

**MULTIFUNKCIONÁLIS BIOKATALIZÁTOR KOLLOIDOK  
FEJLESZTÉSE ENZIMEK EGYÜTTES  
IMMOBILIZÁLÁSÁVAL**

**Sáringer Szilárd**

**TÉMAVEZETŐ:  
Dr. Szilágyi István**  
Egyetemi adjunktus



**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM**

**Természettudományi és Informatikai Kar**

**Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék**

**MTA-SZTE „Lendület” Biokolloidok Kutatócsoport**

**Kémia Doktori Iskola**

**Szeged**

**2022**

## I. Bevezetés

Az enzimek olyan biokatalizátorként működő fehérjék, amelyek növelik a biológiai rendszerekben lejátszódó kémiai reakciók sebességét. A természetben a sejtekben végbemenő szinte összes reakciót különféle enzimek együttműködése szabályozza, ugyanakkor ezeknek meghatározó szerepük van az ipari folyamatokban is. A különböző enzimtípusok között különösen fontos szerepük van az oxidoreduktáz enzimeknek a reaktív oxigén származékok (ROS) eltávolításában. Ilyenek lehetnek például a szuperoxid gyök anionok és a hidrogénperoxid. A káros környezeti hatások következtében a normál biokémiai reakciókban megnövekszik a ROS koncentrációja, amely oxidatív stressz kialakulásához vezet, ami károsítja a sejtalkotókat, és jelentős minőségbeli romlást okoz ipari termékekben is. A peroxidáz enzimek alkalmazása számos esetben elégséges lehet, azonban dizmutáz enzimekkel kombinálva enzimikus kaszkád reakciók játszódnak le, amely a ROS vízre és oxigénre történő teljes lebomlásához vezet.

Az enzimek ugyanakkor sérülékeny biokatalizátorok, amelyek a környezetükben bekövetkező változások miatt részben vagy teljesen elveszíthetik aktivitásukat. Ezt a környezeti hatásokkal szembeni érzékenységet tudjuk kiküszöbölni szilárd hordozókon történő immobilizálással, amely az ipari alkalmazásokban is számos technikai előnyt biztosít. A nanostrukturált anyagok előnyös tulajdonságaiknak köszönhetően ideális hordozóknak bizonyultak a különböző enzimek együttes immobilizációjához, amely lehetővé teszi multienzimikus rendszerek előállítását. Ugyanakkor a fluid fázisban diszpergált nanorészecskék alkalmazásának fő korlátja a részecskék aggregációja, amely az enzimek nem megfelelő működéséhez, ezáltal az antioxidáns hatás megszűnéséhez vezet. Mivel ezeket az összetett anyagokat heterogén rendszerekben, például vérben, víz bázisú biológiai környezetben vagy ipari gyártási folyamatokban alkalmazzák, az aggregációs folyamatok szabályozása kiemelt fontosságú. A környezeti körülmények, például az ionerősség, a hőmérséklet és a pH jelentősen befolyásolják az összetett részecskék felületi töltési és aggregációs folyamatait, és ezáltal a diszperziók kolloidstabilitását.

Az ellentétesen töltött polielektrolitoknak a részecskék felületén történő adszorpciójával hatékonyan tudjuk szabályozni a vizes közegben diszpergált nanorészecskék töltését és aggregációs tulajdonságait. A szekvenciális adszorpció módszerével létrehozott többrétegű kompozitok ideális hordozók lehetnek a különböző enzimek együttes immobilizálására. Ezen rendszerekben a polielektrolit rétegek hordozó szerepük mellett az enzimek térben történő elválasztását, és a részecskék előnyös kolloidstabilitását is biztosítják.

### **II. Célkitűzések**

Célunk volt polielektrolitok titán-dioxid nanolapokon (TNS), valamint a papain (PPN) enzim polimer latex részecskéken (SL) történő adszorpciós mechanizmusának vizsgálata. Szisztematikus, fényszóráson alapuló, mérések végrehajtásával meghatároztuk a csupasz és a funkcionizált részecskék felületi töltési tulajdonságait és aggregációs sebességét polielektrolitok, enzimek és elektrolitok jelenlétében, hogy tisztázzuk a kolloidkémiai paramétereket befolyásoló kölcsönhatásokat. A polielektrolitok és enzimek dózisának optimalizálásával célul tűztük ki nagy kolloidstabilitású kompozit nanostruktúrák fejlesztését, amelyek ideális hordozók lehetnek a különböző enzimek együttes immobilizációjához.

A munkánk másik fő célja olyan bio-nanokompozitokat tartalmazó stabil kolloid diszperziók létrehozása volt, amelyek antioxidáns és proteolitikus hatással is rendelkeznek. Ezt a célt az enzimek polielektrolitokkal funkcionizált szervesetlen TNS, valamint a PPN enzimmel funkcionizált SL részecskéken történő együttes immobilizálásával valósítottuk meg, a szekvenciális adszorpció módszerét alkalmazva. Az így előállított hibrid anyagok kettős enzimikus hatását biokémiai módszerekkel kívántuk igazolni.

### III. Kísérleti rész

Az előállított részecske diszperziók hidrodinamikai méretét és aggregációs sebességét dinamikus fényszórással (DLS) határoztuk meg különböző kísérleti körülmények között, polielektrolitok, enzimek és elektrolitok jelenlétében. A részecskék felületi töltési tulajdonságait elektroforetikus fényszórással (ELS) mértük. Ezen technikákat alkalmaztuk az adszorbeált komponensek dózisének optimalizálására is.

Új módszert dolgoztunk ki a kritikus koagulációs koncentráció (CCC) és a kritikus koagulációs ionerősség (CCIS) meghatározására. A kifejlesztett módszer az aggregációs állandók közvetlen meghatározása nélkül képes megbecsülni a diszperziók destabilizálásához szükséges elektrolitkoncentrációt, a kísérletileg meghatározott elektroforetikus mobilitás mérési eredményekből.

Hordozó anyagként hidrotermális módszerrel szintetizált TNS nanorészecskéket használtunk. A szuperoxid-dizmutáz (SOD) és a torna-peroxidáz (HRP) enzimek PDADMAC és PSS polielektrolit rétegeken történő együttes immobilizálását szekvenciális adszorpcióval hajtottuk végre, így előállítva a TNS-PDADMAC-SOD-PSS-HRP és a TNS-HRP-PDADMAC-SOD-PSS kompozitokat. A polielektrolit és enzim dózisok optimalizálásával biztosítottuk a rendszerek kolloidstabilitását. A részecskék morfológiájának meghatározására transzmissziós elektronmikroszkópiás (TEM) méréseket végeztünk.

A szulfát csoportokkal funkcionizált polisztirol latex nanorészecskéket PPN enzim felületi adszorpciójával módosítottuk, amelyre a szekvenciális adszorpció módszerével előbb egy heparin (HEP) polielektrolit majd egy HRP enzim réteget építettünk fel, így előállítva a nagy kolloidstabilitással rendelkező SL-PPN-HEP-HRP kompozit anyagot. Az enzimkoncentrációk meghatározására Bradford fehérjetesztet, míg a HRP enzim sikeres immobilizálásának kimutatására nagy felbontású konfokális mikroszkópiát (dSTORM) alkalmaztunk.

Az immobilizált és az oldatban lévő HRP és SOD enzimek antioxidáns aktivitását gvajakol és Fridovich tesztekkel határoztuk meg. A PPN-t tartalmazó minták proteolitikus aktivitását univerzális proteáz teszttel mértük. A fenti módszerek esetében a reakciók színváltozását UV-Vis spektrofotometriával követtük.

## IV. Új tudományos eredmények

**T1. A pozitív töltésű TNS-t tartalmazó diszperziókban az azonos töltésű PDADMAC és az ellentétes töltésű PSS adszorpciója egyaránt lejátszódik a felületen. A negatív töltésű TNS esetében az azonos töltésű PSS az oldatfázisban maradt míg az ellentétesen töltéssel rendelkező PDADMAC adszorbeálódott a felületen és ez kiemelkedő kolloidstabilitás kialakulásával járt elektrolitok jelenlétében a további, nem-DLVO eredetű, sztérikus taszító erőknek köszönhetően.**

T1.1. Savas körülmények között az azonos töltésű PDADMAC adszorpcióját a TNS felületén az elektroforetikus mobilitás értékek enyhe növekedése jelezte nagy polielektrolit dózisok esetén. Megállapítottuk, hogy az ellentétesen töltött PSS adszorpciója a részecskék áttöltődését eredményezte. Az időfüggő DLS mérések eredményei alapján kimutattuk, hogy a TNS aggregációs sebessége függ a PSS mennyiségétől és a részecskék közti kölcsönhatások főként DLVO (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek) eredetűek, ugyanakkor alacsony borítottság esetén megfigyelhető volt az úgynevezett „patch-charge” hatás, amely a vonzó jellege miatt nagyobb aggregációs állandókat eredményezett.

T1.2. Bázikus körülmények között a TNS semleges töltésállapota feletti pH értéken a negatív töltéssel rendelkező részecskék nem lépnek kölcsönhatásba az azonos töltésű PSS-tal, ugyanakkor az ellentétes töltéssel rendelkező PDADMAC nagy mértékű adszorpciója lejátszódott a részecskék felületén. Az izoelektromos pontban a semleges töltésállapot következtében instabil diszperziók keletkeztek, azonban az izoelektromos pont alatti és feletti polielektrolit dózisoknál stabil diszperziókat tapasztaltunk. Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a PDADMAC egy kiterjedtebb konformációban adszorbeálódik a felületen melynek következtében a rendszerben nem jelentkezett a „patch-charge” hatás.

T1.3. Kimutattuk, hogy savas körülmények között, pozitív töltésű TNS részecskék esetén a sókoncentráció függő aggregációs mérések során a CCC értékek  $TNS < PDADMAC-TNS < PSS-TNS$  sorrendben követték egymást, amely az azonos töltésű PDADMAC adszorpcióját is jelzi. A részecskék közti erőhatások összhangban vannak a DLVO elmélettel, azonban a csupasz részecskék esetén további nem-DLVO eredetű vonzó kölcsönhatások figyelhetők meg. A negatív töltésű részecskék esetén a CCC értékek  $TNS \approx PSS-TNS \lll PDADMAC-TNS$  sorrend szerint változtak. A PDADMAC-TNS rendszer eltérő aggregációs mechanizmusa és a CCC értékek nagymértékű növekedése további nem-

DLVO eredetű sztérikus kölcsönhatásokra utal, amit az adszorbeált polielektrolit láncok átfedése és az ozmotikus nyomás növekedése eredményez. A DLVO erők eredetét számítási módszerekkel is igazoltuk.

**T2. Sikeresen állítottunk elő SOD és HRP enzimeket tartalmazó stabil részecske diszperziókat szekvenciális adszorpciós módszerrel történő együttes immobilizálással, TNS hordozó felületén PDADMAC és PSS polielektroliok alkalmazásával.**

T2.1. A TNS nanorészecskék felületére polielektrolit kettősréteget építettünk fel pozitív töltésű PDADMAC és negatív töltésű PSS alkalmazásával, szekvenciális adszorpcióval. Az optimális polielektrolit dózisok meghatározásával létrehoztuk a TNS-PDADMAC-PSS kompozit rendszert, mely a megnövekedett kolloidstabilitása révén ideális hordozónak bizonyult a további enzim immobilizációs kísérletekhez.

T2.2. A fenti eredmények alapján SOD és HRP enzimeket immobilizáltunk a TNS-PDADMAC-PSS struktúrába. Az enzim dózisokat úgy optimalizáltuk, hogy a TNS-PDADMAC-SOD-PSS-HRP kompozit kolloidstabilitása hasonlóan magas maradjon, mint az enzimeket nem tartalmazó TNS-PDADMAC-PSS részecskéké.

T2.3. Az immobilizált enzimek katalitikus aktivitását biokémiai tesztekkel határoztuk meg. Bebizonyítottuk, hogy az enzimek együttes immobilizációja nem okoz jelentős veszteséget az enzimaktivásban, azonban az enzimek sorrendjének változtatása eltérő antioxidáns hatást eredményezett.

**T3. Az SL részecskék felületi töltését és aggregációs tulajdonságait a PPN enzim adszorpciójával szabályoztuk. Bizonyítottuk, hogy a felületen adszorbeált enzim proteolitikus aktivitása az immobilizálás után megmarad.**

T3.1. Az elektroforetikus mobilitás és az időfüggő DLS mérések eredményeivel kimutattuk, hogy a PPN enzim adszorbeálódott az ellentétes töltésű SL részecskefelületén. Ilyen polielektrolit-szerű adszorpcióról korábban nem számoltak be az enzim-részecske rendszerek esetében. A töltési és aggregációs folyamatokat erősen befolyásolta az enzim koncentrációja. A részecskék felületén kialakult telített enzimiréteg egy stabil SL-PPN diszperziót eredményezett.

T3.2. Az aggregációs mérések eredményei alapján igazoltuk, hogy a részecskék közötti kölcsönhatások elsősorban DLVO eredetűek, azonban magas enzim koncentrációk esetén

megfigyelhetőek voltak az adszorbeált enzimpláncok közötti sztérikus kölcsönhatások, amelyek jelenléte nagy kolloidstabilitású diszperziókat eredményezett.

T3.3. Az SL-PPN kompozit proteolitikus aktivitását biokémiai teszttel határoztuk meg. Az immobilizált PPN enzimaktivitása 67% -kal alacsonyabb volt, mint az oldatban lévő natív enzimé, ugyanakkor a kapott SL-PPN kompozit magában hordozza a heterogén katalizátorok előnyös tulajdonságait.

**T4. Sikeresen immobilizáltunk PPN és HRP enzimeket együttesen SL hordozóra, szekvenciális adszorpciós módszerrel, HEP polielektrolitot alkalmazva, mely térben elválasztja egymástól az enzimeket. Kimutattuk, hogy az előállított SL-PPN-HEP-HRP kompozit magas kolloidstabilitással és kettős oxidatív-fehérjebontó funkcióval rendelkezik.**

T4.1. Az SL nanorészecskék felületén sikeresen hoztunk létre PPN enzimből és HEP polielektrolitból álló kettős réteget szekvenciális adszorpcióval (SL-PPN-HEP), melynél a telített HEP polielektrolit réteg magas kolloidstabilitást biztosított a részecskék számára magas ionerősségeknél is.

T4.2. Az így előállított kompozit felületére HRP enzimet immobilizáltunk, megalkotva ezáltal a SL-PPN-HEP-HRP rendszert. A HRP dózist úgy optimalizáltuk, hogy a diszperzió kolloidstabilitása jelentős maradjon. A PPN és a HRP irreverzibilis immobilizációját Bradford féle fehérje teszttel és nagy felbontású konfokális mikroszkópiával (dSTORM) igazoltuk.

T4.3. A rögzített enzimek duális enzimaktivitását biokémiai vizsgálatokkal mutattuk ki, melynek eredményei alapján megállapítottuk, hogy a hidrolitikus és az antioxidáns katalitikus hatás még 5 nap után is jelentős volt. Az enzimeket tartalmazó homogén oldatban ugyanakkor a HRP, a PPN enzim fehérjebontó hatása miatt, három nap múlva elvesztette aktivitását.

## V. Gyakorlati alkalmazások

A CCC értékek kiszámítására létrehozott módszer más kutatók számára is lehetővé teszi a CCC értékek kizárólag elektroforetikus mobilitás adatok alapján történő meghatározását. Ez az eszköz különösen fontos lehet olyan rendszerekben, amelyekben a CCC közvetlen mérése nem lehetséges az aggregációs sebesség mérésekhez szükséges feltételek hiánya miatt, valamint elektrolit keveréket tartalmazó diszperziókban, úgy, mint számos ipari és környezeti folyamatban. A TNS alapú antioxidáns anyagok ígéretes jelöltek az orvosbiológiai alkalmazásokban a ROS szint csökkentésére, beleértve az  $O_2^-$  és  $H_2O_2$  egyidejű lebontását folyékony közegben, mely körülmények között a részecskék kolloidstabilitása kiemelt fontosságú. Ilyen orvosbiológiai alkalmazás lehet a gyulladáscsökkentő bélbetegségek kezelése. A kifejlesztett kompozitok ROS lebontó képessége felhasználható továbbá ipari gyártási folyamatokban, például kozmetikumok készítése során vagy textilipari termékek minőségének javításában. A PPN és a HRP enzimek együttes alkalmazása elengedhetetlen bizonyos ipari területeken, például az élelmiszeriparban és a gyógyszeriparban, azonban felhasználásának határt szab a PPN fehérjebontó hatása, mely a HRP-re is kiterjed. A kifejlesztett immobilizált multienzimátikus SL-PPN-HEP-HRP kompozit anyag alkalmazásával ez a korlát kiküszöbölhető, ugyanis a HEP elválasztja egymástól az enzimeket a hordozó felületén és ezáltal biztosítja a hosszútávú peroxidáz és proteáz aktivitást. Ezekben a példákban túl egyszerűen előállítható és hatásos multienzimátikus katalitikus rendszerekre nagy szükség van számos területen, mind az alapkutatásban, mind az alkalmazott tudományágakban. Ezért a doktori munka során megszerzett ismeretek az érdeklődés középpontjában állhatnak biokatalitikus rendszerekkel foglalkozó tudományos és technológiai közösségekben.



## VI. Tudományos közlemények listája

MTMT azonosító: 10062649

### Az értekezés témaköréhez tartozó publikációk

---

1. **Szilárd Sáringer**, Tamás Valtner, Árpád Varga, József Maléth, István Szilágyi  
*Development of polymer-based multifunctional composite particles of protease and peroxidase activity*  
JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY B 10 (2022) 2523-2533  
Kézirat azonosító: 10.1039/D1TB01861B SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 0 IF<sub>2020</sub>: 6,331
2. **Szilárd Sáringer**, Paul Rouster, István Szilágyi  
*Co-immobilization of antioxidant enzymes on titania nanosheets for reduction of oxidative stress in colloid systems*  
JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE 590 (2021) 28-37.  
Kézirat azonosító: 10.1016/j.jcis.2021.01.012 SJR indikátor: D1  
Független hivatkozások: 8 IF<sub>2020</sub>: 8,128
3. Marco Galli, **Szilárd Sáringer**, István Szilágyi, Gregor Trefalt (közös elsőszerezőség)  
*A Simple Method to Determine Critical Coagulation Concentration from Electrophoretic Mobility*  
COLLOIDS AND INTERFACES 4 (2020) 20.  
Kézirat azonosító: 10.3390/colloids4020020 SJR indikátor: –  
Független hivatkozások: 14 IF<sub>2020</sub>: –
4. **Szilárd Sáringer**, Rita Achieng, Adél Szerlauth, István Szilágyi  
*Papain Adsorption on Latex Particles: Charging, Aggregation, and Enzymatic Activity*  
THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B 123 (2019) 9984-9991.  
Kézirat azonosító: 10.1021/acs.jpcc.9b08799 SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 8 IF<sub>2019</sub>: 2,857
5. **Szilárd Sáringer**, Paul Rouster, István Szilágyi  
*Regulation of the Stability of Titania Nanosheet Dispersions with Oppositely and Like-Charged Polyelectrolytes*  
LANGMUIR 35 (2019) 4986-4994.  
Kézirat azonosító: 10.1021/acs.langmuir.9b00242 SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 11 IF<sub>2019</sub>: 3,557

---

**Nem az értekezés témaköréhez tartozó publikációk**

---

1. Nizar B. Alsharif, Gergely F. Samu, **Szilárd Sáringer**, Adél Szerlauth, Dóra Takács, Viktória Hornok, Imre Dékány, Istvan Szilagyí  
*Antioxidant colloids via heteroaggregation of cerium oxide nanoparticles and latex beads*  
COLLOIDS AND SURFACES B: BIOINTERFACES 216, (2022) 112531  
DOI: 10.1016/j.colsurfb.2022.112531 SJR indikátor: Q1  
Independent citations: 0 IF<sub>2022</sub>: 5,268
2. Adél Szerlauth, Lilla Szalma, Szabolcs Muráth, **Szilárd Sáringer**, Gábor Varga, Li Li, István Szilagyí  
*Nanoclay-based sensor composites for the facile detection of molecular antioxidants*  
ANALYST 147 (2022) 1367-1374.  
Kézirat azonosító: 10.1039/D1AN02352G SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 0 IF<sub>2022</sub>: 4,616
3. Adél Szerlauth, Edina Balogh, Dóra Takács, **Szilárd Sáringer**, Gábor Varga, Gábor Schusztér, István Szilagyí  
*Self-assembly of delaminated layered double hydroxide nanosheets for the recovery of lamellar structure*  
COLLOID AND INTERFACE SCIENCE COMMUNICATIONS 46 (2022) 100564.  
Kézirat azonosító: 10.1016/j.colcom.2021.100564 SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 0 IF<sub>2022</sub>: 4,914
4. Bojana Katana, Dóra Takács, Adél Szerlauth, **Szilárd Sáringer**, Gábor Varga, Andrej Jamnik, Felix D Bobbink, Paul J Dyson, Istvan Szilagyí  
*Aggregation of halloysite nanotubes in the presence of multivalent ions and ionic liquids*  
LANGMUIR 37 (2021) 11869-11879  
Kézirat azonosító: 10.1021/acs.langmuir.1c01949 SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 1 IF<sub>2021</sub>: 3,882
5. Livia Vásárhelyi, Tímea Hegedűs, **Szilárd Sáringer**, Gergő Ballai, István Szilagyí, Zoltán Kónya  
*Stability of Boron Nitride Nanosphere Dispersions in the Presence of Polyelectrolytes*  
LANGMUIR 37 (2021) 5399-5407.  
Kézirat azonosító: 10.1021/acs.langmuir.1c00656 SJR indikátor: Q1  
Független hivatkozások: 0 IF<sub>2020</sub>: 3,882

6. Nizar B. Alsharif, Katalin Bere, **Szilárd Sáringer**, Gergely F. Samu, Dóra Takács, Viktória Hornok, Istvan Szilagyi  
*Design of hybrid biocatalysts by controlled heteroaggregation of manganese oxide and sulfate latex particles to combat reactive oxygen species*  
 JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY B 9 (2021) 4929-4940.  
 Kézirat azonosító: 10.1039/D1TB00505G SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 1 IF<sub>2021</sub>: 6,331
7. Nizar B. Alsharif, Gergely F.Samu, **Szilárd Sáringer**, Szabolcs Muráth, Istvan Szilagyi  
*A colloid approach to decorate latex particles with Prussian blue nanozymes*  
 JOURNAL OF MOLECULAR LIQUIDS 309 (2020) 113066.  
 Kézirat azonosító: 10.1016/j.molliq.2020.113066 SJR indikátor: Q1  
 Független hivatkozások: 8 IF<sub>2020</sub>: 6,165
8. Szabolcs Muráth, Nizar B. Alsharif, **Szilárd Sáringer**, Bojana Katana, Zoltán Somosi, Istvan Szilagyi  
*Antioxidant Materials Based on 2D Nanostructures: A Review on Recent Progresses*  
 CRYSTALS, 10(3) (2020) 148.  
 Kézirat azonosító: 10.3390/cryst10030148 SJR indikátor: Q2  
 Független hivatkozások: 12 IF<sub>2020</sub>: 2,589
9. Szabolcs Muráth, **Szilárd Sáringer**, Zoltán Somosi, István Szilágyi  
*Effect of Ionic Compounds of Different Valences on the Stability of Titanium Oxide Colloids*  
 COLLOIDS AND INTERFACES 2 (2018) 32.  
 Kézirat azonosító: 10.3390/colloids2030032 SJR indikátor: –  
 Független hivatkozások: 17 IF<sub>2018</sub>: –
10. Paul Rouster, Marko Pavlovic, **Szilárd Sáringer**, Istvan Szilagyi  
*Functionalized Titania Nanosheet Dispersions of Peroxidase Activity*  
 THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C 122 (2018) 11455-11463.  
 Kézirat azonosító: 10.1021/acs.jpcc.8b03271 SJR indikátor: D1  
 Független hivatkozások: 7 IF<sub>2018</sub>: 4,309
11. Ildikó Y. Tóth, Márta Szekeres, Rodica Turcu, **Szilárd Sáringer**, Erzsébet Illés, Dániel Nesztor, Etelka Tombácz  
*Mechanism of in Situ Surface Polymerization of Gallic Acid in an Environmental-Inspired Preparation of Carboxylated Core–Shell Magnetite Nanoparticles*  
 LANGMUIR 30 (2014) 15451–15461.  
 Kézirat azonosító: 10.1021/la5038102 SJR indikátor: D1  
 Független hivatkozások: 43 IF<sub>2014</sub>: 4,457

**Tudományometriai adatok**

---

Összes referált közlemény:	<b>16</b>	az értekezéshez kapcsolódik: <b>5</b>
Összesített impakt faktor:	<b>62,670</b>	az értekezéshez kapcsolódik: <b>20,873</b>
Összesített független hivatkozás:	<b>130</b>	az értekezéshez kapcsolódik: <b>41</b>

**Konferencia megjelenések az értekezés témakörében**

---

1. **Szilárd Sáringer**, Tamás Valtner, István Szilágyi (szóbeli előadás)  
*Multifunctional composite polymeric particles with dual protease and peroxidase activities*  
33rd Australian Colloid and Surface Science Student Conference, 2022. január 31-február 2, Mawson Lakes, Ausztrália (online)
2. **Szilárd Sáringer**, Tamás Valtner, István Szilágyi (szóbeli előadás)  
*Co-immobilization of papain and horseradish peroxidase on latex nanoparticles*  
35<sup>th</sup> Conference of the European Colloid & Interface Society, 2021. szeptember 10-15, Athén, Görögország (online)
3. **Szilárd Sáringer**, István Szilágyi (poszter)  
*Immobilization of an antioxidant enzyme cascade on titania nanosheets*  
Geneva Colloids 2021, 2021. április 8-9, Genf, Svájc (online)
4. **Szilárd Sáringer**, István Szilágyi (szóbeli előadás)  
*Immobilization of an antioxidant enzyme cascade on titania nanosheets*  
XLIII. Kémiai Előadói Napok, 2020. október 27-29, Szeged, Magyarország (online)
5. **Szilárd Sáringer**, Paul Rouster, István Szilágyi (szóbeli előadás)  
*Regulation of the stability of titania nanosheet dispersions with oppositely and like-charged polyelectrolytes*  
17th European Student Colloids Conference, 2019. június 18-22, Várna, Bulgária
6. **Szilárd Sáringer**, Paul Rouster, István Szilágyi (poszter)  
*Colloidal stability of polyelectrolyte functionalized titania nanosheets*  
35th International Conference on Solution Chemistry, 2018. augusztus 26-30, Szeged, Magyarország