

Doktori (*Ph.D.*) értekezés tézisei



**Arany nanorészecskék és nanoklaszterek szintézise,  
szerkezetvizsgálata és szenzorikai alkalmazásai**

**Janóné Ungor Ditta Anita**

Témavezető:

Dr. Csapó Edit

egyetemi adjunktus

**Kémia Doktori Iskola**

**Szegedi Tudományegyetem**

Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Általános Orvostudományi Kar Orvosi Vegytani Intézet

Szeged

2018



## 1. Bevezetés

Az elmúlt néhány évtizedben a nemesfém nanoszerkezetű anyagok előállítása és szerkezetvizsgálata – köszönhetően a morfológiájuktól, méretüktől és összetételüktől függő optikai sajátságaiknak – egyre inkább az érdeklődés középpontjába kerültek. Ezen nanoszerkezetek az elektronikától a katalízisen át a gyógyászatig számos tématerületen alkalmazhatóak. Az arany jól ismert kémiai inertsége a nanométeres mérettartományban is jelen van. Emellett a tömbfázishoz képesti megnövekedett reaktivitása és az újonnan megjelenő optikai sajátsága, amely a lokalizált felületi plazmon rezonancia (*localised surface plasmon resonance*, LSPR) jelenség következtében figyelhető meg, széleskörűen tanulmányozott nanoszerkezetű anyag.

Az orvosbiológiai területen történő felhasználások során a szelektíven funkcionalizált arany nanorészecskék (Au NPs) mellett a fluoreszcens, szub-nanométeres mérettartományba sorolható arany nanoklaszterek (Au NCs) is egyre inkább a figyelem középpontjába kerülnek, mivel nagy kinetikai stabilitást mutatnak fiziológiás közegben. A biokompatibilis úton történő előállítási eljárások közül az egyik gyakorta alkalmazott *in*. nedveskémiai szintézis során egyazon szerves molekula tölti be a redukáló- és a stabilizálószer szerepét. Az alkalmazott szerves molekula és prekursor aranyion arányától függően eltérő nanoszerkezetek (NPs vagy NCs) állíthatók elő. Nevezetesen, ha a biomolekulát ekvivalens mennyiségben vagy csak kis feleslegben adagoljuk a fémion mennyiségéhez, akkor termékként olyan Au kolloidok képződnek, ahol a részecskék átmérője átlagosan  $d = 2$  nm-nél nagyobb lesz és az UV-látható spektrumokon megjelenik a méret- és alakfüggő karakterisztikus plazmon módus. Ezzel szemben, ha nagy biomolekula felesleget alkalmazunk a szintézisek során, akkor szub-nanométeres Au NCs képződhetnek termékként ( $d > 2$  nm). A reaktánsok moláris aránya mellett azonban a szintézisek során alkalmazott pH is jelentős szereppel bír a kialakuló nanoobjektumok szerkezeti, ezáltal optikai sajátságaira. A szub-nanométeres Au NCs olyan egyedi fizikai és kémiai sajátságokkal rendelkeznek, mint pl. a jól definiált molekul szerkezet, diszkrét elektronátmenet és a szerkezetükkel hangolható fotolumineszcencia (PL). Kiemelkedően jó kvantumhasznosításuk lehetővé teszi fluoreszcens jelzőanyagként való alkalmazásukat, de fluoreszcens bioszenzorok alapjait is képezhetik.

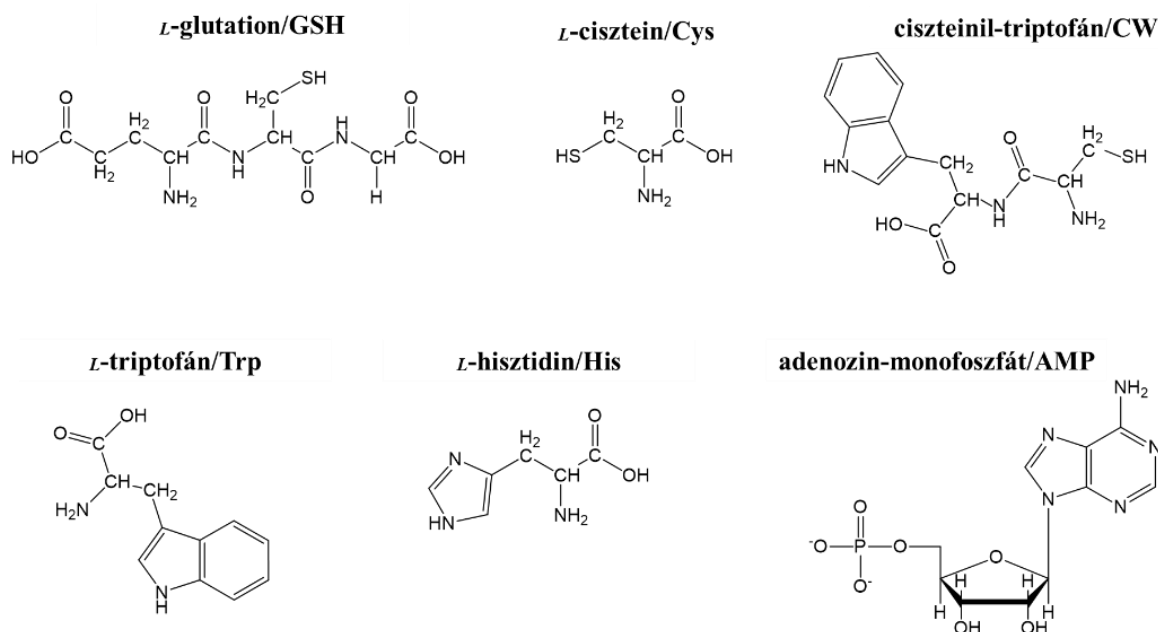
## 2. Célkitűzés

Kutatócsoportunkban már néhány éve kiemelt figyelmet kap a plazmonikus arany nanorészecskék és fluoreszcens sajátsággal bíró arany nanoklaszterek biokompatibilis szintéziseinek kidolgozása illetve a szintetizált arany/biomolekula hibrid nanoszerkezetek jellemzése: szerkezet és optikai tulajdonságai közötti kapcsolatuk feltérképezése, valamint potenciális hasznosíthatóságuknak vizsgálata. Ezen kutatásokba kapcsolódtam be 2014. őszén a Kémia Doktori Iskola Katalízis, felület, kolloid és anyagtudomány alprogramjának keretein belül. Munkám első felében tioltartalmú fehérjék és kismolekulák kölcsönhatását vizsgáltuk tetrakloro-aurát ( $\text{AuCl}_4^-$ ) ionokkal vizes közegben, majd a biokompatibilis szintéziseket az aromás N-tartalmú molekulák tanulmányozására is kiterjesztettük. Főbb célul tűztük ki olyan reprodukálható szintézismódszerek kidolgozását, amely során termékként jól definiált optikai sajátsággal rendelkező arany nanohibrid rendszerek keletkeznek. Meghatározni kívántuk a szintézisek jelentős kísérleti paramétereit (reaktánsok mólaránya, pH, reakcióidő *stb.*), valamint széleskörűen kívántuk jellemeztük a stabil nanodiszperziókat, *ill.* a fluoreszcens hibrid struktúrákat. Néhány rendszer esetén javaslatot tettük orvosdiagnosztikai és szenzorikai felhasználásokra is.

Ezen túlmenően a doktori értekezés egyik fő motivációja volt, hogy bár nemzetközi viszonylatban meglehetősen sok kutatócsoport foglalkozik nemesfém nanoklaszterek jellemzésével, de a hazai viszonylatban mindösszesen 2–3 kutatócsoportban tanulmányozzák a nanoklaszterek szerkezetfüggő optikai tulajdonságait. Kutatómunkánk eredményeivel hozzájárulni kívántunk ezen tématerület sokrétűségének bemutatásához.

## 3. Szintézisek és vizsgálati módszerek

A szintézisekhez és vizsgálatokhoz alkalmazott vegyszerek analitikai tisztaságúak voltak, így azokat további tisztítás nélkül használtuk fel. Az egyes törzsoldatokat és azok felhasználásával készített vizes közegű nemesfém diszperziókat minden esetben ultratiszta, kiforralt és nitrogénnel  $\text{CO}_2$ -mentesített MQ-vízzel (Millipore, Milli-Q Integral3, vezetőképesség 18,2 mS/cm 25 °C-on) frissen készítettük el. A szintézisek paramétereit, mint új tudományos eredményeket ismertetjük. A szintézisekhez közvetlenül felhasznált molekulák szerkezeti képleteit, a fehérjék kivételével, a **1. ábra** foglalja össze.



**1. ábra:** A szintézishez használt kismolekulák szerkezeti képletei.

Az előállított plazmonikus nanorészecskéket és fluoreszcens nanoklasztereket az alábbi mérés technikák felhasználásával jellemeztük:

- UV-látható spektrofotometria (Shimadzu UV-1800)
- Spektrofluorimetria (Horiba Jobin Yvon Fluoromax-4)
- Fluoreszcencia élettartam és kvantumhasznosítás (Edinburgh FLS920)
- Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (BIO-RAD Digilab Division FTS-65A/896 és BIO-RAD Digilab Division FTS-40)
- Cirkuláris dikroizmus spektroszkópia (JASCO J-1100)
- Tömegspektrometria (Waters-Micromass és Bruker Reflex II)
- Dinamikus fényszórás és  $\xi$ -potenciál mérés (Malvern NanoZS)
- Nagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkópia (FEI Tecnai G2 20 X-Twin)
- Röntgen fotoelektron spektroszkópia (SPECS XR50 röntgenső és PHOIBOS 150 MCD 9 analizátor)
- Röntgediffraktometria (Bruker D8)
- Képző röntgenszórás (Philips PW 1820 röntgenső, KCEC/3 típusú Kratky-kamera és PDS 50M típusú detektor)
- Fluoreszcencia mikroszkópia (100W-os HBO lámpával szerelt Leica DM IL LID FLUO)
- Fagyasztva szárítás (Christ-Alpha 1-2 LD)
- Izotermikus titrációs kalorimetria (MicroCal)

#### 4. Új tudományos eredmények

**T1.** *Lizozim fehérjével-stabilizált arany nanorészecskék és nanoklaszterek méretszabályozott szintézise és szerkezetvizsgálata.* [1]

- Sikeresen alkalmaztunk  $\text{AuCl}_4^-$ -ionok vizes közegű redukciójához  $37\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten LYZ fehérjét. A kiindulási reakcióelegyben szisztematikusan változtatva a komponensek tömegarányát lúgos közegben mind plazmonikus Au nanorészecskék (LYZ: Au/5:1), mind fluoreszcens Au nanoklaszterek (LYZ: Au/20:1) előállítására is lehetőség nyílt; a kialakuló fémrészecskék mérete a LYZ mennyiségének növelésével csökkenő tendenciát mutatott. Tanulmányozva a termékek optikai sajátságait és méretét megállapítottuk, hogy a LYZ-Au NPs plazmonikus sávja  $\lambda = 518\text{ nm}$ -nél jelentkezett, átlagos méretük TEM felvételek alapján  $d = 12,0 \pm 3,1\text{ nm}$  volt. A fluoreszcens klaszterek ezzel szemben nem rendelkeztek plazmonikus sajátsággal, emissziójuk a látható fény vörös tartományán jelentkezett ( $\lambda_{\text{em}} = 655\text{ nm}$ ), átlagos méretük pedig  $1,5 \pm 0,3\text{ nm}$ -nek adódott az elektronmikroszkópos képek alapján.

- Liofilizálás után mind a LYZ-Au NPs, mind pedig a LYZ-Au NCs akár 1 évig is eltárolhatók és aggregáció nélkül rediszpergálhatók. A SAXS és FT-IR mérés technikákkal történő szerkezetvizsgálatok alapján meghatároztuk, hogy a fehérje szerkezetében bekövetkező változások mindkét mérés technikával azonos eredményeket mutattak. A SAXS szórás görbe Kratky-reprezentációjából megállapítottuk, hogy a LYZ-Au NPs képződését követően a fehérje részlegesen kigombolyodott formában található a NPs felületén. A LYZ-Au NCs vonatkozásában a LYZ teljesen kitekeredett állapota volt azonosítható, melyet az FT-IR spektrumokból meghatározható Amid I sáv helye is igazolt ( $1648\text{ cm}^{-1}$ , rendezetlen, ún. random coil struktúra).

**T2.** *Arany nanorészecskék és nanoklaszterek méretszabályozott szintézise  $\gamma$ -globulin immunofehérjével. A  $\gamma$ G-Au NCs szenzorikai felhasználása L-kinurenin fluorimetriás detektálására.*

- Igazoltuk, hogy redukáló- és stabilizálószerként  $\gamma$ G immunofehérjét alkalmazva arany kolloidok és arany nanoklaszterek közvetlen előállítása megvalósítható. A  $\gamma$ G: Au/1:1 tömegarány mellett előállított Au NPs plazmon módusa  $\lambda = 525\text{ nm}$ -nél jelentkezett, átlagos méretük a TEM felvételek alapján  $24,2 \pm 12,3\text{ nm}$ , míg  $\gamma$ G: Au/15:1 tömegarány beállítása mellett vörösén emittáló ( $\lambda_{\text{em}} = 645\text{ nm}$ ), monodiszperz méreteloszlást mutató ( $1,5 \pm 0,3\text{ nm}$ ) fluoreszcens Au NCs-t kaptunk termékként.

- Az FT-IR és CD spektroszkópiás vizsgálatok rámutattak arra, hogy a fehérje másodlagos szerkezeti elemei a klaszterképződésnek köszönhetően megváltoznak: a döntően  $\beta$ -redős szerkezet  $\beta$ -kanyarokká és rendezetlen struktúrává (random coil) alakultak át. A  $\gamma$ G-Au NCs nagymértékű kinetikai stabilitást mutattak fiziológiás körülmények között.

- Sikeresen alkalmaztuk a  $\gamma$ G-Au NCs-t, mint potenciális *L*-kinurenin (Kyn) bioszenzort. A kinurenin útvonal főbb metabolitjai közül, csak a Kyn oltotta ki a klaszterek fluoreszcenciáját. A szenzorikai méréseket 4 különböző hőmérsékleten (298, 303, 308, 313 K) végeztük el, a kölcsönhatás részletesebb megértéséhez pedig meghatároztunk számos analitikai és termodinamikai paramétert. A legkisebb kimutatható Kyn mennyiség 15  $\mu$ M-nak adódott, míg a szenzorikai mérések a 15-100  $\mu$ M Kyn koncentráció-tartományon bizonyultak lineárisnak. A mérési adatok kiértékeléséből meghatároztuk, hogy a  $\gamma$ G-Au NCs/Kyn kioltási folyamat dinamikus, termodinamikailag kedvezményezett, entrópia-vezérelt, endoterm és feltehetőleg a reakciópartnerek közötti töltésátviteli folyamat révén valósulhat meg.

### **T3.** *Au nanohibrid rendszerek előállítása és szerkezetvizsgálata tioltartalmú kismolekulákkal.* [2]

- Kísérleteinkkel elsőként mutattunk rá, hogy az *L*-glutation (GSH) oldat pH-ja döntő szereppel bír az  $\text{AuCl}_4^-$ -oldattal történő kölcsönhatás során a GSH:Au/15:1 molarány mellett. Savas közeg (pH = 2–4) alkalmazásával sárgán emittáló ( $\lambda_{\text{em}} = 590$  nm) Au(I)-tartalmú koordinációs polimer (CP) struktúra alakult ki. Megfigyeltük, hogy a fluoreszcencia intenzitás erősen csökkenő tendenciát mutatott pH = 7-ig; pH 8–10 tartományban már egyáltalán nem volt megfigyelhető. Lúgos közegben (pH = 10-től indulóan) a fluoreszcencia spektrumban  $\lambda_{\text{em}} = 445$  nm-nél fokozatosan megjelent egy új emissziós sáv, mely a néhány atomos, kéken emittáló Au(0) tartalmú NCs képződését igazolhatja, melyet az XPS mérések támasztottak alá. A GSH savas és lúgos közegben megfigyelhető, eltérő redukáló tulajdonsága feltehetőleg a molekula erősen pH-függő standard potenciál értékeivel magyarázható.

- Az  $\text{AuCl}_4^-$ /*L*-cisztein (Cys) rendszerben képződő fluoreszcens Cys-Au(I) önrendeződő CP struktúra előállítására reproduktív szintézist végeztünk el. Új eredményként kimutattuk, hogy a reaktánsok molaránya és a pH meghatározó szereppel bír a képződő termék megjelenésére és annak emissziós tulajdonságára. Megállapítottuk, hogy a legnagyobb fluoreszcencia intenzitás a Cys:Au/10:1 molaránynál detektálható, valamint az önrendeződő struktúra képződéséhez a savasabb környezet a preferált, amit a  $\lambda_{\text{em}} = 620$  nm-nél jelentkező emissziós csúcs pH = 1–8 között folyamatosan csökkenő értéke is alátámasztott. A Cys-Au(I) CP lamellás szerkezetét XRD vizsgálatokkal sikeresen igazoltuk.

- Sikeresen valósítottuk meg plazmonikus sajátsággal ( $\lambda_{\max} = 518 \text{ nm}$ ) rendelkező ciszteininil-triptofánnal (CW) stabilizált, átlagosan  $d = 8\text{--}10 \text{ nm}$ -es arany kolloidok lúgos közegű ( $\text{pH} = 11\text{--}12$ ) szintézisét CW: Au/0,5:1 molarány alkalmazása mellett. Megfigyeltük, hogy növelve a reakció során a dipeptid mennyiségét (CW: Au/20:1,  $c_{\text{Au}} = 0,1 \text{ mM}$ ) kéken emittáló ( $\lambda_{\text{em}} = 495 \text{ nm}$ ) termék keletkezett, amelyet feltehetőleg Au(I)-tartalmú szupramolekuláris komplexek alkottak. Megállapítottuk, hogy a Trp aromás oldalláncának jelenléte sztérikusan gátolhatja az önrendeződő koordinációs polimer struktúra kialakulását, továbbá, hogy a fluoreszcens termék képződésére a pH meghatározó szereppel nem bír.

**T4. Oldalláncban aromás-N-tartalmú aminosavval stabilizált Au rendszerek előállítása. [4]**

- Megállapítottuk, hogy a reaktánsok koncentrációján és arányán túl a pH is meghatározó szereppel bírt az *L*-triptofán (Trp) aminosavval stabilizált arany nanohibrid rendszerek méretszabályozott szintézise során. Vizsgálataink eredményeképpen igazoltuk, hogy lúgos közegben ( $\text{pH} > 11$ ), Trp: Au/0,4:1 arány alkalmazásával stabil, Trp-stabilizált Au kolloidok ( $\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$ ) képződtek. Ezzel szemben erősen savas ( $\text{pH} < 2$ ) közegben a Trp molarányának szisztematikus növelésével (Trp: Au/1:1, 5:1 és 15:1) zölden ( $\lambda_{\text{em}} = 497 \text{ nm}$ ), illetve kéken ( $\lambda_{\text{em}} = 486$  és  $472 \text{ nm}$ ) emittáló NCs képződése volt a preferált folyamat. Kimutattuk továbbá, hogy állandó arany koncentráció mellett az aminosav mennyiségének növelésével a klaszterek képződése során detektálható emisszió ( $472\text{--}497 \text{ nm}$ ) hangolható. A klasztereket alkotó atomok számát és a redukciót kísérő aminosav oligomerizációt az ESI és MALDI-MS mérések igazolták.

- Sikeresen alkalmaztuk az *L*-hisztidin (His) aminosavat  $\text{AuCl}_4^-$ -ionok vizes közegű redukciójához. Igazoltuk, hogy az optimálisan 24 h reakcióidő letelte után képződő fluoreszcens termék jelenléte függ a közeg pH értékétől; a maximális fluoreszcencia intenzitás His: Au/30:1 molarány alkalmazása mellett és  $\text{pH} = 6,0$ -nál volt megfigyelhető. Az alkalmazott kísérleti körülmények között bekövetkező redukciós folyamat termékének szerkezetvizsgálata során kimutattuk, hogy az Au(III)-ionok (+1) oxidációs állapotig redukálódtak, amelyek feltehetően az Ag(I)/His rendszerhez hasonlóan, szerkezeti analógia alapján, helikálisan rendeződő  $[\text{Au}_x\text{His}_{x+1}]^+$  általános képlettel megadható polinukleáris komplexeket alkothatnak.

- A fluoreszcens komplexeket viszonylag jó kvantumhasznosításuk ( $\text{QY} \sim 4 \%$ ) miatt gyógyszerhordozó rendszerek fluoreszcens jelölésére használtuk fel. Korábban a kutatócsoport munkatársai által szintetizált marha szérum albumin/ibuprofen nanokompozit és kitozán biopolimer alapú mikrogöngyök jelölését végeztük el sikeresen, melyet a regisztrált fluoreszcencia mikroszkópos felvételek igazolnak. A jelölt kompozitok stabilitásvizsgálata



során megállapítottuk, hogy a fehérje-alapú kompozit jelölése után a fehérje kiredukálta a felületére kötött  $\text{Au}^+$ -komplexet és néhány órán belül arany nanorészecskék képződése volt megfigyelhető. A  $\text{pH} = 6,0$  esetén pozitív töltéssel rendelkező kitozán mikrogyöngyök felületén a protonált aminosoportokkal feltehetően a polinukleáris komplexek deprotonált, igazoltan kötésben nem lévő karboxilcsoportjai képesek hidrogénhidás kölcsönhatást kialakítani, ezáltal kötődni a mikrogyöngyök felületéhez, mivel a komplex stabilan a kitozán mikrogyöngy felületén maradt a vizsgálat és a fluoreszcens mikroszkópos megfigyelés időtartama alatt.

**T5.** *Adenozin-monofoszfáttal stabilizált Au nanorészecskék és nanoklaszterek előállítása, stabilitásvizsgálata és a fluoreszcens klaszterek felhasználása  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok detektálására.* [3]

- Megállapítottuk, hogy az  $\text{AuCl}_4^-$  és az AMP koncentrációja, valamint az egymáshoz viszonyított molarányuk nagy jelentőséggel bírt a képződött nanostruktúra méretére, optikai sajátságára. Rámutattunk arra, hogy az  $\text{AuCl}_4^-$ -ionok  $\text{Au}^0$ -vá történő teljes redukciója nem következett be tisztán az AMP alkalmazásával, így nélkülözhetetlen volt egy további gyenge redukálószer felhasználása is. A szintéziseket citromsav/citrát ( $\text{pH} = 6$ ) pufferben végeztük el. Az  $\text{AuCl}_4^-$  koncentrációját  $0,1 \text{ mM}$  értéken tartva AMP:Au/20:1 molarány mellett termékként kék emisszióval ( $\lambda_{\text{em}} = 480 \text{ nm}$ ) rendelkező, néhány atomos AMP-Au NCs képződtek. Ezzel szemben  $0,5\text{--}5,0 \text{ mM}$  közötti  $\text{AuCl}_4^-$  koncentrációk és AMP:Au/1:1 molarány mellett vörös színű ( $\lambda_{\text{max}} = 525 \text{ nm}$ ),  $d = 10\text{--}13 \text{ nm}$  átmérőjű AMP-stabilizált Au kolloidokat kaptunk termékként. Az AMP-Au NCs rendszerek fiziológias sókoncentráció alkalmazása mellett is nagymértékű kinetikai stabilitást mutattak  $\text{pH} = 6\text{--}9$  között, hiszen sem az optikai sajátságaikban, sem pedig a mért  $\xi$ -potenciál értékekben néhány hét után sem mutatkozott számottevő változás.

- A szenzorikai vizsgálathoz számos aniont és kationt teszteltünk. A vizsgált ionok közül nagymértékű szelektivitás csak a  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok esetén volt megfigyelhető, melyet a nanoklaszter fluoreszcenciájának kioltása révén detektáltunk ( $I_0/I > 30$ ). A kioltás mértékéből meghatároztuk a minimálisan detektálható analit mennyiségét, amely  $2 \mu\text{M}$ -nak adódott. Ezen felül megállapítottuk az analit koncentráció és a fluoreszcencia kioltás közötti lineáris (dinamikus) tartományt, amely  $10\text{--}100 \mu\text{M}$   $\text{Fe}^{3+}$ -ion koncentráció között található.

- A mérési adatokból a Stern-Volmer egyenlet alkalmazásával a kioltásra jellemző Stern-Volmer állandókat határoztuk meg  $298, 303, 310$  és  $323 \text{ K}$  hőmérsékleten. A Stern-Volmer állandó csökkenése a hőmérséklettel rámutatott, hogy az AMP-Au klaszter/ $\text{Fe}^{3+}$  rendszer esetén sztatikus kioltás következik be. Sztatikus kioltásnál az AMP-Au NCs és  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok egy nemfluoreszkáló komplexet alkotnak, melyet a mért  $\xi$ -potenciál értékek is

alátámasztottak. Míg a többi fémion esetén a mért  $\xi$ -potenciál értékek kismértékű változást mutattak, addig egyedül a  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok esetén állapítottuk meg a felület áttöltését (-35 mV-ról +30 mV-ra), ami a  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok és a klaszterek felületén kötött AMP molekulák közötti koordinatív kötés kialakulására enged következtetni. A sztatikus kioltás esetén alkalmazható módosított Stern-Volmer egyenlet felhasználásával a klaszter- $\text{Fe}^{3+}$  adduktum kialakulására jellemző asszociációs állandót ( $K_a$ ) határoztuk meg, melyek a mérési hőmérsékleteken (298, 303, 310 és 323 K) szintén rendre csökkenő értéknek adódtak. A termodinamikai paraméterek ismeretében megállapítottuk, hogy a klaszterek és  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok közötti kioltási folyamat termodinamikailag kedvezményezett, exoterm és entalpia-vezérelt, a kialakuló sötét komplexet pedig feltehetőleg intermolekuláris erők stabilizálhatják.

## 5. Publikációs lista

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10052666

### A doktori munkához közvetlenül kapcsolódó tudományos közlemények:

- [1] V. Hornok, E. Csapó, N. Varga, **D. Ungor**, D. Sebők, L. Janovák, G. Laczkó, I. Dékány: *Controlled syntheses and structural characterization of plasmonic and red-emitting gold/lysozyme nanohybrid dispersions*, Colloid Polym. Sci. 294 (2016) 49-58. doi:10.1007/s00396-015-3781-7.  
IF<sub>2016</sub> = 1,723
- [2] E. Csapó, **D. Ungor**, Á. Juhász, G.K. Tóth, I. Dékány: *Gold nanohybrid systems with tunable fluorescent feature: Interaction of cysteine and cysteine-containing peptides with gold in two- and three-dimensional systems*, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 511 (2016) 264-271. doi:10.1016/j.colsurfa.2016.10.003.  
IF<sub>2016</sub> = 2,714
- [3] **D. Ungor**, E. Csapó, B. Kismárton, Á. Juhász, I. Dékány: *Nucleotide-directed syntheses of gold nanohybrid systems with structure-dependent optical features: Selective fluorescence sensing of  $\text{Fe}^{3+}$  ions*, Colloids Surfaces B Biointerfaces. 155 (2017) 135-141. doi:10.1016/j.colsurfb.2017.04.013.  
IF<sub>2016</sub> = 3,887
- [4] E. Csapó, **D. Ungor**, Z. Kele, P. Baranyai, A. Deák, Á. Juhász, L. Janovák, I. Dékány: *Influence of pH and aurate/amino acid ratios on the tuneable optical features of gold nanoparticles and nanoclusters*, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 532 (2017) 601-608. doi:10.1016/j.colsurfa.2017.02.047.  
IF<sub>2016</sub> = 2,714

$\Sigma$  IF = 11, 038

### Egyéb tudományos közlemények:

- [5] E. P. Krivan, **D. Ungor**, C. Janáky, Z. Németh, C. Visy: *Optimization of the photoactivity of conducting polymer covered ZnO nanorod composite electrodes*, J. Solid State Electrochem. 19 (2015) 37-44. doi:10.1007/s10008-014-2587-8.  
IF<sub>2015</sub> = 2,327
- [6] Á. Deák, L. Janovák, E. Csapó, **D. Ungor**, I. Pálinkó, S. Puskás, T. Ördög, T. Ricza, I. Dékány: *Layered double oxide (LDO) particle containing photoreactive hybrid layers with tunable superhydrophobic and photocatalytic properties*, Appl. Surf. Sci. 389 (2016) 294-302. doi:10.1016/j.apsusc.2016.07.127.  
IF<sub>2016</sub> = 3,387
- [7] Á. Juhász, E. Csapó, **D. Ungor**, G.K. Tóth, L. Vécsei, I. Dékány: *Kinetic and Thermodynamic Evaluation of Kynurenic Acid Binding to GluRI<sub>270-300</sub> Polypeptide by Surface Plasmon Resonance Experiments*, J. Phys. Chem. B. 120 (2016) 7844-7850. doi:10.1021/acs.jpcc.6b05682.  
IF<sub>2016</sub> = 3,177
- [8] I. Kálomista, A. Kéri, **D. Ungor**, E. Csapó, I. Dékány, T. Prohaska, G. Galbács: *Dimensional characterization of gold nanorods by combining millisecond and microsecond temporal resolution single particle ICP-MS measurements*, J. Anal. At. Spectrom. 32 (2017) 2455-2462, doi:10.1039/C7JA00306D  
IF<sub>2016</sub> = 3,379
- [9] A. Kéri, I. Kálomista, **D. Ungor**, Á. Béltéki, E. Csapó, I. Dékány, T. Prohaska, G. Galbács: *Determination of the structure and composition of Au-Ag bimetallic spherical nanoparticles using single particle ICP-MS measurements performed with normal and high temporal resolution*, Talanta 179 (2018) 193-199, doi: 10.1016/j.talanta.2017.10.056  
IF<sub>2016</sub> = 4,162

$$\Sigma \text{ IF} = 16,432$$

$$\Sigma\Sigma \text{ IF} = 27,470$$

### Konferenciárészvételek (poszter, előadás) a PhD munka témájában:

1. **E. Csapó, D. Ungor**, Z. Kele, Á. Juhász, L. Janovák, I. Dékány: *Tunable optical features of amino acids-stabilized gold nanoparticles and nanoclusters*, 2017. szept. 3-8. 31st Conference of The European Colloid and Interface Society, Madrid, Spanyolország (poszter)
2. **D. Ungor**, E. Csapó, Á. Juhász, I. Dékány: *Interaction of cysteine and cysteine-containing peptides with gold in two- and three-dimensional systems*, 2017. jún. 18-21. 7th International Colloids Conference, Barcelona-Sitges, Spanyolország (poszter)

3. E. Csapó, **D. Ungor**, B. Kismárton, Á. Juhász, I. Dékány: *Nucleotide-directed syntheses of gold nanohybrid systems with structure-dependent optical features: Selective fluorescence sensing of Fe<sup>3+</sup> ions*, 2017. jún. 18-21. 7th International Colloids Conference, Barcelona-Sitges, Spanyolország (poszter)
  
4. E. Csapó, **D. Ungor**, Z. Kele, A. Juhász, L. Janovák, I. Dékány: *Tunable optical features of amino acids-stabilized gold nanoparticles and nanoclusters*, 2017. máj. 5-10. 5th International Conference on Bio-Sensing Technology (BITE-2017), Riva del Garda, Olaszország (poszter)
  
5. **Ungor D.**: *Biofunkcionalizált plazmonikus és fluoreszcens nemesfém nanoszerkezetek*, 2017. jún. 1-2., MTA Kolloidmunkabizottsági Ülés, Velence Magyarország (előadás)
  
6. **Ungor D.**, E. Csapó, I. Dékány: *Cisztein és cisztein-tartalmú peptidek kölcsönhatása arannyal 2- és 3-dimenziós rendszerekben*, 2017. márc. 31- ápr. 2. XX. Tavaszi szél, Miskolc, Magyarország (előadás)
  
7. E. Csapó, **D. Ungor**, Á. Juhász, B. Kismárton, I. Dékány: *Biocompatible gold nanohybrid structures with tuneable plasmonic or fluorescent features: syntheses, structural characterization, possible sensoric and biolabelling applications*, 2016. nov. 28-29., Nanomed 2016, Dubai, Egyesült Arab Emírségek (előadás)
  
8. E. Csapó, **D. Ungor**, Á. Juhász, B. Kismárton, I. Dékány: *Ultra-small gold nanoclusters with tuneable fluorescent features: syntheses, structural identification and sensoric applications*, 2016. szept. 4-9., 30th Conference of the European Colloid and Interface Society, Róma, Olaszország (előadás)
  
9. **D. Ungor**, E. Csapó, B. Kismárton, Á. Juhász, I. Dékány: *Nucleotide-stabilized Au and Au/Ag nanoclusters for biosensor applications*, 2016. aug. 28. - szept. 1., 8th Conference Chemistry towards Biology, Brno, Csehország (poszter)
  
10. E. Csapó, **D. Ungor**, Á. Juhász, D. Sebők, SZ. P. Tallósy, I. Dékány: *Noble metal and protein nanohybrid systems for biomedical applications*, 2016. jún. 19-22., 6th International Colloids Conference, Berlin, Németország (poszter)
  
11. **Ungor D.**: *Proteinekkal-stabilizált arany nanorészecskék és nanoklaszterek jellemzése*, 2016. jún. 2-3., MTA Kolloidmunkabizottsági Ülés, Velence Magyarország (előadás)
  
12. E. Csapó, **D. Ungor**, I. Dékány: *Ultrasmall fluorescent gold nanoclusters for biomedical applications*, 2015. szept. 6-11. 7. 29th Conference of the European Colloid and Interface Society, Bordeaux, Franciaország (poszter)

13. **Ungor D.**, Csapó E., Dékány I.: *Biofunkcionalizált arany nanoklaszterek szintézise*, 2015. ápr. 10-12., XIX. Tavaszi szél, Eger, Magyarország (előadás)
14. **E Csapó, D Ungor, N Ábrahám, V Varga, D Sebők, Á Juhász, I Dékány**: *Optical and fluorescent properties of plasmonic nano-bioconjugates*, 2014. okt. 15-18. SIWAN6, Szeged, Magyarország (előadás)

**Egyéb konferenciaszereplések (poszter, előadás):**

1. **Á. Juhász, E. Csapó, H. Szokolai, D. Ungor, I. Dékány**: *Modelling and characterization of drug binding to peptide functionalized gold surfaces*, 2017. jún. 18-21. 7th International Colloids Conference, Barcelona-Sitges, Spanyolország (poszter)
2. **I. Kálomista, A. Kéri, D. Ungor, E. Csapó, I. Dékány, T. Prohaska, G. Galbács**: *Extending the applicability of the single particle ICP-MS technique to the investigation of nanorods and nanoalloys*, 2017. jún. 11-16. Colloquium Spectroscopium Internationale XL Pisa, Olaszország (poszter)
3. **M. Csete, A. Somogyi, A. Szenes, E. Tóth, G. Veszprémi, L. Zs. Szabó, E. Csapó, D. Ungor, B. Bánhegyi, T. Csendes, G. Szabó, I. Dékány**: *Plasmon enhanced fluorescence bio-sensing via optimized nanorod and alloy sphere based configurations*, 2017. febr. 26 - márc 3. Quantum Nanophotonics, Benasque, Spanyolország (poszter)
4. **Á. Juhász, E. Csapó, H. Szokolai, D. Ungor, I. Dékány**: *Kinetic and thermodynamic characterization of the interactions between kynurenic acid and human glutamate receptor fragments by surface plasmon resonance studies*, 2016. szept. 4-9., 30th Conference of the European Colloid and Interface Society, Róma, Olaszország (poszter)
5. **I. Dékány, N. Varga, E. Csapó, V. Hornok, D. Ungor, Á. Juhász, D. Sebők**: *Self-assembled core-shell nanoparticles for drug delivery: structural, properties and kinetic of the release process*, 2015. ápr. 8-10. 6th International Congress - BioNanoMed 2015, Graz, Ausztria (előadás)
6. **Ungor D.**: *ZnO nanostruktúrák és vezető polimerekkel alkotott kompozitjaik előállítás, jellemzése*, 2014. ápr. 25-27. XV. Eötvös Konferencia, Budapest (előadás)
7. **Ungor D.**, Lukács Zs., Peintler-Kriván E., Visy Cs.: *ZnO nanostruktúrák és vezető polimerekkel alkotott kompozitjaik előállítás, jellemzése*, 2013. okt. 28-30. XXXVI. Kémiai Előadói Napok, Szeged (előadás)
8. **E. Peintler-Kriván, D. Ungor, Zs. Lukács, Z. Nemeth, C. Visy**: *Synthesis and Characterization of Nanostructured ZnO - Conducting Polymer Composites for Photovoltaic Application*, 2013. szept. 8 -13. 64th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Santiago de Queretaro, Mexikó (poszter)

9. **D. A. Ungor**, A. Varga, E. Krivan, B. Endrodi, C. Jananky, C. Visy: *Synthesis, characterization and possible application of conducting polymer fiber – noble metal nanocomposites*, 2013. márc. 3-7. Third International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, Sorrento, Olaszország (poszter)
  
10. **D. Ungor**, E. Peintler-Krivan, B. Endrodi, C. Janaky, C. Visy: *Synthesis and Characterization of Conducting Polymer Nanofiber Composites*, 2012. jún. 3-8. 7. International Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials, Szeged, Magyarország (poszter)