

Az OTKA által támogatott, 101704 azonosító számú, "Új típusú biokompatibilis anyagok fejlesztése orvosbiológiai és gyógyszerészeti célokra." című kutatás zárójelentése a munkaterv alapján.

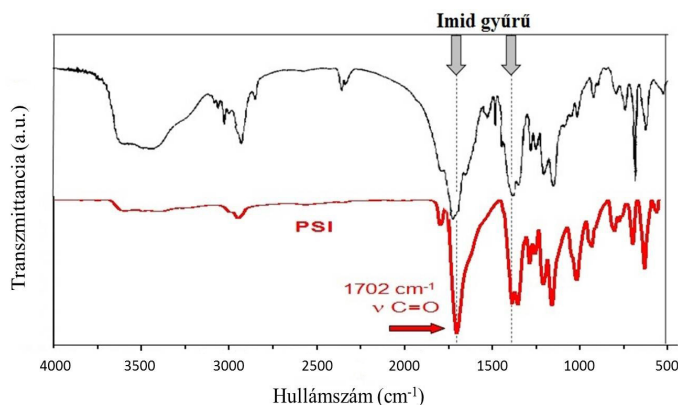
2012. évi munkaterv

PSI és PGS molekulák szintézise és funkcionálása. A kémiai szerkezet jellemzése modern módszerekkel mint pl. NMR, GPC, FT-IR, DLS, AFM, SAXS és WAXS. Polimerek molekulatömegének és molekulatömeg eloszlásának meghatározása.

Foszfor beépítése a kalcium-szilikát térhálóba. A preparációs kísérletek során vizsgáljuk a kémiai összetétel (Ca / Si és P/Si arányok), a katalizátor koncentráció, a hőkezelés hőmérsékletének és időtartamának hatását a szerkezetre és a tulajdonságokra. A hibrid rendszerek oldhatóságának mérése vízben és szimulált test folyadékban.

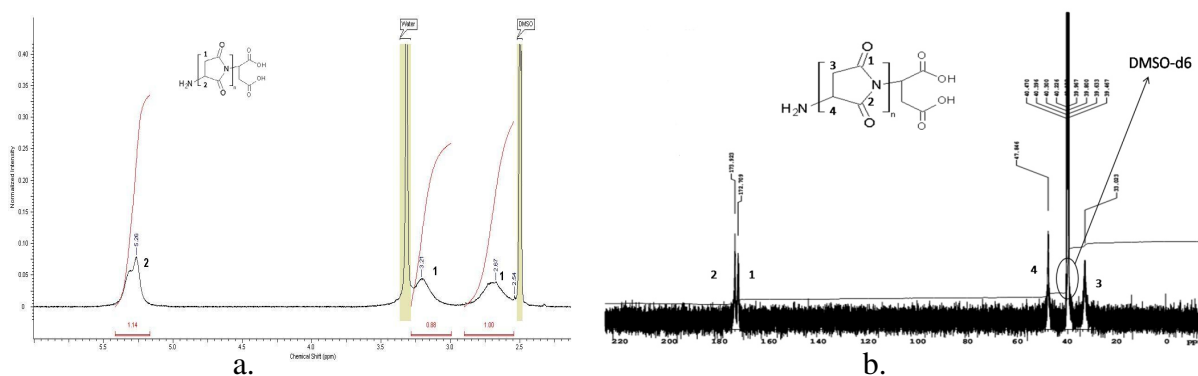
1. Poli(szukcinimid) (PSI) szintézise és szerkezetének jellemzése:

A poli(szukcinimid)-et oldószer mentes termikus polikondenzációval állítottunk elő L-aszparaginsavból o-foszforsav katalízis mellett. A minták FTIR vizsgálatát OTKA pályázati partnerünkkel, Dr. Sinkó Katalin segítségével végeztük az ELTE Analitikai Kémia Tanszékén. Az FTIR spektrumokat gyengített teljes reflexiós fejjel (ATR) ellátott Brucker IFS 55 készülékkel vettük fel 400-4000 cm^{-1} hullámhossz között. Az 1. ábrán a PSI FTIR spektruma látható:



1. ábra. Poli(szukcinimid) FTIR spektruma. A fekete spektrum a PSI-nek az irodalomban megtalálható FTIR spektruma, a piros pedig az általunk készített minta felvétele.

A poli(szukcinimid) minták NMR vizsgálatát Japánban a RIKEN Kutató Intézet MSLS kutatócsoportjában végeztük Varian 500 MHz-s illetve egy JEOL 400 MHz-s spektrométerrel. A készülékhez egyszerre két mag manipulálására alkalmas inverz szélessávú mérőfej, pulzusforma generátor, és pulzus térgradiens meghajtó (PFG) csatlakozott. A 2. ábrán a PSI 1D ^1H -NMR spektruma látható. A PSI ^1H -NMR spektrumában 3 csúcs figyelhető meg. Az 5,3 ppm-nél jelentkező csúcs a monomer gyűrűk kapcsolódási pontjánál lévő metincsoportban lévő H atom jele. A metilénsoportban lévő két proton jele két külön helyen jelenik meg: 2,5 és 3,2 ppm-nél, a metincsoportban lévő szén kiralitása miatt. A 6 ppm-nél nagyobb tartományban nem ad jelet a polimer, amiből arra lehet következtetni, hogy a polimer nem tartalmaz amidprotont, vagyis felnyílt gyűrűket.

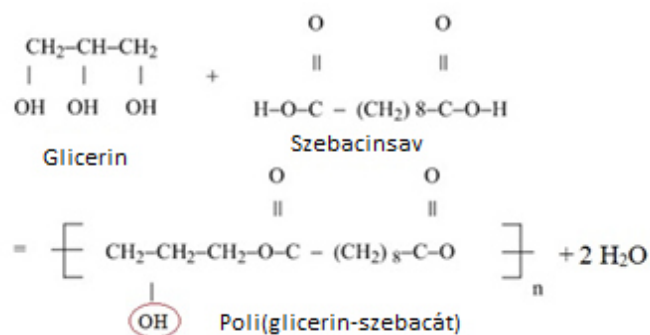


2. ábra. PSI ^1H -NMR (a) és ^{13}C -NMR (b) spektruma

A PSI ^{13}C -NMR spektrumában 4 csúcs figyelhető meg (3. ábra), amelyek a szukcinimid gyűrűben található 4 különböző C atomnak felelnek meg. A C=O csoportokban lévő két C atomhoz a 173,9, illetve 172,7 ppm NMR-jele kapcsolható. A ^{13}C -NMR spektrum alapján is kimondható, hogy a polimer nem tartalmaz elágazásokat valamint felnyílt gyűrűket. Ezt az állítást támasztja alá a PSI 2D ^1H - ^1H COSY NMR spektruma is.

2. Poli (glicerín-szebacát) (PGS) előállítása

A PGS-t szebacinsav és glicerín termikus polikondenzációjával állítottuk elő. A 3. ábra a polimer általunk alkalmazott előállításának reakció egyenletét mutatja.



3. ábra: A PGS előállításának reakció egyenlete

A PGS oldatok jellemző viszkozitásának meghatározása alapján megállapítottuk, hogy a reakció idő növelésével a PGS-láncok átlagos molekulatömege növekszik. A fenti a módszerrel lineáris- és térhálós polimereket egyaránt elő lehet állítani. A térhálósító szerepét a feleslegben adagolt szebacinsav tölti be.

Vizsgáltuk a poli-(glicerín-szebacát) (PGS) duzzadási és degradációs folyamatait. Megállapítottuk, hogy a 37 °C hőmérsékleten lejátszódó kémiai degradációs folyamatok időfüggését jelentősen befolyásolja a közeg pH-ja.

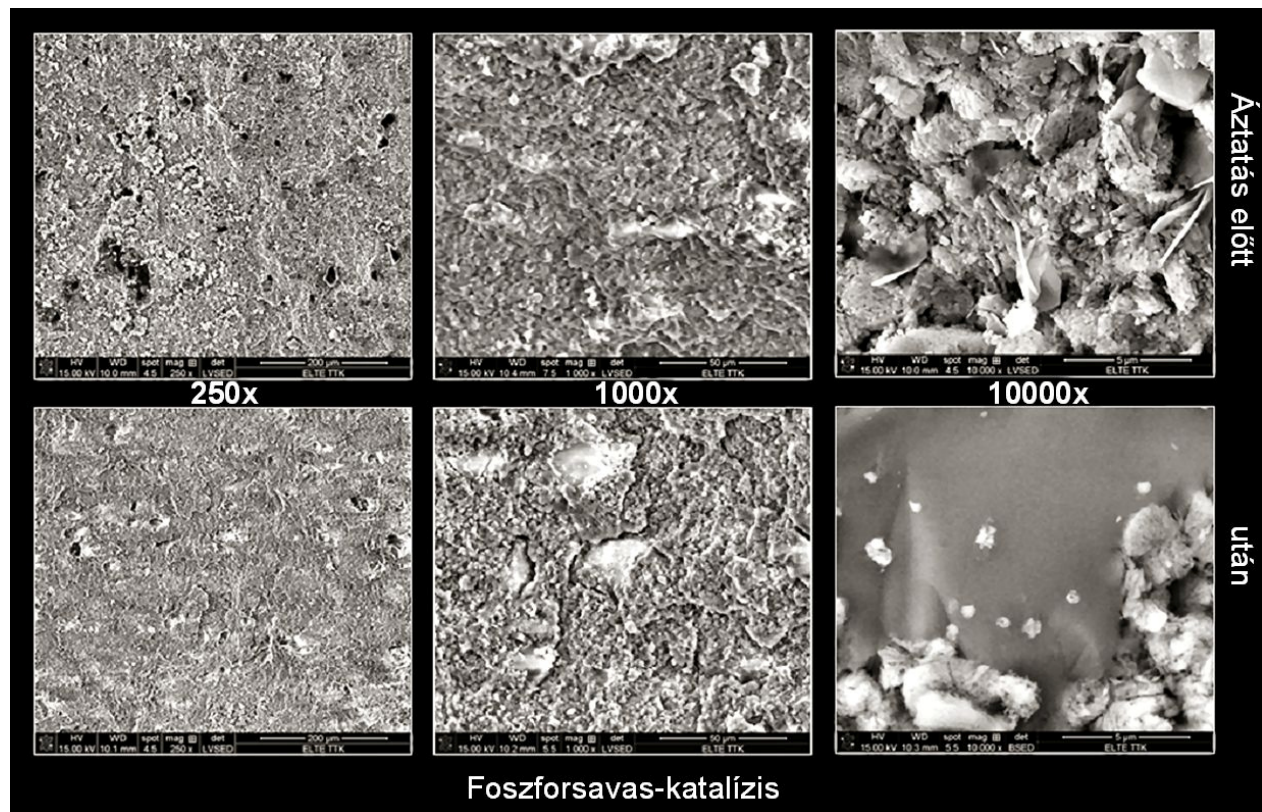
3. Foszfor beépítése a kalcium-szilikát térhálóba

A foszforsav alkalmazásának célja a kalcium-szilikát rendszerek biokompatibilitásának, a természetes csontösszetételhez való hasonlóságának növelése. A kalcium-szilikát-foszfát rendszerek szol-gél szintézise során első lépésben szol keletkezik. A jelenlévő térhálómódosító

ionok és a rendszerből kiváló kalcium-foszfát-tartalmú csapadék okozzák a szol kialakulását. Az $1 = P/Si$ mólarány bizonyult a legkedvezőbbnek. Az $< 1 P/Si$ mólarány alkalmazásakor az adott módszerrel fázis-szeparáció következik be, az $> 1 P/Si$ arány pedig drasztikusan megnöveli a kerámiák oldhatóságát, és lecsökkenti a mechanikai szilárdságukat.

A kalciumtartalmú porokból szintereléssel lehet kerámiatömböket készíteni. A kémiai, szerkezeti és fázis átalakulások 550 és 650 °C között záródnak le az alkalmazott katalizátortól függően. A kalcium-szilikát-foszfát rendszerek a kalcium-szilikátokhoz képest sokkal hamarabb, már $400-500$ °C környékén tömegállandóvá válnak, a jelentős tömegvesztésekkel járó folyamatok már 80 °C-os szárításuk során lezajlanak ($75-80$ %-os tömegvesztés). A szinterelési hőmérséklet általában 700 °C volt.

A hőkezelések, a szinterelés során az első két, egyidejűleg megjelenő kristályos fázis a szilícium-dioxid és a kalcium-karbonát. E két fázis egyszerre tűnik el $500-600$ °C környékén, utalva a kristályos szilika és kalcit között 400 °C felett lejátszódó reakcióra. A hőkezelés hatására a foszfortartalmú rendszerek kristályossága erősödik, viszont a foszforsav arányának



4. ábra. SEM felvételek kalcium-szilikát-foszfát rendszerről 3-napos, SBF-es áztatás után.

növekedésével a kristályosság csökken, és az amorf karakter még jellemzőbbé válik. A 700 °C-os hőkezelést követően a kisebb foszfortartalomnál β - és γ - $Ca_2P_2O_7$ jelenik meg, a nagyobbakban pedig δ - $Ca(PO_3)_2$ dominál kismennyiségű $2 Ca_2SiO_4 \cdot Ca_3(PO_4)_2$ fázis kíséretében.

A bioaktivitást növeli a kerámiák porózus szerkezete. A SEM-felvételek tanúsága szerint a foszforsavval katalizált minták pórusai a legnagyobbak, még az $1 P/Si$ aránynál is átlag $1,5 - 2,5$ µm átmérőjűek (4. ábra). Az orvosi biológiai felhasználás szempontjából fontos oldhatósági (desztillált vízben, ill. szimulált test folyadékban, SBF-ben) vizsgálatok a kalcium-szilikát

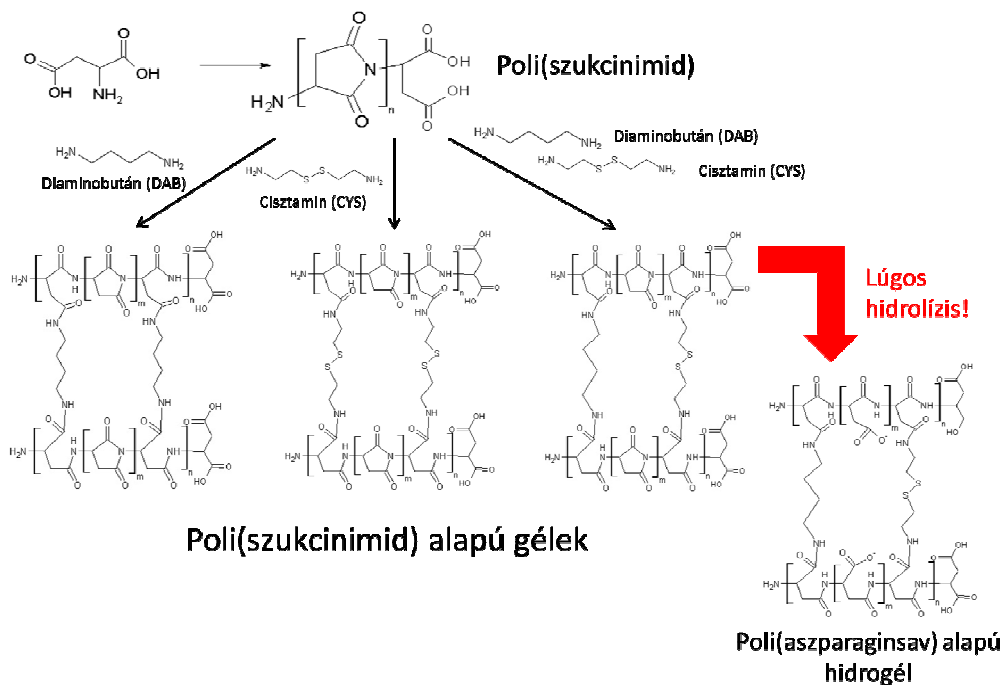
tömbök esetében csak elhanyagolható mértékű tömegvesztést, ill. tömegnövekedést regisztráltak. A kalcium-szilikát-foszfát rendszerekben viszont nagyfokú csökkenés (2-45 %) is tapasztalható a foszforaránytól függően. SBF-es áztatás után minden kalcium-szilikát minta felületén foszfátcsoportot, valamint kismértékű karbonátosodást és hidratációt lehetett kimutatni. Irodalmi példák alapján a kerámiák és az SBF-oldat között lezajló $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{H}^+$ ioncsere hatására a felületen egy szilíciumban dús hidrogél réteg alakul ki sok Si-OH csoporttal. Ez a réteg katalizálja a foszfátcsoportok SBF-oldatból történő adszorpcióját, és egy hidroxipatit-szerű réteg kiépülését. Ez a réteg biztosítja a jó kapcsolatot az élő szövetekkel (4. ábra).

2013. évi munkaterv

PSI, PGS és funkcionált polimerjeinek térhálósítása különböző biokompatibilis térhálósító molekulákkal. Mikro- és nanoméret tartományba eső gél diszperziók és gél szálak előállítás és kolloidkémiai jellemzése. PSI alapú gélek hidrolízise. Mechanikai és duzzadási tulajdonságok jellemzése. A gélek környezeti hatásokra (pH, hőmérséklet, specifikus ionok, redox rendszer) történő érzékenységének vizsgálata. Oldhatósági és kioldódási vizsgálatok, valamint ezek kinetikája.

4. PSI térhálósítása különböző biokompatibilis térhálósítókkal

Ha kettő vagy több primer amin csoportot tartalmazó vegyülettel reagáltatjuk a PSI molekulákat akkor keresztkötéseket hozhatunk létre.



5. **ábra:** Poli(szukcinimid) szintézise illetve poli(szukcinimid) és poli(aszparaginsav) térhálósítási reakciói

Kutatócsoportunk poli(szukcinimid) alapú gélek szintéziséhez többféle keresztkötő molekulát használ például cisztamint és diaminobutánt. A gélek lúgos közegben történő hidrolízisével biodegradábilis és biokompatibilis poli(aszparaginsav) alapú géleket állítottunk elő. A cisztamin és diaminobután egyidejű használatával a környezet redoxpotenciál változására érzékeny géleket állítottunk elő. A cisztamin molekulákban található diszulfid hidak redukáló közegben felnyílnak és tiol csoportokká alakulnak. A felnyílás hatására a polimer gél nagymértékű térfogat növekedést szenved.

Kutatócsoportunk új típusú hatóanyag hordozó rendszer kifejlesztéséhez ciklodextrinnel keresztkötött poli(aszparaginsav) géleket szintetizált. A ciklodextrin képes hatóanyag molekulák komplexálására, ami lelassítja és jellegében megváltoztathatja a hatóanyag kioldódását a polimer gélből. Különböző mértékben térhálósított (különböző mennyiségű ciklodextrin keresztkötést tartalmazó) géleket állítottunk elő és vizsgáltuk ezen gélek metoprolol hatóanyag megkötő képességét. Megállapítottuk, hogy a gélben lévő metoprolol mennyisége arányos a térhálósító mennyiségével, ami azt jelenti, hogy a metoprolol nagy részét a ciklodextrin molekulák kötik meg. Jóval kisebb metoprolol mennyiség található a gél duzzasztószerében. Kioldódás kinetikai mérésekkel igazoltuk, hogy a hatóanyag kioldódása a gélből, jóval lassúbb folyamat a mint a tiszta ciklodextrinből.

5. Szervetlen és szerves hibrid rendszerek szintetizálása

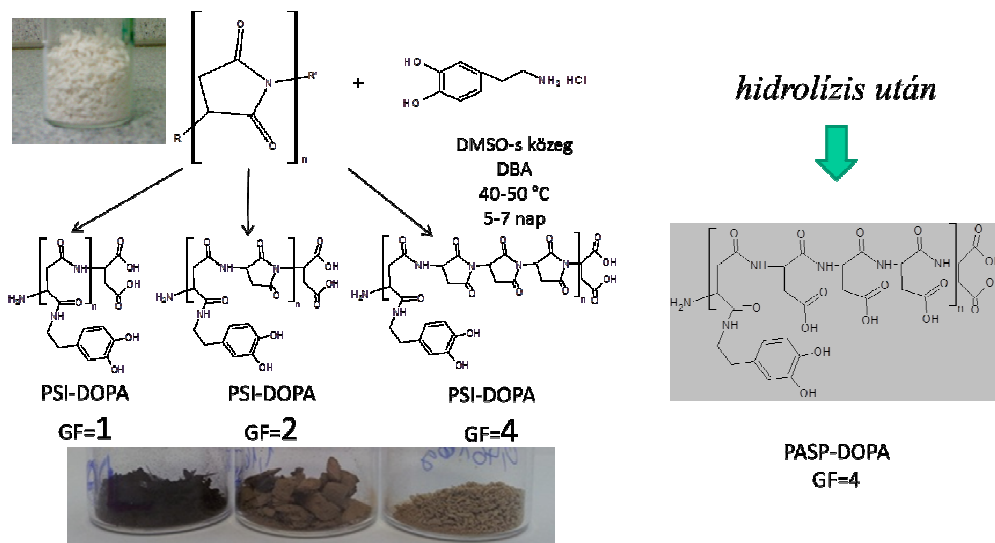
A szervetlen és szerves kompozit rendszerek kutatása 2013-ban az alumínium-oxid – polimer rendszerekre összpontosult. A kompozit rendszerek alumínium-oxid kriogélek, amelyek az erősítő fázist adták, valamint a folytonos fázist biztosító polimerek felhasználásával készültek. Az így módon kapott nyert biokompozitok tervezett felhasználása csontok pótlása. A kísérletek poli(vinil-alkohol), politetrahidrofurán, poli(N-vinilimidazol), polidimetil-sziloxán és cellulóz-acetát polimerekkel folytak. A cél olyan kompozitok előállításának volt, amelyek jó szilárdsággal, de némi rugalmassággal is rendelkeznek, ellensúlyozandó a kerámiák ridegségét. A cellulóz-acetátos kísérletek hozták a legjobb eredményt: a polimerek közül, összefüggő, jól kezelhető kompozitok keletkeztek, amelyek termikusan stabilak 200 °C felett is. A cellulóz biokompatibilis, az acetátos formája pedig vízoldható, így könnyen kezelhető. A szervetlen és szerves kompozit rendszerek kutatása az alumínium-oxid – cellulóz (cellulóz-triacetát, hidroxil-etil-cellulóz, metil-cellulóz) polimer rendszerekkel folytatódott. Jó mechanikai tulajdonság mellett még elasztikus karaktert is mutattak az így kapott kompozitok.

2014. évi munkaterv

Model hatóanyagok szabályozott leadásához szükséges gélmátrix előállítás. Hatóanyagtartalmú gél diszperziók és gél nano- és mikroszálak előállítás. A gél rendszerek nyitó-záró mechanizmusának vizsgálata. Oldhatósági és kioldódási vizsgálatok.

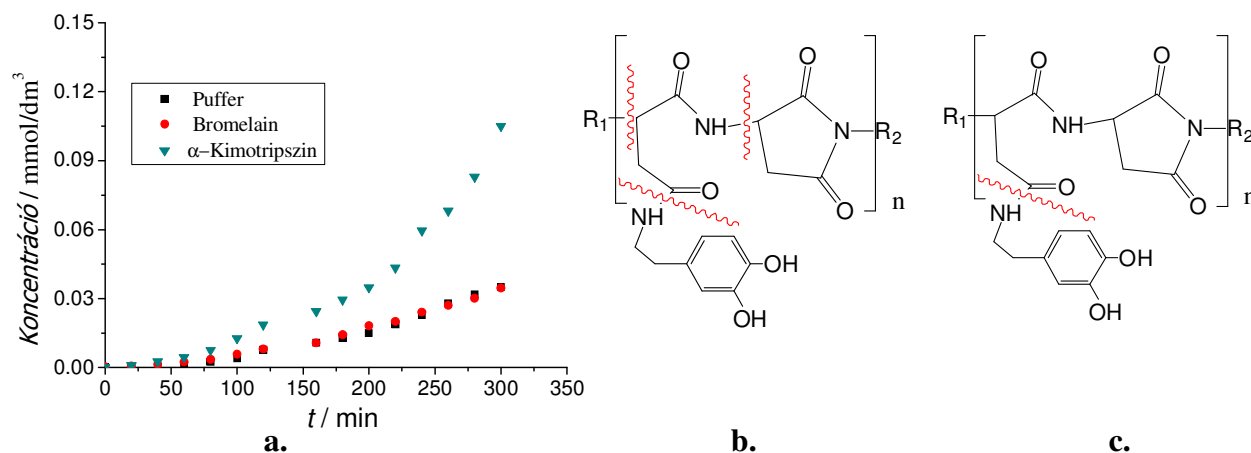
A szervetlen és szerves hibrid rendszerek tulajdonságainak javítása, hibrid rendszerek szintetizálása PASP és PGS polimerek felhasználásával. A polimertartalom hatásának vizsgálata az atomi és szupramolekuláris szerkezetre és mechanikai tulajdonságokra.

Primer amin csoportot tartalmazó hatóanyag molekulákat kémiai kötással ráköthetünk a poli(szukcinimid) láncokra. Kutatócsoportunk kidolgozott egy eljárást melynek segítségével dopaminnal módosított poli(szukcinimid)-t illetve poli(aszparaginsav)-t állítottunk elő (6.ábra). Az NMR mérésekből igazolást nyert, hogy az elméleti graftolási fokkal közel azonos a tényleges dopamin szukcinimid arány a mintákban.



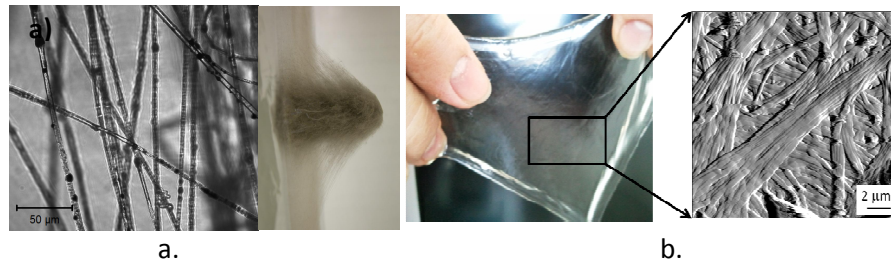
6. ábra: Dopaminnal módosított poli(szukcinimid) illetve poli(aszparaginsav) előállítása

Meghatároztuk a minták vízbéli oldhatóságát és lipofilitását. Vizsgáltuk a dopaminnal módosított poli(aszparaginsav) enzimatis degradációját. A bromelain proteázai a cisztein proteázok csoportjába tartoznak. Ez az enzimescsoport az aszparagin-aszparagin kötést, illetve az aszparagin-dopamin kötést is hasíthatja. A proteázok csoportjába tartozó α -kimotripszin dopamin-aszparaginsav kötést bontja (7. ábra)



7.ábra: A dopamin felszabadulásának kinetikája (a), valamint a bromelain (b) és az α -kimotripszin (c) hasítási helyei.

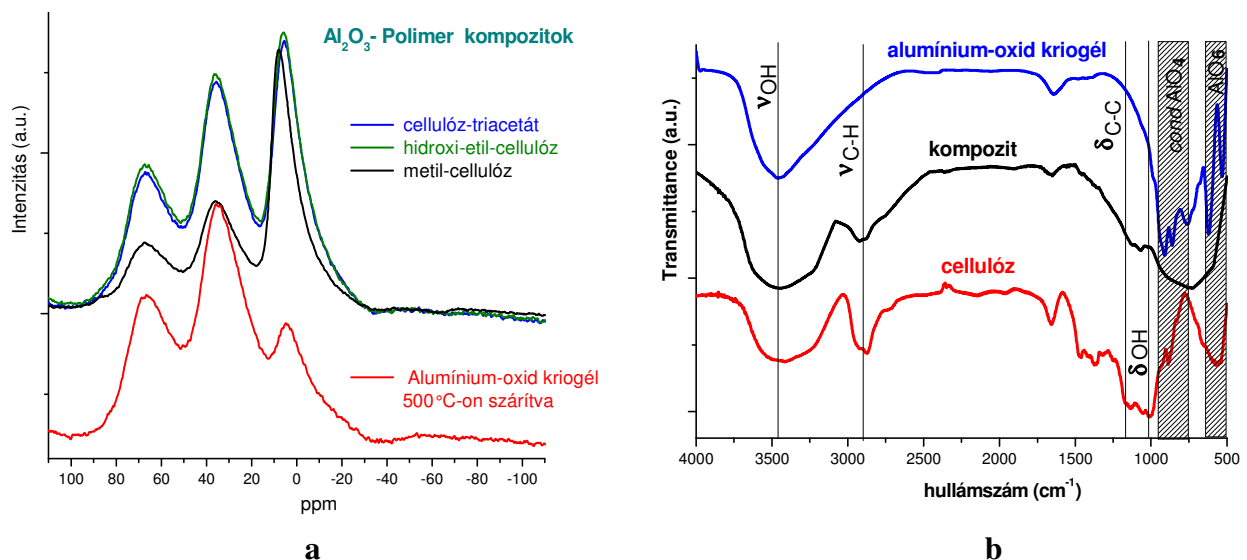
A mágneses nanorészecskéket elegyítve a polimer oldattal speciális szálstruktúrákat építhetünk fel (8.a ábra), mely rendelkezik a polimerszálak és a mágneses részecskék előnyös tulajdonságaival is. Az így előállított hálók manipulálhatók külső mágneses térrel és megfelelő struktúrával rendelkeznek, mely állványként szolgálhat szöveti regeneráció során. A mágneses nanorészecskék jelenléte feltételezésünk szerint az elektromos térben zavart kelt és emiatt alakít ki makroszkópikus háromdimenziós szerkezetet. Az előkísérleteink alapján egyértelműen megállapítható, hogy egy olcsó és hatékony módszert találtunk biokompatibilis mesterséges hálók előállítására.



8.ábra: Elektrosztatikus szálhúzással előállított, mágneses nanorészecskék aggregátumát tartalmazó két- és három-dimenziós szálrendszer (a), valamint poli(aszparaginsav) alapú gél szálakból felépülő szövet (b) nedves állapotban (bal) és AFM felvétel a szálakról száraz állapotban (jobb).

6. Szervetlen és szerves hibrid rendszerek szerkezet vizsgálata

A szervetlen és szerves kompozit rendszerek kutatása 2014-ben folytatódott az alumínium-oxid – cellulóz (cellulóz-triacetát, hidroxil-etil-cellulóz, metil-cellulóz) polimer rendszerekkel. A legjobb kompozit tulajdonságokat hidroxil-etil-cellulóz alkalmazásával lehetett elérni. A leghatékonyabb összetételnek a 92 % alumínium-oxid kriogél és 8 % hidroxil-etil-cellulózt tartalmazó minta bizonyult. A ^{27}Al MAS NMR és FTIR spektrumok bizonyítják a kompozit szerkezetet (9. ábra).



9. ábra. Szervetlen és szerves kompozitok ^{27}Al MAS NMR (a) és FTIR (b) spektrumai.

A pályázattal kapcsolatos megjelent, OTKA-ra hivatkozott közlemények listája:

Könyvfejezetek:

Smart polymers and their applications, Edited by María Rose Aguilar, Julio San Román, Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge (2013)

Chapter 5. M. Zrínyi: Magnetically responsive polymer gels and elastomers: properties, synthesis and applications p. 134-166

Magnetorheology Edited by Norman M Wereley,

RSC Publishing (2014), Chapter 3, M. Zrínyi: Magnetoelasticity, p.56 - 74

Közlemények:

Jedlovsky-Hajdú A., Varga Zs., Juriga D., Molnár K., Zrínyi M.: Biokompatibilis anyagok: mesterséges mátrixok és nanorészecskék., *Magyar Tudomány* 2012. Júniusi számának melléklete, 39-47 (2012)

A. Meiszterics, K. Sinkó: Study of bioactive calcium silicate ceramic systems for biomedical applications, *IFMBE Proceedings* 37. 1098-1101 (2012)

K. Sinkó, E. Manek, A. Meiszterics, K. Havancsák, U. Vainio, H. Peterlik: Liquid-phase syntheses of cobalt ferrite nanoparticles”, *J. Nanoparticle Research* 14. 6. 1-14 (2012)

M. Zrínyi, M. Nakano, T. Tsujita.: Electrorotation of novel electroactive polymer composites in Uniform DC and AC electric field., *Smart Mater. Struct.* 21, (2012)

Zrínyi M., Gyenes T., Juriga D., Ji-Heung K.: Volume change of double cross-linked poly(aspartic acid) hydrogels induced cleavage of one of the crosslinks, *Acta Biomaterialia*, 9, 5122-5131. (2013)

M. Zrínyi: Physical Chemistry Under High Electric Field, *Journal of Electrostatics*, 71, 357-361. (2013)

Molnár K., Juriga D., Jedlovsky H.A., Zrínyi M.: Kolloidika a modern orvostudomány szolgálatában. *Természet Világa* 144, 488-491. (2013)

A. Meiszterics, K. Havancsák, K. Sinkó: Catalysis, nanostructure and macroscopic property triangle in bioactive calcium-containing ceramic system *Materials Science and Engineering C Materials for Biological Applications* 33, 1371-1379. (2013) Imf: 2,7

K. Sinkó: Gel-derived porous alumina systems *Materials Letters* 107, 344-347. (2013) Imf: 2,3

K. Sinkó, A. Meiszterics, U. Vainio “SAXS, WAXS structure investigation of nanostructured biohybrid systems” *Annual Report, Hasylab* (2013)

K. Sinkó, S. Kubuki, H. Peterlik: Various Three-Dimensional Structures connected by Al–O/OH/Acetate–Al bonds
Inorganic Chemistry 52, 13238–13243. (2013) Imf: 4,8

Genoveva Filipcsei, Kimio Sumaru, Toshiyuki Takagi, Toshiyuki Kanamori, Miklós Zrínyi: Swelling degree and shape change of photo- and thermo-response of spirobenzopyran-functionalized porous pNIPAAm hydrogels
Journal of Molecular Liquids 189, 63-67. (2014)

Kristóf Molnar, David Juriga, Peter Nagy, Katalin Sinkó, Angela Jedlovszky-Hajdú and Miklos Zrínyi: Electrospun poly(aspartic acid) gel scaffolds for artificial extracellular matrix
Polymer International, 63, 1608-1615. (2014)

Zrínyi M., Jedlovszky-Hajdú A, Tombácz E.: Mágneses folyadékok és rugalmas mágnesek
Magyar Tudomány, 3, 302-310. (2014)

A. Tél, R. Bauer, Zs. Varga, M. Zrínyi: Heat conduction in PNIPA gels
International Journal of Thermal Science 85, 47-53. (2014)

OTKA által közvetlenül nem támogatott közlemények

Zhao Wei , Jian Hai Yang , Xiao Jing Du , Feng Xu , Miklos Zrínyi , Yoshihito Osada, Fei Li, Yong Mei Chen: Dextran-Based Self-Healing Hydrogels Formed by Reversible Diels–Alder Reaction under Physiological Conditions,
Macromolecular Rapid Communications, 34, 1464–1470. (2013)

S. Kubuki, K. Matsuda, K. Akiyama, Z. Homonnay, K. Sinkó, E. Kuzmann, T. Nishida „Enhancement of electrical conductivity and chemical durability of $20 R_2O \cdot 10 Fe_2O_3 \cdot xWO_3 \cdot (70-x)V_2O_5$ glass (R=Na, K) caused by structural relaxation” *J. Non-Cryst. Solids* 378, 227-233. (2013)

S. Kubuki, J. Iwanuma, Y. Takahashi, K. Akiyama, Z. Homonnay, K. Sinkó, E. Kuzmann, T. Nishida „Visible Light Activated Catalytic Effect of Iron Containing Soda-lime Silicate Glass Characterized by ^{57}Fe -Mössbauer Spectroscopy” *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 301, 1-7. (DOI 10.1007/s10967-014-3109-y) (2014)

Zhao Wei, Jian Hai Yang, Jinxiong Zhou, Feng Xu, Miklós Zrínyi, Patrick H Dussault, Yoshihito Osada, Yong Mei Chen: Self-healing gels based on constitutional dynamic chemistry and their potential applications.
Chemical Society reviews 21,08/2014

Yang Gao, Zhao Wei, Fei Li, Zhi Mao Yang, Yong Mei Chen, Miklos Zrinyi and Yoshihito Osada: Synthesis of a morphology controllable Fe₃O₄ nanoparticle/hydrogel magnetic nanocomposite inspired by magnetotactic bacteria and its application in H₂O₂ detection

Green Chemistry, 1255 16(3) (2014)

A pályázati témával kapcsolatos előadások jegyzéke:

Zrinyi M.: Biokompatibilis anyagok: Mesterséges mátrixok és nanorészecskék
Országos Onkológiai Intézet, szakmai továbbképző program
2013 március 3 (meghívott előadó)

Zrinyi M.: A nanotechnológia első 150 éve.
Vírus klub, (meghívott előadó)
2013 ápr. 3

Miklós Zrinyi, Kristóf Molnár, Dávid Juriga, Angéla Jedlovszky-Hajdú: Poly(amino acid)-based Hydrogels fibers for Biomedical and Pharmaceutical Applications

M. Zrinyi, M. Nakano: From bending deformation to electrorotation
Training School on Ionic Artificial Muscles, (meghívott előadó)
29- 31 Oct, Cartagena, Spain.(2013)

Miklós Zrinyi, Rita Bauer, Loránd Kelemen and Masami Nakano:
Novel Electroactive Polymer for Micro-motor Development
Tenth International Conference on Flow Dynamics,
Sendai, JAPAN Nov.25-27 (2013)
(Invited lecture)

Attila Borsos, Rita Bauer, Zsófia Varga, Jedlovszky-Hajdú Angéla and Miklós Zrinyi:
Magnetic Hyperthermia and Heat Conduction in Polymer Gels,
Tenth International Conference on Flow Dynamics,
Sendai, JAPAN Nov.25-27 (2013)

Miklós Zrinyi, Rita Bauer, Loránd Kelemen and Masami Nakano:
Development of a Micro-motor for MEMS Utilizing Novel Electroactive Polymer
Fabricated by Photolithography
Tenth International Conference on Flow Dynamics,
Sendai, JAPAN Nov.25-27 (2013)
Proceedings CRF-71 p. 144

Zrinyi Miklós: Kolloidok a nanotechnológia és a modern orvostudomány szolgálatában
Akadémiai székfoglaló, Budapest, MTA székház, 2013 december 10
M. Zrinyi: Colloidal particles that make polymer smart,
International Conference Smart Functional Materials for Shaping our Future
19-20 September (2013), Debrecen, Hungary

M. Zrinyi and M. Nakano: Novel Electroactive Polymer for Micromotor Development
Eleventh International Conference on Flow Dynamics,
8-10 October (2014), Sendai, Japan
(invited lecture)

M. Zrinyi: Nanoparticles that Make Polymers Smart,
BIT's 4th Annual World Congress of Nano Science,
29-31 October (2014), Qingdao, China
(invited lecture)

B. Kobzi, J. Sinclair, S. Kubuki, K. Sinkó "Study on the effect of cryogenic conditions
on the porous aluminium oxide structures" Global Human Resource Program Bridging
Across Physics and Chemistry, International Exchange Program, Tokyo (2014)

N. Piukovics, K. Sinkó „Porous aluminium oxide – cellulose composite” International
Conference on Bio-Friendly Polymers and Polymer Additives: from Scientific Aspects to
Processing and Applications. 19-21 May (2014) Budapest, Hungary

M. Zrinyi: Thermally- and electrically adjustable smart windows based on phase
transition of polymer gels
Conference on advanced Glass Technology and Building Energy
3rd Nov. ALU EN Corporation Seoul, Korea
(invited lecture)

M. Zrinyi: Towards Smart Poly(amino-acid)-based Hydrogels for Biomedical and
Pharmaceutical Applications,
Polymer Network Group Meeting and Gel Symposium
10-14 Nov. Tokyo, Japan
(Keynote lecture)

M. Zrinyi, R. Bauer, L. Kelemen, M. Nakano: Novel Electroactive Polymer for Micro-
motor Development,
EAP workshop 2014, Electromechanically Active Polymer (EAP) transducers and
Artificial Muscles, 25-26 Nov. (2014) London, UK

B. Kobzi, A. Baris, S. Kubuki, K. Sinkó "Synthesis of highly porous aluminum oxide
structures with sol-gel method" Global Human Resource Program Bridging Across
Physics and Chemistry, International Exchange Program, Tokyo (2015)

