

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Kémia Doktori Iskola

**Újszerű amperometriás mérés technika fejlesztése
célszerűen módosított elektródokkal működő
hatékony módszerek kidolgozására**

PhD értekezés tézisei

Óri Zsuzsanna Emese

Témavezető: Dr. Nagy Géza D.Sc



Pécs, 2020

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Kémia Doktori Iskola

**Újszerű amperometriás mérés technika fejlesztése
célszerűen módosított elektródokkal működő
hatékony módszerek kidolgozására**

PhD értekezés tézisei

Óri Zsuzsanna Emese

Témavezető: Dr. Nagy Géza D.Sc



Pécs, 2020

1. Bevezetés

Az elektrokémiai módszerek a műszeres kémiai elemzés kialakulásában, fejlődésének egyes szakaszaiban fontos szerepet játszottak. A több mint 150 éve, Wolcott, Gibbs és Roots által kidolgozott elektrogravimetria, a legkorábban alkalmazott kvantitatív analitikai módszerek között említhető. Hasonlóan, a 18. századra nyúlik vissza a coulometria, a vezetőképesség mérés analitikai alkalmazásának kezdete is. Robert Behrend 1883-ban a titrálások végpontjának indikálására potenciometriás módszert alkalmazott. A direkt potenciometria alkalmazásához elméleti háttérrel nyújtó Nernst egyenlet 1889 óta vált ismertté. A pH mérésre napjainkban is használt potenciometriás üvegelektrodát Max Cremer a múlt század első éveiben (1908) vezette be a gyakorlatba. A csepegő higanyelektrod és a potenciálpásztázást lehetővé tevő mechanika fejlődésével volt lehetőség a polarográfia módszerének kifejlesztéséhez. A módszert Jaroslav Heyrovsky dolgozta ki, a polarográfiáról szóló első közlemény 1922-ben jelent meg.

Az elektroanalitika egyes módszereinek fejlődéséhez, teljesítőképességének növeléséhez, népszerűvé tételéhez sokszor járult hozzá más területen elért eredmény, illetőleg annak elektroanalitikai alkalmazása. Gondoljunk csak arra, mennyire megnövelte az ionszelektív elektrodok felfedezése a potenciometria népszerűségét. Hasonlóan az elektronikus potenciosztátok megjelenése, vagy a számítógépek alkalmazása a voltammetria területén okozott ugrásszerű fejlődést.

Disszertációm alapjául szolgáló kísérleti munkámat az elektroanalitikai módszerek fejlesztése területén végeztem. A munka kezdetén észrevettem, hogy az elektrokémia eszközeinek, módszereinek a közelmúltban bekövetkezett fejlődése lehetőséget biztosíthat egyes elektroanalitikai módszerek teljesítőképességének növelésére, új alkalmazási lehetőségeinek feltárására.

A múlt század második felében számos natív, enzim tartalmú növényi, vagy állati szövetből készített bioszenzort írtak le különböző iskolákban dolgozó kutatók. Az így készített reakciórétegek stabilitása összehasonlítva koncentrált enzimmészítmények alkalmazásával kialakított bioszenzorokéval jelentősen nagyobbak bizonyult. Emellett az ebbe a csoportba tartozó szenzorok ára jelentősen kisebb. Ennek ellenére ezen mérőérzékelők egyetlen változata sem terjedt el a mindennapi analitikai kémia gyakorlatában. Ez azzal magyarázható, hogy a natív réteg szerkezete, mérete, enzim aktivitása nem teszi lehetővé, hogy a gyakorlati minták koncentráció tartományában megfelelő megbízhatóságú analízist végezzünk. Célszerűnek látszott megvizsgálni,

hogy vajon újabban kifejlesztett kémiaailag módosított elektródok, optimált rétegvastagság és újszerű elektrokémiai adatgyűjtési módszer kombinált alkalmazásával kedvező irányba befolyásolható-e az illető bioszenzorok analitikai teljesítőképessége.

Különböző mintákban lévő komponensek koncentrációjának mérése során előnyös, ha mintavétel nélkül elvégezhető az analízis. A mintavétel hibája, a minta instabilitása által előidézett pontatlanságok ez esetben nem jelentkeznek. Szelektív elektrokémiai mérőérzékelők elvileg egyszerűen bevezethetők oldatmintákba, és az ott mért jel alkalmas kalibráció alapján jelzi a mintakonzentrációt. Voltammetriás mérések esetében azonban két probléma merül fel. Egyrészt a minta mátrixban és a kalibráló oldatokban eltérő lehet a mintaanyag diffúziós sajátsága, másrészt az elektrolízis során a mintában lévő anyagok passzíválhatják az elektródot. Ezek a hatások struktúrával rendelkező mintákban, tortuózus üledékekben, biológiai mintákban gyakran jelentkeznek.

Célszerűnek látszott annak megvizsgálása, hogy ezen hatások mennyire zavarják az in-line analízis lehetőségét. Tanulmányozni kívántam azt, hogy a voltammetriás adatgyűjtési program alkalmas megváltoztatásával, illetőleg a módosított elektródok területén elért újabb eredmények felhasználásával mennyiben küszöbölhetők ki a jelzett méréstechnikai problémák.

Kísérleti munkámban bekapcsolódtam a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának Általános és Fizikai Kémia Tanszékén, a szelektív elektroanalitikai érzékelők és módszerek fejlesztésére irányuló munkába. Céлом volt konkrét gyakorlati feladatokat választva megvizsgálni, hogy az adott esetekben mennyire van lehetőség új megoldások alkalmazásával az említett érzékelők és módszerek teljesítő képességét növelve azok alkalmazási területét kiszélesíteni.

Munkám során amperometriás szenzorok analitikai alkalmazhatósági körét igyekeztem kiterjeszteni. A vizsgált érzékelők minden esetben voltammetriás alapelektrodok módosításával készültek. Készítettem és vizsgáltam biokatalitikus réteggel módosított munkaelektrodot és diffúziós réteggel módosított elektródokat. Alkalmazásukkal többé-kevésbé különálló területeken, eltérő komponensek meghatározására szolgáló módszereket tanulmányozva, azokat módosítva sikerült a módszerek analitikai jellemzőit kedvező irányba változtatnom. Minden esetben viszonylag új, ez ideig kevesek által alkalmazott amperometriás detektációs módszer használata alapvetően hozzájárult az eredmények eléréséhez. A dolgozatban tárgyalt részterületek között fontos összekötő kapocsként szolgál az újszerű amperometriás detektálás továbbfejlesztése, alkalmazása.

2. Célkitűzések

- A polifenol-oxidáz enzimetartalmú, natív banán szövet felhasználásával készült dopaminmérő, amperometriás bioszenzor méréstartománya kiszélesítési lehetőségek vizsgálata.
 - Ennek részeként, enzim aktivitás méréseken alapuló, a szenzor készítés céljára leginkább alkalmas banán szövet kiválasztása.
 - Dinamikus voltammogramok felvételén keresztül, a legkedvezőbb szelektivitást és érzékenységet biztosító detektálási potenciál kiválasztása.
 - Pásztázó Elektrokémiai Mikroszkóp (PEKM) alkalmazásával, a reakciórétegben zajló kompetitív folyamatok eredményeképpen kialakuló dopamin és dopamin-kinon koncentráció profilok feltérképezése, s ezen alapulva, az optimális reakcióréteg vastagság megállapítása.
 - Célul tűztem ki a vizsgált bioszenzornál a legkedvezőbb detektálási program kidolgozását. Ehhez szem előtt tartottam, hogy amperometriás detektálás esetén az elektród felületén a dopamin-kinon koncentrációja nulla, ezáltal csak a környezetből a felületre jutó anyag mérhető, miközben az elektródhoz közeli réteg elszegényedik. A kutatócsoportunkban elsőként alkalmazott periódikusan megszakított amperometriás detektálás esetében pihentetési időszakok vannak a mérési periódusok között, melyek során a réteg feltöltődhet és a jel növekszik.
- Modell tortuózus közegekben lévő L-aszkorbinsav közvetlen amperometriás meghatározását lehetővé tevő módosított elektród és voltammetriás detektálási módszer kidolgozása.
- A valódi minták, konkrétan a sárga paprika mérése során gyakran fellépő elektród passzíválódás, valamint a sztenderd oldatok és a minta mátrix viszkozitás különbségéből adódó zavaró hatások és csökkentésük lehetőségeinek vizsgálata.
- Minta előkészítés nélküli, közvetlen voltammetriás C-vitamin meghatározás paprikában, az élelmiszer feldolgozás során használt acél és fém késekről bekerülő ionok hatásának vizsgálata, a levegővel érintkezésben lévő paprika L-aszkorbinsav tartalmára.
- Az oxigén mérésre elterjedten alkalmazott, beépített diffúziós réteget eleve tartalmazó amperometriás Clark-elektrod működésének vizsgálata tortuózus közegekben, üledékekben. A periódikusan megszakított amperometriás detektálási program bevezetésének tanulmányozása olyan minták esetében, ahol az elektroaktív anyag elektród felületre történő diffúziója gátolt.

3. Alkalmazott eszközök és módszerek

Nyers enzimkivonat készítése banánból, polifenol-oxidáz enzimaktivitás mérés céljára

A hámozott, feldarabolt banánt főzőpohárban foszfátpufferbe (pH=7,33) helyeztem. A főzőpoharat vízfürdőbe tettem hőkezelés céljából. Ezt követően a pufferoldatot leszűrtem a banánról és kézi mozsár segítségével homogenizáltam. Az így kapott mintát centrifugáltam, melynek eredményeként, a szövettörmelék felett, egy enzimtartalmú folyadékfázist kaptam. A létrejövő melaninokat a kivonat 20 µm pórusátmérőjű fecskendőszűrőn való leszűrésével távolítottam el.

Polifenol-oxidáz enzim aktivitásának mérése

Munkám során speciális amperometriás vékonyréteg cellát készítettem a különböző növényi szövetekből származó katalitikus rétegek enzimaktivitásának összehasonlító vizsgálatára. A mérőcella teste EpoFix (Struers GmbH) polimerből készült. A polimerbe glassy carbon (GC) (d=1 mm) munkaelektrodot, ezüst kvázi referenciaelektrodot (d=2 mm) és platina ellenelektrodot (d=3 mm) ágyaztam. A vékonyréteg típusú reakcióteret (térfogata 60 µl) úgy alakítottam ki, hogy gyűrűszerű távtartót ragasztottam a cella véglapjára úgy pozicionálva, hogy a gyűrű üres része az elektrodok felett foglaljon helyet. A mérés során a cellatest elektrodokat tartalmazó felületére szűrőpapír korongot helyeztem, hogy biztosítsam a reakcióelegy egyenletes vastagságban történő eloszlását a vékonyréteg cellában. A mérések során a reakcióteret kupakkal fedtem le, a reakcióelegy párolgás okozta térfogatcsökkenésének megelőzésére. A reakcióteret aljára helyezendő szűrőpapír-korongot foszfát pufferrel itattam át, majd kiszáritottam. Ezt követően enzim tartalmú kivonatot pipettáztam a mikrocella reakcióterébe, és az elektrodokat a potenciosztáthoz kapcsoltam, -0,2 V potenciál alkalmazása mellett figyeltem az amperometriás áramot. Állandó áramerősség érték megjelenése után mikrofecskendővel a vékonyréteg cellába juttattam a dopaminoldatot. A reakció következtében a dopamin-kinon az elektrod felületén megjelent és redukciós amperometriás áramot kaptam. Az áramerősség-változás sebessége jelzi az enzim katalizálta reakció sebességét.

Referencia-módszer az enzimaktivitás meghatározásához

A banánból készített enzimkivonat polifenol-oxidáz aktivitásának meghatározásához referenciamódszerként a Sigma-Aldrich spektrofotometriás enzimaktivitás mérési sztenderd módszerét

követtem. A meghatározás alapja egy indirekt spektrofotometriás eljárás, amely a polifenol-oxidáz aszkorbinsav-oxidáló képességét használja ki.

Redox tirtálás, mint referencia-módszer a C-vitamin tartalom méréséhez oldatokban

Az L-aszkorbinsav tartalmú mintákat keményítő indikátor jelenlétében kálium-jodidos jód oldattal titráltam, a végpontot az oldat enyhe kékülése jelezte.

Alkalmazott műszerek

A voltammetriás mérésekben CHI típusú 760C (CH Instruments, Austin, TX, USA) elektrokémiai mérőműszert alkalmaztam. A pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás mérésekhez a Pécsi Tudományegyetem, Általános és Fizikai Kémia Tanszék laboratóriumában kialakított egyik készüléket használtam, a kémiai mikroszkóp három fő részből áll: egy elektrokémiai mérőállomásból –eDAQ Picostat (model EA 162) és e-cable ED410 (eDAQ, Ausztrália)-, egy mozgó egységből, és a mérőcellából. A készülékhez számítógép és optikai kamera csatlakozik.

Áramló oldatos rendszer

A házilag készített áramló oldatos rendszer (Flow Injection System) házilag készített wall-jet típusú mérőcellát tartalmaz. A rendszer további egységei: perisztaltikus pumpa (ISMATEC SA Mini-s 620m Ismatec SA, Svájc), injektor (Labor MIM, Budapest, Magyarország), injektor hurok térfogata: 25 μ l, diszperziós tekercs.

Modell bioszenzor mérőcella

A banánotród bioszenzor optimális vastagságú enzimrétegének meghatározása céljából modell bioszenzor mérőcellát készítettem. A reakcióréteg egy üvegső alsó részében helyezkedett el. A jelátvivő PEKM mérőcsúcs szénpaszta mikroelektrod volt. A reakcióréteg kialakítására banán szövetet foszfátpufferrel (pH=7,33) homogenizáltam, majd a kapott pépet az üvegsőbe töltöttem, melynek egyik végét előzetesen dialízismembránnal (Technikon Autoanalyzer accessories) zártam le. A bioszenzort modellező üvegső mintaoldatot tartalmazó mérőcellába nyúlik. Mágneses keverővel intenzív konvekciót idéztem elő a mérőcellában, mellyel a membrán mintaoldat felőli oldalán stacionárius transzport viszonyok kialakulását kívántam biztosítani. A vonatkozási- és az ellenelektrodokat a pufferbe helyeztem és a potenciosztáthoz csatlakoztattam. A PEKM-hoz rögzített szénpaszta mikroméretű munkaelektrod az enzimréteget tartalmazó csőben mozoghatott.

Elektródok

A méréseknél általában OP-0830P típusú telített kalomel referenciaelektrodot (Radelkis, Budapest, Magyarország) és 1 cm² felületű platina lemez ellenelektrodot használtam.

Szénpaszta mikroelektrod készítése

Grafit port (<20 µm szemcseméret, ALDRICH Chemistry) és paraffin olajat (Pannon Patika) porcelánmozsárban homogenizáltam. Az elektrodtest elkészítéséhez boroszilikát kapillárist (Sutter Instruments Co., USA) láng felett kihúztam, majd az elkeskenyedő végét beolvasztottam. A mikroelektrod hegyének kialakításához a lezárt vég felől óvatosan csiszoltam a kapillárist addig, amíg a megfelelő méretű belső átmérőt elértem (50 µm), majd alumínium póirozó porral simára políroztam. Az így elkészített kapillárisba hátsó vége felől vékony réz szálát fűztem az elektromos kontaktus biztosítására, a kapillárist elkeskenyedő vége felől pedig a szénpasztával megtöltöttem, felületét simára políroztam.

Banánotród bioszenzor készítése

Glassy Carbon (Alfa Aesar, VWR International Kft, Budapest) rúd 0,5 cm hosszúságú része és egy megfelelő rézdrót között ezüst-epoxy (Epo-Tek, ET-H20E-8-0028, ET-PMS-0028, J. P. Kummer GmbH.) vezető ragasztóval hoztam létre a kontaktust, majd ezt egy megfelelő átmérőjű üvegcsőbe helyezve, EpoFix (Struers GmbH) polimerbe ágyaztam. A polimerizáció után az elektródfelületet csiszolással és nedves polírozással készítettem el. A banánotród bioszenzor esetében a 4 mm átmérőjű GC elektródra szigetelő szalagból kialakított, 130 µm vastag távtartó gyűrűt helyeztem, s a létrejövő mélyedésbe az előzetesen homogenizált banán pépet egy spatula segítségével egyenletesen betöltöttem úgy, hogy vízszintes felületet képezek a távtartó gyűrű felszínével. A dialízismembránt ezt követően rögzítettem az elektródra és ez szépen kifeszült a rétegen.

GC munkaelektrod L-aszkorbinsav mérésére, tortuózus közegben

Az 1 mm átmérőjű, házilag készített GC munkaelektrodot használat előtt megtisztítottam, políroztam. Amennyiben az elektródfelület kellően tisztának és megfelelő aktivitásúnak mutatkozott, megnedvesített dialízismembránnal (Technikon TM Pre-mount type "C", Technikon Instruments, USA) borítottam, vigyázva arra, hogy a felület és a membrán közé levegő ne szoruljon, s a membránt cérnával szorosán rögzítettem.

Clark-elektrod

A kísérletekben használt oxigén-mérő Clark-cellát házilag készítettem. 1 mm átmérőjű platina drótot kapilláris végébe olvasztottam, majd a kapilláris hátsó vége felől behelyeztem egy kis darab forrasztóönt, s egy vékony rézdrótot. Láng felett kialakítottam az elektromos csatlakozást. Az üvegcső beolvasztott végét óvatosan csiszoltam, míg a közepén megjelent a platina korong. Ezt követően alumínium-oxid polírozó porral nedvesen políroztam. A munkaelektrod mellé ellen- és referenciaelektrodként szolgáló, kloridozott ezüst szálat rögzítettem. Az üvegcső végét kifeszített poli(tetrafluoroetilén) membrán (Radelkis, Budapest, Magyarország) sapkával zártam le. A cellatest belsejébe 0,1 M KCl koncentrációjú, 9,5 pH-jú bikarbonát puffer belső elektrolitot töltöttem, majd az elektrodokat tartalmazó üvegestet úgy helyeztem és rögzítettem a csőbe, hogy a platina korong munkaelektrod a Teflon membránhoz közvetlenül illeszkedett, csupán egy vékony folyadékfilmet hagyva közöttük.

4. Eredmények, tézisek

A munka során elért eredményeimet az alábbiakban megadott tézispontok foglalják össze:

- I. Elsőként szemléltettem dinamikus voltammogramok felvétele útján, hogy a banánotród bioszenzor esetében az optimális munkapotenciál kiválasztása kulcsfontosságú, ennek alkalmazásával a szelektivitás és az érzékenység javul a mérendő dopamin-kinonra nézve, mivel a nem kívánt zavaró hatások minimálisra csökkenthetők, pl. az enzimreakcióban szintén résztvevő oxigén árama. Ezt $-0,2\text{ V vs. Hg/Hg}_2\text{Cl}_2$ értéken állapítottam meg. Továbbá elsőként alkalmaztam természetes szöveten alapuló bioszenzor esetében periódikusan megszakított amperometriás detektálási módszert, a programot az optimális potenciálok és mérési időtartamok meghatározásával alakítottam ki. Az így működtetett bioszenzor érzékenysége a hagyományos amperometriás detektáláshoz képest jelentősen növekedett, míg a kimutatási határ értéke $1,05 \cdot 10^{-5}\text{ mol/dm}^3$ -ről $2 \cdot 10^{-6}\text{ mol/dm}^3$ -re csökkent.
- II. A bioszenzor természetes reakciórétegben kialakuló dopamin és dopamin-kinon koncentrációprofilok feltérképezésére sikeresen alkalmaztam pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás módszert és szénpaszta mikroelektród mérőcsúcsot, ezáltal megállapítottam, hogy a reakciórétegben a mintaoldat felőli határoló membrántól kb. $130\text{-}160\text{ }\mu\text{m}$ távolságban a dopamin-kinon koncentrációban lokális maximum alakul ki. A banánotród reakcióréteg vastagságát ez alapján terveztem.
- III. Helyszíni mérésekkel igazoltam üledékben, mint modell tortuózus közegben kivitelezett amperometriás L-aszkorbinsav meghatározás során a mérés hibáját. A zavaró hatás kiküszöbölésére módszert dolgoztam ki: diffúziós réteggel módosított glassy carbon munkaelektrodot és rövid idejű kronoamperometriás detektálást alkalmaztam. Bebizonyítottam, hogy a diffúziós rétegvastagság növelésével egyre hosszabbodott az az időtartam, amíg a diffúziós koncentrációprofil a módosított rétegben van, ezáltal amíg a környezet diffúziós viszonyainak változására érzéketlen.

- IV. Módszert dolgoztam ki a rostos sárga paprika lé mintelőkészítés nélküli, közvetlen L-aszkorbinsav tartalmának meghatározására. A kísérletekkel igazolt elektród passziválódás, viszkozitás különbség és a tortuozitás okozta mérési hibát dialízismembránnal, mint diffúziós réteggel módosított glassy carbon munkaelektrod, 90 s hosszúságú feltöltődési idő és rövid idejű kronoamperometriás detektálás, valamint viszkozitási korrekció alkalmazásával oldottam meg. Közvetlenül, paprika szeleteken kivitelezett elektrokémiai méréseket végeztem és ezek alapján bizonyítottam, hogy a sárga paprika hús jelentősen gyorsabb ütemben veszít L-aszkorbinsav tartalmából, amennyiben azt vas késsel hoztam érintkezésbe, mint rozsdamentes acél- vagy kerámia kés alkalmazása esetében.
- V. Helyszíni mérésekkel bizonyítottam, hogy az oxigénmérő Clark-cella üledékben történő alkalmazása jelentős mérési hibával jár a tortuozitás problémája miatt. Megmutattam, hogy az alkalmasan megválasztott periódikusan megszakított amperometriás detektálási program a valós értékekhez közeli eredményeket szolgáltat.

5. Publikációs jegyzék

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörében készült publikációk:

Zsuzsanna Óri, Lívia Nagy, László Kiss, Barna Kovács, Géza Nagy: Direct voltammetric determination of ascorbic acid in natural paprika fruits without sample pretreatment, *Electroanalysis* 27: (3) p. 808–816. (2015) IF: 2.502

Zsuzsanna Óri, András Kiss, Anton Alexandru Ciucu, Constantin Mihailciuc, Cristian Dragos Stefanescu, Lívia Nagy, Géza Nagy: Sensitivity enhancement of a "bananatrode" biosensor for dopamine determination based on SECM studies inside its reaction layer, *Sensors and Actuators B-Chemical* (ISSN: 0925-4005) 190: pp. 149-156. (2014) IF: 3.84

László Kiss, **Zsuzsanna Óri**, Lívia Nagy, Barna Kovács, Géza Nagy: Voltammetric concentration measurements in diffusion-hindered media, *Journal of Solid State Electrochemistry* 17:(12) p. 3039-3045. (2013) IF: 2.234

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörén kívül készült publikációk:

Edina Lempel, **Zsuzsanna Óri**, József Szalma, Bálint Viktor Lovász, Adél Kiss, Ákos Tóth, Sándor Kunsági-Máté: Effect of extended exposure time and pre-heating on the conversion degree of conventional, bulk-fill, fiber reinforced and polyacid-modified resin composites. *Dent Mater.* 35: (2) p. 217-228. (2019) IF: 4.44 D1

J. Izquierdo, B. M. Fernández-Pérez, D. Filotás, **Zs. Óri**, A. Kiss, R. T. Martín-Gómez, L. Nagy, G. Nagy, R. M. Souto: Imaging of Concentration Distributions and Hydrogen Evolution on Corroding Magnesium Exposed to Aqueous Environments Using Scanning Electrochemical Microscopy, *Electroanalysis* 28: (10) p. 2354-2366. (2016) IF: 2.417

Bugyi Zs, Kovács A, **Óri Zs**, Tömösközi S. Study of food processing effects on the results of allergen determination in a wheat flour based model system. In: *Gluten Proteins 2009*, ed: Gérard Branlard, INRA. 320-322. (2009)

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörében tartott előadások:

Óri Zsuzsanna, Nagy Géza: Amperometriás szenzorok újszerű alkalmazása biológiai rendszerekben. 2015. november 20. MTA Fizikai Kémiai Szakbizottsági ülés, Pécs.

Óri Zsuzsanna, Nagy Géza: Módosított felületű voltammetriás szenzorok alkalmazásának új lehetőségei. 2015. január 22-23. Szentágothai János Kutatóközpont, Kémiai Szenzorok Workshop VI. Pécs.

Óri Zsuzsanna, Nagy Géza: Amperometriás szenzorok alkalmazása biológiai rendszerekben. 2014. december 16. MTA Szegedi Akadémiai Bizottság Székháza, Elektrokémiai Munkabizottság ülése.

László Kiss, **Zsuzsanna Óri**, Livia Nagy, Géza Nagy: Modified, layer coated amperometric sensor for measuring in natural, porous matrices. 2013. április 25-27. CECE 2013, 10th Interdisciplinary Meeting on Bioanalysis Magyarország, University of Pécs.

Óri Zsuzsanna, Kiss László, Nagy Livia, Nagy Géza: Diffúziós réteggel módosított munkaelektrod tortózus közegben való analízisre. 2013. április 18-19. A szenzorkutatás újabb eredményei Workshop V., Pécs.

Óri Zsuzsanna Emese: Banán szöveten alapuló dopamin mérő bioszenzor továbbfejlesztése, az optimális működési paraméterek meghatározása. 2012. október 29-31. XXXV. KÉMIAI ELŐADÓI NAPOK, Szeged.

Óri Zsuzsanna, Nagy Géza: Natív enzimforráson alapuló dopamin-mérő bioszenzor vizsgálata, méréstechnikailag fontos sajátságainak fejlesztése. 2012. április 24-26. Műszaki Kémiai Napok, Veszprém.

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörén kívül tartott előadások:

E. Lempel, **Zs. Óri**, J. Szalma, B. V. Lovász, A. Kiss, Á. Tóth, S. Kunsági-Máté: Effect of extended exposure time and pre-heating on the conversion degree of conventional, bulk-fill, fiber reinforced and polyacid-modified resin composites in different model cavities. 2019. május 17-19. 4th Symposium on Weak Molecular Interactions. Shimane, Japán.

Óri Zsuzsanna Emese: Búzafehérjék meghatározására alkalmas ELISA módszer teljesítményjellemzőinek vizsgálata. 2011. november 2-4. XXXIV. KÉMIAI ELŐADÓI NAPOK, Szeged.

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörében készült poszterek:

Óri Zsuzsanna, Nagy Livia, Kiss László, Kovács Barna, Nagy Géza: Közvetlen „in situ” C-vitamin meghatározás paprikában. 2015. január 22-23. Szentágothai János Kutatóközpont, Kémiai Szenzorok Workshop VI., Pécs.

Zsuzsanna Óri, Livia Nagy, Géza Nagy: Towards direct voltammetric determination of Ascorbic acid in natural pepper fruits without sample treatment. 2014. június 11-15. ESEAC2014, 15th International Conference on Electroanalysis, Malmö, Svédország.

Zsuzsanna Óri, Livia Nagy, Géza Nagy: Towards direct voltammetric determination of Ascorbic acid in natural pepper fruits without sample treatment. 2014. június 15-20. Mátrafüred 2014, International Conference on Electrochemical Sensors, Visegrád.

Zsuzsanna Óri: Plant tissue based biosensor with improved sensitivity. Dopamine determination under optimized working conditions. 2012. október 3. 1st International Doctoral Workshop on Natural Sciences, Szentágotthai Research Center, University of Pécs.

Óri Zsuzsanna, Nagy Lívia, Nagy Géza: Banánszöveten alapuló amperometriás bioszenzor PMA detektálással. 2012. április 26-27. Kémiai Szensorok Workshop IV., Pécs.

A PhD fokozatszerzési eljárás tárgykörén kívül készült posztterek:

Livia Nagy, Ioana S. Hosu, **Zsuzsanna Óri,** András Kiss, Serban F. Peteu, Geza Nagy Zsuzsanna Óri, Lívia Nagy, Géza Nagy: Microbiosensor-based scanning electrochemical microscopy (SECM) for detection of the nitro-oxidative species. 2015. január 22-23. Szentágotthai János Kutatóközpont, Kémiai Szensorok Workshop VI., Pécs.

Livia Nagy, **Zsuzsanna Óri,** Mihaela Calugareanu, Rusandica Stoica, Bibiana Maria Fernandez-Perez, András Kiss, Florin Oancea, Geza Nagy: Potentiometric SECM in biological application for characterisation of potassium ultra micropipette ion selective electrode. 2015. január 22-23. Szentágotthai János Kutatóközpont, Kémiai Szensorok Workshop VI., Pécs.

Mihaela Calugareanu, Rusandica Stoica, Bibiana Maria Fernandez-Perez, **Zsuzsanna Óri,** András Kiss, Lívia Nagy, Florin Oancea, Géza Nagy: Characterisation of potassium ultra micropipette ion selective electrode for potentiometric SECM in biological application. 2014. október 30-31. PRIOCHEM 10th, Priorities of Chemistry for a sustainable development, Bukarest, Románia.

Livia Nagy, Ioana S. Hosu, **Zsuzsanna Óri,** András Kiss, Serban F. Peteu, Géza Nagy: Detection of the nitro-oxidative species by microbiosensor-based scanning electrochemical microscopy (SECM). 2014. október 30-31. PRIOCHEM 10th, Priorities of Chemistry for a sustainable development, Bukarest, Románia.

János B. Czírok, Márton Bojtár, Gyula Jággerszki, **Zsuzsanna Óri,** Géza Nagy, István Bitter: Click immobilization of calix[4]arene ionophores on azide-modified PVC matrices. 2013. május 27-30. XVth International Conference „Heterocycles in Bio-organic Chemistry” 27th. Bioheterocycles. Riga, Lettország.

Zsuzsanna Bugyi, Annamária Kovács, **Zsuzsa Óri,** Sándor Tömösközi: Study of effects influence the results of allergen determination in wheat flour based model system. 2009. szeptember 7-9. Xth International Gluten Workshop, Diocesan Center, Clermont-Ferrand, Franciaország.