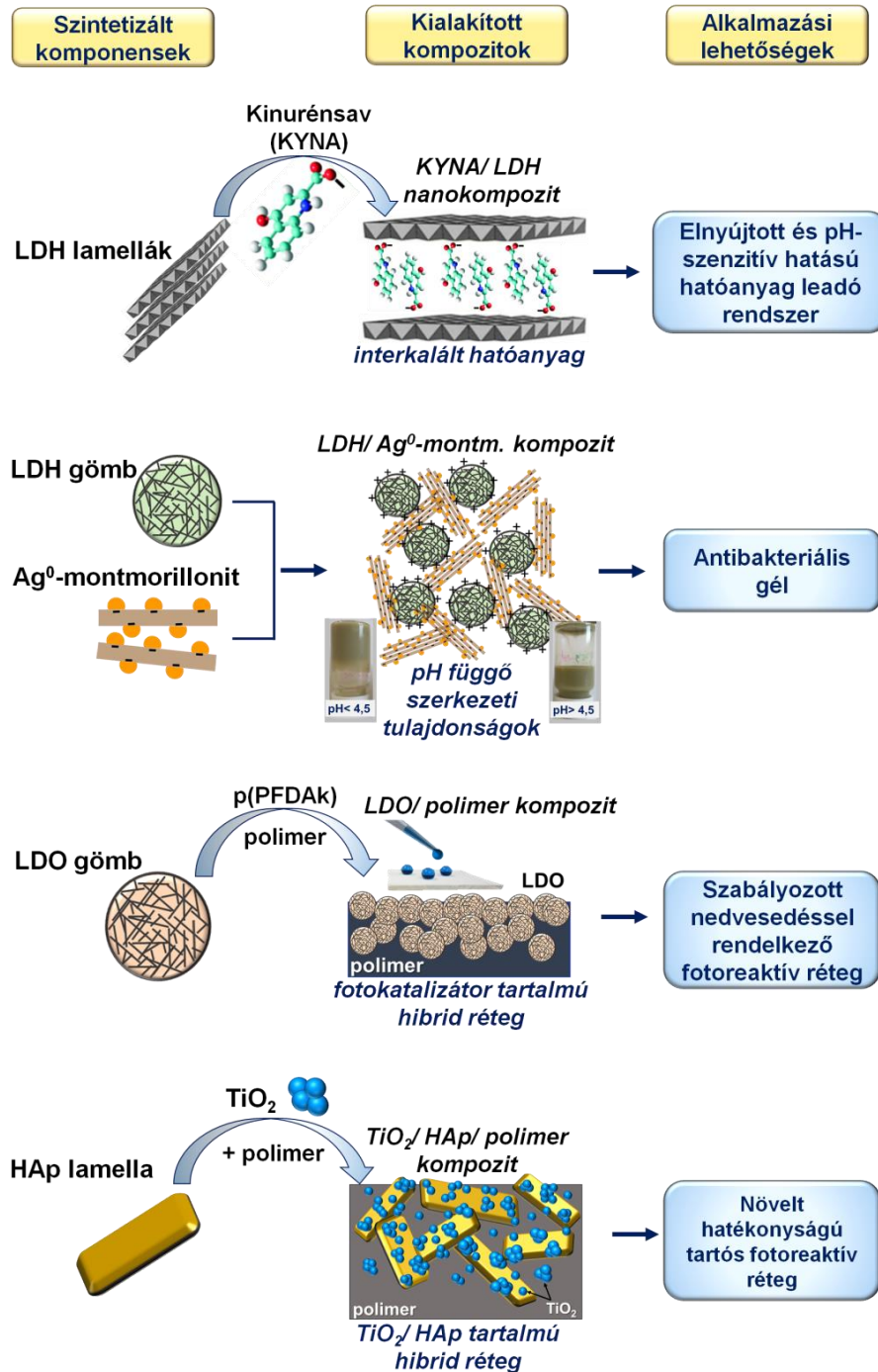
A kompozit anyagok folytonos fázisát különböző hidrofilitással rendelkező poliakrilátok adták, még töltőanyagként lamellás szerkezettel rendelkező réteges kettős hidroxidot (LDH), réteges kettős oxidot (LDO), agyagásványt (montmorillonitot), és hidroxapatitot (HAp) alkalmaztam. Célom volt nagy fajlagos felülettel és felületi töltéssűrűséggel, továbbá nagy anioncsere kapacitással rendelkező LDH lamellák szintézise, melyek alkalmasak lehetnek gyógyszerhordozó nanokompozit kialakítására, a rétegekbe történő hatóanyag interkalációja révén.

A szintézis körülményeinek módosításával célom volt a hagyományos, lamellás szerkezetű LDH mellett sajátos, gömbszerű morfológiával és anyagszerkezeti tulajdonságokkal rendelkező LDH-t is előállítani, karakterizálni. Célom volt annak igazolása is, hogy a gömbi LDH kalcinálása által kapott fotokatalitikus tulajdonságokkal rendelkező LDO töltőanyag alkalmas-e fotokatalitikus és antibakteriális tulajdonságokkal rendelkező kompozit vékonyrétegek szintézisére.

Végül kitűzött céljaim között szerepelt olyan kompozit rétegek előállítása, melyek megnövelt fotokatalitikus hatásfokkal rendelkezzenek. A biokompatibilis és lamellás szerkezetű HAp töltőanyag alkalmazásával olyan TiO_2 tartalmú poliakrilát alapú kompozit bevonatokat terveztem előállítani, melyekben a HAp komponens által megnövekedett fotokatalitikus hatásfok mellett a szerves polimer mátrix fotooxidációja visszaszorítható.

2. Az értekezés alapját képező kompozitok és vizsgálati módszerek

Doktori munkám során különböző felhasználásokra alkalmas kompozitokat állítottam elő LDH, LDO, montmorillonit, ill. HAp szervetlen, valamint akrilát alapú polimer komponensek felhasználásával. Az **1. ábra** összefoglalja a munkám során előállított komponensek és az ezekből kialakított kompozitok összefoglaló sematikus ábráját, valamint a kialakított kompozitok lehetséges alkalmazási területeinek felsorolását.



1. ábra. Az előállított komponensek és kialakított kompozitok összefoglaló sematikus ábrája, a lehetséges alkalmazási területek megjelölésével.

A kísérleti munka során előállított rendszerek az alábbi felsorolt mérés technikák és módszerek felhasználásával kerültek jellemzésre:

- Röntgendiffrakció (XRD) (Bruker D8 röntgendiffraktométer),
- Kiszögű röntgenszórás (SAXS), (Philips PW 1820 röntgenszó, KCEC/3 típusú Kratky-kamera és PDS 50M típusú detektor),
- Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR), (BIO-RAD Digilab Division FTS-65A/896 és BIO-RAD Digilab Division FTS-40),
- Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM), (Hitachi S-4700 típusú, ill. Jeol FEG-SEM 7600F típusú pásztázó elektronmikroszkóp),
- Energiadiszperzív röntgenspektroszkópia (EDS), (Hitachi S-4700 típusú téremissziós pásztázó elektronmikroszkóp),
- Transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM), (FEI Tecnai G2 20 X-Twin típus, CCD kamerával ellátott transzmissziós elektronmikroszkóp),
- UV-látható spektrofotometria (Ocean Optics UV-VIS USB4000 típusú diódasoros spektrofotométer),
- Termoanalitika (TG), (Mettler-Toledo TGA/SDTA 851° típusú készülék),
- Reológia, (Anton Paar Physica MCR 301 típusú reométer),

További felhasznált műszerek:

- Műtek PCD 02-es töltés meghatározó készülék,
- Micrometrics Gemini 2375 típusú automata szorptométer készültek,
- Dektak 8 (Veeco) típusú profilométer,
- Easy Drop Krüss GmbH, peremszögmérő,
- Shimadzu GC-14B típusú gázkromatográf,
- Sirius L típusú egycsöves luminométer (Titertek Berthold, Germany),
- Optikai denzitást mérő fotométer (Infinite 200[®] PRO, Tecan Austria GmbH, microplate reader).

3. Új tudományos eredmények

T1. pH függő oldódási tulajdonságokat mutató réteges kettős hidroxid (LDH)-alapú neuroaktív kinurénsav (KYNA) tartalmú LDH/ KYNA interkalációs kompozit rendszer előállítása, szerkezetvizsgálata és hatóanyag kioldódás tanulmányozása gastrointesztinális körülmények között.

T1.1. Új tudományos eredményként bemutattam, hogy az általam csapadékképzéses úton előállított 2:1 Mg/Al-kettős hidroxid (2:1 Mg/Al-LDH) megfelelően nagy fajlagos felülettel ($114,96 \pm 0,48 \text{ m}^2/\text{g}$) és pozitív (+641 mmol/ 100 g) felületi töltéssel rendelkezik ahhoz, hogy fájdalomcsillapító és gyomorfekély ellenes hatású kinurénsav molekulákat interkaláljunk a rétegek közé. XRD és FTIR mérésekkel is igazoltam, hogy az interkalált KYNA molekulák paraffin típusú monoréteg elrendeződést mutatnak a rétegen belül, míg a rétegek közötti KYNA mennyiségét több, egymástól független módszerrel is kb. 12-14 m/m%-ban állapítottam meg, mely jó egyezést mutatott a kompozit elméletileg számolt KYNA tartalmával (12 %).

T 1.2. Kémiai összetételüknek köszönhetően a réteges kettős hidroxidok pH függő oldódási tulajdonságokat mutatnak és savas körülmények között jelentősen megnő az oldhatóságuk. E tulajdonságukat kihasználva *in vitro* körülmények között bemutattam, hogy a KYNA/ LDH kompozit rendszer alkalmas pH-függő hatóanyag leadásra. Gravimetriás, illetve röntgendiffrakciós mérésekkel igazoltam, hogy a mesterséges gyomornedv pH= 1,5 értéken a 2:1 Mg/Al-LDH t= 6 óra alatt fokozatosan feloldódik. Bemutattam, hogy ennek megfelelően a KYNA/ LDH nanohibrid rendszerből a kinurénsav kioldódása egy késleltetett hatóanyag-leadási profilt ad ($k= 1,49 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $t_{1/2}= 12,9 \text{ óra}$) a szabad KYNA-hoz képest ($k= 5,91 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $t_{1/2}= 3,3 \text{ óra}$). Négy óra elteltével 18 % kinurénsav szabadult fel KYNA/ LDH nanohibrid rendszerből, azaz jelentős hatóanyag visszatartás volt észlelhető. Ezzel szemben a szabad kinurénsav pH= 6,70 értéken történő kioldódása koncentráció-függő, elsőrendű kinetikát ($k= 4,75 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; $R^2= 0,9955$; $t_{1/2}= 4,1 \text{ óra}$) mutatott. A hatóanyag oldódási kinetikája pH= 1,50 értéken már a Higuchi modellel volt jellemezhető mely egy diffúzió-kontrollált folyamatot ír le.

T2. Gömbszerű morfológiával rendelkező LDH előállítás, jellemzése, valamint Ag⁰-montmorillonittal, heterokoagulációs úton történő szerkezetképző tulajdonságainak vizsgálata, a kompozit antibakteriális tulajdonságainak igazolása.

T 2.1. Igazoltam, hogy karbamid jelenlétében, pH= 3 értéken, ill. a prekursorok arányának ([Zn + Mg]:Al mólaránya 2:1 és a Zn:Mg mólaránya 1:8) beállításával egy hetes öregítési idő alatt gömbszerű morfológiával rendelkező ZnMgAl-réteges kettős hidroxid részecskék szintetizálhatók. Bemutattam, hogy a $25,31 \pm 2,34$ μm -es átmérővel rendelkező LDH gömbök esetében a „hagyományos” sík kiterjedésű LDH lamellák sugárirányú elrendeződése eredményez szférikus szerkezetet és a nagy kristályosságú fokkal rendelkező LDH gömbök strukturált felülettel rendelkeznek, viszont a mért alacsony fajlagos felület érték ($14,75 \text{ m}^2/\text{g}$) kompakt szerkezetre utal. Megállapítottam, hogy a gömbi LDH felületi töltése pH függő; alacsony pH értékeknél (pH < 4) pozitív, míg magasabb pH értékeknél (pH > 4) elveszti pozitív töltését. A gömbi LDH pH= 3 értéken nagy fajlagos felületi töltéssel rendelkezik ($+273 \text{ mmol}/100 \text{ g}$) míg magasabb pH értékeken csökken.

T 2.2. Az LDH speciális pH-függő felületi töltését kihasználva, olyan két komponensű, LDH/ Ag⁰-montmorillonit (= 25/75 m/m%) rendszert szintetizáltam, mely pH < 4,5 tartományban koherens gélt alkot, míg pH > 4,5 tartományban inkoherens szolként viselkedik.

Reológiai (τ_B), ill. SAXS (Dim_m ; Dim_s ; K_p) paraméterek alapján igazoltam, hogy alacsony pH értékeken (pH < 4,5) a pozitív felületi töltéssel rendelkező LDH gömbök elektrosztatikus kölcsönhatásokat alakítanak ki a negatív felületi töltéssel rendelkező Ag⁰-montmorillonit lamellákkal, ezáltal egy kompakt, alaktartó gél szerkezetet ($\tau_B = 9,90 \text{ Pa}$) kialakítva. A pH növelésével (pH > 4,5) ez a gél szerkezet szétesett, az LDH/ Ag⁰-montmorillonit kompozit inkoherens szolként viselkedett, mely LDH részecskék töltésének elvesztésével volt magyarázható.

T 2.3. A $21,9 \pm 2,9 \text{ nm}$ átlagos átmérővel jellemezhető Ag⁰-nanorészecskék jelenlétét a montmorillonit agyagásvány hordozón spektrofotometriás mérésekkel, illetve transzmissziós elektronmikroszkópos felvételekkel igazoltam. Bemutattam, hogy a koherens szerkezet szétesésével az Ag⁰-montmorillonit felületén immobilizált Ag⁰-nanorészecskék hozzáférhetősége jelentősen megnő és ezáltal a minta antibakteriális tulajdonságokra tesz szert. Az eredmények alapján az Ag⁰-montmorillonit kompozit már kis koncentrációban ($30 \mu\text{l}$, 25 ppm-es Ag⁰-mont.

szuszpenzió) képes volt inaktiválni az *Escherichia coli* tesztbaktériumok által képzett bakteriális filmet $1,79 \times 10^6$ CFU/cm² felületi baktérium koncentráció mellett.

T3. ZnMgAl-réteges kettős oxid (LDO) részecskék előállítása, szerkezeti, morfológiai és optikai jellemzői.

T 3.1. Igazoltam, hogy a 12 m/m% Zn tartalmú gömbi LDH 600 °C-on történő hőkezelés hatására az LDH-ra jellemző szerkezet módosul, a kiindulási reflexiók $2\Theta = 11,63^\circ$ (003) és $23,4^\circ$ (006) eltűnnek és új reflexiók jelennek meg, a kialakuló oxid fázisoknak köszönhetően. A $2\Theta = 43,60^\circ$ szögnél jelentkező (200) Bragg-reflexió az LDO szerkezetében jelenlévő MgO (Mg(Al)O) fázis képződésére utal, továbbá, a $2\Theta = 32,02^\circ$; $36,28^\circ$ és $56,67^\circ$ szögeknél jelentkező reflexiók a ZnO-ra jellemző (100), (101) és (110) Bragg-reflexiók jelenlétéről ad információt. Az előállított réteges kettős oxid (LDO) fajlagos felülete (14,75 m²/g) kis mértékben nőtt a kiindulási LDH-hoz képest (12,84 m²/g).

T 3.2. Igazoltam, hogy a 600 °C-os hőkezelés hatására kiindulási gömbi LDH morfológiája nem változik, a kalcinálás után nyert LDO szerkezete nem omlott össze, nem sérült, a részecskék felszíne mind mikro- mind nanoszinten tagolt maradt. Az LDO ZnO tartalmának köszönhetően UV-fénnyel gerjeszthető strukturált oxid részecskét állítottam elő. Az UV/Vis spektrofotometriás mérések alapján az LDO részecskék Kubelka-Munk módszerrel meghatározott gerjesztési küszöbenergiája 3,2 eV, mely megegyezik a tiszta ZnO irodalmi értékével.

T4. Öntisztuló LDO/ p(PFDAk) kompozit vékonyrétegek kialakítása, fotokatalitikus és szuperhidrofób tulajdonságok igazolása.

T 4.1. Bemutattam, hogy a sajátos morfológia-, ill. fotokatalitikus tulajdonságainak köszönhetően az LDO részecskék alkalmasak speciális nedvesedési tulajdonságokkal rendelkező fotoreaktív kompozit vékonyrétegek preparálására. A részecskék felületi immobilizációját poli-perfluorodecil-akrilát p(PFDAk) polimerrel biztosítottam és igazoltam, hogy a fotokatalizátor arányának rétegbeli növekedésével a fotokatalitikus határfok növelhető. A 80 m/m% LDO tartalmú kompozit film ($A = 25$ cm²) esetében 240 perces fotokatalitikus mérések során, a kiindulási 0,17 g/L-es benzoésav tesztmolekula vizes oldat koncentrációja 24 %-kal csökkent.

T 4.2. Igazoltam, hogy a hibrid rétegek összetételével, azaz LDO/ p(PFDAk) arány változtatásával a filmek érdessége szabályozható, ui. a kiindulási sík fluoropolimer filmre kapott érdesség ($R_q=0,002 \pm 0,0002 \mu\text{m}$) az LDO tartalom növekedésével egészen $15,30 \pm 2,04 \mu\text{m}$ -ig volt fokozható. Profilometriás és atomerő-mikroszkópos mérésekkel bizonyítottam, hogy az LDO/ p(PFDAk) kompozit filmek mikro- és nano- érdességgel rendelkeznek ($R_q=15,30 \mu\text{m}$ /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, Drelich módszere alapján meghatározott – felületi szabadenergia értékei is változtak. A kiindulási fluoropolimerre (0 m/m% LDO tartalom) jellemző $\gamma_s^{\text{tot}}=28,0 \pm 3,91 \text{ mJ/m}^2$ felületi szabadenergia érték egészen $\gamma_s^{\text{tot}}=2,7 \pm 0,65 \text{ mJ/m}^2$ -ig csökkenthető volt, ha az LDO tartalmat 80 m/m%-ra növeltem.

T 4.3. Bemutattam, hogy az LDO/ p(PFDAk) kompozitokban a felületi érdesség változtatásával a rétegek nedvesedési tulajdonságai is szabályozhatók, a kiindulási sík felületű fluoropolimer rétegre jellemző $\Theta_w=105,6^\circ \pm 0,76^\circ$ -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, a mért peremszög érték $156,3^\circ \pm 1,88^\circ$ és $157,1^\circ \pm 1,53^\circ$ -nak adódott, azaz a felületi érdesség a felület jellegét, nedvesedési tulajdonságát fokozta.

T 4.4. *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* és *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok esetében is igazoltam, hogy a felületek nedvesedési és morfológiai tulajdonságai a mikrobiológiai kölcsönhatások erősségét, illetve a bakteriális adhézió mértékét is nagyban befolyásolják. Az egyre növekvő LDO részecske (20 m/m%-tól 80 m/m%-ig) tartalommal – a kristályibolya festési eljárás alapján – a baktériumok adhéziója is nőtt ($\text{OD}_{620}=0,2$ -tól 1,54-ig). Elektronmikroszkópos felvételekkel is igazoltam, hogy a 0,6-2 μm mérettel rendelkező 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. Bemutattam, hogy a bevilágítás hatására képződő szabadgyökök a fenti baktériumokat is képesek inaktíválni, ui. 120 perc megvilágítási idő elteltével a sérült baktérium sejtek száma 46 %-kal nőtt.

T5. Polimer alapú kompozit rétegek tartósságának növelése szervesen biokompatibilis HAp adalékkal. A TiO₂/ HAp/ p(EA-co-MMA) polimer kompozitok fotokatalitikus tulajdonságai és a HAp lamellák szinergikus hatása a TiO₂/ p(EA-co-MMA) alapú vékonyrétegekben.

T 5.1. Bemutattam, hogy az általam előállított 116 m²/g fajlagos felülettel és lamellás szerkezettel valamint biokompatibilis tulajdonságokkal rendelkező hidroxiapatit (HAp) lamellák alkalmasak rá, hogy a felületükön TiO₂ nanorészecskéket immobilizáljunk. Igazoltam, hogy a csapadékképződési módszerrel előállított TiO₂/ HAp kompozitok esetén szinergikus hatás figyelhető meg a fajlagos felület értékekben. 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). Fotokatalitikus mérések alapján igazoltam, hogy TiO₂/ HAp/ p(EA-co-MMA) vékonyrétegek tiszta TiO₂ tartalmára vonatkoztatott fotokatalitikus bontás értékek a 36 m/m% (5,61 mM EtOH/ g TiO₂) és 12 m/m% (4,26 mM EtOH/ g TiO₂) TiO₂ tartalmú minták esetében meghaladták a HAp tartalom nélküli és a 60 m/m% TiO₂ fotokatalizátort tartalmazó minta hatásfokát (4,04 mM EtOH/ g TiO₂). Bemutattam, hogy ez a szinergikus hatás a kompozitban lévő HAp tartalomnak volt köszönhető, mely biztosította a fotokatalizátor részecskék nagyobb diszpergáltságát és nagyobb felületi hozzáférhetőségét. Ezáltal kevesebb fotokatalizátor tartalom alkalmazása mellett nagyobb fotokatalitikus hatásfok volt elérhető.

T 5.3. Fotokatalitikus mérésekkel igazoltam, hogy 120 óra LED-típusú fényforrással ($\lambda_{\max}= 405$ nm) történő bevilágítási idő elteltével, HAp lamellák jelenlétében a [36% TiO₂/ 24% HAp/ 40% p(EA-co-MMA)] kompozit rétegben a polimer degradációja mindössze 15 % volt, míg HAp lamellát nem tartalmazó [60% TiO₂/ 40% p(EA-co-MMA)] kompozitokban a polimer degradációja elérte a 35 %-ot. Így igazoltam, 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.

4. Publikációs jegyzék

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10055142

ORCID azonosító: 0000-0002-6781-1727

Az értekezés témájához közvetlen kapcsolódó tudományos publikációk:

1. **Ágota Deák**, L. Janovák, SP. Tallósy, T. Bitó, D. Sebők, N. Buzás, I. Pálinkó, I. Dékány.
Spherical LDH–Ag⁰-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= 8)
2. **Ágota Deák**, L. Janovák, E. Csapó, D. Ungor, I. Pálinkó, S. Puskás, T. Ördög, T. Ricza, I. Dékány.
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= 9)
3. L. Janovák, **Ágota Deák**, Sz. P. Tallósy, D. Sebők, E. Csapó, K. Bohinc, A. Abram, I. Palinko, I. Dékány. *Hydroxyapatite-enhanced structural, photocatalytic and antibacterial properties of photoreactive TiO₂/HAp/polyacrylate hybrid thin films.*
Surface and Coatings Technology, 326 (2017) 316-326.
(IF₂₀₁₇= 2,906; FHSZ= 7)
4. **Ágota Deák**, E. Csapó, Á. Juhász, I. Dékány, L. Janovák.
Anti-ulcerant kynurenic acid molecules intercalated Mg/Al-layered double hydroxide and its release study.
Applied Clay Science 156 (2018) 28-35.
(IF₂₀₁₇= 3,641; FHSZ= 0; függő HSZ= 1)
5. **Ágota Deák**, L. Janovák, Sz. P. Tallósy, K. Godič-Torkar, A. Abram, I. Dékány, K. Bohinc.
Controlled adhesion and inactivation of nosocomial bacteria on photoreactive composite coating with designed wetting properties.
International Journal of Antimicrobial Agents (2019) folyóirathoz benyújtva

Összesített impakt faktora (Σ IF) = **13,927**

Független hivatkozások száma (FHSZ) = **24**

Egyéb tudományos közlemények:

1. L. Janovák, Sz. P. Tallósy, M. Sztakó, **Á. Deák**, T. Bitó, N. Buzás, Gy. Bártfai, I. Dékány.
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; függő HSZ= 4)
2. Sz. P. Tallósy, L. Janovák, E. Nagy, **Á. Deák**, Á. Juhász, E. Csapó, N. Buzás, I. Dékány.
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= 18; függő HSZ= 2)
3. A. Györgyey, L. Janovák, A. Adam, J. Kopniczky, K. L. Toth, **Á. Deák**, I. Panayotov, F. Cuisinier, I. Dékány, K. Turzó. *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= 2,310; FHSZ= 8; függő HSZ= 4)
4. R. Masa, **Á. Deák**, G. Braunitzer, Zs. Tóth, J. Kopniczky, I. Pelsöczy-Kovács, K. Ungvári, I. Dékány, K. Turzó. *TiO₂/Ag-TiO₂ nanohybrid films are cytocompatible with primary epithelial cells of human origin: an in vitro study.* **Journal of Nanoscience and Nanotechnology** 18 (6) (2018) 3916-3924(9). (IF₂₀₁₆= 1,483; FHSZ= 0)
5. L. Merai, **A. Deak**, D. Sebok, E. Csapo, T. S. Kolumban, B. Hopp, I. Dekany, L. Janovak.
Photoreactive composite coating with composition dependent wetting properties. **Express Polymer Letters** 12 (2018) 1061-1071. (IF₂₀₁₈= 2,875; FHSZ= 0)
6. L. Janovák, Á. Dernovics, L. Mérai, **Á. Deák**, D. Sebők, E. Csapó, A. Varga, I. Dékány, Cs. Janáky.
Microstructuring of poly(3-hexylthiophene) leads to bifunctional superhydrophobic and photoreactive surfaces. **Chemical Communications** 54(6) (2018) 650-653. (IF₂₀₁₈= 6,164; FHSZ= 1; függő HSZ= 1)
7. L. Janovák, Á. Turcsányi, É. Bozó, **Á. Deák**, L. Mérai, D. Sebők, Á. Juhász, E. Csapó, M. M. Abdelghafour, Farkas E. *Preparation of novel tissue acidosis-responsive chitosan drug nanoparticles: Characterization and in vitro release properties of Ca²⁺ channel blocker nimodipine drug molecules.* **European Journal of Pharmaceutical Sciences** 123 (2018) 79-88. (IF₂₀₁₈= 3,532; FHSZ= 0)
8. L. Mérai, N. Varga, **Á. Deák**, D. Sebők, I. Szentí, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Dékány, L. Janovák.
Preparation of photocatalytic thin films with composition dependent wetting properties and self-healing ability. **Catalysis Today** 328 (2019) 85-90. (IF₂₀₁₈= 4,888; FHSZ= 0)
9. **Á. Deák**, D. Sebők, E. Csapó, A. Bérczi, I. Dékány, L. Zimányi, L. Janovák.
Evaluation of pH- responsive poly(styrene-co-maleic acid) copolymer nanoparticles for the encapsulation and pH-dependent release of ketoprofen and tocopherol model drugs. **European Polymer Journal** 114 (2019) 361-368. (IF₂₀₁₈= 3,621; FHSZ= 0)

10. L. Janovák, **Á. Deák**, L. Mérai, I. Dékány.

Vízlepergető és fény hatására öntisztuló bifunkciós vékonyrétegek.

Magyar Kémikusok Lapja 74(2) (2019) 48-52.

11. L. Janovák, **Á. Deák**, L. Mérai, Sz. P. Tallósy, I. Dékány.

Öntisztuló felületek alkalmazása szerves anyagok eliminálására, ill. biológiai rendszerek ártalmatlanítására.

Magyar Kémiai Folyóirat – Kémiai Közlemények 125 (2019) 83-90.

Egyéb témában megjelent publikációk összesített impakt faktora (Σ IF) = **28,736**

Független hivatkozások száma (FHSZ) = **29**

Függő hivatkozások száma (függő HSZ) = **5**

Összesített publikációk összesített impakt faktora ($\Sigma\Sigma$ IF) = 42,663

Összesített Független hivatkozások száma = 53

Összesített Függő hivatkozások száma = 6

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

Készítmény és eljárás szuperhidrofób és fotokatalitikus hatással rendelkező bifunkciós vékonyrétegek kialakítására.

Magyar Szabadalom, bejelentés ideje: **2018.**, Ügyiratszám: **P1800195**

Konferencia előadások:

1. I. Dékány, L. Janovák, **Á. Deák**, M. Sztakó, Á. 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, Germany, 24-26.03. **2014**.
2. I. Dékány, L. Janovák, Sz. Tallósy, **Á. Deák**, J. Ménesi, M. Sztakó, Á. Juhász, N. Buzás. *Characterization of antibacterial silver and copper nanoparticles functionalized TiO₂ composite photocatalysts*. COST Action CM1101 WG3/WG4 Meeting; Belgrade, Serbia, 30.06.-01.07. **2014**.
3. L. Janovák, Sz. P. Tallósy, J. Ménesi, **Á. Deák**, Á. Juhász, N. Buzás, I. Dékány. *Development of photocatalyst/ polymer hybrid films for the inactivation of bacteria by visible light*. COST Action CM1101 WG3/WG4 Meeting; Belgrade, Serbia, 30.06.-01.07. **2014**.
4. L. Janovák, **Á. Deák**, Á. Juhász, I. Dékány. *Szuperhidrofób szilika/ polimer hibrid vékonyrétegek nedvesedési és morfológiai tulajdonságai*, MTA Kolloidkémiai Munkabizottsági ülés. Velence, Hungary, 04-05.06. **2015**.
5. L. Janovák, **Á. Deák**, N. Nánási, B. Gubán, Z. Veréb, J. Varga, I. Dékány, L. Kemény. *Biocompatible and biodegradable polymeric scaffold and hydrogel based carriers for stem cell*, VII. International Forum On Plastic Surgery, Szeged, Hungary, 17–19.09. **2015**.
6. A. Venkei, Á. Györgyey, A. Ádám, **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány, K. Ungvári, K. Nagy, E. Urbán, K. Turzó. *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.
7. R. Masa, Á. Györgyey, **Á. Deák**, L. Janovák, K. Ungvári, Zs. Tóth, K. Nagy, I. Dékány, K. Turzó. *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. Pécs, Hungary, 24-26.09. **2015**.
8. A. Venkei, K. Ungvári, **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány, E. Urbán, K. Turzó. *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, Hungary, 5–7.05. **2016**.
9. 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*. 26th European Congress of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. Amsterdam, Nederland, 9-12. 04. **2016**.

10. R. Masa, Á. Györgyey, **Á. Deák**, L. Janovák, Zs. Tóth, I. Pelsőczy-Kovács, K. Ungvári, I. Dékány, K. Turzó. *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 paro-implantológiában és a komprehenzív fogászatban, Szeged, Hungary, 5 – 7. 05. **2016**.
11. L. Janovák, **Á. Deák**, I. Dékány. *Szuperhidrofób és fotoreaktív bifunkcionális vékonyrétegek nedvesedési, morfológiai és fotokatalitikus tulajdonságai*. MTA Kolloidkémiai Munkabizottsági ülés, Velence, Hungary, 2-3.06. **2016**.
12. 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, Germany, 7-10.06. **2016**.
13. K. Bohinc, **Á. Deák**, K. Godič Torkar, G. Dražič, A. Abram, L. Janovák, I. Dékány. *Bacterial adhesion to material surfaces covered by thin films*. EURADH 2016 Adhesion'16, Glasgow, UK, 21-23.09. **2016**.
14. L. Janovák, **Á. Deák**, Sz. P. Tallósy, I. 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, France, 13-17.06. **2016**.
15. L. Janovák, **Á. Deák**, I. Dékány. *Structural and morphological characterization of hybrid thin films with superhydrophobic and photoreactive dual properties*. Nanotechnology and Nanomedicine Research (Nanomed-2016) Dubai, United Arab Emirates, 28- 29.11. **2016**.
16. **L. Janovák**, **Á. Deák**, 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, 23-26.04. **2017**.
17. **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány. *Szuperhidrofób és fotokatalitikus tulajdonságú réteges kettős oxid rétegek előállítása és tulajdonságainak vizsgálata*. Tavaszí Szel Konferencia, Magyarország, Miskolc, Hungary, 31.03. – 2.04. **2017**.
18. D. Sebők, L. Janovák, **Á. Deák**, D. Kovács, A. Sági, I. Dékány. *Comparative study of adsorption and scattering techniques to determine the surface fractal dimension of nanostructured materials*. International Conference on Mathematics in (bio)Chemical Kinetics and Engineering (MaCKiE), Budapest, Hungary, 25-27.05. **2017**.
19. L. Janovák, **Á. Deák**, I. 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, 3-6.07. **2017**.
20. L. Janovák, **Á. Deák**, I. Dékány. *Development of smart hydrogel films for controlled drug delivery*. 2017 International Conference on Bio-Signal and Image Processing (ICBSIP 2017) Veszprem, Hungary, 22-24.07. **2017**.

21. I. Dékány, E. Csapó, H. Szokolai, Á. Juhász, **Á. Deák**, L. Janovák. *Design of colloidal drug delivery systems for controlled release of non-steroidal anti inflammatory drugs*. 6th World Conference on Physico Chemical Methods in Drug Discovery (IAPC-6) Zagreb, Croatia, 4-7.09. **2017**.
22. **Á. Deák**, *Réteges kettős hidroxidot tartalmazó intelligens kompozit anyagok előállítása és jellemzése (PhD elővétel)*, MTA Kolloidkémiai Munkabizottság, ELTE, Budapest, Hungary, 26.10. **2017**.
23. **Á. Deák**, K. Bohinc, K. Godič-Torkar, A. Abram, G. Dražić, I. Dékány, L. Janovák, *Structural and photocatalytic investigation of surface modified photocatalyst particles with special wetting properties*. International Conference on Catalysis and Surface Chemistry, 50-te Ogólnopolskie Kolokwium Katalityczne, Krakow, Poland, 18.-23.03. **2018**.
24. L. Janovák, **Á. Deák**, L. Mérai, I. Dékány. *Photocatalytic thin films with surface roughness driven wetting properties and its applications for water treatment*. International Conference on Catalysis and Surface Chemistry, 50-te Ogólnopolskie Kolokwium Katalityczne, Krakow, Poland, 18.-23.03. **2018**.
25. L. Mérai, **Á. Deák**, L. Janovák. *A felületi érdesség hatása fotoreaktív vékonyrétegek nedvesedési tulajdonságaira*. VII. Eötvözet Konferencia, Szeged, Hungary 6-7.04. **2018**.
26. L. Mérai, L. Janovák, **Á. Deák**. *Bifunkciós vékonyrétegek kialakítása és fejlesztése*. XII. Szent-Györgyi Albert Konferencia, Budapest, Hungary, 20-21.04. **2018**.
27. I. Dékány, E. Csapó, V. Hornok, Á. Juhász, **Á. Deák**, N. Varga, J. Janovák. *Self-assembled nanostructures for drug delivery: structural properties and thermodynamic state functions*, 11th Conference on Colloid Chemistry (11CCC), Eger, Hungary, 28-30.05. **2018**.
28. L. Janovák, **Á. Deák**, L. Mérai, I. Dékány. *Preparation of photocatalytic thin films with composition dependent wetting properties*. 10th European meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA10), Almería, Spain, 4-8.06. **2018**.
29. **Á. Deák**, K. Bohinc, K. Godič-Torkar, A. Abram, I. Dékány, L. Janovák. *Photoreactive hybrid films with tunable wetting properties*. 4th International Congress on Biomaterials and Biosensors (BIOMATSEN), Ölüdeniz, Turkey, 12-18.05. **2019**.
30. L. Janovák, **Á. Deák**, L. Mérai, I. Dékány. *Designed composites thin films and nanoparticles: from bio- inspired self- cleaning surface to stimuli responsive functional materials*. 4th International Congress on Biomaterials and Biosensors (BIOMATSEN), Ölüdeniz, Turkey 12-18.05. **2019**.
31. L. Janovák, L. Mérai, **Á. Deák**, I. Dékány. *Preparation of designed polymers and composites for the synthesis of multifunctional surfaces and intelligent drug release systems*. European Polymer Congress, EPF 2019, Hersonissos, Crete, Greece, 9-14.06. **2019**.

Konferencia absztraktok (poszterek):

1. 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, 22-26.06. **2015**.

2. **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány. Visible light active photoreactive hybrid layers with superhydrophobic properties. 6th International Colloids Conference, Berlin, Germany, 19-22.06. **2016**.
3. **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, 28.08. – 01.09. **2016**.
4. L. Janovák, **Á. Deák**, 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. 04. **2017**.
5. **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány. Visible light active photoreactive hybrid layers with superhydrophobic properties, 21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Szeged, Hungary, 23-26.04. **2017**.
6. A. Bérczi, R.-A. Domokos, **Á. Deák**, Zs. Szegletes, L. Janovák, I. Dékány, L. Zimányi. Integráns, transzmembrán fehérjék szolubilizálása kopolimerekkel. 47. Membrán-Transzport Konferencia, Sümeg, Hungary, 16-19.05. **2017**.
7. I. Dékány, **Á. Deák**, M. A. Varga, Cs. Janáky, L. 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, 3-6.07. **2017**.
8. **Á. Deák**, K. Bohinc, K. Godič Torkar, A. Abram, G. Dražić, I. Dékány, L. 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, 3-6.07. **2017**.
9. A. Bérczi, R.-A. Domokos, **Á. Deák**, Zs. Szegletes, L. Janovák, I. Dékány, L. Zimányi. Solubilization of trans-membrane proteins by styrene-maleic acid (SMA) copolymers 19th IUPAB Congress and 11th EBSA Congress, Edinburgh, UK, 16-20.07. **2017**.
10. A. Bérczi, R. Domokos, **Á. Deák**, Zs. Szegletes, L. Janovák, I. Dékány, L. Zimányi. Sztírol-maleinsav (SMA) kopolimerek mint biomembránt szolubilizáló detergenssek. A Magyar Biofizikai Társaság XXVI. Kongresszusa, Szeged, Hungary, 22-25.08. **2017**.
11. **Á. Deák**, I. Dékány, L. Janovák. *Photoreactive hybrid films with superhydrophobic properties*, 11th Conference on Colloid Chemistry (11CCC), Eger, Hungary, 28-30.05. **2018**.
12. **Á. Deák**, L. Janovák, Á. Juhász, E. Csapó, E. Farkas, I. Dékány, F. Bari. *Drug release properties of pH-responsive chitosan nanoparticles*. 4th International Conference on Bio-Based Polymers and Composites, Balatonfüred, Hungary, 2-6.09. **2018**.
13. **Á. Deák**, I. Dékány, L. Janovák. *Photoreactive hybrid nanoparticles for elimination of interfacial pollutants from water surfaces*, 8th Szeged Workshop on Advances in Nanoscience, Szeged, Hungary, 7-11.10. **2018**.

14. L. Mérai, **Á. Deák**, L. Janovák, I. Dékány. *Preparation of composite layers to enhance surface roughness durability*. 8th Szeged Workshop on Advances in Nanoscience, Szeged, Hungary 7-11.10. **2018**.
15. **Á. Deák**, I. Dékány, L. Janovák. *Development of polymer based composite nanoparticles suitable for photocatalytic elimination of interfacial water pollutants*. European Polymer Congress 2019 (EPF 2019), Hersonissos, Crete, Greece, 9-14.06. **2019**.
16. I. Dékány, M. Mérai, **Á. Deák**, L. Janovák. *Preparation of low energy polymer based photoreactive composite layers to enhance surface roughness durability*. European Polymer Congress 2019 (EPF 2019), Hersonissos, Crete, Greece, 9-14.06. **2019**.