

# Babeş-Bolyai Tudományegyetem Magyar Kémia és Vegyészmérnöki Intézet analitikai csoportjának kutatásai

MUNTEAN Norbert\*, TÖTÖS Róbert, KÉKEDY-NAGY László, DARVASI Jenő

*Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Magyar Kémia és Vegyészmérnöki Intézet,  
Arany János utca 11, 400028, Kolozsvár, Románia*

## 1. Bevezetés

A Babeş-Bolyai Tudományegyetem Magyar Kémia és Vegyészmérnöki Intézet analitika munkacsoportjában változatos, sokoldalú tudományos kutatás folyik/folyt. Olyan kiemelkedő kutatók és tanárok részvételével mint Kékedy László, Makkay Ferenc, Muzsnay Csaba, Kékedy-Nagy László, Darvasi Jenő.

Fontosabb kutatási területek: komplex vegyületek termoeanalitikai vizsgálata elektroanalitikai vizsgálatok (elektrodok, szenzorok, a konduktometria, voltametria, a polarográfia köréből), lángemissziós atomspektroszkopiás eljárások fejlesztése és optimalizálása, plazma atomemissziós eljárások fejlesztése és optimalizálása atomspektrometriás vizsgálatok: láng és abszorpciós eljárások köréből, multielemes hideggőz és hidrid generáláson alapuló módszerek optimalizálása környezeti minták elemzése atomspektroszkopiás módszerekkel, bioanalitikai módszerek kidolgozása LC/MS módszerekkel, mikrofluidikai enzimatikus/metabolikus rendszerek tanulmányozása.

Meg kell említeni azt is, hogy már a kezdetektől igen jelentős és sikeres kapcsolat alakult ki az anyaországi magyar kutatókkal.

## 2. Elektroanalitikai és lángspektroszkopiás módszerek optimalizálása

A tanszéken a magyar vonalon az analitikai kémiai kutatásban és oktatásban jelentős szerepet játszott Kékedy László, Muzsnay Csaba és Makkay Ferenc munkássága. A teljesség igénye nélkül megemlítünk pár kutatási témát amivel hozzájárultak a tudomány fejlődéséhez. Termonalitikai módszerekkel tanulmányozták különböző átmeneti fémkomplexek termostabilitását, a bomlások kinetikáját (szerkezetazonosítás, kötési energiák meghatározása céljából). A kutatásukhoz megépítették az ország az első termomérlegét<sup>1-3</sup>. Elektroanalitikai vizsgálatok során foglalkoztak konduktometriás titrálással amely során egy saját fejlesztésű egyenáramú konduktometriás cellát alkalmaztak. Polarográfias módszerrel határoztak meg fémkomplexek, ligandumok (xantogenátok) mennyiségét

és sav-bázis egyensúlyokat tanulmányoztak. Félvezető elektrodok használatával voltametria eljárással oxigén határoztak meg. A kutatások során elektrodok fejlesztésével is foglalkoztak ezek közül megemlítjük az oxigén, illetve pH elektrodokat.<sup>4-5</sup>

A tanszéken lángspektroszkopiás mérésekkel is foglalkoztak, ezen kutatások Kékedy Nagy László illetve Darvasi Jenő nevéhez fűződnek. Ezen eljárások optimalizálásához kifejlesztettek egy új Méker-típusú égőfejet amely lángemissziós és abszorpciós meghatározásokhoz egyaránt alkalmazható, az 50 mm optikai úthossz a lángban megnövekedett érzékenységet biztosít illetve a használt sárgaréz égőfej gyorsan felmelegszik.<sup>6</sup>

A lángspektroszkopiánál használt pneumatikus porlasztó hatásfokát azáltal sikerült növelni, hogy beépítettek egy ütközőt, amely az aeroszol cseppek méreteloszlását jelentősen lecsökkentette.<sup>7</sup>

Mikrominták bevitelére kidolgoztak egy olyan módszert amelynek alapja hogy a mintát egy elektromosan fűtött Pt szál/hurok segítségével juttatják be a lángba, erről párolog el. A fémzárlóról történő mintapárologtatás esetén akár 3 µL folyadékmintát is tudtak vizsgálni. A Pt-hurkos mintabevitel metán-levegő lángban Li, Rb és Cs nyomok meghatározása esetében javítja a lángemissziós technika teljesítményét. A kimutathatósági határok alacsonyak: 0,02 µg·L<sup>-1</sup> Li, 0,4 µg·L<sup>-1</sup> Rb és 2 µg·L<sup>-1</sup> Cs esetében, ami abszolút mennyiségekben 0,06 pg Li, 1,2 pg Rb és 6 pg Cs-nak felel meg.<sup>8-9</sup>

## 3. Plazmaspektroszkopiás eljárások fejlesztése

A 80-as évek elején Cordos Emil professzor egy műszerkutató csoportot hozott létre, amelynek kutató részlege a kémia kar analitika tanszékén működött. A csoport képezte a magját a későbbi kolozsvári ICIA analitikai műszerkutató intézetnek. Az intézet kutatói közül többen a kémia kar analitikai tanszékén helyezkedtek el oktatói állásban (pl. Frenţiu Tiberiu és Darvasi Jenő) és folytatták a megkezdett kutatási munkájukat.

\* Tel.: +40 730 340730, e-mail: norbert.muntean@ubbcluj.ro

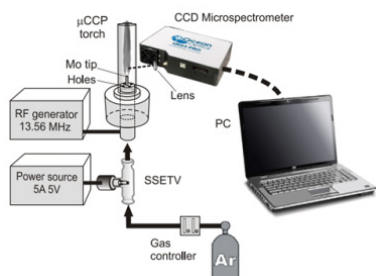
A fő kutatási irány a korábban megvalósított, kisméretű, kapacitívan csatolt mikroplazma fáklya analitikai alkalmazásaival kapcsolatos volt. A számos kiváló fejlesztés közül kettőt említünk meg.

Egy alacsony energia és argonfogyasztású (13,56 MHz, 15 W, 150 ml/perc) kapacitívan csatolt mikroplazma fáklyát és egy mikro-spektrométert használtak, valamint egy kis

méretű elektrotermikus atomizálót Rh tekercses fűtőszállal. A folyékony mikromennyiségű mintát elektrotermikus atomizálás után a plazmába juttatták és egyidejűleg határozották meg az alacsony párologtatási energiát igénylő Ag, Cd, Cu, Pb és Zn elemeket.<sup>10</sup>

A 10 µl minta szárítását 100 °C-on, a párologtatást 1500 °C-on végezték. Az emissziós mérésekhez, 20 egymást követő spektrális epizódot rögzítettek, 500 ms integrációs idővel. Az elemek emissziós spektruma egyszerű, és főként a rezonancia-vonalak dominálják. Az analitikai rendszer kimutathatósági határai a ng·ml<sup>-1</sup> tartományban mozognak: 0,5 (Ag); 1,5 (Cd); 5,6 (Cu); 20 (Pb) és 3 (Zn), míg meghatározhatósági határok pg nagyságrendűek: 5 (Ag); 15 (Cd); 56 (Cu); 200 (Pb) és 30 (Zn).

Az így előállított miniaturizált analitikai rendszer a talaj és az üledékminták elemtartalmának egyidejű meghatározására alkalmazható a standard adagolás módszer alkalmazásával. Ezt a kutatást a Romániai Nemzeti Tudományos Kutatási Hatóság, a CNDI-UEFISCDI támogatta, a projekt száma: PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-0219.

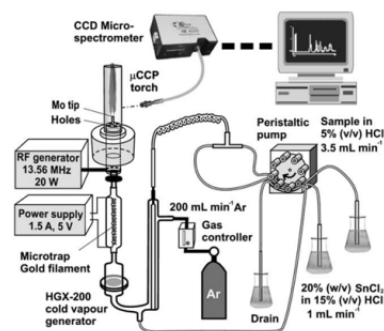


1. Ábra. A SSETV-μCCP-OES készülék vázlatja.

Egy másik fejlesztés egy olyan új analitikai rendszerre vonatkozik, amely egy kapacitívan csatolt mikroplazma fáklyát (13,56 MHz, 20 W, 200 mL/perc Ar) és egy arany szálas mikrokollektort tartalmaz (2. Ábra). A miniaturizált analitikai rendszer nagyon érzékeny és pontos Hg mennyiségi meghatározásokat tesz lehetővé vizekben.

Az alkalmazott módszer SnCl<sub>2</sub>-os hideggőz eljárásra épül. A Hg koncentrációra egy arany szálas mikrokollektort használ, ezután 5 másodperces hődeszorpcióra kerül sor és 253,652 nm-en az emissziómérésre. A mikrokollektor egy arany-tekerceset tartalmaz (24 cm hosszúságú és 43 menetből áll), amelyet 2,5 mm belső átmérőjű kvarc kapillárisba helyeznek.

A felfűtés 1,5 A árammal történt. A gyors, közvetlen fűtés miatt az aranytekerces gyorsan felmelegszik, és nagy Hg-gőz áramlást biztosít a plazma felé. Az új rendszer a ng/L alatti Hg tartományban nagyon érzékeny, a kimutathatósági határ 0,02 ng/L. Az eljárás alkalmas ivóvízben, folyóvízben, palackokban és biológiailag lebomló csomagolásokban található Hg mennyiségének a mérésére. A módszer alternatívát jelent a meglévő atomfluoreszcencián vagy atomabszorpción alapuló eljárásokra.<sup>11</sup> Ezt a kutatást is a Romániai Nemzeti Tudományos Kutatási Hatóság, a CNDI-UEFISCDI támogatta, a projekt száma: PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-0219



2. Ábra. A higanygőz előzetes koncentrációjára szolgáló arany fűtőszálas mikrogőzítővel rendelkező CV-mCCP-AES rendszer sémája.

A kutatásban a Darvasi Jenő és Covaci Enikő vett részt.

#### 4. Multi elemes hidridgeneráláson alapuló meghatározás kidolgozása folytonos fényforrásos atomspektroszkóp segítségével.

A nyomokban lévő As, Bi, Sb, Se, Te, Hg elemek kimutatására a hidridgenerátorhoz atomfluoreszcenciás, atomabszorpció, optikai emissziós, illetve tömegspektrometriás detektor kapcsolható. Az eljárás során a feltárt mintákból, savas környezetben NaBH<sub>4</sub> segítségével hidrideket képezünk, amelyeket a műszer atomizáló egységébe vezetjük, majd az analitikai jeleket detektáljuk.

A kutatás célja, többelemes hidridgeneráláson alapuló analitikai módszer kidolgozása, folytonos fényforrású atomabszorpció spektrométerhez (ContrAA 300 AAS) csatolt nem-folytonos illetve folytonos hidridgenerátor számára.

Az optimális paraméterek meghatározására a kísérlettervezés módszerét használjuk, ami abban különbözik az egyparaméteres módszertől, hogy egyszerre több paraméter értéket változtatjuk. A kapott analitikai jelből, megfelelő matematikai módszer segítségével egy válaszfelületet hozunk létre, amely segítségével kiválasztjuk az optimális reakció paramétereket. A kísérlettervezést a Minitab 19 program segítségével végezzük.

A kidolgozott módszert CRM segítségével validáltuk és sikeresen alkalmaztuk különböző élelmiszer illetve talaj/víz minták elemzésére.<sup>12</sup>

A kutatás Frențiu Tiberiu, doktorandusza Szeredai Bettina és Muntean Norbert végezte.

### 5. Antioxidáns hatás mérése a Briggs-Rauscher (BR) oszcilláló reakció segítségével.

Az antioxidáns hatás mérése két okból is érdekes. Egyrészt ezeknek a természetes anyagoknak az egészségmegőrző hatásuk miatt, másrészt az antioxidáns mérés mindig is kihívás volt egy analitikus számára.

Az oszcillációs reakciókban a negatív és pozitív visszacsatolási folyamatokban szereplő köztitermékek kis koncentrációban vannak jelen, így értelemszerűen kis mennyiségű analit kimutatására is alkalmas.

A BR reakció a malonsav egyidejű jódozása és oxidálása hidrogén-peroxid és kálium-jodát segítségével mangán katalizátor jelenlétében. BR reakció során tapasztalt nemlineáris viselkedés antioxidánsok hatására megszűnik, mivel ezek képesek reagálni a folyamat során keletkező szabadgyökökkel. Az oszcillációs viselkedés egy inhibíciós időnek nevezett intervallum után visszatér, ennek nagysága arányos lesz az antioxidáns erősségével.

Az analitikai jel az inhibíciós idő, ami gyakorlatilag azzal az időtartalommal egyenlő ameddig az antioxidáns reagál szabadgyökkel, minél hosszabb ez az intervallum, annál inkább képes megvédeni a szubsztrátumot.

A Briggs-Rauscher reakcióra alapuló analitikai módszert sikeresen alkalmaztuk teák, gyümölcslevek, kávék, gyógyteák, antioxidáns hatásának meghatározására.<sup>13-15</sup>

Kávé antioxidáns erejének tanulmányozása során vizsgáltuk különböző módszerekkel elkészített kereskedelmi forgalomban kapható kávék antioxidáns erősségét a Briggs-Rauscher (BR) oszcillációs reakció segítségével. Kutatás két részre osztható, először meghatároztuk, hogy a különböző főzési módszerek (eszpresszó, török, filteres, kotyogós) közül melyekkel lehet a legnagyobb antioxidáns jelleggel rendelkező kávé előállítani, majd ezután a „legjobb” főzési technikával vizsgáltuk hat kávé típus erősségét (ezek közül kettő koffeinmentes kávé volt).

Eredményeink alapján a kávé elkészítésének módja jelentősen befolyásolja az ital antioxidáns erősségét. A legnagyobb relatív antioxidáns kapacitást a filteres módszerrel készült kávé esetén tapasztaltuk, mely akár 50%-al is nagyobb volt, mint más módszerek esetén.

Azonos márkájú kávék esetében a koffeinmentes variáns antioxidáns képessége megközelítőleg 30%-al alacsonyabb annak ellenére, hogy koffein nem inhibálja az aktív BR rendszert. A koffeint tartalmazó kávék között az eltérés viszonylag kicsi.

Feltételezésünk szerint a filteres és az eszpresszó közötti viszonylag nagy eltérés annak tulajdonítható, hogy:

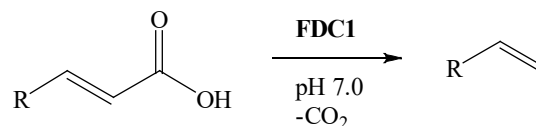
- az eszpresszó kávé gyorsabban készül el ezért extrakciós idő rövidebb
- az eszpresszós főzési mód magasabb hőmérsékleten történik ezért az antioxidáns jellegű vegyületek elbomolhatnak

A koffeinmentes kávé alacsony antioxidáns ereje valószínűleg annak tudható be, hogy az extrakció során csökken az antioxidáns tartalom.

Ezt a kutatási témát a Muntean Norbert a fizikai-kémia tanúk kollegáival együtt végezte.

### 6. Enzimatis reakciók termékeinek vizsgálata, azonosítása (minőségi), mennyiségi meghatározása királis és akirális LC és LC-MS/MS technikával.

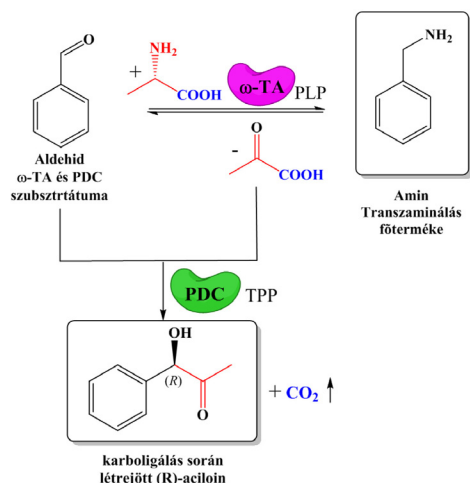
A műanyagipar nagy mennyiségben használ különböző sztirolszármazékokat alapanyagként. A termékek széleskörben használatosak építőipari szigetelőanyagként, valamint csomagolóanyagok előállítására. A természetben rendelkezésre álló fahéjsavszármazékok kiindulóanyagként használhatóak enyhe és környezetbarát reakciókörülmények között sztirolszármazékok előállítására. A folyamat az élesztőgombából (*Saccharomyces cerevisiae*) származó ferulasavdekarboxiláz (ScFDC1) enzim által katalizált folyamattal (3. Ábra) valósítható meg hatékonyan.



3. Ábra. FDC1 enzim által katalizált dekarboxilezési folyamat

Kutatásunk során helyspecifikus mutagenézis technikájával előállított mutáns FDC1 enzim (pl. I330V, I330A) hatékonyságát vizsgáltuk nem természetes szubsztrátumok esetén. A kutatás során fény derült arra, hogy az enzim aktív centrumának nagy térfogata lehetővé teszi a metoxi-, trifluorometil- vagy Br-szubsztituált fahéjsavszármazékok mellett számos nagy méretű biaril vagy heteroaril szubsztrátum elfogadását is.<sup>16</sup>

Egy másik kutatási téma multienzimatis kaszkád-rendszerek (4. Ábra) kifejlesztése ipari szerves szintézisekben használt intermedierek előállítására.



4. Ábra. Multienzimátikus kaskád aminok előállítására

Az enzimátikus kaskád során  $\omega$ -transzamináz és piruvát dekarboxiláz enzimeket használtunk. A folyamat során egy ismeretlen melléktermék képződött, amelyet HPLC-MS/MS segítségével sikerült azonosítani, mint egy enantiomer-tiszta aciloin. Az aciloin a szubsztrátként még jelenlevő benzaldehid és a dekarboxilezés során képződő acetaldehid közötti karbonylálási reakció során jött létre.

Kutatásunk anyagi támogatásáért a Svájci Nemzeti Tudományos Alapítványnak (SNSF) a PROMYS Grant Nr. IZ11Z0\_166543 pályázatnak tartozunk köszönettel.

## 7. Mesterséges metabolikus rendszerek szintetikus/analitikai célokra mikrofluidikai enzimátikus rendszerekben

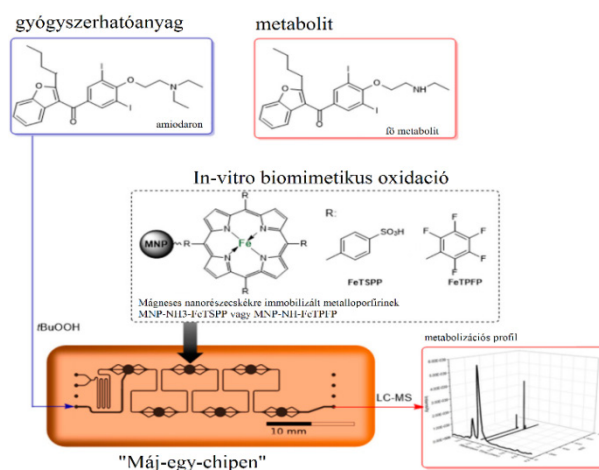
A folyamatos áramlásos kémia egyike az utóbbi időben leggyorsabban fejlődő tudományágaknak, Alkalmazzák finomvegyszerek előállításában, de a gyógyszeriparban is egyre nagyobb az érdeklődés az áramlásos technika irányában mivel robusztus és jól vezérelhető stratégiát kínál gyógyszerhatóanyagok előállításához. Előnye a klasszikus szakaszos eljárásokkal szemben, hogy ez esetben a reageneket pumpákkal folyamatosan áramoltatják át a reaktoron. A reaktor tartalmazza a szilárd vagy immobilizált katalizátort, a reakciótermékek pedig a reaktorból eltávozva feldolgozhatók vagy akár újabb áramlásos lépésnek vehetők alá.

A mikrofluidikai rendszerek széles körben alkalmazhatók analitikai vagy szintetikus célokra. Ilyen eszközök az "Lab-on-a-Chip" reaktorok, amelyek analitikai célokra alkalmazhatók és magukban foglalnak minden szükséges komponenst az áramoltatáshoz szükséges pumpáktól kezdve, a csővezeten át a detektorig. Az "LOC" eszközöknek egy alfaját képezik az "Organ-on-a-chip" vagyis a szervegy-chipen típusú reaktorok. Ezek segítségével utánozhatóak a élő szervezetben végbemenő biokémiai folyamatok. A chipben szilárd hordozóra immobilizált enzim(ek) képezik a biokatalizátort. Így módon gyorsan, jól kontrollálha-

toán, és viszonylag olcsón preklinikai gyógyszerkutatás is elvégezhető.

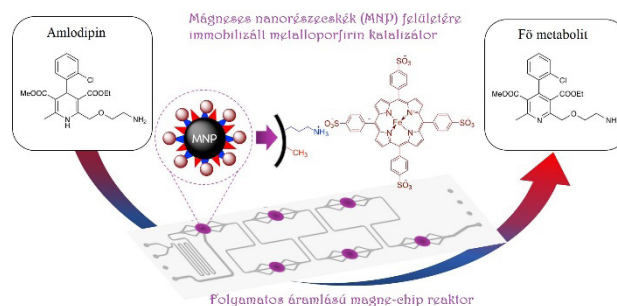
Ezt a technikát alkalmazva az amiodaron antiarritmiás gyógyszer mágneses nanorészecskékre immobilizált metallopforfirinnel katalizált biomimetikus oxidációját végeztük el folyamatos áramlású chipreaktorban (5. Ábra).<sup>17</sup>

A reakció során a fő termékként N-dezetil amiodaront sikerült azonosítani, képződött azonban O-dezalkil, dehalogénezett, alkilláncon hidroxilezett majd az ebből keletkező oxo-terméket is.



5. Ábra. Amiodaron biomimetikus oxidációja folyamatos áramlású chipreaktorban

Egy hasonló kísérlet során a vérnyomáscsökkentő, valamint koszorúér-betegség kezelésére alkalmas amlodipin, terc-butil-peroxiddal történő biomimetikus oxidációját vizsgáltuk. A folyamat során dehidro-amlodipin képződik, ez a fő termék az amlodipin *in vivo* májban végbemenő metabolizációja esetén is.



6. Ábra. Amlodipin biomimetikus oxidációja folyamatos áramlású chipreaktorban

A folyamat katalizátora magnetit nanorészecskékre kovalensen kötött FeTFP és FeTSP volt.<sup>18</sup>

Kutatásunk anyagi támogatásáért a román Európai Beruházások és Projektek Minisztériumának, a NEMSYB, ID P37\_273, Cod MySMIS 103413 pályázatnak valamint



a társfinanszírozó Európai Regionális Fejlesztési Alap és Versenyképességi Operatív Programnak 2014–2020 (POC) tartozunk köszönettel.

Az 5.–6.–ban leírt kutatási témákat Tötös Róbert a BBTE Kémia Karának keretében működő Enzimológia és Alkalmazott Biokatalízis Kutatóközpontban és annak munkatársaival végezte.

### Hivatkozások

- Kékedy L., Muzsnay Cs., *Zeitschr. f. Analytische Chemie*, **1964**, 199. 340.  
<https://doi.org/10.1007/BF00495559>
- Kékedy L., Muzsnay Cs., *Studia, Chemia*, **1967**, 1, 85.
- Kékedy L., Muzsnay Cs., Szabó M., *Euroanalysis II. Abstract Papers*, **1975**, 292.
- Gyárfás É., Tökés B., Kékedy L., *Acta Chim. Hung.*, **1979**, 102, 143. ISSN 0001-5407
- Kékedy L., I.Kovács, *Zeitschr. f. Analytische Chemie*, **1975**, 274 27.  
<https://doi.org/10.1007/BF00440291>
- E. A. Cordoş, L. Kékedy-Nagy, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemia*, **1992**, 37, 61.
- L. Kékedy-Nagy, *Talanta*, **1997**, 44, 1919.  
[https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(97\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(97)00074-X)
- Zsigmond Andreea-Rebeka *Unconventional atomization methods in flame and plasma* PhD Thesis, Babeş-Bolyai University, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering Cluj-Napoca, **2013**.
- L.Kékedy-Nagy, Yao Jun, E. Darvasi, jr. László Kékedy-Nagy, *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, **2008**, 70, 1234.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2007.04.006>
- Tiberiu Frentiu, Eugen Darvasi, *Talanta*, **2014**, 129, 72.  
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.04.032>
- Tiberiu Frentiu, Alin Ironim Mihaltan, Eugen Darvasi et al., *J. Anal. At. Spectrom.*, **2012**, 27, 1753.  
<https://doi.org/10.1039/c2ja30156c>
- Szeredai Bettina Dóra, Frentiu Tiberiu, Muntean Norbert, *Multi elemes (As, Bi, Sb, Se, Te, Hg) hidridgeneráláson alapuló meghatározás kidolgozása folytonos fényforrásos atomspektroszkóp segítségével*, XXVIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia – 2022. ISSN 2734-7109
- Muntean, Norbert; Szabo, Gabriella, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Chemia, LVII/1*, **2013**.  
WOS:000332273100017
- Muntean, Norbert; Szabo, Gabriella, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemia LX/3* **2015**.  
WOS:000369162200026
- Szabo, Gabriella; Csiki, Emese; Szőke, Árpád-Ferenc; Muntean, Norbert, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemia, LXIII/3* **2022**.  
<https://doi.org/10.24193/subchem.2022.3.01>
- Emma Zsófia Aletta Nagy, Csaba Levente Nagy, Alina Filip, Katalin Nagy, Emese Gál, Róbert Tötös, László Poppe, Csaba Paizs, László Csaba Bencze, *Sci. Rep.*, **2019**, 9, 647.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-36977-x>
- B. Decsi, R. Krammer, K. Hegedűs, F. Ender, B. Gyarmati, A. Szilágyi, R. Tötös, G. Katona, C. Paizs, G.T. Balogh, L. Poppe, D. Balogh-Weiser, *Micromachines* **2019**, 10, 668.  
<https://doi.org/10.3390/mi10100668>
- D. Balogh-Weiser, B. Decsi, R. Krammer, G. Dargó, F. Ender, J. Mizsei, R. Berkecz, B. Gyarmati, A. Szilágyi, R. Tötös, C. Paizs, L. Poppe, G.T. Balogh, *Nanomaterials* **2020**, 10, 2329.  
<https://doi.org/10.3390/nano10122329>

### Research activities of the analytical group of the Hungarian Institute of Chemistry and Chemical Engineering of Babeş-Bolyai University

Analytical chemistry plays a central role within the chemical sciences. In the present paper, we have tried to present the research carried out in the analytical chemistry working group of the Hungarian Institute of Chemistry and Chemical Engineering of Babeş-Bolyai University without claiming completeness.

Despite of financial difficulties, or perhaps because of, the researchers/teachers working here have produced a number of outstanding results. Their mentality being: if we cannot afford it, we will build it ourselves.

This way, the first thermobalance in the country was built, several self-made reference and pH electrodes were developed, the efficiency of the flame spectroscope was increased, and even a SSETV- $\mu$ CCP-OES instrument was developed which allows to reach low detection limits at low operating costs.

In addition to elemental analytical research, the research group led by Norbert Muntean is developing analytical methods for the determination of the free radical scavenging capacity of substances with antioxidant properties.

It is also worth mentioning the research of Róbert Tötös, thanks to whom the research here took a new direction, the application of LC-MS/MS techniques for enzymatic reaction monitoring and the analytical use of microfluidic systems for enzymatic processes.

Main research areas:

- Thermoanalytical analysis of complex compounds, electroanalytical studies (electrodes, sensors, conductometry, voltammetry, polarography)
- Development and optimisation of flame emission atomic spectroscopy techniques,
- Development and optimisation of plasma atomic emission techniques
- Atomic spectroscopy studies: flame and absorption techniques
- Optimisation of methods based on multi-element analysis by cold vapour and hydride generation techniques
- Analysis of environmental samples by atomic spectroscopy methods
- Development of bioanalytical methods using LC-MS/MS techniques
- Study of microfluidic enzymatic/metabolic systems.