

Ph.D. értekezés tézisei

Öngyógyító sajátságokkal, illetve kontrollált hatóanyag-leadással rendelkező funkcionális polimerek fejlesztése

Takács Tamás

Témavezetők:

Prof. Dr. Kukovecz Ákos

Egyetemi tanár

Dr. Janovák László

Egyetemi adjunktus



Kémia Doktori Iskola

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2026

1. Bevezetés és célkitűzések

A polimerek, illetve a műanyagok a modern civilizáció egyik legfontosabb és legsokoldalúbb anyagcsoportját alkotják; felhasználásuk köre az utóbbi évtizedek eredményeinek köszönhetően folyamatosan bővült, így mára az ipar és a mindennapi élet legtöbb területén nélkülözhetetlenné váltak. A polimerkémia rohamléptékű fejlődése alapvetően formálta át a makromolekulás anyagokkal kapcsolatos szemléletet: míg korábban elsősorban kedvező műszaki tulajdonságokkal – pl. megfelelő szilárdsággal, szívóssággal vagy hőállósággal – rendelkező szerkezeti anyagok előállítása állt a kutatások középpontjában, addig napjainkban egyre nagyobb hangsúly helyeződik az ún. funkcionális polimerek fejlesztésére. E tudománytörténeti jelentőségű szemléletváltást olyan újfajta polimerizációs eljárások, posztszintetikus módosítások, illetve számítógépes molekulatervezési technikák megjelenése tette lehetővé, amelyek révén jól definiált szerkezetű és funkcionalitású makromolekulák állíthatók elő. Ennek következtében a polimerek mára már olyan területeken is meghatározó szerephez jutottak, mint az orvostechika, az elektronika, az energetika vagy a környezetvédelem.

Egy adott alkalmazás igényeihez leginkább illeszkedő tulajdonságkombináció elérése érdekében elengedhetetlen a funkcionális anyagrendszer alapjául szolgáló polimer módosítása. Ennek okán a funkcionális makromolekulás anyagrendszerek fejlesztésében egyre nagyobb szerephez jutnak azok a polimerek, amelyek jellemzői relatíve egyszerűen, széles skálán hangolhatók. Jó példa erre napjaink egyik legintenzívebben kutatott polimere, a polivinil-alkohol (PVA), amely különleges tulajdonságai – mint pl. kiváló filmképző képessége, biokompatibilitása, biodegradálhatósága, vízzoldhatósága, könnyű módosíthatósága stb. – miatt számos iparág kedvelt alapanyaga: az orvosi biológiai alkalmazásai mellett jelentős szerepet tölt be az elektronikában, az élelmiszer-, építő-, gyógyszer- és kozmetikai iparban, de széleskörűen használják a csomagolástechnikában is. A sok hidroxilcsoport miatt azonban a PVA-alapú termékek tiszta állapotban vízzérzékenyek, nagymértékben duzzadnak, többnyire elégtelen mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, ami jelentősen lerövidítheti élettartamukat. E hiányosságok mellett a legnagyobb kihívást azonban mégis az jelenti, hogy a PVA kedvezőtlen jellemzőit úgy módosítsuk, hogy azok az előnyös sajátságok (biokompatibilitás, biodegradálhatóság, nemtoxikus jelleg, feldolgozhatóság), melyek a polimert eredetileg vonzóvá tették, ne változzanak meg a folyamat során. Éppen ezért munkám során olyan módosítási stratégiák kidolgozására törekedünk, amelyek lehetővé teszik a PVA kedvezőtlen anyagi tulajdonságainak kiküszöbölését az előnyös tulajdonságok megtartása mellett.

A felvázolt kihívásokat megoldandó, a doktori munka első részében egy olyan PVA-alapú, térhálós, funkcionális anyagrendszer kialakítását tűztük ki célul, amely dinamikus iminkötések révén képes a polimermátrix mechanikai sérüléseinek kijavítására, és amelynek a termomechanikai tulajdonságai a keresztkötés-sűrűség változtatásával – a felhasználás céljának megfelelően – hangolhatók. Ennek megvalósítása érdekében egy olyan egyszerű, ún. együst („*one-pot*”) szintéziseljárást alkalmaztunk, amely tudomásunk szerint ilyen célra eddig még nem került felhasználásra: a PVA funkcionálizálása során a makromolekula-láncokba kis mennyiségben (0,89–7,12 mol%), egymással dinamikus iminkötések kialakítására képes formil- és aminocsoportokat tartalmazó kismolekulákat építettünk be Steglich-féle észteresítéssel. A funkcionálizálás sikerességének igazolását követően célunk volt felderíteni a módosítás mértékének hatását a PVA mechanikai és termikus tulajdonságaira, továbbá a létrehozott rendszerek öngyógyító képességét is jellemezni kívántuk kvalitatív és kvantitatív módon.

A kutatómunka második részében a PVA nedvesedési tulajdonságainak módosítására helyeztük a hangsúlyt. Jól ismert, hogy a szilárd felületek nedvesedőképességét a felület kémiai minősége és érdessége határozza meg, ezért a PVA-t a szakirodalomban széles körben alkalmazott szilanizálással hidrofóbizáltuk, a szükséges érdességet pedig biokompatibilis cellulózszeccskék hozzáadása révén alakítottuk ki. Ezzel az eredetileg erősen hidrophil, vízben jól oldódó polimerből olyan anyagot hoztunk létre, amelyből akár extrém nemnedvesedő vékonyrétegek is preparálhatók. További célunk volt annak vizsgálata is, hogy az előállított kompozit vékonyrétegek összetétele miként befolyásolja azok nedvesíthetőségét, valamint annak bemutatása, hogy az összetétel változtatásával a rétegek szabályozott hatóanyag-leadásra alkalmas rendszerekké alakíthatók. A kutatás gyakorlati relevanciáját egy széles körben használt, mérsékelt vízzoldható kemoterápiás szer, a mitomicin C (MMC) – mint modellhatóanyag – segítségével demonstráltuk, amely szabad formában rövid idő alatt kiürül a szervezetből. A gyors elimináció gyakori és nagy dózisok alkalmazását teszi szükségessé, ami fokozza a súlyos mellékhatások kockázatát. Összetétellel szabályozható nedvesedésű kompozit vékonyrétegekbe történő beágyazással a hatóanyag-felszabadulás sebessége azonban befolyásolható, így megfelelő hatástartam és egyenletesebb plazmakoncentráció biztosítható a mellékhatások kialakulási valószínűségének csökkentése mellett.

2. Szintézis- és vizsgálati módszerek

Munkám első részében olyan homogén szerkezetű, egykomponensű makromolekulás rendszert állítottam elő, amely sérülést követően a légköri nedvesség által aktivált reverzibilis kovalens kötések révén képes spontán módon helyreállítani szerkezetének integritását. Az alap-polimer (PVA) funkcionizálását egymással dinamikus iminkötések kialakítására képes formil- és aminocsoportokat hordozó kismolekulák (4-formil-benzoészav [4-FBA]; 3,4-diamino-benzoészav [3,4-DABA]) kis koncentrációban (0,89–7,12 mol%) történő beépítésével valósítottuk meg dimetil-szulfoxidban, *N,N'*-diciklohexil-karbodiimid (DCC) és katalitikus mennyiségű 4-(dimetil-amino)-piridin (DMAP) jelenlétében. A melléktermék eltávolítását, a reakcióelegy töményítését és a polimer kicsapását követően a termékeket centrifugálással elválasztottuk és szobahőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk. Referenciaként 0,89–7,12 mol% funkcionizáltsági fokú, kizárólag formil- vagy aminocsoportot tartalmazó polimereket is előállítottunk. A natív PVA-ból és a funkcionizált polimerek vizes oldatából öntéses eljárással („*solvent casting*”) készített önhordó filmek szerkezetét infravörös spektroszkópiával (ATR-FTIR), kristályosságát röntgendiffraktometriával (XRD), termikus tulajdonságait pedig differenciális pásztázó kalorimetriával (DSC), valamint termogravimetriás (TG) analízissel vizsgáltuk. Az öngyógyulás során bekövetkező tömbi és felületi folyamatokat röntgen-mikrotomográfiával (mikro-CT), digitális mikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) tanulmányoztuk. A polimerfilmek mechanikai tulajdonságait és öngyógyulási hatékonyságát egytengelyű húzóvizsgálatok (szakítóvizsgálatok) segítségével határoztuk meg.

Munkám másik részében összetétellel szabályozható nedvesedésű kompozit vékonyrétegeket állítottunk elő. E rendszerek előállításához először a mátrixként szolgáló PVA-t szisztematikusan változtatott mennyiségű (0,01–2 térfogat%) *n*-butil-triklórszilánt (BTS) tartalmazó hexános szilanizálóoldattal hidrofóbizáltuk. A reakció lejátszódását követően a folyadékfázist dekantálással eltávolítottuk, a hidrofóbizált polimereket (BTS-PVA) hexánnal átmostuk, végül pedig 50 °C-on szárítottuk. A szilanizálás sikerességét IR-spektroszkópiával bizonyítottuk, a (desztillált vízben duzzasztott) minták hidrofób jellegét TG-mérésekkel igazoltuk, hidrofóbizáltsági fokukat pedig a szabad hidroxilcsoportok ecetsav-anhidrides acetilezésén alapuló titrimetriás módszerrel határoztuk meg. A hidrofóbizált polimerek és a hidrofíl PVA oldhatóságát vízben, illetve 10 térfogat%-os etanol-víz elegyben gravimetriásan határoztuk meg.

A PVA-ból, valamint az 1 térfogat% BTS-koncentrációjú szilanizáló oldattal kezelt polimerből (1%BTS-PVA) öntéses eljárással – a minták szárazanyag-tartalmára vonatkoztatva – 0,25 tömeg% MMC modellhatóanyagot tartalmazó, cellulózzrészecskékkal érdesített vékonyré-

tegeket állítottunk elő. Ennek során először a polimereket etanol–víz 10 térfogat%-os elegyében oldottuk, majd az így nyert oldatokhoz megfelelő mennyiségű hatóanyagot mértünk. A felületi érdesség kialakítása érdekében a MMC/polimer oldatokhoz különböző mennyiségben (0–95 tömeg%) cellulózkeveréket adtunk, amely nagyobb szemcseméretű cellulózpor (20–150 μm) és mikrokristályos cellulóz (~ 20 μm) 1:1 tömegarányú keverékéből állt. A MMC/polimer/cellulóz szuszpenziókat homogenizálást követően Petri-csészékbe öntöttük, végül 60 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. Referenciaként hatóanyagot nem tartalmazó vékonyrétegeket is preparáltunk. A filmekbe ágyazott modellhatóanyag fázisállapotát XRD-mérésekkel tanulmányoztuk. A vékonyrétegek felületi morfológiáját SEM-mel, érdességét kontakt profilometriával, vastagságát digitális rétegvastagság-mérővel, porozitását pedig mikro-CT-vel határoztuk meg. Nedvesedési tulajdonságaikat statikus és dinamikus peremszögmérésekkel vizsgáltuk, a felületi szabadenergia-értékeket a Drelich-féle módszer, valamint az Owens–Wendt–Rabel–Kaelble-modell alapján számítottuk. A modellhatóanyag *in vitro* kioldódását a filmekből foszfátpufferolt fiziológiás sóoldatban (PBS), UV–Vis spektrofotometriával követtük.

3. Új tudományos eredmények

T1. Elsőként mutattam be egy olyan egyszerűen kivitelezhető polimer funkcionálizálási stratégiát, amellyel a lineáris polivinil-alkohol (PVA) makromolekula-láncai között reverzibilis imin keresztkötések alakíthatók ki az egymással reagálni képes formil- és aminosocsoportok reakciója révén.

T1.1. Bemutattam, hogy a PVA-láncokon található hidroxil-, valamint a 4-FBA- és 3,4-DABA-molekulákon található karboxilcsoportok között egy lépésben (azaz közös reakcióterben) észterkötések alakíthatók ki DCC és katalitikus mennyiségű DMAP jelenlétében.

T1.2. Igazoltam, hogy ezzel az együst („*one-pot*”) jellegű Steglich-féle észteresítési eljárással az így előállított módosított PVA ($M_w = 46,83$ kDa, hidrolízisfok = 86–89 mol%) funkcionálizáltsági foka széles (0,89–7,12 mol%) tartományon változtatható.

T1.3. Igazoltam, hogy a funkcionizált PVA-n egyidejűleg jelen lévő formil- és aminosocsoportok egymással kölcsönhatásba lépve imin keresztkötéseket alakítanak ki a lineáris makromolekula-láncok között, melyekre az IR-spektrumok ~ 1630 és ~ 1540 cm^{-1} -nél megjelenő új sávjai utalnak. Ez a következtetés a kizárólag csak formil- vagy aminosocsoportokat tartalmazó referenciaminták vizsgálata során további megerősítést nyert: ezen minták IR-spektrumában csak a szabad formil- vagy aminosocsoportok rezgésihez rendelhető sávok azonosíthatók, míg az iminkötésekhez köthető karakterisztikus sávok nem voltak megfigyelhetők.

T2. Igazoltam, hogy a beépített formil- és aminocsoportok reakciójában kialakuló iminkötések reverzibilis karaktere öngyógyító képességgel ruházta fel a polimert.

T2.1. Röntgen-mikrotomográfia (mikro-CT), pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) és digitális mikroszkópia segítségével bemutattam, hogy egy mesterségesen roncsolt (középen kettévágott) mintatest belső szerkezetének és felületének integritása a sérült darabok megnedvesítését, majd összeillesztését követően szobahőmérsékleten, max. 24 óra alatt gyakorlatilag teljes mértékben helyreáll, azaz a polimer öngyógyuló tulajdonságokat mutat.

T2.2. Igazoltam, hogy már az alacsony, 1,78 mol% névleges funkcionálizáltsági fokú minta (PVA-CHO-NH₂-1,78) is képes teljes mértékben regenerálódni, ugyanis az egytengelyű húzóvizsgálatok révén meghatározott gyógyulási hatékonyság (η) mértéke $\sim 175\%^1$ volt, míg a natív PVA – minimális (ön)adhéziótól eltekintve – nem mutatott öngyógyító viselkedést ($\eta \sim 28\%$).

T3. Új tudományos eredményként bemutattam, hogy a névleges funkcionálizáltsági fok megfelelő megválasztásával a módosított PVA termikus, illetve mechanikai jellemzői széles határok között változtathatók.

T3.1. Termoanalitikai (DSC, TG) és szerkezetvizsgáló módszerekkel (XRD, FTIR) igazoltam, hogy a formil- és aminocsoportokat hordozó, nagy térkitöltésű molekulák beépítése a polimerláncokba jelentős hatást gyakorol a PVA karakterisztikus hőmérsékleti értékeire, ugyanis a polimer üvegesedési hőmérséklete (T_g) a névleges funkcionálizáltsági fok növekedésével 65,3 °C-ról 35,0 °C-ra csökkent, ami a makromolekula-láncok között ható hidrogénhidak nagy térkitöltésű szubsztituensek általi megbontásának és az ebből következő láncmobilitás-növekedésnek az eredménye. Az olvadáspont (T_m , 195 °C $\rightarrow$ 170 °C) és az olvadási csúcsok alatti területek integrálásával kapott fajlagos olvadáshőértékek (ΔH_m) felhasználásával meghatározott kristályossági fok (X_c^{DSC} , 36% $\rightarrow$ 0%) – összhangban az XRD (X_c^{XRD} , 37% $\rightarrow$ 8%) és IR (X_c^{FTIR} , 46% $\rightarrow$ 9%) módszerekkel megbecsült értékekkel – ugyancsak csökkenő tendenciát mutatott.

T3.2. Azt is bemutattam, hogy a funkcionizált polimer termikus tulajdonságait illetően a 234–250 °C-os hőmérséklet-tartományon egy új, a névleges funkcionálizáltsági fok növekedésével fokozódó nagyságú endoterm csúcs (T_{crd}) jelent meg, amely az iminkötések felbomlásához és a dinamikus térháló átrendeződéséhez rendelhető. A TG-mérések alapján a módosítás mértékének növelésével a polimer termikus stabilitása is csökkent ($T_{deg} = 307$ °C $\rightarrow$ 232 °C), amely

¹ η értéke relatív mérőszám, amely a gyógyult és a sérülésmentes minta szakítószilárdságát hasonlítja össze. A 100%-ot meghaladó érték a mérési konfigurációból és a dinamikus térháló átrendeződésből adódó nagyobb lokális mechanikai terhelhetőségre vezethető vissza.

ugyancsak a kristályos tartományok felbomlásával és az amorf fázis arányának növekedésével magyarázható.

T3.3. Egytengelyű szakítóvizsgálatokkal igazoltam, hogy a névleges funkcionalizáltsági fok változtatásával a PVA mechanikai tulajdonságai széles tartományban hangolhatók. A módosítás mértékének növelésével a beépített, nagy térkitöltésű szubsztituensek egyre inkább gátolják a hidrogénkötésekkel összetartott, rendezett térrészek kialakulását, ami a minták kristályosságának csökkenéséhez vezet (l. a T3.1. pontot). A hidrogénkötés-sűrűségnek, s ezáltal a láncmehívásnak a csökkenésével, valamint az imin térhálósűrűség fokozatos növekedésével a rideg alappolimer egyre lágyabb, viszkoelasztikus karakterű anyaggá vált: a húzási rugalmassági modulus 414,9 MPa-ról 3,44 MPa-ra, a szakítószilárdság 34,46 MPa-ról 3,40 MPa-ra csökkent, miközben a szakadási nyúlás 12,13%-ról 130,25%-ra emelkedett.

T4. Bizonyítottam, hogy a makromolekula-láncok hidrofóbizálásával és megfelelő töltőanyagok alkalmazásával az eredendően jól oldódó PVA oldhatósága jelentősen csökkenthető, és belőle extrém víztaszító (parahidrofób) nedvesedési karakterrel rendelkező vékonyrétegek preparálhatók.

T4.1. Bemutattam, hogy már 1 térfogat% n-butil-triklórszilánt (BTS) tartalmazó szilanizáló oldattal való kezelés is elegendő ahhoz, hogy a vízben jól oldódó, eredendően hidrofíl PVA oldhatóságát, vízzel való nedvesíthetőségét oly mértékben csökkentsük, hogy a módosított polimerből (1%BTS-PVA) cellulózpor (0,02–0,15 mm) és mikrokristályos cellulóz (20 µm) 1:1 tömegarányú keverékéből képzett töltőanyag hozzáadása révén – a töltőanyag-koncentráció (20–95 tömeg%) megfelelő megválasztásával – extrém víztaszító ($\theta^* > 150^\circ$), önhordó kompozit vékonyrétegeket állítsunk elő.

T4.2. SEM-felvételekkel igazoltam, hogy a fenti töltőanyag-keverék arányának (rendre 0, 20, 40, 60, 80, 90 és 95 tömeg%) növelése a mátrix polimerben (PVA, 1%BTS-PVA) egyre tagoltabb, porózus felületű vékonyrétegek létrejöttét eredményezi az öntéses eljárással kivitelezett szintézisek során.

T4.3. Azt is bemutattam, hogy a töltőanyag szemcsék eltérő méretének (20 µm és 0,02–0,15 mm) köszönhetően a ≥ 60 tömeg% töltőanyagot tartalmazó filmek felszínén a durvább, mikrométeres kiemelkedések mellett finomabb topográfiai elemek is megjelennek, ami hierarchikus érdekesség kialakulására utal. Ennek köszönhetően a kontakt profilometriás mérésekkel meghatározott R_a átlagos felületi durvaság- (pl. PVA100/CK0: $0,02 \pm 0,01$ µm $\rightarrow$ PVA10/CK90: $31,6 \pm 4,8$ µm) és a mikro-CT-felvételek alapján számított porozitásértékek (pl. 1%BTS-

PVA100/CK0: 0,7% $\rightarrow$ 1%BTS-PVA40/CK60: 64,9%) a cellulóztartalom növekedésével párhuzamosan nőttek.

T4.4. Statikus peremszögmérésekkel igazoltam, hogy az előállított kompozit vékonyrétegek összetétellel szabályozható nedvesedéssel rendelkeznek. A töltőanyag-tartalom növelése – a felületi érdesség fokozása révén – tovább erősíti az eredeti nedvesedési karaktert: az eredendően hidofil (PVA) filmek nedvesedése a cellulóztartalom növekedésével a szuperhidrofil tartományba tolódott el ($\theta^* = 60,3^\circ \rightarrow 0^\circ$), míg az eredetileg hidrofób (1%BTS-PVA) filmek fokozatosan extrém víztaszító jellegre tettek szert ($\theta^* = 97,4^\circ \rightarrow 168,2^\circ$). Dinamikus peremszögmérések alapján a nagy mennyiségű cellulózzal (≥ 60 tömeg%) érdesített, 1%BTS-PVA-alapú filmek ún. parahidrofób nedvesedési karakterrel rendelkeznek, melyre a nagy haladó peremszögértékeket ($\theta_A = \sim 160^\circ$) kísérő, jelentős mértékű peremszög-hiszterézis ($\Delta\theta = \theta_A - \theta_R = \sim 85^\circ$) enged következtetni. A parahidrofób jelleg meglétét a dinamikus peremszögértékek felhasználásával számított látszólagos felületi szabadenergia-értékek is alátámasztották (1. 1%BTS-PVA10/CK90, $\gamma_s^{tot} = 1,7 \pm 0,7$ mJ/m²).

T5. Új tudományos eredményként rávilágítottam, hogy az összetétellel szabályozható nedvesedésű PVA-alapú vékonyrétegek sikerrel alkalmazhatók a szabályozott hatóanyag-leadás területén.

T5.1. Fiziológias körülmények között (PBS-puffer; pH $\sim 7,4$; 0,9 tömeg% NaCl; 37 °C) végzett *in vitro* hatóanyag-leadási vizsgálatokkal igazoltam, hogy a kompozit vékonyrétegek összetételével – a nedvesedőképeség célzott hangolásán keresztül – a hatóanyag-felszabadulás sebessége széles tartományban szabályozható. A várakozásoknak megfelelően a vizsgált hidofil vékonyrétegek (PVA100/CK0, PVA40/CK60) esetében a szabad MMC-hez képest ($\sim 80\%$, $t = 8$ óra, $k'_{MMC} = 1,49 \times 10^{-4}$ 1/s) jóval gyorsabb hatóanyag-felszabadulás volt megfigyelhető: a sima felületű PVA100/CK0 film hatóanyag-tartalmának döntő hányadát ($\sim 98\%$, $k'_{PVA100/CK0} = 2,8 \times 10^{-4}$ 1/s) 1–2 órán belül leadta, míg a 60 tömeg% cellulózt tartalmazó vékonyréteg gyakorlatilag azonnali, közel 100%-os kioldódást eredményezett ($k'_{PVA40/CK60} = 6,7 \times 10^{-4}$ 1/s). Ezzel szemben a hidrofóbizált felületű polimerből preparált film (1%BTS-PVA100/CK0) esetében a hatóanyag-leadás jelentősen lelassult (100%, $t = 8$ óra, $k'_{1\%BTS-PVA100/CK0} = 8,0 \times 10^{-5}$ 1/s), a „rosszul” nedvesedő, parahidrofób 1%BTS-PVA40/CK60 filmnél pedig jelentős hatóanyag-visszatartást tapasztaltunk: 8 óra elteltével a modellhatóanyagnak mindössze $\sim 49\%$ -a szabadult fel a kompozit rendszerből ($k'_{1\%BTS-PVA40/CK60} = 3,7 \times 10^{-6}$ 1/s).

T5.2. Röntgendiffrakciós vizsgálatokkal kimutattam, hogy az eredendően kristályos MMC a polimer vékonyrétegekben részben amorf állapotban van jelen, amely a kristályos formához képest kevésbé stabil, energiagazdagabb állapotot jelent, ahol – a rácsenergia hiányából fakadóan – az oldódásnak nincs termodinamikai gátja. Ennek köszönhetően a kristályos hatóanyag hidrofil hordozóban történő diszpergálása jobb vízoldhatósághoz és nagyobb kioldódási sebességhez vezetett (l. a T5.1. pontot), ami végső soron a hatóanyag jobb biológiai hasznosíthatóságát eredményezheti. A (para)hidrofób nedvesedési karakterrel rendelkező kompozit vékonyrétegekbe a MMC szintén részben amorf állapotban ágyazódott be, azonban a „rosszul” nedvesedő mátrix jelentősen korlátozta a réteg átnedvesedését, így az amorf hatóanyag kioldódása nagymértékben lelassult (l. a T5.1. pontot).

4. Közlemények jegyzéke

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10071803

Az értekezés tárgykörébe tartozó közlemények

1. **T. Takács**, M.M. Abdelghafour, Á. Deák, D. Szabó, D. Sebők, I. Dékány, L. Róvó, Á. Kukovecz, L. Janovák, *Surface wetting driven release of antifibrotic Mitomycin-C drug from modified biopolymer thin films*. European Polymer Journal, 2020, 139: 109995.
DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109995 SJR indikátor: Q1
Független hivatkozás: 0 Impakt faktor: 4,598
2. **T. Takács**, M.M. Abdelghafour, Ł. Lamch, I. Szent, D. Sebők, L. Janovák, Á. Kukovecz, *Facile modification of hydroxyl group containing macromolecules provides autonomously self-healing polymers through the formation of dynamic Schiff base linkages*. European Polymer Journal, 2022, 168: 111086.
DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111086 SJR indikátor: Q1
Független hivatkozás: 26 Impakt faktor: 6,0
3. **T. Takács**, M.M. Abdelghafour, D. Sebők, Á. Kukovecz, L. Janovák, *Structural and thermoanalytical characterization of self-healing polymer: the effect of cross-linking density*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2024, 149: 2765-2775.
DOI: 10.1007/s10973-023-12862-2 SJR indikátor: Q2
Független hivatkozás: 6 Impakt faktor: 3,1

Egyéb közlemények

1. R. Saker, O. Jójárt-Laczkovich, G. Regdon Jr., **T. Takács**, I. Szent, N. Bózsity-Faragó, I. Zsupkó, T. Sovány, *Surface modification of titanate nanotubes with a carboxylic arm for further functionalization intended to pharmaceutical applications*. *Pharmaceutics*, 2023, 15: 2780
DOI: 10.3390/pharmaceutics15122780 SJR indikátor: Q1
Független hivatkozás: 1 Impakt faktor: 5,4
2. D. Szabó, L. Janovák, M.M. Abdelghafour, **T. Takács**, M. Csanády Jr., G. Spengler, L. Szakács, M. Csanády, L. Rovó, *Új minimálinvazív kezelési lehetőségek jó- és rosszindulatú fül-orr-gégészeti betegségekben nanoszerkezetű hatóanyag-leadó rendszerek alkalmazásával*. *Orvosi hetilap*, 2024, 165: 370-378.
DOI: 10.1556/650.2024.32978 SJR indikátor: Q4
Független hivatkozás: 0 Impakt faktor: 0,9

Tudománymetriai adatok

Összes referált közlemény: 5	Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 3
Összesített impakt faktor: 19,998	Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 13,698
Összes független hivatkozás: 33	Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 32

Előadások

1. **T. Takács**, M.M. Abdelghafour, Ł. Lamch, I. Szent, D. Sebők, L. Janovák, Á. Kukovecz, *Dinamikus Schiff-bázis kötéseken alapuló, öngyógyító tulajdonságokkal rendelkező polivinil-alkohol*. XLIV. Kémiai Előadói Napok, Szeged (Magyarország), 2021. október 26–27.
2. **T. Takács**, M.M. Abdelghafour, Ł. Lamch, I. Szent, D. Sebők, L. Janovák, Á. Kukovecz, *Self-healing polyvinyl alcohol with dynamic Schiff base linkages*. *Chemietage 2024*, Graz (Ausztria), 2024. szeptember 23–25.