

Szabályozható nedvesedéssel és fotoreaktivitással rendelkező funkcionális kompozit felületek fejlesztése és alkalmazása

PhD értekezés tézisei

Mérai László

Okleveles vegyész - minőségirányítási szakember

Doktori témavezető:

Dr. Janovák László

egyetemi adjunktus



Kémia Doktori Iskola

Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Szegedi Tudományegyetem – Természettudományi és Informatikai Kar

2022

Szeged

1. Short summary of the doctoral work

The popularity of functional surfaces with either extreme wetting properties or photocatalytic properties is rapidly increasing. During my doctoral work, I prepared composite surfaces with both features, applying visible light-active, plasmonic Ag-TiO₂ nanoparticles, polyacrylates and PDMS.

At first, I presented that the hydrophobic wetting character of perfluorinated polyacrylate films was enhanced as a result of surface roughening with Ag-TiO₂. The prepared coatings possessed Ag-TiO₂/FP-ratio- and roughness-dependent wettability (and photoreactivity), ranging from superhydrophilic to superhydrophobic character. Besides keeping the 80 wt.% photocatalyst content, the addition of a hydrophilic matrix component poly(2-hydroxyethyl acrylate, or pHEA) could also lead to superhydrophilic composites.

As the popularity of microfluidics and liquid manipulation is increasing, the need for the development of novel, stimulus-responsive surfaces with tunable wettability also emerges. In alignment with this, I also prepared composites on PDMS basis with magneto- and thermoresponsive wetting character and photoreactivity, applying carbonyl iron microparticles and poly(N-isopropyl acrylamide).

The main hindering factor during the practical application of surfaces with extreme wettability is the vulnerability of the surface fine structure: to surpass this disadvantage and to achieve lasting superhydrophobicity, PDMS oleogel-based self-healing composites were also prepared.

Due to their multifunctional nature, the presented composite surfaces may will be applicable for the decomposition of pollutants with varying polarity or for the implementation of complex liquid manipulation tasks.

2. Bevezetés és célkitűzés

Sokrétű felhasználási lehetőségeiknek köszönhetően az extrém nedvesedési karakterrel rendelkező, folyadékmanipulációra alkalmas intelligens felületek népszerűsége rohamosan növekszik: találkozhatunk velük mind a mikrofluidika, mid pedig az analitika, de a környezetvédelem és az egészségügy területén is. Az extrém nedvesedésű felületek már a hétköznapi életünk részét is képezik: elég csak a lótusz-effektust kihasználó, öntisztuló falfestékekre vagy a párasodásgátló bevonattal ellátott üvegfelületekre gondolnunk.

Az extrém nedvesedési karakter kialakításának szükséges, de nem elégséges feltétele a megfelelő felületi kémia viszonyok kialakítása: szükség van hierarchikus (mikro- és nano-) érdesség kialakítására is, melynek egyik lehetséges módja az eredendően hidrophil vagy hidrophób felületek –részecskék hozzáadás révén történő– érdesítése. Ezen részecskék egyéb tulajdonságaiból adódóan az így kapott kompozitok egyéb funkciókra is szert tehetnek, mint például mágneses tulajdonságok, elektromos vezetés, módosult optikai sajátságok vagy akár fotokatalitikus aktivitás.

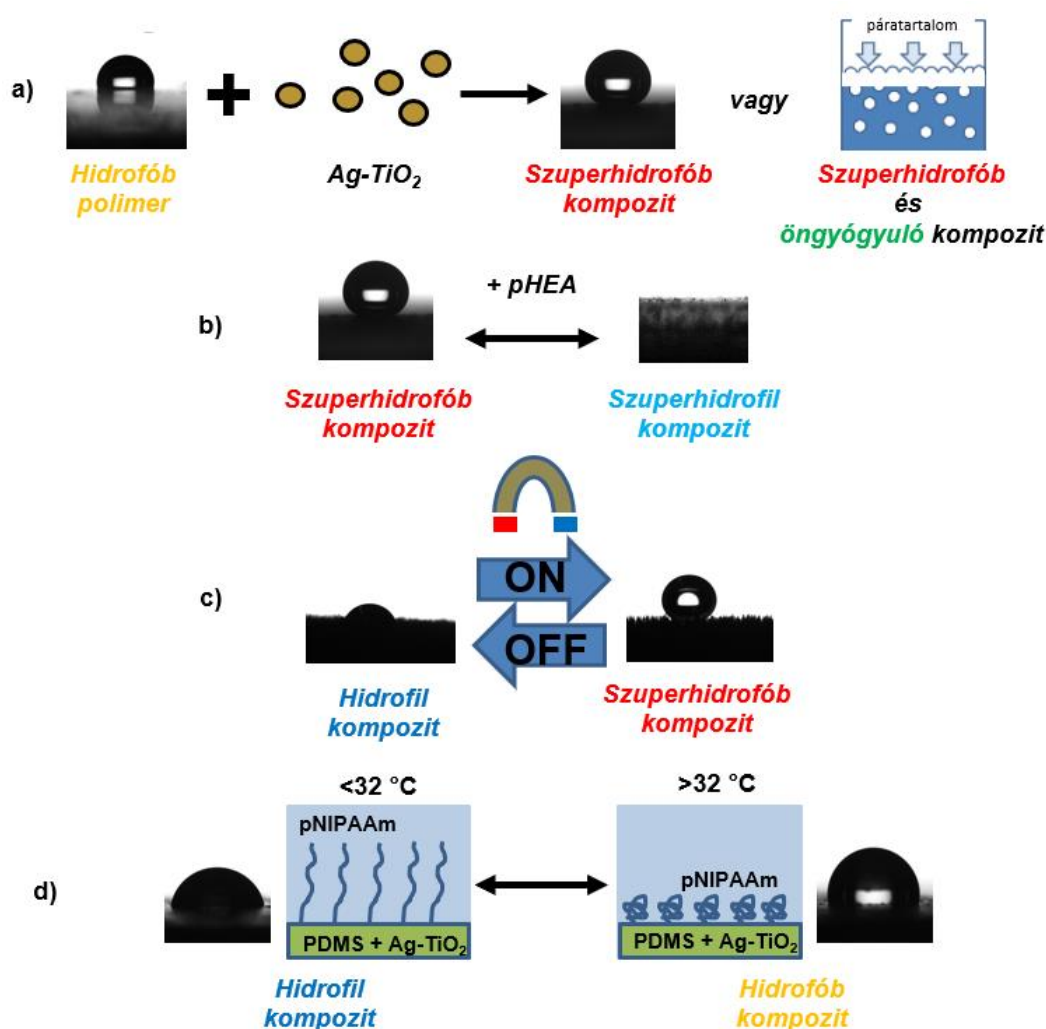
Az utóbbi tulajdonság az elmúlt évek járványügyi és környezeti problémái miatt fokozott figyelmet kap. A TiO_2 , a ZnO és az egyéb félvezető fotokatalizátorok UV- és/vagy látható fénnel történő megvilágítás hatására reaktív oxigéntartalmú gyököket (úgy mint $\text{HO}^\bullet$, $\text{HOO}^\bullet$ or O_2^{2-}) hoznak létre, melyek képesek a szerves szennyezők és mikroorganizmusok kiegészítő vegyszeres kezelés nélküli eliminálására

Amellett, hogy a fotokatalizátor-tartalom hatással lehet egy felület nedvesedési sajátságaira is, a megváltozott nedvesedési karakter szintén befolyásolhatja a fotoreaktivitást, így e jelenségek kapcsolatának vizsgálata kiemelt fontosságú. Annak ellenére, hogy a különböző fotokatalizátor részecskék módosítása viszonylag jól dokumentált, a szakirodalomban kevés szó esik makroszkopikus fotoreaktív felületek nedvesedésfüggő viselkedéséről.

Doktori munkám célja tehát ezen viselkedés vizsgálata új, látható fényben aktív, plazmonikus Ag-TiO_2 fotokatalizátor nanorészecskéket tartalmazó, szabályozott nedvesedésű kompozitok preparálása és tanulmányozása révén, melyhez kiindulópontként kutatócsoportunk korábbi, plazmonikus fotokatalizátorok (mint például az Ag-TiO_2) és ezek poliakrilátokkal alkotott antimikrobiális kompozitjainak fejlesztése terén elért eredményei szolgálnak.

3. Anyagok és módszerek

Kísérleti munkám során porlasztásos filmképzés és “doctor blade” technikák segítségével, látható fényben aktív, plazmonikus Ag-TiO₂ fotokatalizátor nanorészecskék, valamint poliakrilát (1. **a**) és **b**) ábra) és poli(dimetil-sziloxán) (PDMS) (1. **a**) **c**) és **d**) ábra) mátrixok alkalmazása révén hoztam létre összetételtől és/vagy külső stimulusoktól függő nedvesedésű, fotoreaktivitású és öngyógyuló bevonatokat. A PDMS-alapú kompozitok magnetoereszpónzív viselkedését karbonil vas (cFe) mikrorészecskék hozzáadása, termoreszpónzív viselkedését pedig poli(N-izopropil-akrilamid)-dal (pNIPAAm) történő ojtás révén valósítottam meg. (1. **d**) ábra).



1. ábra: A fotokatalizátor-tartalommal **a**), mátrix-összetétellel **b**), külső mágneses térrel **c**), valamint hőmérséklettel **d**) szabályozható nedvesedésű fotoreaktív kompozit felületek sematikus ábrázolása

A preparált kompozitok nedvesedésének, morfológiájának és fotoreaktivitásának minősítésére a következő analitikai mérés technikákat és műszereket használtam fel:

- Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM, Hitachi S-4700)
- Energiadiszperzív Röntgen-spektroszkópia (EDX, Hitachi S-4700)
- Transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM, FEI Tecnai G2 20 X-Twin)
- Kontakt profilometria (Form Talysurf Series 2, Taylor Hobson és Elcometer 224 digitális felületi profilmérő)
- Röntgen-komputertomográfia (μ CT, Skyscan 2211, Bruker)
- Nitrogénadszorpció mérések (Gemini Type 2375)
- Oszillációs reológiai mérések (Anton Paar Physica MCR 301)
- Termogravimetria és differenciális pásztázó kalorimetria (TG & DSC, Mettler-Toledo TGA/SDTA 851e)
- Mágneses fluxus mérése (AlphaLab Model GM2 DC)
- Statikus peremszögmérés és szakadási szögek mérése (Krüss EasyDrop, TC40-MK2 Peltier Temperature Assembly és TC3013 Digital Thermometer, egyedi gyártású goniométer)
- Dinamikus peremszögmérés (Krüss EasyDrop and Krüss K100 force tensiometer)
- UV-látható diffúz-reflexiós spektroszkópia (UV-VIS DR, USB2000+UV-VIS, Ocean Optics)
- Röntgen-fotoelektron spektroszkópia (XPS, SPECS spektrométer, PHOIBOS 150 MCD 9 hemiszférikus analizátor)
- Nukleáris mágneses rezonancia spektroszkópia (NMR, Bruker DRX 500)
- Raman-mikroszkópia (Thermo Scientific DXR)
- Gázkromatográfia (Shimadzu GC-14B)
- UV-látható spektrofotometria (Red Tide SHIMADZU UV-1800)
- Luminometria (SiriusL Single Tube, Titertek Berthold)

T1. Összetétellel szabályozható nedvesedéssel és fotoreaktivitással rendelkező Ag-TiO₂/fluoropolimer (FP) kompozit bevonatok porlasztásos filmképzéssel történő kialakítása, morfológiai jellemzése, valamint ezek nedvesedésének, illetve fotoreaktivitásának minősítése Sz/F- és Sz/G-határfelületeken.

T1.1. Új tudományos eredményként bemutattam, hogy a látható fényben aktív, plazmonikus Ag-TiO₂ fotokatalizátor nanorészecskékből ($d_{\text{primer}} = \sim 50 \text{ nm}$) és a kereskedelmi forgalomban kapható, vizes bázisú Capstone ST-110 fluoropolimer diszperzió szárazanyag-tartalmából (FP) porlasztásos filmképzéssel, összetétellel szabályozható felületi érdességű ($R_q = 5,2 \pm 1,5 - 15,2 \pm 1,2 \text{ }\mu\text{m}$) és nedvesedésű ($0^\circ < \Theta < 150,9^\circ$) kompozit bevonatok preperálhatók. Peremszög- és profilometriás mérések révén igazoltam, hogy 80 m/m%-os fotokatalizátor-tartalom mellett a kezdeti sík ($R_q = 3,7 \pm 0,9 \text{ }\mu\text{m}$), hidrofób ($\Theta = 105,0^\circ$) fluoropolimer felületek szuperhidrofób karakterre ($R_q = 15,2 \pm 1,2 \text{ }\mu\text{m}$; $\Theta = 150,9^\circ$) tesznek szert. 90 m/m% fotokatalizátor-tartalom felett azonban a kompozit bevonatok már a tiszta fotokatalizátorra is jellemző szuperhidrofil jelleget mutatnak ($\Theta \sim 0^\circ$).

T.1.2. SEM-felvételek révén igazoltam, hogy az extrém nedvesedési karakter a porlasztás során kialakuló hierarchikus, mikro- és nanoérdesség következménye: a nanoérdesség a primer fotokatalizátor részecskéknak köszönhető, míg a mikroérdesség kialakulásáért ezek gömbszerű aggregátumai tehetők felelőssé. Az érdesség felületi szabadenergia-csökkentő hatását Wilhelmy-elven végrehajtott dinamikus peremszögmérések során kinyert haladó- és hátráló peremszög adatok révén igazoltam: tiszta FP felület esetében $27,3 \text{ mJ/m}^2$, míg a szuperhidrofób kompozit esetében $13,0 \text{ mJ/m}^2$ γ_s^{tot} -értéket határoztam meg.

A bevonatok röntgen mikro-CT-mérések révén meghatározott (74,8%), valamint a rétegvastagság-mérések alapján számolt elméleti porozitás-értékei (78,9%) közel megegyezőnek bizonyultak: e nagymértékű porozitás a későbbi fotokatalitikus felhasználás hatékonysága szempontjából lehet előnyös.

T.1.3. Bemutattam, hogy a kompozit bevonatok látható fény-fotoreaktivitása ($\lambda = 405 \text{ nm}$; $t_{\text{megvil.}} = 1 \text{ h}$; $c_0 = 0,36 \text{ mM}$) összetétel- és nedvesedésfüggő: a nagyobb Ag-TiO₂-tartalom és hidrofóbbabb karakter nagyobb EtOH (g)-degradációs hatásfokot eredményezett (0,4-68,1%), azonban a kompozitokkal elért bontási hatásfok így sem közelítette meg a tiszta fotokatalizátorral elért értéket (95,7%).

A Sz/F-határfelületen végzett fotodegradációs tesztek során az apoláris Szudán IV modell színezék adszorbeálódott és degradálódott ($0.92 \text{ mg Szudán IV/ cm}^2$, 90 min megvilágítási idő) a szuperhidrofób, 80 m/m% Ag-TiO₂-ot tartalmazó bevonaton (r-FP), míg a hidrofil metilénkék (MK) vizes oldatból történő fotodegradációja – a rossz nedvesedés miatt – nem volt kivitelezhető.

T2. Összetétellel szabályozható nedvesedéssel és fotoreaktivitással rendelkező Ag-TiO₂/fluoropolimer + poli(2-hidroxietyl-akrilát) (FP+pHEA) kompozit bevonatok porlasztásos filmképzéssel történő kialakítása, morfológiai jellemzése, valamint ezek nedvesedésének, illetve fotoreaktivitásának minősítése Sz/F- és Sz/G-határfelületeken.

T2.1. Új tudományos eredményként Ag-TiO₂/FP+pHEA (poli(2-hidroxietyl-akrilát) kompozit bevonatokat hoztam létre porlasztásos filmképzés révén. A T1. tézispontban szereplő kompozit bevonatok esetén tapasztalt, extrém nedvesedési karakter eléréséhez optimális, 80 m/m% Ag-TiO₂-tartalom megtartása mellett, a mátrixot alkotó két polimer arányát változtatva (0-100% FP) a bevonatok nedvesedése a szuperhidrofóbtól szuperhidrofilig terjedő skálán változtathatónak bizonyult ($\Theta=0-150,9^\circ$). Az extrém nedvesedési karakterek meglétét dinamikus peremszögmérések, valamint az ezeken alapuló felületi szabadenergia-számítások alapján is igazoltam ($\gamma_s^{\text{tot}}=6,5-72,91 \text{ mJ/m}^2$).

T2.2. SEM-felvételek révén igazoltam, hogy az extrém nedvesedési karakter a porlasztás során kialakuló hierarchikus, mikro- és nanoérdesség következménye: a nanoérdesség a primer fotokatalizátor részecskének köszönhető, míg a mikroérdesség kialakulásáért ezek gömbszerű aggregátumai tehetőek felelőssé. A mikroérdesség profilometriás vizsgálata során, a 80 m/m% fotokatalizátor-tartalom felületérdesítő hatását pHEA-tartalmú mátrix esetén is számszerűsítettem (r-PHEA bevonat, $R_q=11,7\pm2,2 \text{ }\mu\text{m}$).

T2.3. A kompozit bevonatok összetételtől és nedvesedéstől függő fotoreaktivitást mutattak mind Sz/G, mind pedig Sz/F-határfelületen. EtOH (g) fotodegradációja ($\lambda=405 \text{ nm}$; $t_{\text{megv}}=1,5 \text{ h}$; $c_0=0,36 \text{ mM}$) során a FP-tartalom növelésével növekvő bontási hatásfokot értem el (51,3-88,3%), míg Sz/F-határfelületen a magas FP-tartalmú kompozitok kevesebb, luminometriásan meghatározható reaktív gyököt képeztek (0,80-3,81 mM H₂O₂-ekvivalens gyökkoncentráció). A tisztán pHEA- és FP-mátrixú kompozitok ellentétes viselkedést mutattak a vizes (MK), valamint a szerves (absz. EtOH) közegben oldott (Szudán IV) modellanyagok fotodegradációja

során: míg a szuperhidrofil kompozit nagy hatásfokkal képes elbontani a vizes közben feloldott MK-t (100%; $t_{\text{megvil.}} = 1,5$ h), addig a szerves közegben feloldott Szudán IV bontási hatásfoka számottevően kisebb (9,2%). A szuperhidrofób bevonat esetében ezzel szemben ellentétes viselkedés tapasztalható, vagyis a jobb nedvesítőképeségű szerves közeg festékmolekula-tartalmát képes fotodegradálni (77,5%).

T3. Külső mágneses térrel szabályozható nedvesedésű és fotoreaktivitású Ag-TiO₂+cFe/PDMS kompozit felületek előállítása mágneses mezőben végrehajtott porlasztásos bevonatképzés révén. A felületek morfológiai- és nedvesedési sajátságainak, valamint Sz/F-határfelületen mutatott fotoreaktivitásának jellemzése.

T3.1. Új tudományos eredményként bemutattam, hogy a látható fényben aktív, plazmonikus Ag-TiO₂ fotokatalizátor nanorészecskékből ($d_{\text{primer}} = \sim 50$ nm), karbonil-vas (cFe) mikrorészecskékből ($d = 0,5-4$ μm), valamint kereskedelmi forgalomban kapható, kétkomponensű Elastosil C1200 poli(dimetil-sziloxán)-ból (PDMS) külső mágneses térrel szabályozható morfológiájú, elastikus kompozit fű állítható elő. A kompozit fű kialakítása során a komponensek toluolos közegű diszperzióját (cFe : PDMS : toluol = 4,5 : 3 : 9; m : m : m) permanens mágnes (0.30 T vagy 0.35 T) elé helyezett üveglapra porlasztottam. A kompozitok Ag-TiO₂-tartalmát a szerkezeti integritás megőrzése érdekében 16,7 m/m%-ban, míg a fű magasságát az objektív összehasonlítás érdekében 3 mm-ben maximalizáltam. A fotokatalitikus tesztek elvégzéséhez a kompozitok fajlagos tömege került egységesítésre ($63,3 \pm 1,6$ mg/cm²).

T3.2. Peremszög- és szakadási szög mérések révén igazoltam, hogy az előállított magnetoreszponzív kompozit fűvek fotokatalizátor-tartalomtól, valamint külső mágneses tértől függő nedvesedéssel rendelkeznek. A fotokatalizátor-tartalom növelése a felületi érdesség – SEM-felvételek révén bizonyított – fokozása révén a kezdeti, merőlegesen kimerevített cFe/PDMS felületek nedvesedését a szuperhidrofób tartományba tolja el ($\Theta = 139,4^\circ \rightarrow 155,2^\circ$). A fotokatalizátor-tartalomból adódó felületi érdességnek köszönhetően már a hordozófelülettel párhuzamos mágneses erővonalak által elfektetett fű is közel szuperhidrofób karakterrel rendelkezik ($\Theta = 136,1^\circ \rightarrow 144,6^\circ$). Mágneses tér hiányában a kompozit fű rendezetlen szálai a vízcseppek nagyobb mértékű penetrációját, ezzel együtt pedig nagyobb adhézios felületet és látszólag hidrofilabb karaktert biztosítanak. A rendezetlen és kimerevített fű nedvesedése közti ezen eltérés kihasználható folyadékmanipulációs feladatok végrehajtása során: mágneses tér

hiányában a kompozit képes vízcseppeket felemelni egy szuperhidrofób felületről, míg mágneses tér jelenlétében képes elengedni azokat.

T3.3. MK-fotodegradációs tesztek révén igazoltam, hogy a 16,7 m/m% Ag-TiO₂-t tartalmazó kompozit fű külső mágneses térrel szabályozható látható fény-fotoreaktivitással rendelkezik: a rendezetlen orientációjú fű külső mágneses tér hiányában 5 órás megvilágítás ($\lambda=405$ nm); során a kezdeti MK-koncentráció (6,25 μ M) $42.1\pm3.5\%$ -át bontotta el, míg a hordozófelületre merőlegesen kimerevített, rosszabbul nedvesedő fűvel kisebb, $22,4\pm3,3\%$ -os bontási hatásfok volt elérhető.

T4. Hőmérséklettel szabályozható nedvesedésű és fotoreaktivitású Ag-TiO₂/PDMS-gr-pNIPAAm kompozit bevonatok kialakítása porlasztásos filmképzés és „doctor blade” technika alkalmazása révén. A felületek morfológiai és nedvesedési sajátosságainak, valamint Sz/F-határfelületen mutatott fotoreaktivitásának jellemzése.

T4.1. Új tudományos eredményként bemutattam, hogy plazmonikus Ag-TiO₂ fotokatalizátor nanorészecskékből ($d_{\text{primer}}=50$ nm), valamint poli(N-izopropil-akrilamid)-dal, atomátadásos gyökös polimerizáció (ATRP) révén ojtott PDMS-ből kompozit bevonatok preparálhatók mind spray-coating, mind pedig „doctor-blade” technikával. A kompozitok kialakítása során oszcillációs reológiai mérések révén tanulmányoztam az ATRP-ojtáshoz felhasznált 10-undecenil-2-bromoizobutirát (INI) felületi iniciátor mennyiségének mechanikai stabilitásra gyakorolt hatását: a kapott G'- és G''-értékek viszonya alapján az INI mennyiségét a PDMS-mátrixra nézve 4,3 m/m%-ban maximalizáltam. Az iniciátor PDMS-mátrixba való beépülésének tényét XPS- (Br 3d csúcs; 70,22 eV), mag az ojtás sikerességét EDX- és Raman-mérésekkel igazoltam. Míg a Raman-spektrumok esetében az ojtás tényét a kettős kötésekre jellemző (1622 cm^{-1}) elnyelési csúcs hiánya és az izopropil-csoportra jellemző, nagy intenzitású csúcs megjelenése (2958 cm^{-1}) bizonyította, addig az EDX-elemtérképezés során a felületi nitrogén-tartalmat 12-17,5 at.%-ban határoztam meg. Az Ag-TiO₂-tartalmú kompozitok töltőanyag-tartalmát a szerkezeti integritás megőrzése érdekében 15 m/m%-ban maximalizáltam.

T4.2. Peremszögmérések révén igazoltam, hogy mind a fotokatalizátor nélküli, mind pedig az azt tartalmazó bevonatok összetétel- és hőmérsékletfüggő nedvesedéssel rendelkeznek: 25 °C-on jellemzően hidrofilabb karakter tapasztalható ($48,0^\circ < \Theta < 108,7^\circ$), ellenben a pNIPAAm

LCST-je (LCST~ 34 °C; DSC-vel meghatározva) felett, 40 °C-on hidrofóbabb karakter ($93,5^\circ < \Theta < 117,5^\circ$) figyelhető meg. Az ojtási NIPAAm-koncentráció (0-10 M) növelése mindkét hőmérsékleten a hidrofób jelleg fokozatos gyengülését eredményezi. A felületi pNIPAAm jelenlétét az is igazolja, hogy LCST-nél kisebb hőmérsékleten a vízcseppek fokozatos, ojtási monomerkoncentrációtól függő mértékű szétterülését tapasztaltam, míg az LCST felett tapasztalt minimális Θ -csökkenés főként a cseppek párolgásának tudható be. A haladó- és hátráló peremszögek alapján számolt felületi szabadenergia-értékek (γ_s^{tot} : $42,12 \pm 5,75 \text{ mJ/m}^2$ 25 °C-on és $8,22 \pm 1,25 \text{ mJ/m}^2$ 50 °C-on) szintén igazolták az Ag-TiO₂/PDMS-gr-PNIPAAm (5 M NIPAAm; 1,3 m/m% INI) kompozit bevonatok termoreszponzív nedvesedési karakterét.

T4.3. MK-fotodegradációs tesztek révén igazoltam, hogy az Ag-TiO₂/PDMS-gr-PNIPAAm (5 M NIPAAm; 1,3 m/m% INI) kompozit bevonatok hőmérséklettel szabályozható látható fény-fotoreaktivitással rendelkeznek: ($\lambda=405 \text{ nm}$; $t_{\text{megvil.}}=5 \text{ h}$) míg 25 °C-on a hidrofilabb kompozit felület a kezdeti MK-koncentráció 36,3%-át bontotta el, mely a fotolizált mennyiséghez (21,1%) képest 15,5%-os hatásfok-növekedés, addig az 50 °C-on hidrofóbabb jelleget mutató felülettel már a fotolízissel (35,2%) megegyező (36,4%-os) bontási hatásfokot értem el. A kiegészítő fotometriás mérések tanulsága szerint a MK termikus degradációja a kapott bontási hatásfokokra nem gyakorolt számottevő hatást.

T5. Öngyógyuló tulajdonsággal rendelkező szuperhidrofób és fotoreaktív Ag-TiO₂/PDMS oleogél kompozit bevonatok kialakítása porlasztásos filképzéssel, valamint a preparált bevonatok morfológiájának, nedvesedésének és öngyógyító karakterének jellemzése, illetve fotoreaktivitásának minősítése Sz/G-határfelületen.

T5.1. Új tudományos eredményként olyan dodecil-trikloroszilánt (DDSiCl₃) és szilikonolajat tartalmazó, Ag-TiO₂/PDMS oleogél kompozit felületeket hoztam létre porlasztásos filmképzés és tömbi fázisú mintapreparálás révén, melyek hierarchikus felületi érdességgel ($R_q=13.8 \pm 1.4 \mu\text{m}$) és szuperhidrofób karakterrel ($\Theta=151,6^\circ$) rendelkeztek. A géles jelleg megőrzése érdekében a fotokatalizátor-tartalmat 25 m/m%-ban maximalizáltam.

T5.2. A tömbi fázisú oleogélek öngyógyító sajátosságát a gél/levegő-határfelületen, páratartalom hatására képződő érdes szilán-réteg egymás utáni többszöri eltávolítása és újra növesztése révén igazoltam. UV-VIS diffúz-reflexiós spektroszópiai mérések alapján az első felületi réteg kialakulása 25 °C-on, 100%-os relatív páratartalom mellett közel 6 órát vesz igénybe.

T5.3. Gázkromatográfiás mérések révén igazoltam, hogy Ag-TiO₂/PDMS oleogél kompozit számottevő fotoreaktivitást mutat Sz/G-határfelületen, EtOH (g) fotodegradációja során ($\lambda=405$ nm; $t_{\text{megvil.}}=90$ min; $c_0=0,36$ mM; 50,8 %-os degradációs hatásfok).

Publikációs lista

MTMT-azonosító: 10064997

A doktori disszertációhoz kapcsolódó publikációk:

[1] **Mérai L**, Varga N, Deák Á, Sebők D, Szenti I, Kukovecz Á, Kónya Z, Dékány I, Janovák L. *Preparation of photocatalytic thin films with composition dependent wetting properties and self-healing ability*. Catal Today 2019;328:85–90. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.10.015>

IF=5.875

[2] **Mérai L**, Deák Á, Sebők D, Csapó E, Kolumbán TS, Hopp B, Dékány I, Janovák L. *Photoreactive composite coating with composition dependent wetting properties*. Express Polym Lett 2018;12:1061–71.

<https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2018.93>

IF=2.875

[3] **Mérai L**, Deák Á, Sebők D, Kukovecz Á, Dékány I, Janovák L. *A Stimulus-Responsive Polymer Composite Surface with Magnetic Field- Governed Wetting and Photocatalytic Properties*. Polymers 2020;12:1890. <https://doi.org/10.3390/polym12091890>

IF=4.329

[4] **Mérai L**, Deák Á, Szalai B, Samu GF, Katona G, Janovák L. *Visible light-photoreactive composite surfaces with thermoresponsive wetting and photocatalytic properties*. Express Polym Lett 2022;16:34–51. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2022.4>

IF=3.952

Kapcsolódó publikációk: Σ IF=17.031

Egyéb publikációk:

[5] **Mérai L**, Imre-Deák Á, Dékány I, Janovák L. *Utilization of Solid/ Liquid Phase Boundary Interactions on functional surfaces: Fundamentals, Recent Advances and General Considerations – A Unifying Approach*. Adv Colloid Interface Sci 2022;303:102657.

<https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102657>

IF=12.984

[6] Abdelghafour MM, Imre-Deák Á, **Mérai L**, Janovák L. *Photoreactive Composite Coatings with Tunable Surface Wetting Properties and Their Application Possibilities*, in *Green Photocatalytic Semiconductors – Recent Advances and Applications* (Springer), Ed.: Garg S, Chandra A 2022, p. 209–56. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77371-7_8 (book chapter)

[7] Janovák L, Dernovics Á, **Mérai L**, Deák Á, Sebők D, Csapó E, et al. *Microstructuration of poly(3-hexylthiophene) leads to bifunctional superhydrophobic and photoreactive surfaces*. Chem Commun 2018;54:650–3. <https://doi.org/10.1039/C7CC07671A>

IF=6.164

[8] Janovák L, Turcsányi Á, Bozó É, Deák Á, **Mérai L**, Sebők D, et al. *Preparation of novel tissue acidosis-responsive chitosan drug nanoparticles: Characterization and in vitro release properties of Ca^{2+} channel blocker nimodipine drug molecules*. Eur J Pharm Sci 2018;123:79–88. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2018.07.031>

IF=3.532

[9] Mótyán G, **Mérai L**, Kiss MA, Schelz Z, Sinka I, Zupkó I, et al. *Microwave-assisted synthesis of biologically relevant steroidal 17- exo -pyrazol-5'-ones from a norpregnene precursor by a side-chain elongation/heterocyclization sequence*. Beilstein J Org Chem 2018;14:2589–96. <https://doi.org/10.3762/bjoc.14.236>

IF=2.595

[10] Lantos E, **Mérai L**, Deák Á, Gómez- Pérez J, Sebők D, Dékány I, et al. *Preparation of sulfur hydrophobized plasmonic photocatalyst towards durable superhydrophobic coating material*. J Mater Sci Technol 2020;41:159–67. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.04.046>

IF=8.067

[11] **Mérai L**, Rajkumar T, Janovák L, Sági A, Szent I, Nagy L, et al. *Sulfur nanoparticles transform montmorillonite into an inorganic surfactant applicable in thermoplastics processing*. Polym Test 2020;85:106419. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106419>

IF=4.282

[12] **Mérai L**, Janovák L, Kovács DS, Szent I, Vásárhelyi L, Kukovecz Á, et al. *Fast optical method for characterizing plasmonic nanoparticle adhesion on functionalized surfaces*. Anal Bioanal Chem 2020;412:3395–404. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02307-x>

IF=4.157

[13] Abdelghafour MM, Deák Á, **Mérai L**, Ágoston Á, Béltéki R, Sebők D, et al. *Photocatalytic elimination of interfacial water pollutants by floatable photoreactive composite nanoparticles*. Environ Pollut 2020;266:115285. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115285>

IF=8.071

[14] Kiss T, Katona G, **Mérai L**, Janovák L, Deák Á, Kozma G, et al. *Development of a Hydrophobicity-Controlled Delivery System Containing Levodopa Methyl Ester Hydrochloride Loaded into a Mesoporous Silica*. *Pharmaceutics* 2021;13:1039. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13071039>

IF=6.290

[15] Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Tallósy S P, Dékány I. *Öntisztuló felületek alkalmazása szerves anyagok eliminálására, ill. biológiai rendszerek ártalmatlanítására*. *Magy Kémiai Folyóirat*. 2019;125:83–90. <https://doi.org/10.24100/MKF.2019.02.83>

[16] Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Dékány I. *Vízlepergető és fény hatására öntisztuló vékonyrétegek*. *Magy Kem Lapja*. 2018;2:48-52.

[17] Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Tallósy S P, Nagy E, Dékány I, *A nanorészecskék antimikrobiális hatásai*. Semmelweis felismerésének határokát áttörő üzenete – Semmelweis-emléknap tanulmánykötet, Pécsi Akadémiai Bizottság, Pécs, 2020, ISBN 978-963-429-466-5 DOI: 10.15170/EKTK.2019.00002 (könyvfejezet)

Egyéb publikációk: ΣIF=56.142

Összes publikáció: ΣIF=73.173

Szabadalom:

2021: „Készítmény és eljárás szuperhidrofób és fotokatalitikus hatással rendelkező bifunkciós vékonyrétegek kialakítására - COMPOSITION AND PROCESS FOR THE PREPARATION OF BIFUNCTIONAL THIN LAYERS WITH SUPERHYDROPHOBIC AND PHOTOCATALYTIC EFFECTS” (előzetes szabadalmi oltalom alatt).

Inventors: Dr. Janovák László (50%), Dr. Dékány Imre (20%), Deák Ágota (10%), **Mérai László (10%)**, Varga Norbert (10%).

Patent application number: P2100009/11

Konferencia előadás:

(1) **Mérai L**, Frank É. *Farmakológiailag aktív 17-exo-pirazolin- 5'-onok mikrohullámú szintézise az androsztán sorban* A Szegedi Ifjú Szerves Kémikusok Támogatásáért Alapítvány 15. tudományos előadóülése, Szeged, Hungary, 12.5.2016.

(2) **Mérai L**, Frank É. *Androsztánvázis 17-exo-pirazolin-5'-onok Knorr-típusú szintézise és farmakológiai jellemzése* V. Eötvözet Konferencia, Szeged, Hungary, 8-9.4.2016.

2017:

(3) **Mérai L**, Frank É. *Farmakológiaiailag aktív androsztánvázis 17-exo-pirazolin-5'-onok Knorr-típusú szintézise* XI. Szent-Györgyi Albert Konferencia, Budapest, Hungary, 7-8.4.2017.

(4) Janovák L, Deák Á, Mérai L, Dékány I. *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, 18-23.3.2018.

(5) **Mérai L**, Deák Á, Janovák L. *A felületi érdesség hatása fotoreaktív vékonyrétegek nedvesedési tulajdonságaira* VII. Eötvözet Konferencia, Szeged, Hungary, 6-7.4.2018.

(6) **Mérai L**, Janovák L, Deák Á. *Bifunkciós vékonyrétegek kialakítása és fejlesztése* XII. Szent-Györgyi Albert Konferencia, Budapest, Hungary, 20-21.4.2018.

(7) Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Dékány I. *Preparation of photocatalytic thin films with composition dependent wetting properties* 10th European meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA10), Almería, Spain, 4-8.6.2018.

(8) **Mérai L**, Deák Á, Janovák L, Dékány I. *Preparation of multifunctional coatings with composition dependent wetting and photocatalytic activity* 17th European Student Colloid Conference (ESC2019), Varna, Bulgaria, 18-22.6.2022.

(9) Janovák L, **Mérai L**, Deák Á, Dékány I. *Preparation of designed polymers and composites for the synthesis of multifunctional surfaces and intelligent drug release systems* European Polymer Congress, Heraklion, Greece, 9-14.6.2019.

(10) Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Dékány I. *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, Türkiye, 12-18.5.2019.

(11) Dékány I, Deák Á, **Mérai L**, Janovák L *Surface cleaning and antibacterial properties of nanohybrid thin films using solar energy driven photocatalyst* 4th International Congress on Biomaterials and Biosensors (BIOMATSEN), Ölüdeniz, Türkiye, 12-18.5.2019.

(12) Kiss T, Katona G, **Mérai L**, Janovák L, Szabó-Révész P, Ambrus R. *Release Control of Levodopa methyl ester hydrochloride by loading into modified silica* Medical Conference for PhD Students and Experts of Clinical Sciences, Pécs, Hungary, 16-17.10.2020.

(13) **Mérai L**, Deák Á, Abdelghafour M M, Sebők D, Dékány I, Janovák L. *Application of Photocatalytic Filler Materials for the Preparation of Functional Composites with Designed*

Properties The 5th International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM-5) & The 6th International Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces (PAOT-6), Szeged, Hungary, 24-27.5.2021. (online conference)

(14) Janovák L, Deák Á, **Mérai L**, Abdelghafour M M, Dékány I. *Functional Surfaces with Designed Wetting and Photocatalytic Properties* The 5th International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability (NPM-5) & The 6th International Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces (PAOT-6), Szeged, Hungary, 24-27.5.2021. (online konferencia)

(15) Janovák L, **Mérai L**, Abdelghafour M M, Imre-Deák Á, Dékány I. *Preparation of photocatalytic composites with designable wetting properties and their potential applications* 11th European Conference on Solar Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA11), Turin, Italy, 6-10.6.2022.

(16) **Mérai L**, Deák Á, Janovák L. *Composite coatings with thermoresponsive wetting and visible light photoreactivity* 18th European Student Colloid Conference (ESC2022), Szeged, Hungary, 26-30.6.2022.

Konferencia poszter:

(1) Baji Á, Frank É, Kovács D, **Mérai L** *Microwave-assisted access to novel steroidal 17 β -3'-pirazole-5'-ones IX*. Joint Meeting in Medicinal Chemistry, Athens, Greece, 7-10.6.2015.

Janovák L, **Mérai L**, Deák Á, Dékány I. *Polymer filler material tailored wetting of composite surfaces*, 8th Szeged Workshop on Advances in Nanoscience (SIWAN 8), Szeged, Hungary, 7-10.10.2018.

(2) **Mérai L**, Deák Á, Dékány I, Janovák L. *Preparation of composite layers to enhance surface roughness durability* 8th Szeged Workshop on Advances in Nanoscience (SIWAN 8), Szeged, Hungary, 7-10.10.2018.

(3) Dékány I, **Mérai L**, Deák Á, Janovák L. *Preparation of low energy polymer based photoreactive composite layers to enhance surface roughness durability* European Polymer Congress, Heraklion, Greece, 9-14.6.2019.

(4) Dékány I, **Mérai L**, Sebők D, Janovák L, Szentí I, Nagy L, Kukovecz Á, Kónya Z. *Mechanical and photocatalytic properties of concrete/titanium dioxide/polymer composites*

with controlled structures 3rd International Conference on Polycarboxylate Superplasticizers (PCE 2019), Munich, Germany, 24-25.09.2019.

(5) **Mérai L**, Deák Á, Abdelghafour M M. *Degradation of organic pollutants by the help of intelligent photoreactive surfaces* EUGLOH Annual Student Research Conference, Szeged, Hungary, 28-30.9.2020. (online conference)

(6) Kiss T, Katona G, **Mérai L**, Janovák L, Ambrus R. *Investigation of surface modified mesoporous silicas loaded with an antiparkinsonian active substance* 13th Central European Symposium on Pharmaceutical Technology, Gdańsk, Poland, 16-18.9.2021.

(7) Janovák L, **Mérai L**, Abdelghafour M M, Imre-Deák Á, Dékány I. *Preparation of photocatalytic composites with designable wetting properties and their potential applications* 11th European Conference on Solar Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA11), Turin, Italy, 6-10.6.2022.