

Látszik-e fény az alagút végén?

Damoklész kardjaként függ fejük fölött az újabb tanügyi reform. Ebbe nekünk, pedagógusoknak semmiféle beleszólásunk nincs, az állam még az egyetemeket és a Magyar Tudományos Akadémiát sem tekint partnernek, nemhogy bennünket, mezzei tanárokat. A kémiatanítás bizonyos szinten fínt fog maradni, mert az orvosi egyetem mindenképp, talán a vegyész- és vegyészmérnökképzés is megköveteli a kémia érettségét, pontosabban szólva a középiskolából hozott kémiatudást.

Ha őszinte akarok lenni, kevés fény van az alagút végén. A kémiatanárok számára

Így is lehet, ha nincs elszívófülke:
aluminium és jód reakciója



egzisztenciális kérdés is, megmarad-e az általunk tanított tárgy, esetleg átképző tanfolyamot kell majd elvégeznünk, hogy botcsinálta *science*-tanárok lehessünk. Ha angoltanárnak megyek, nem kellene félnem, hogy állás nélkül maradok.

Kémiatanárként azonban csak közhelesen, de szívből jövően azt tudom mondani: igyekezzünk helyt állni a saját vár-tánkon! Más a teendő az elitgimnáziumokban és más a végeken. A hetedikesek zöme még vevő a kísérletekre. Tucatnyi olyan egyszerű és szemléletformáló tanulói (pl. a párolgás endoterm voltának bemutatása tisztaszex és egy vattába csomagolt fejű hőmérő segítségével, az zsilettpege és a felületi feszültség, az oxí-aktív mosópor, azaz a nátrium-perkarbonát „titka”) és demonstrációs kísérlet létezik, amely minimális előkészületet igényel, és gyakorlatilag mosogatni sem kell utána. [11] Ezek heti 26 óra mellett, laboráns nélkül is elvégezhetőek! Diákjaink tizedikesként már kritikusabban viszonyulnak a kémiához, ami ekkor többségük számára kifutó modell. Ekkor még fontosabb a jó viszony fenntartása: szemléletformálás, érdekességek, kísérletek. A bölcsek köve helyett csak kliséket tudtam javasolni. Tennünk kell azért, hogy a most fölnevelendő nemzedék kémiához való hozzáállása jobb legyen; ez a természettudományos oktatás főnmaradásának záloga!

IRODALOM

- [1] Sipos Pál: Az „alternatív” tudományok „Kész átverés show”-ja. A kémia tanítása, 19. évf. (2011) 1. 12–15.
- [2] Shock and law. Nature (2012) Vol. 490, No. 7421 (25 October), 446.
- [3] Time Magazine (1947) Vol. 49, No. 26 (30 June).
- [4] Schödl Gábor: Jenőke – Mesélek... Online elérhetőség: <http://iroklub.napvilag.net/iras/7561>. (A honlapok esetében az utolsó látogatás időpontja: 2018. augusztus 31.)
- [5] Gálík Péter: Diák Murphy, avagy a problémák kezdete nem esik egybe a felnőttkor kezdetével. Bp., Gulliver, 1991. 34.
- [6] Móra Ferenc: A Pál utcai fiúk. Bp., Franklin, 1907. 3. (idézet), 4–5. közötti lap (kép).
- [7] http://dload.oktatas.educatio.hu/erettsegi/feladatok_2018tavas_z_emelt/e_kem_18maj_f1.pdf. 4. feladat 1. kérdés.
- [8] Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok. Bp., Nemzeti Tankönyvkiadó, 2007. 292–293., 294–295. Az ún. „sárga” függvénytábla korrektebb, mert bár az argon atomsugara nincs benne feltüntetve, a kovalens atomsugarak a harmadik periódusban végig csökkenő tendenciát mutatnak. Matematikai, fizikai, kémiai összefüggések. Négyjegyű függvénytáblázatok. Bp., Nemzeti Tankönyvkiadó, 2007. 258–267.
- [9] Hunyady Györgyné, M. Nádasi Mária, Serfőző Mónika: Fekete pedagógia. Bp., Argumentum, 2006. 96.
- [10] Fenti eszmefuttatásom inkább személyes meggyőződés, mintsem tudományos kutatási eredmény. Ugyanezen témát szakavatottan tárgyalja Tóth Zoltán: Korszerű kémia tantárgy-pedagógia. (Híd a pedagógiai kutatás és a kémiaoktatás között.) Debrecen, Debreceni Egyetemi Kiadó, 2015. (SZAKTÁRNET-könyvek 5.) 23–56. Online elérhetőség: http://tanarkepzes.unideb.hu/szaktarnet/kiadvanyok/korszeru_kemia_tantargypedagogia.
- [11] Kémiai kísérletek az általános iskolákban. Szerk. Szalay Luca. Bp., ELTE, 2016. [csak elektronikusan érhető el: ttomc.elte.hu/sites/default/files/kiadvany/kemiai_kiserletek_altalanos_iskolakban_0.pdf] 26–27., 104–107., 126–127.

Janovák László – Deák Ágota – Mérai László – Dékány Imre

■ SZTE Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék | janovakl@chem.u-szeged.hu

Vízlepergető és fény hatására öntisztuló bifunkciós vékonyrétegek*

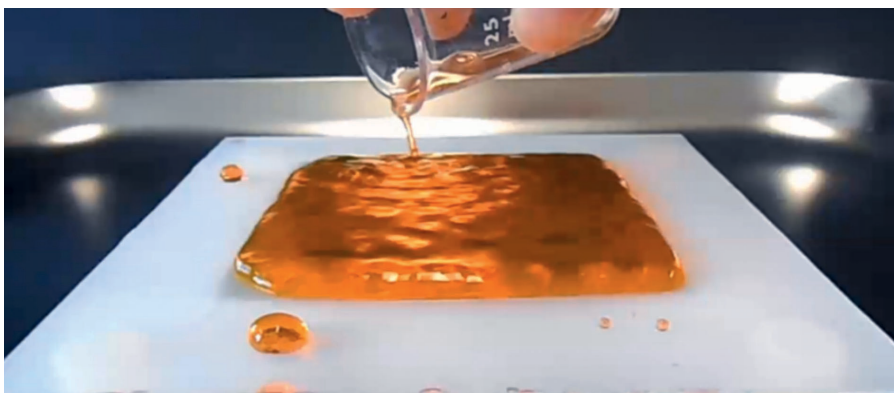
Bevezetés

Szabályozott összetételű és hangolható tulajdonságokkal rendelkező nanoszerkezetű rendszerek előállításával új funkcionális anyagokat és többfunkciós bevonatokat

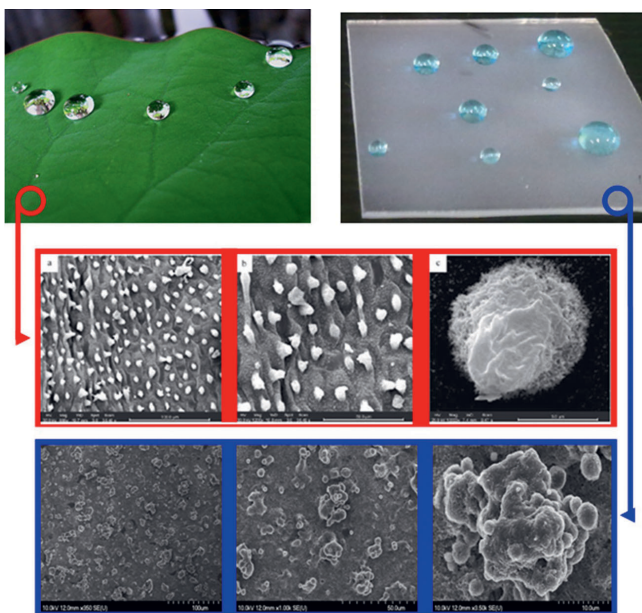
* Ezzel a munkával a SZAB 2017. évi Innovációs pályázatán I. díjat nyert Janovák László adjunktus.

hozhatunk létre [1–3]. Ezek a rendszerek értékes információt adhatnak, illetve előnyösen használhatók mindazon területeken, ahol a határfületnek, a határfületi jelenségeknek szerepe van, például (foto)-katalízis, szenzorika, napelemek, plazmonika, de a szennyezőanyagok detektálása és ártalmatlanítása vagy a megújuló energiaforrások kiaknázása terén is.

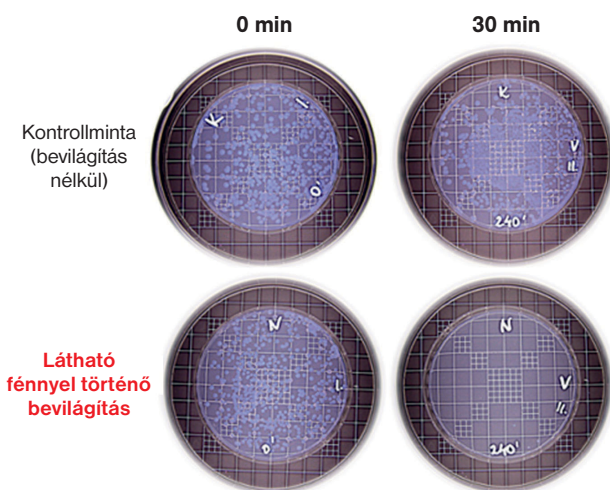
A természet által kidolgozott technológiai megoldásokat az anyagtudományi kutatásokkal foglalkozó szakemberek mindinkább igyekeznek kihasználni úgy, hogy az így kidolgozott, ún. bioinspirált megoldásokat a legkülönbözőbb területeken alkalmazhassák. Jól ismert például, hogy az öntisztuló tulajdonságokkal rendelkező lótuszvirág levelét és virágát a víz és más fo-



1. ábra. A kis felületi energiával rendelkező mesterséges szuperhidrofób bevonat víztaszító tulajdonságának köszönhetően a kb. 1 cm vastag (megfestett) vízszlop nem terül szét oldalirányba a kialakított lótuszszerű felületen



2. ábra. A természetes lótuszlevél (*Nelumbo nucifera*) és a kidolgozott mesterséges bevonat fotója a felületi vízcseppekkel ($\Theta > 150^\circ$), valamint a rétegek finomszerkezete (pásztázó elektronmikroszkópos felvételek)



3. ábra. *Escherichia coli* ATCC29522 tesztbaktériumok telepeinek fotói a fotokatalizátor-részecskékkel történő bevilágítás hatására és a kontrollfelületen

lyadékok nem nedvesítik, olyan csepp képződik rajtuk, amely nem tapad meg a növények felületén, hanem leperog arról, sőt közben a növényen található szennyeződések is eltávolítja. Ennek köszönhetően a mesterségesen kialakított lótuszszerű felületek vízlepergető, öntisztuló tulajdonságokkal bírnak (1. ábra).

W. Barthlott és N. Ehler német botanikusok 1970-es években végzett kutatásai alapján [4] a növényi részekben lévő mikroszkopikus méretű felületi képletek szabályos mintázata teszi a leveleket nagymértékben vízlepergetővé; a víznedvesítési peremszög, azaz kontaktszög (Θ) igen nagy, elérheti, sőt meg is haladhatja a 150° -ot is,

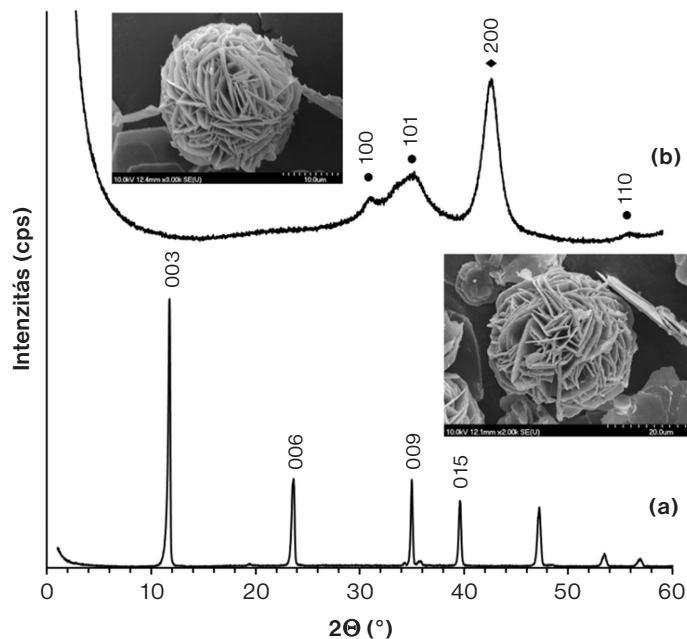
ebben az esetben szuperhidrofób felületről beszélünk (2. ábra). Így a témával foglalkozó szakemberek a legkülönbözőbb műszaki megoldásokkal igyekeznek mesterségesen kialakítani a lótuszlevél finom mikro-, ill. nanométeres skálán is tapasztalható fraktálszerű szerkezetét [5, 6].

Az öntisztuló felületek egy másik nagy csoportját a fotokatalitikus tulajdonságokkal rendelkező vékonyrétegek képviselik, melyek preparálásával és környezetvédelmi, egészségügyi, mikrobiológiai és orvosi biológiai alkalmazási lehetőségeivel munkacsoportunk évek óta foglalkozik [7, 8]. A fotokatalízis fény által kiváltott katalitikus folyamat, mely során a megfelelő hullámhosszúságú sugárzás gerjeszti a félvezető-oxid alapú fotokatalizátor-részecskéket (pl. TiO_2 , vagy ZnO), és ennek hatására reaktív gyökök keletkeznek. Ezek a reaktív gyökök [pl. szuperoxid (O_2^-), hidrogénperoxid (H_2O_2) vagy hidroxilgyök (HO^\cdot)] megfelelően nagy oxidációs potenciállal rendelkeznek ahhoz, hogy a különböző szerves anyagokat fotodegradálják, lebontsák [9]. E tulajdonságaiknak köszönhetően előnyösen alkalmazhatók szennyezőanyagok fotodegradációjára [7], de akár felületek mikrobiális fertőtlenítésére is [8]. A 3. ábra például azt demonstrálja, hogy látható fénnel történő bevilágítás alkalmazása mellett az *Escherichia coli* ATCC29522 tesztbaktériumok elpusztultak, amit jól mutat, hogy 30 perc bevilágítási idő után a kiindulási telepszám nullára csökkent. Ez a telepszám-csökkenés a kontrollminta esetében nem volt megfigyelhető: ez igazolja, hogy a baktérium inaktíváló, azaz az antibakteriális hatásért a bevilágítás hatására képződött szabadgyökök a felelősek.

A bemutatott lótuszvirág-effektuson alapuló vízlepergető és öntisztuló tulajdonságokkal, illetve a fotokatalitikus öntisztuló tulajdonságokkal rendelkező felületek külön-külön jól ismertek a szakirodalomban és különböző gyakorlati alkalmazási módjuk is egyre inkább elterjedt. Ennek ellenére jelenleg nem ismeretes olyan műszaki megoldás, piacon rendelkezésre álló termék, mely sikeresen ötvözné a fenti felületek előnyös tulajdonságait. Célunk volt tehát olyan többfunkciós bevonatok fejlesztése, melyek alkalmazásával egyszerre tudunk elérni vízlepergető és fotokatalitikus hatást a bevonattal ellátott felületeken.

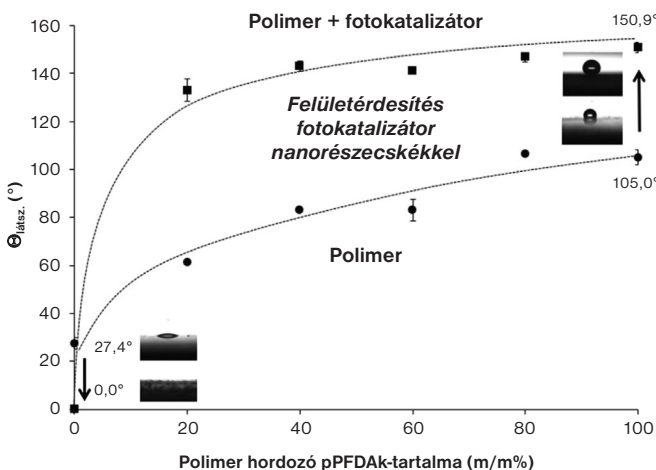
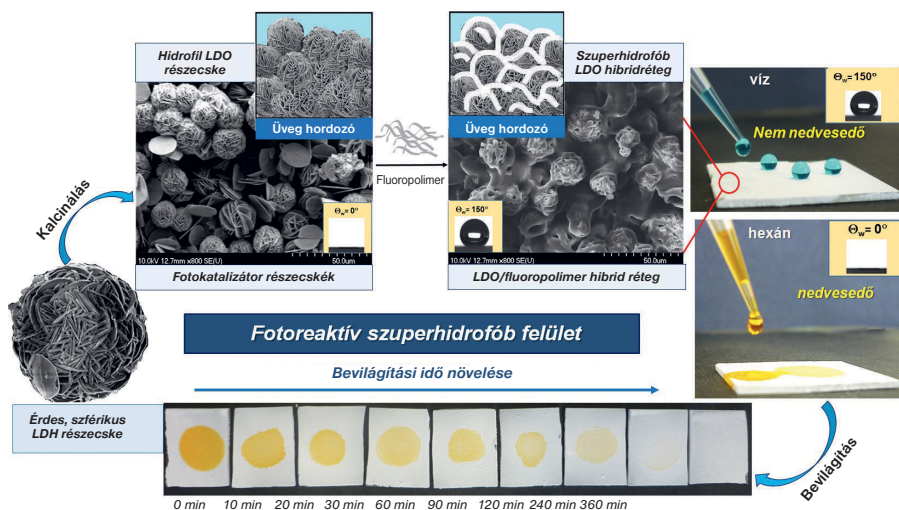
Szuperhidrofób és fotoreaktív felületek

A fent bemutatottak alapján vízlepergető felületek kialakításához egy kis felületi ener-



4. ábra. A kiindulási réteges kettős hidroxid (a) és a 600 °C-on előállított réteges kettős oxid (b) porminta röntgendiffraktogramjai és SEM-felvételei [1]

5. ábra. A fotoreaktív és szuperhidrofób kettős tulajdonságokkal rendelkező réteges kettős oxid (LDO)/fluoropolimer hibrid réteg sematikus ábrája és SEM-felvételei. A kék színű vízcseppek nem nedvesítik a kialakított filmet, míg az apoláros, sárga színű (szudán I) festékkoldat szétterül a rétegen, de ezt követően fotodegradációt szenved



6. ábra. Desztillált víz tesztfolyadék alkalmazása során kapott peremszögértékek a kiindulási sík felületű polimer rétegek és a fotokatalizátor-részecskével érdesített kompozitfilmek esetében a polimer hidrofobicitásának függvényében ($T = 25 \pm 0,5^\circ \text{C}$)

giával rendelkező, ún. teflonszerű felületet kell megfelelő felületi érdességgel ellátni. A kettős tulajdonságokat mutató felületek kialakításának elvi lehetőségét az adta, hogy 2015-ben munkacsoportunk sikeresen szintetizált egy olyan réteges kettős hidroxid (LDH) alapú fotokatalizátor-részecskét, mely speciális morfológiával rendelkezett: az LDH-lamellák speciális, sugárirányú elrendeződésének köszönhetően a kialakult mikronos részecskék felülete strukturált, érdes jellegűt mutatott [10]. Az LDH-részecskék kihevítése után – köszönhetően a kiindulási LDH cinktartalmának – cink-oxid fázis is keletkezett, mely jól ismert félvezető fotokatalizátor; a részecskék gerjesztési küszöbenergiája 3,23 eV-nak adódott (4. ábra).

Jól ismert azonban, hogy a „hagyományos” félvezető-oxid alapú fotokatalizátor-részecskék bevilágítás hatására ún. szuperhidrofil tulajdonságokat mutatnak, azaz a víz nagyon jól nedvesíti a felületüket, a mért kontaktszög közel nulla. Ezért a kiindulási hidrofil fotokatalizátor-részecskék által képzett vékonyréteg felületi energiáját csökkenteni kellett, melyet fluoropolimer alkalmazásával valósítottunk meg. A kis energiájú polimer szerepe volt továbbá a részecskék felületi rögzítése is.

Az így előállított kompozitrétegekben tehát a fotokatalizátor-részecskék biztosították a megfelelő felületi érdességet és a fotoreaktív tulajdonságokat, míg a fluoropolimer szerepe volt a részecskék rögzítése és a felületi energia csökkentése. Ennek köszönhetően a vékonyréteg egyszerre mutatott fotokatalitikus és vízlepergető tulajdonságokat (5. ábra).

Az LDO fotokatalizátor-részecskék felületi energiájának csökkentése után a kialakított kompozitfilm szuperhidrofób tulajdonságokat mutatott, azaz a vizes metilénkék festékkoldat nem nedvesítette a felületét, még az apoláros (szudán I festékkel megfestett) hexánfolyadék szétterült a rétegen, de a kialakult festékkolt UV-fénnyel történő bevilágítás hatására fotooxidálódott, eltűnt a felületről. Bifunkcionális bevonat, illetve bevonatképző anyag alkalmazásával ötvözni lehet a kis energiájú folyadéklepergető felületek és az öntisztuló és antibakteriális tulajdonságokkal rendelkező fotokatalitikus vékonyrétegek kedvező fotokatalitikus tulajdonságait. Azaz a vékonyrétegek egyszerre mutatnak szuperhidrofób és fotokatalitikus tulajdonságokat.

A hibrid rétegek szerves polimer komponensének változtatásával arra is lehetőségünk van, hogy a kialakított vékonyréteg nedvesedési tulajdonságait tetszőleges mó-



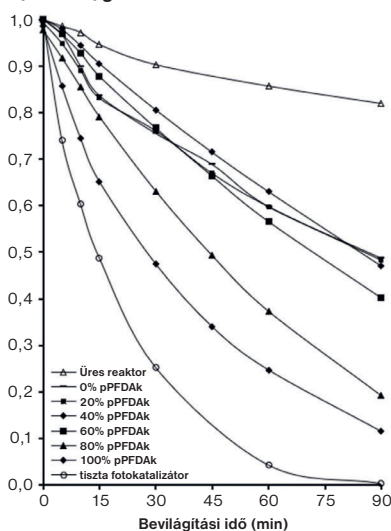
don szabályozzuk. Ebből kiindulva változó polaritással rendelkező kopolimereket szintetizáltunk úgy, hogy egy hidrofíli (2-hidroxietil-akrilát, a továbbiakban: HEA) és hidrofób (perfluorodecyl-akrilát, a továbbiakban: PFDAk) akril-monomer arányát szisztematikusan változtattuk. Az így szintetizált kopolimerekből képzett vékonyrétegek nedvesedése szabályozható volt az összetétellel: a hidrofób PFDAk monomer arányának növekedésével a desztillált víz testfolyadékra mért peremszög $\Theta = 27,4^\circ$ -ról $105,0^\circ$ -ra nőtt (6. ábra). Jól ismert, hogy a felületi érdesség növekedése a felület nedvesedési tulajdonságait fokozza. Ezt a jelenséget kihasználva a polimer filmek érdességét jelen esetben is fotokatalizátor részecskével növeltük.

Ennek köszönhetően a hidrofíli poliHEA vékonyrétegre mért $27,4^\circ$ -os peremszög 0° -ra csökkent, még a hidrofób poliPFDAk filmre mért peremszög $\Theta = 105^\circ$ -ról $150,9^\circ$ -ra nőtt (6. ábra). Az olyan fotokatalizátor-tartalmú vékonyrétegeket sikerült előállítanunk, melyek extrém nedvesedési tulajdonságokkal rendelkeztek, ráadásul a nedvesedési tulajdonságok az összetétellel szabályozhatók a szuperhidrofíltól a szuperhidrofób tartományig, fotokatalitikus tulajdonságaikat pedig mind szilárd/gáz, mind szilárd/folyadék határfelületen igazoltuk.

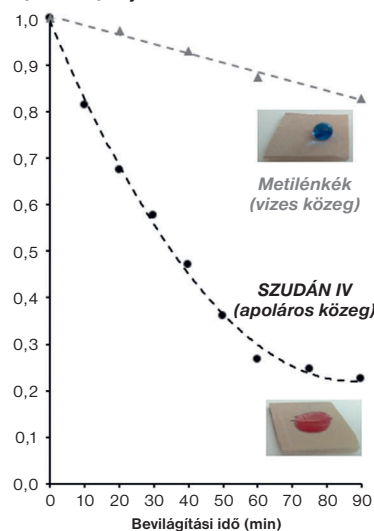
A 7.a ábrán az etanolgőz, mint alkalmazott illékony szerves modellvegyület, koncentrációjának csökkenését tüntettük fel a LED-fénnyel történő bevilágítási idő függvényében. Láthatjuk, hogy – a fotokatalizátort nem tartalmazó kontrollminta kivételével – az összes vékonyréteg fotokatalitikus tulajdonságot mutatott szilárd/gáz határfelületen (7.b ábra) a szuperhidrofób film fotokatalitikus tulajdonságait igazoltuk, ugyanis a szuperhidrofíli tulajdonságokkal rendelkező bevonatok fotoreaktív tulajdonsága már régóta jól ismert a szakirodalomban [9].

A szuperhidrofób film fotokatalitikus tulajdonságait a réteg nedvesedése határozta meg: mivel a hidrofíli modellanyag (vizes metilénkékoldat) nem nedvesítette a felületet, így ennek a fotodegradációja elhanyagolható volt. Az apoláris (szudán IV festékmolekula etanolban oldva) közeg esetében viszont a jó nedvesedés következtében egyértelmű volt a fotokatalitikus hatás: 90 perc alatt kiindulási, $c_0 = 0,25 \text{ mg/mL}$ -es festékkoncentráció több mint 80%-a fotooxidációt szenvedett. Ez a fajta szelektív nedvesedés által előidézett felületi adszorpció, illetve fotooxidáció érdeklődésre tarthat számot mindazokon a területeken, ahol eltérő hidrofilitású rendszereket kell

a) szilárd/gáz határfelület



b) szilárd/folyadék határfelület



7. ábra. Etanolgőz ($c_0=0,36 \text{ mM}$) koncentrációjának csökkenése a különböző összetétellel rendelkező fotoreaktív filmekben (a); a vizes metilénkék ($c_0=0,002 \text{ mg/mL}$) és szerves közegű szudán IV ($c_0=0,25 \text{ mg/mL}$) festékkoldatok fotodegradációja a szuperhidrofób kompozitfilmen (b)

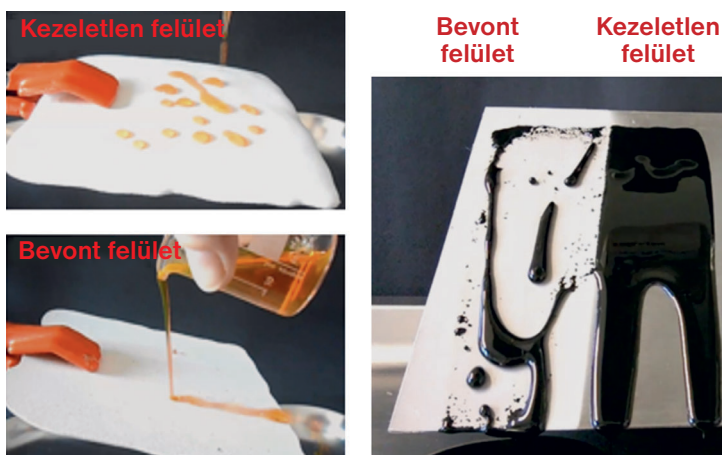
egymástól elválasztani. Például a víztisztítás területén a szerves szennyezőanyagok nagyon gyakran csak kis koncentrációban vannak jelen a közegben, így a hidrofób tulajdonságú szennyezőanyagok fotoreaktív hordozón történő preferált adszorpciója előnyös lehet. A szelektív, preferált szennyezőanyag-adszorpciónak köszönhetően nagy mennyiségű közeget lehetne hatékonyan megtisztítani egy ilyen réteggel bevont nagy felületű töltetes oszlopon, ugyanis – szemben a jelenlegi megoldásokkal – jelen esetben az oldószer (azaz közeg) molekulái nem nedvesítenék a fotoreaktív adszorbens felületét, csak a hidrofób szerves szennyezőanyagok. A szelektív adszorpciót követően azután az apoláris szennyezőanyagok – megfelelő hullámhosszúságú fény alkalmazása mellett – fotokatalitikusan ártalmatlaníthatók is.

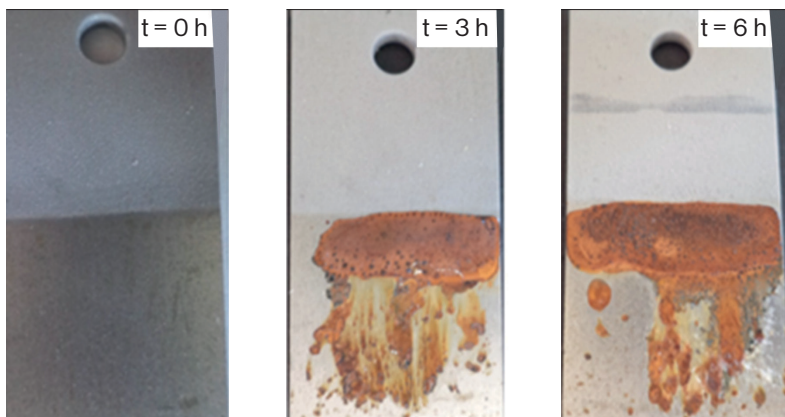
Alkalmazási lehetőségek

Szuperhidrofób és fotokatalitikus tulajdonságainak köszönhetően a kidolgozott bevonat előnyösen alkalmazható mindazon területeken, ahol a víz, jég, por, felületi szennyeződések vagy mikroorganizmusok jelenléte problémát okoz, mert a bevonat hatására a felület nem nedvesedik, nem jegesedik, nem korrodál, fotokatalitikusan öntisztuló és antibakteriális tulajdonságokra tesz szert. Vízlepergető tulajdonságainak köszönhetően meg tudjuk változtatni a kiindulási felületek nedvesedési tulajdonságait, legyen szó akár fém-, beton-, fa-, csempe-, üveg- vagy műanyag felületről (8. ábra).

A fémfelületek korrózióvédelme nagy problémát jelent világszerte, gondoljunk itt például az épületek különböző szerke-

8. ábra. A bevonattal ellátott műanyag (telítetlen poliszter gyanta) és fémfelületek nedvesedési tulajdonságai víz és nyersolaj folyadékok esetében



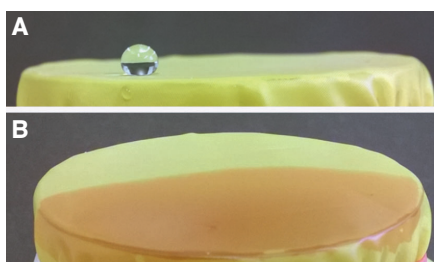


9. ábra. A vízlepergető bevonat korróziógátló hatása az acélemez felületére: a kialakított réteg hatására a lemez felső felülete nem rozsdásodott, míg az alsó, bevonat nélküli részen jól látszik a kialakult oxidréteg a tesztek során alkalmazott korrozív közegben

zeti elemeinek, ipari gyártóberendezések, hajótestek, gépjárművek rozsdásodására. A szuperhidrofób, vízlepergető bevonattal ellátott fémfelületeket a víz nem nedvesíti, így a korrózió, a fentírfelületek oxidációja a bevonattal visszaszorítható (9. ábra).

Újabb, jelentős problémát okozó jelenség, mely egyértelműen a víz jelenlétéhez köthető, a vízkövesedés. Mivel a kidolgozott bevonattal a víz mint nedvesítő folyadék távol tartható a különböző vízvezetékek, csőhálózatok, külső és belső közművek csőfelületeitől, a vízkövesedés is meggátolható. Termoanalitikai méréseink alapján a kidolgozott réteg kb. 200 °C-ig nem szenved hődegradációt, így a meleg vizes alkalmazásoknál (pl. kazántápvizek) is felhasználható.

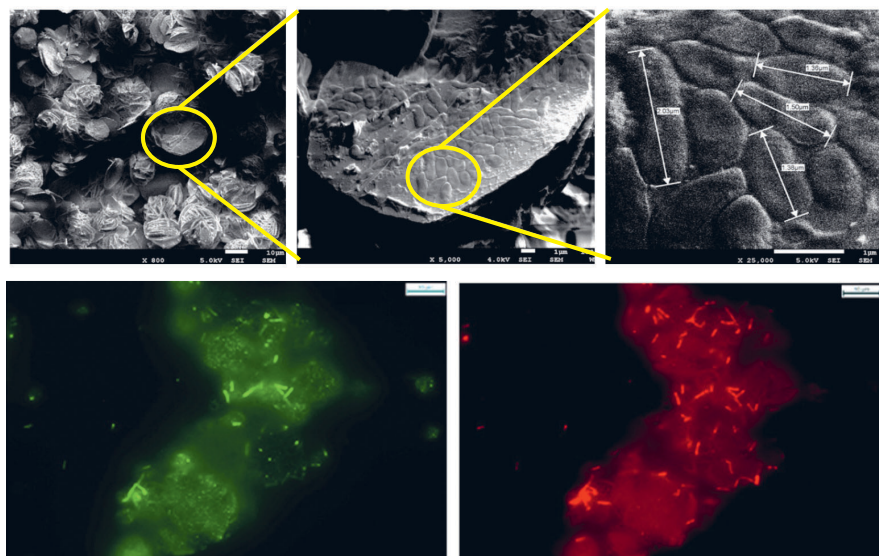
Az előzőekben bemutatott szuperhidrofób tulajdonságaiknak köszönhetően meg-



10. ábra. A szuperhidrofób bevonattal ellátott membránt a vízcsepp nem nedvesíti (A), míg az apoláros folyadékcssepp (toluol) átjutott a membránon (B)

van az az előnyös tulajdonsága ezeknek a rétegeknek, hogy szelektíven nedvesednek, azaz a vízbázisú hidrophil anyagok nem, csak a szerves, hidrofób szennyezőanyagok adszorbeálódnak a felületükön. Ezt a speciális tulajdonságot kihasználva olyan memb-

11. ábra. A hibrid rétegek fotokatalizátor-részecskéin adszorbeálódott *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok SEM-felvételei különböző nagyítások mellett (felső sor), valamint az élő (zöld szín) és a 120 perces bevilágítás hatására inaktíválódott (piros szín) *Escherichia coli* ATCC 29522 baktériumok fluoreszcens mikroszkópos felvételei (alsó sor)



ránokat készíthetünk, melyek alkalmasak hidrophil/hidrophób rendszerek, például olaj/víz keverékek vagy emulziók szeparációjára (10. ábra). Az így kialakított speciális nedvesedési tulajdonságokkal rendelkező membránok emulzióbontó képességét jelenleg is teszteljük.

Laborteszteink alapján a kidolgozott hibrid vékonyréteg az antimikrobiális felületek kialakítása terén is alkalmazható. Jól ismert az irodalomban, hogy a felületen adszorbeálódott baktériumok többsége előnyben részesíti a nagy energiájú hidrophil felületeket. Mikrobiológiai méréseink alapján a vizsgált *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* és *Escherichia coli* tesztbaktériumok bevilágítás hatására fotodegradációt szenvedtek a fotokatalizátor-részecské felületén. A 11. ábrán feltüntetett pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeken jól látható, hogy a *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok a hidrophil fotokatalizátor-részecské felületén adszorbeálódtak. Egy speciális baktériumfestési eljárással és fluoreszcens mikroszkóp alkalmazásával különbséget tudunk tenni az élő és az inaktíválódott, elpusztult baktériumok között is, mert a módszerből kifolyólag az élő baktériumok zöld színnel jelennek meg a mikroszkópos felvételen [8]. A 11. ábrán azt is láthatjuk, hogy 120 perces bevilágítás hatására a fotokatalizátor-részecské felületén adszorbeálódott *Escherichia coli* tesztbaktériumok elpusztultak, azaz a bevonat antibakteriális tulajdonságokkal rendelkezik. ●●●

Köszönetnyilvánítás. A cikkben bemutatott eredmények részben a GINOP-2.3.2-15-2016-00013, ill. az UNKP-18-4 (Janovák L.) azonosító számú pályázati forrásokból kerültek finanszírozásra.

IRODALOM

- [1] Á. Deák, L. Janovák, E. Csapó, D. Ungor, I. Palinkó, S. Puskás, T. Ördög, T. Ricza, I. Dékány, Applied Surface Science (2016) 389, 294–302.
- [2] L. Janovák, Á. Dernovics, L. Mérai, Á. Deák, D. Sebők, E. Csapó, A. Varga, I. Dékány, C. Janáky, Chemical Communications (2018) 6(54), 650–653.
- [3] T. Szabó, Zs. Péter, E. Illés, L. Janovák, A. Talyzin, Carbon (2017) 111, 350–357.
- [4] W. Barthlott and N. Ehler, Trop. subtrop. Pflanzenwelt (1977) 19, 105.
- [5] T. Darmanin and F. Guittard, J. Mater. Chem. A, (2014) 2, 16319–16359.
- [6] W. Ming, D. Wu, R. van Benthem, G. de With, Nano Lett. (2005) 5 (11), 2298–2301.
- [7] Á. Veres, T. Rica, L. Janovák, M. Dömök, N. Buzás, V. Zollmer, T. Seemann, A. Richardt, I. Dékány, Catal. Today (2012) 181, 156–162.
- [8] S. P. Tallósy, L. Janovák, J. Ménesi, E. Nagy, Á. Juhász, L. Balázs, I. Deme, N. Buzás, I. Dékány, Environ Sci Pollut Res Int. (2014) 21(19), 11155–67.
- [9] A. Fujishima and K. Honda, Nature (1972) 238, 37–38.
- [10] Á. Deák, L. Janovák, S. P. Tallósy, T. Bitó, D. Sebok, N. Buzás, I. Palinkó, I. Dékány, Langmuir (2015) 31(6), 2019–2027.