

# VSÁDKOVÁ INJEKČNÍ ANALÝZA A MOŽNOSTI JEJÍHO VYUŽITÍ V NOVÉM TISÍCILETÍ

Článek je věnován 60. výročí udělení Nobelovy ceny za polarografickou metodu analýzy prof. Jaroslavu Heyrovskému.

**PAVEL DVOŘÁK a VLASTIMIL VYSKOČIL**

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra analytické chemie, UNESCO laboratoř elektrochemie životního prostředí, Hlavova 2030/8, 128 43 Praha 2  
vlastimil.vyskocil@natur.cuni.cz

Došlo 24.9.19, přijato 12.11.19.

Klíčová slova: vsádková injekční analýza, elektrochemie, ampérometrie, referát

## Obsah

1. Úvod
2. Vsádková injekční analýza
  - 2.1. Princip metody
  - 2.2. Možnosti detekce
  - 2.3. Analyty vhodné ke stanovení
3. Závěr

## 1. Úvod

Trendem posledních let v analytické chemii je vývoj plně automatizovaných systémů, které dokáží pracovat s vysokou rychlostí, analyzovat velký počet vzorků a jejichž analytické výsledky jsou pravdivé, přesné a precizní. V posledních desetiletích minulého století se v tomto ohledu stala velmi populární průtoková injekční analýza (FIA – flow injection analysis)<sup>1</sup>. Princip této metody spočívá v nástřiku malého objemu vzorku do nosného média, které unáší zónu vzorku k detektoru. Tato technika našla široké uplatnění, ať už se jedná o analýzu environmentálních a průmyslových vzorků či farmaceutických preparátů, zvláště díky vysoké rychlosti a přesnosti stanovení a jeho reprodukovatelnosti<sup>1</sup>.

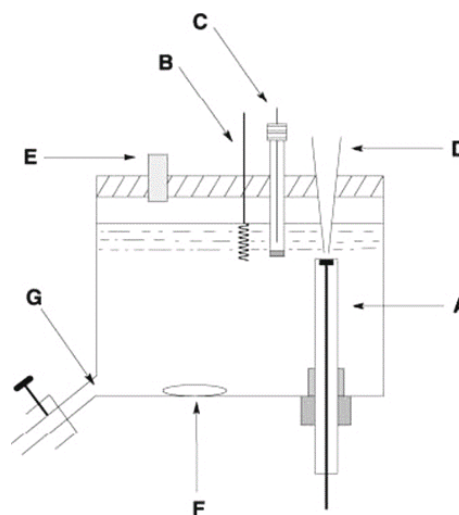
V roce 1991 Wang a Taha<sup>2</sup> představili novou techniku, kterou nazvali vsádková injekční analýza (BIA – batch injection analysis), představující alternativu pro velmi rychlá stanovení, ke kterým je potřeba jen velmi malý objem vzorku. Podstatou této analytické techniky je dávkování vzorku ze špičky automatické mikropipety přímo k detektoru, jenž je ponořen ve velkém objemu blanku (vhodného roztoku neobsahujícího sledovaný analyt). Tato technika vykazuje podobné vlastnosti jako již zmiňovaná FIA, zvláště co se týče citlivosti a rychlosti stanovení, objemu dávkovaného vzorku a reprodukovatelnosti stanovení. Poskytuje však i další výhody, jako např. odstranění problémů s používáním pump či úplnou eliminaci spotřeby nosného média<sup>2</sup>.

Cílem tohoto přehledového referátu je představit široké veřejnosti techniku BIA a její hlavní výhody při stanovení anorganických i organických sloučenin. Rovněž si klade za svůj cíl vyzdvihnout zásadní roli elektrochemické detekce, která se v posledních letech stala převládajícím typem detekce v nových publikacích pojednávajících o BIA, a tím poukázat na fakt, že i téměř sto let po vzniku polarografie, která položila základ většině moderních elektroanalytických metod, představuje elektrochemie i v 21. století užitečný nástroj pro současné analytické chemiky<sup>3</sup>.

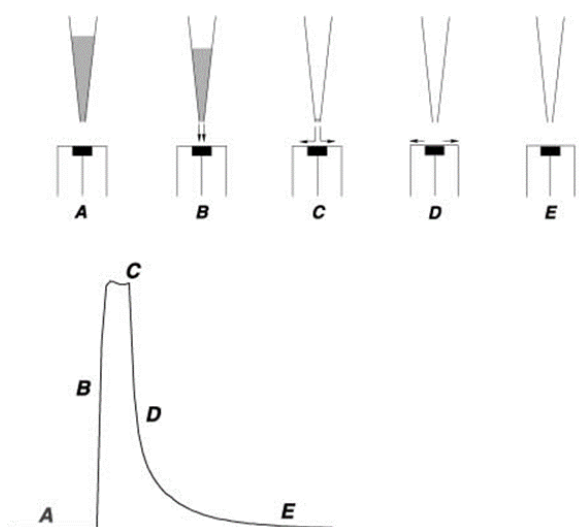
## 2. Vsádková injekční analýza

### 2.1. Princip metody

První sestava pro BIA, kterou vytvořili Wang a Taha<sup>2</sup>, využívala ampérometrickou detekci. Cěla, která je zobrazena na obr. 1, byla vyrobena z plexiskla. Pracovní elektroda (A) je v tomto uspořádání vložena do cely předem vyvrtaným otvorem zespodu. Špička pipety (D) je přes otvor umístěna přímo nad pracovní elektrodou tak, aby ústí špičky bylo těsně nad středem elektrodového disku. Pipeta je k sestavě připevněna pomocí držáku se svorkou, který zaručuje umístění vždy na stejné místo při každém novém dávkování. V dalších dvou otvorech je vložena elektroda



Obr. 1. Schematické znázornění velkoobjemové BIA cely. A – pracovní elektroda, B – pomocná elektroda, C – referenční elektroda, D – špička pipety, E – otvor pro nalití blanku, F – magnetické míchadlo, G – odtok. Převzato se svolením původního vydavatele z cit.<sup>4</sup>



Obr. 2. **Jednotlivé procedurální kroky a vznik odezvy v BIA.** A – před dávkováním, B – během dávkování, C – ukončení dávkování, D – vymývání, E – úplné vymytí. Převzato a upraveno se svolením původního vydavatele z cit.<sup>4</sup>

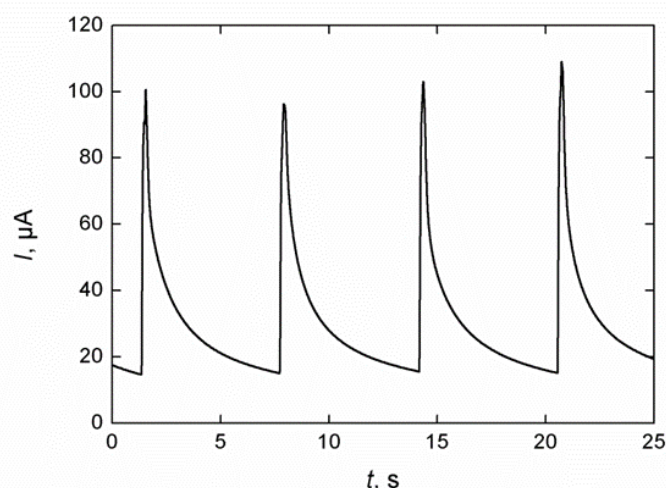
referentní (C) a pomocná (B). Otvor (E) je určen k dávkování roztoku blanku. Dále je v cele míchadlo (F) a místo pro odtok (G).

Podstatou BIA je dávkování vzorku o objemu několika mikrolitrů přímo k povrchu pracovní elektrody. Při tomto dávkování se vytvoří zóna, která se rozptýlí při své cestě k pracovní elektrodě reprodukováným způsobem transportu a kontrolovaným rozptylem v místě i čase. Výsledkem je odezva detektoru ve formě píku s následujícími

velmi rychlým návratem signálu na základní linii. Jednotlivé kroky v dávkování jsou ukázány na obr. 2, reálný záznam měření pak na obr. 3.

Během prvních pokusů byla používána manuální automatická pipeta, a reprodukovatelnost analytických výsledků tak byla silně ovlivněna zkušeností dávkujícího pracovníka. Po zavedení automatických, počítačem řízených pipet byl tento problém eliminován a k používání této metody již není třeba velkých zkušeností s reprodukovatelným dávkováním. Hlavním důvodem úspěchu BIA je kombinace následujících dvou faktorů. Prvním je hydrodynamický princip „wall-jet“ nástřiku vzorku k povrchu pracovní elektrody a druhým je významné zředění dávkovaného vzorku<sup>4</sup>. První cely vyvinuté pro tuto metodu měly pracovní objem 250–700 ml, tudíž vzorek v nich byl po nástřiku zředěn více jak desetitisíckrát. Potřebnou nutností bylo míchání roztoku v cele během analýzy. Cely, které byly následně vyvíjeny, už měly menší pracovní objem, a to jen pár mililitrů, ne-li mikrolitrů<sup>6</sup>. Cely o malém objemu, ve kterých již není třeba roztok během analýzy míchat, protože rychlý pokles odezvy detektoru nastává okamžitě po nástřiku i bez míchání, představují velké výhody ve smyslu významné redukce množství potřebných chemikálií, ale také možnosti užívat tyto soupravy jako přenosné pro stanovení rozmanitých analytů *in situ*<sup>4</sup>. Stačí mít k dispozici elektronickou pipetu, měrnou celu s detektorem a přenosným počítačem (či tabletem nebo chytrým telefonem) řízený analyzátor pro záznam signálu<sup>4,7</sup>.

V posledních letech se objevuje i úplně nová varianta této techniky<sup>8</sup>. Spočívá v nahrazení automatické pipety mikropumpou se solenoidem, která zaručuje přesné dávkování stejného objemu vzorku, což umožňuje tuto techniku použít pro zcela automatizované analýzy.



Obr. 3. **Chronoampérogramy chlorpromazinu ( $c = 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$ ) v Brittonově-Robinsonově pufru o pH 6,0 zaznamenané na síťotiskové uhlíkové elektrodě při BIA (čtyři postupné nástřiky vzorku o objemu 50  $\mu\text{l}$  dávkované rychlostí 286  $\mu\text{l s}^{-1}$  při vloženém detekčním potenciálu 0,7 V vztaženém vůči síťotiskové stříbrné pseudoreferentní elektrodě)<sup>5</sup>**

## 2.2. Možnosti detekce

### Fluorimetrie

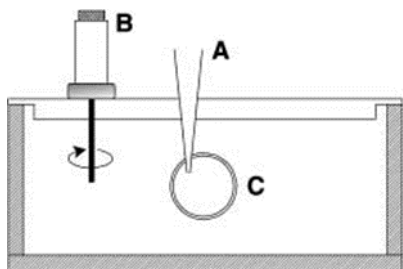
Jednou z možných detekčních technik při BIA je fluorimetrie. Je nutné používat BIA cely, ve kterých optické vlákno ústí přímo u konce špičky pipety. Tento senzor byl sestaven uzavřením skleněných vláken do skleněné trubičky epoxidovou pryskyřicí, přičemž jedno vlákno sloužilo k excitaci a druhé k detekci fluorescence. Při tomto způsobu detekce je nutné dávkovat vzorky o objemech alespoň 25  $\mu\text{l}$  a jistou komplikací zde může představovat samoabsorpce analytu<sup>9</sup>.

### Spektrofotometrie

BIA může být také kombinována se spektrofotometrickou detekcí<sup>4</sup>. K tomu je zapotřebí ke stěně velkoobjemové pracovní cely s roztokem blanku připojit spektrofotometrický analyzátor. Optická dráha paprsku je definována vzdáleností stěn cely (viz obr. 4). Proces analýzy musí probíhat ve velkém objemu blanku a za míchání. Tento způsob detekce se vyznačuje dobře definovanými píky s rychlým nárůstem absorbance a poté jejím poklesem způsobeným rychlým průchodem zóny vzorku. Nejlepších výsledků je dosaženo při pomalejším dávkování. Alternativní cestou je přidání činidla, které vytvoří s analytem barevný produkt, aby se tak předešlo nežádoucímu vlivu na základní linii při mnoha přídavcích vzorků<sup>10</sup>.

### Potenciometrie

Potenciometrie jako detekční technika při BIA je velmi vhodná pro stanovení anorganických iontů pomocí iontově selektivních elektrod, zejména díky jejich vysoké selektivitě. Samotná cela pro BIA je velmi podobná té, která je zobrazena na obr. 1, s tím rozdílem, že na místo pracovní elektrody je zde elektroda iontově selektivní. Nevýhodou je však možná akumulace analytu na elektrodě při opakovaném měření. Tomuto lze předejít vhodnou volbou základního elektrolytu. BIA s potenciometrickou detekcí již byla použita pro stanovení sodných a draselných iontů v minerálních vodách<sup>11</sup>, acetylsalicylové kyseliny v tabletách<sup>12</sup> či iontů rtuť<sup>13</sup>.



Obr. 4. Znárodnění cely pro BIA se spektrofotometrickou detekcí. A – špička pipety, B – míchadlo, C – optické okénko. Převzato se svolením původního vydavatele z cit.<sup>4</sup>

### Voltametrie

V literatuře<sup>14</sup> bylo popsáno užití cyklické voltametrie a voltametrie čtvercových vln (square wave voltammetry – SWV) jako detekčních technik pro BIA při stanovení hexakvanoželeznatodu draselného jako modelové látky. Dále byla využita square wave anodická rozpouštěcí voltametrie (square wave anodic stripping voltammetry – SWASV) pro stanovení stopových množství iontů kovů<sup>15</sup>. Tato detekční technika v sobě zahrnuje dva kroky. Prvním, při kterém dochází ke kumulaci redukované formy analytu na elektrodu, je dávkování malého objemu vzorku k povrchu rtuťové filmové elektrody (která je ponořena v roztoku blanku) po krátkou dobu. Druhým krokem je rozpouštění redukované formy analytu prostřednictvím vkládání rychlých čtvercových („square wave“) pulzů. Tento systém je charakteristický vysokou citlivostí stanovení, jednoduchostí, minimalizuje problém s rozpuštěným vzdušným kyslíkem ve vzorcích a zároveň snižuje celkový čas analýzy<sup>15</sup>.

### Ampérometrie

Největší pozornosti se zatím dostalo ampérometrické detekci, která není náročná na instrumentaci a samotná analýza je velmi rychlá. Jako optimální vzdálenost špičky pipety od detektoru byly vybrány cca 2 mm, neboť při menší vzdálenosti není procházející proud dostatečně velký a při vzdálenosti větší se proudová odezva rovněž snižuje<sup>16</sup>. Jednou z velkých výhod ampérometrické detekce je skutečnost, že lze dávkovat vzorky do detekční cely, která neobsahuje základní elektrolyt. Vzorky musí být dávkovány přímo a rychle na povrch detektoru (s maximálním objemem 100  $\mu\text{l}$ ). Nevýhodou tohoto postupu může být zúžení potenciálového okna pro redoxní reakce z důvodu ohmické polarizace<sup>16</sup>. Užitím elektrody ze skelného uhlíku (GCE – glassy carbon electrode) modifikované methylenovou modří lze např. stanovit hemoglobin přímo v lidské krvi<sup>17</sup>. Výsledky této metody jsou ve velmi dobrém souladu s výsledky poskytnutými lékařsky doporučenou spektrofotometrickou metodou pro stanovení hemoglobinu.

Zajímavostí je, že BIA s ampérometrickou detekcí je možné použít i při stanovení více analytů ve směsi na jedné pracovní elektrodě. Konkrétně se jedná např. o stanovení paracetamolu a kofeinu pomocí multipulzní ampérometrické detekce (MPA) na borem dopované diamantové elektrodě (BDDE) a GCE<sup>18</sup>. Nejprve je na pracovní elektrodu vložen potenciál, při kterém dochází k redukci či oxidaci prvního z analytů. Poté je vložen potenciál druhý, při kterém dochází ke konverzi obou analytů. Pomocí přepočítávacího faktoru tak lze stanovit oba analyty ve své směsi.

## 2.3. Analyty vhodné ke stanovení

Techniku BIA lze využít pro stanovení širokého spektra analytů v různých maticích. Jedná se např. o environmentální vzorky, především pak o vzorky vody (pitné, říční, odpadní, povrchové, podzemní či průmyslové) a sledování jejich parametrů, jakými jsou kupříkladu stopové koncentrace iontů a sloučenin těžkých kovů ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  a  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ )<sup>15,19–22</sup> či toxických du-

Tabulka I

Přehled voltametrických a ampérometrických stanovení vybraných analytů pomocí BIA

Analyt	Elektroda	Detekční technika	Mez detekce [ $\mu\text{mol l}^{-1}$ ]	Lit.
Acetylcystein	NiPb-FTOE	ampérometrie	0,23	30
$\alpha$ -Amylasa	CuO-CuE	ampérometrie	50	31
Aminofylin	SPCE	MPA	0,03	32
Aspirin	BDDE	MPA	1,28	33
Benzokain	SPCE	ampérometrie	0,0302	34
Ciprofloxacín	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,04	35
Clindamycin	SPCE	MPA	0,05	32
Difenhydramin	BDDE	MPA	0,76	36
Dopamin	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,04	35
Dopamin	GCE	ampérometrie	0,331	26
Dopamin	ErGO-GCE	ampérometrie	0,030	26
Dopamin	CrGO-GCE	ampérometrie	0,055	26
Dopamin	BDDE	ampérometrie	0,102	37
Dopamin	rGO-BDDE	ampérometrie	0,086	37
Dopamin	MWCNT-BDDE	ampérometrie	0,079	37
Dopamin	MWCNT/rGO-BDDE	ampérometrie	0,016	37
Dopamin	GPE	ampérometrie	0,36	38
Dopamin	EGPE	ampérometrie	0,27	38
Dopamin	O <sub>2</sub> GPE	ampérometrie	0,29	38
Dopamin	CO <sub>2</sub> GPE	ampérometrie	0,19	38
Epinefrin	SSE	ampérometrie	1	39
Feniramin	BDDE	MPA	0,6	40
Gallová kyselina	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,03	35
Gentamicin	BDDE	ampérometrie	0,81	41
Hydralazin	NiPt-FTOE	ampérometrie	5,93	42
Hydrochinon	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,05	35
Hydrochinon	GCE	ampérometrie	0,158	26
Hydrochinon	ErGO-GCE	ampérometrie	0,057	26
Hydrochinon	CrGO-GCE	ampérometrie	0,052	26
Chlorfeniramin	BDDE	MPA	0,5	40
Chlorpromazin	SPCE	ampérometrie	0,81	5
8-Chlortheofylin	BDDE	MPA	0,31	36
Karbamazepin	SPCE	MPA	0,42	32
Katechin	SPCE	ampérometrie	0,021	43
Katechin	GCE	MPA	0,03	44
Katechol	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,06	35
Katechol	GCE	ampérometrie	0,626	26
Katechol	ErGO-GCE	ampérometrie	0,031	26
Katechol	CrGO-GCE	ampérometrie	0,012	26
Katechol	BDDE	ampérometrie	0,124	37
Katechol	rGO-BDDE	ampérometrie	0,056	37
Katechol	MWCNT-BDDE	ampérometrie	0,021	37
Katechol	MWCNT/rGO-BDDE	ampérometrie	0,012	37
Kofein	BDDE	MPA	0,41	33
Kofein	BDDE	MPA	0,49	36
Kofein	BDDE	SWV	1,5	45

Tabulka I  
Pokračování

Analyt	Elektroda	Detekční technika	Mez detekce [ $\mu\text{mol l}^{-1}$ ]	Lit.
Kofein	BDDE	MPA	0,41	33
Kofein	BDDE	MPA	0,49	36
Kofein	BDDE	SWV	1,5	45
Kokain	BDDE	SWV	0,89	46
Kolchicin	SPCE	MPA	0,10	32
Levamisol	SPCE	ampérometrie	0,14	47
Levofloxacin	BDDE	ampérometrie	0,10	48
Levothyroxin	SPGE	ampérometrie	0,10	47
Minoxidil	SPCE	MPA	0,14	32
Močová kyselina	MWCNT-SPCE	MPA	0,05	49
$\text{NO}_2^-$	MWCNT-SPCE	MPA	0,06	49
Nafazolin	BDDE	MPA	0,1	40
Omeprazol	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,01	35
Omeprazol	MWCNT-SPCE	ampérometrie	0,009	50
Paracetamol	BDDE	MPA	1,59	33
Paracetamol	BDDE	SWV	2,0	45
Prazosin	SPCE	MPA	0,05	32
Prokainamid	SPCE	MPA	0,02	32
Propyfenazon	BDDE	SWV	0,87	45
Pyrogallol	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,18	35
Pyrogallol	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,013	51
Sildenafil (Viagra®)	SPCE	ampérometrie	0,052	52
Skopolamin	BDDE	SWV	0,18	53
<i>tert</i> -Butylhydrochinon	MWCNT-GCE	ampérometrie	0,52	35
Theofylin	SPCE	MPA	0,03	32
Trikain	SPCE	ampérometrie	0,0319	34
Verapamil	SPCE	MPA	0,02	32
Warfarin	SPCE	MPA	0,07	32
Warfarin	BDDE	MPA	0,36	54

BDDE: borem dopovaná diamantová elektroda,  $\text{CO}_2\text{GPE}$ : elektroda z grafitového papíru předupravená ve studeném plazmatu oxidu uhlíčitého, CrGO-GCE: elektroda ze skelného uhlíku modifikovaná chemicky redukováným oxidem grafenu, CuO-CuE: měděná elektroda pokrytá filmem oxidu měďnatého, EGPE: elektrochemicky předupravená elektroda z grafitového papíru, ErGO-GCE: elektroda ze skelného uhlíku modifikovaná elektrochemicky redukováným oxidem grafenu, GCE: elektroda ze skelného uhlíku, GPE: elektroda z grafitového papíru, MPA: multipulzní ampérometrie, MWCNT-BDDE: borem dopovaná diamantová elektroda modifikovaná vícečetnými uhlíkovými nanotrubičkami, MWCNT-GCE: elektroda ze skelného uhlíku modifikovaná vícečetnými uhlíkovými nanotrubičkami, MWCNT/rGO-BDDE: borem dopovaná diamantová elektroda modifikovaná kompozitem tvořeným vícečetnými uhlíkovými nanotrubičkami a redukováným oxidem grafenu, MWCNT-SPCE: sítotisková uhlíková elektroda modifikovaná vícečetnými uhlíkovými nanotrubičkami, NiPb-FTOE: elektroda z fluorem dopovaného oxidu cínitého modifikovaného nanočásticemi hydroxidů niklu a olova, NiPt-FTOE: elektroda z fluorem dopovaného oxidu cínitého modifikovaného nanočásticemi hydroxidů niklu a platiny,  $\text{O}_2\text{GPE}$ : elektroda z grafitového papíru předupravená ve studeném plazmatu kyslíku, rGO-BDDE: borem dopovaná diamantová elektroda modifikovaná redukováným oxidem grafenu, SPCE: sítotisková uhlíková elektroda, SPGE: sítotisková grafitová elektroda, SSE: elektroda z nerezové oceli, SWV: square wave voltametrie

sitanů<sup>23</sup> nebo obsah lehčích iontů ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{Ca}^{2+}$ )<sup>24</sup>. Dále BIA umožňuje analýzu farmaceutických preparátů a léčiv (včetně stanovení jejich příměsí), a to i více analytů ve směsi<sup>25–27</sup>. BIA našla využití rovněž při stanovení obsahu askorbové kyseliny v ovocných šťá-

vách<sup>28</sup>, nebo dokonce při detekci poškození DNA vyvolaného UV zářením<sup>29</sup>.

Přehled stanovení analytů (publikovaných za poslední tři roky) pomocí BIA s voltametrickou nebo ampérometrickou detekcí je pro ilustraci uveden v tab. I.

### 3. Závěr

BIA je poměrně mladá analytická technika, avšak v posledních letech se stále více používá, a to především díky jejím nesporným výhodám, ke kterým patří zejména vysoká rychlost stanovení, které je citlivé, pravdivé, přesné a precizní, bez nároků na předchozí uživatelské zkušenosti<sup>6</sup>. V průběhu několika let jejího vývoje bylo zjištěno, že pro BIA již není potřeba používat velké detekční cely s blanky, které mají objem v řádu stovek mililitrů, stejně jako z detekční procedury (a to výhradně při elektrochemické detekci) vymizela nutnost stálého míchání. I při dávkování velkého množství vzorků je základní linie prakticky konstantní, neboť díky motorizovaným pipetám je zanalyzovaný vzorek vymyt z povrchu pracovní elektrody novým nástřikem. Zároveň BIA nabízí nespornou výhodu ve snížení množství jak užitych činidel, tak i dávkovaných vzorků. Díky tomu, že se v posledních letech objevily již kompletní komerčně dostupné sady pro stanovení technikou BIA<sup>55</sup>, je i pořizovací cena celé této aparatury poměrně nízká (řádově asi 150 tisíc Kč). Zajímavé je jistě i to, že v současnosti již není technickým problémem sestavení vlastní pracovní cely přímo na míru (např. pro využití nově vyrobených specializovaných elektrod), zejména díky moderním 3D tiskárnám<sup>56,57</sup>, což jistě přinese technice BIA ještě větší možnosti expanze do praxe, a bezesporu se tak brzy zařadí mezi zcela běžné techniky rutinně používané v analytických laboratořích po celém světě<sup>58–65</sup>.

*Tento příspěvek vznikl v rámci Specifického vysokoškolského výzkumu (SVV 260440).*

#### LITERATURA

1. Trojanowicz M.: *Advances in Flow Analysis*, Wiley-VCH, Weinheim 2008.
2. Wang J., Taha Z.: *Anal. Chem.* 63, 1053 (1991).
3. Barek J., Pecková K., Vyskočil V.: *Chem. Listy* 103, 889 (2009).
4. Quintino M. S. M., Angnes L.: *Electroanalysis* 16, 513 (2004).
5. Dvořák P.: *Bakalářská práce*. Univerzita Karlova, Praha 2018.
6. Rocha D. P., Cardoso R. M., Tormin T. F., de Araujo W. R., Munoz R. A. A., Richter E. M., Angnes L.: *Electroanalysis* 30, 1386 (2018).
7. Tormin T. F., Cunha R. R., da Silva R. A. B., Munoz R. A. A., Richter E. M.: *Sens. Actuators, B* 202, 93 (2014).
8. Rocha D. P., Cardoso R. M., Mendonça D. M. H., Richter E. M., da Silva S. G., Batista A. G., Muñoz R. A. A.: *Electroanalysis* 30, 180 (2018).
9. Wang J., Rayson G. D., Taha Z.: *Appl. Spectrosc.* 46, 107 (1992).
10. Wang J., Angnes L.: *Anal. Lett.* 26, 2329 (1993).
11. Lu J., Chen Q., Diamond D., Wang J.: *Analyst* 118, 1131 (1993).
12. Fernandez J. C. B., Garcia C. A. B., Gradin L. A., de Oliveira Neto G., Godinho O. E. S.: *J. Braz. Chem. Soc.* 9, 249 (1998).
13. Vlasov Y. G., Ermolenko Y. E., Kolodnikov V. V.: *Sens. Actuators, B* 24, 317 (1995).
14. Brett C. M. A., Brett A. M. O., Mitoseriu L. C.: *Anal. Chem.* 66, 3145 (1994).
15. Wang J., Lu J., Chen L.: *Anal. Chim. Acta* 259, 123 (1992).
16. Brett C. M. A., Brett A. M. O.: *Electroanalysis* 7, 225 (1995).
17. Brett C. M. A., Inzelt G., Kertesz V.: *Anal. Chim. Acta* 385, 119 (1999).
18. da Silva R. A. B., Gimenes D. T., Tormin T. F., Munoz R. A. A., Richter E. M.: *Anal. Methods* 3, 2804 (2011).
19. Brett C. M. A., Brett A. M. O., Matysik F.-M., Matysik S., Kumbhat S.: *Talanta* 43, 2015 (1996).
20. Brett C. M. A., Brett A. M. O., Tugulea L.: *Electroanalysis* 8, 639 (1996).
21. Brett C. M. A., Morgado J. M.: *J. Appl. Toxicol.* 20, 477 (2000).
22. Brett C. M. A., Filipe O. M. S., Neves C. S.: *Anal. Lett.* 36, 955 (2003).
23. Idrissi L., Amine A., El Rhazi M., El Moursli Cherkaoui F.: *Anal. Lett.* 38, 1943 (2005).
24. Walcarius A., Lamberts L., Derouane E. G.: *Electroanalysis* 7, 120 (1995).
25. Cardoso R. M., Montes R. H. O., Lima A. P., Dornellas R. M., Nossol E., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Electrochim. Acta* 176, 36 (2015).
26. Rocha D. P., Dornellas R. M., Cardoso R. M., Narciso L. C. D., Silva M. N. T., Nossol E., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Sens. Actuators, B* 254, 701 (2018).
27. Gimenes D. T., Cunha R. R., de Carvalho Ribeiro M. M. A., Pereira P. F., Muñoz R. A. A., Richter E. M.: *Talanta* 116, 1026 (2013).
28. De Donato A., Pedrotti J. J., Gutz I. G. R.: *Electroanalysis* 11, 1124 (1999).
29. Svitková V., Labuda J., Vyskočil V.: *Electroanalysis* 31, 2001 (2019).
30. Correa A. L., Gonçalves J. M., Rossini P. O., Bernardes J. S., Neves C. A., Araki K., Angnes L.: *Talanta* 186, 354 (2018).
31. Garcia P. T., Dias A. A., Souza J. A. C., Coltro W. K. T.: *Anal. Chim. Acta* 1041, 50 (2018).
32. de Jesus Guedes T., dos Santos W. T. P.: *Electroanalysis* 30, 1740 (2018).
33. Alencar L. M., dos Santos R. B., de Jesus Guedes T., dos Santos W. T. P., de Souza J. B. G., Ferreira V. S., da Silva R. A. B.: *Electroanalysis* 30, 296 (2018).
34. de Lima R. M. F., de Oliveira Silva M. D., Felix F. S., Angnes L., dos Santos W. T. P., Saczk A. A.: *Electroanalysis* 30, 283 (2018).
35. Stefano J. S., Rocha D. P., Dornellas R. M., Narciso L. C. D., Krzyzaniak S. R., Mello P. A., Nossol E., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Electrochim. Acta* 240, 80 (2017).
36. Freitas J. M., da Costa Oliveira T., Munoz R. A. A., Richter E. M.: *Quim. Nova* 40, 739 (2017).
37. Rocha D. P., Silva M. N. T., Cardoso R. M., Castro S.

- V. F., Tormin T. F., Richter E. M., Nossol E., Munoz R. A. A.: *Sens. Actuators, B* 269, 293 (2018).
38. Pereira J. F. S., Borges P. H. S., Moura G. M., Gelamo R. V., Nossol E., Canobre S. C., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Electrochem. Commun.* 105, 106497 (2019).
  39. García-Miranda Ferari A., Amor-Gutiérrez O., Costar-Rama E., Fernández-Abedul M. T.: *Sens. Actuators, B* 253, 1207 (2017).
  40. da Costa Oliveira T., Freitas J. M., Muñoz R. A. A., Richter E. M.: *Electroanalysis* 30, 868 (2018).
  41. Almeida J. M. S., Toloza C. A. T., Machado B. S., da Silva A. R., Aucelio R. Q.: *Microchem. J.* 145, 187 (2019).
  42. Azeredo N. F. B., Rossini P. O., Gonçalves J. M., Assis G. L., Araki K., Angnes L.: *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 95, 475 (2019).
  43. Ribeiro G. A. C., da Rocha C. Q., Veloso W. B., Fernandes R. N., da Silva I. S., Tanaka A. A.: *Microchem. J.* 146, 1249 (2019).
  44. Ribeiro G. A. C., da Rocha C. Q., Tanaka A. A., da Silva I. S.: *Anal. Methods* 10, 2034 (2018).
  45. Silva W. P., Silva L. A., França C. H., Sousa R. M. F., Muñoz R. A. A., Richter E. M.: *Electroanalysis* 29, 1860 (2017).
  46. Freitas J. M., Ramos D. L. O., Sousa R. M. F., Paixão T. R. L. C., Santana M. H. P., Muñoz R. A. A., Richter E. M.: *Sens. Actuators, B* 243, 557 (2017).
  47. Stefano J. S., Dias A. C., Arantes I. V. S., Costa B. M. C., Silva L. A. J., Richter E. M., Banks C. E., Munoz R. A. A.: *Electroanalysis* 31, 518 (2019).
  48. Alencar L. M., de Oliveira L. H., Backes R., Rosa T. M., de Oliveira P. R., da Silva R. A. B., Trindade M. A. G.: *Electroanalysis* 29, 2559 (2017).
  49. Caetano L. P., Lima A. P., Tormin T. F., Richter E. M., Espindola F. S., Botelho F. V., Munoz R. A. A.: *Electroanalysis* 30, 1870 (2018).
  50. Stefano J. S., Tormin T. F., da Silva J. P., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Microchem. J.* 133, 398 (2017).
  51. Cardoso R. M., Dornellas R. M., Lima A. P., Montes R. H. O., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *J. Braz. Chem. Soc.* 28, 1650 (2017).
  52. Backes R. S., Guedes T. J., dos Santos W. T. P., da Silva R. A. B.: *Quim. Nova* 40, 752 (2017).
  53. da Costa Oliveira T., Santana M. H. P., Banks C. E., Munoz R. A. A., Richter E. M.: *Electroanalysis* 31, 567 (2019).
  54. de Jesus Guedes, Andrade G. A. R., Lima A. B., da Silva R. A. B., dos Santos W. T. P.: *Electroanalysis* 29, 2340 (2017).
  55. Richter E. M., Tormin T. F., Cunha R. R., Silva W. P., Pérez-Junquera A., Fanjul-Bolado P., Hernández-Santos D., Muñoz R. A. A.: *Electroanalysis* 28, 1856 (2016).
  56. Cardoso R. M., Mendonça D. M. H., Silva W. P., Silva M. N. T., Nossol E., da Silva R. A. B., Richter E. M., Muñoz R. A. A.: *Anal. Chim. Acta* 1033, 49 (2018).
  57. Mendonça D. M. H., Rocha D. P., Dutra G. S. V., Cardoso R. M., Batista A. D., Richter E. M., Munoz R. A. A.: *Electroanalysis* 31, 771 (2019).
  58. Gajdar J., Horakova E., Barek J., Fischer J., Vyskočil V.: *Electroanalysis* 28, 2659 (2016).
  59. Vyskočil V., Barek J.: *Collect. Czech. Chem. Commun.* 74, 1675 (2009).
  60. Yosypchuk O., Karásek J., Vyskočil V., Barek J., Pecková K.: *Sci. World J.* 2012, 231986 (2012).
  61. Vyskočil V., Daňhel A., Fischer J., Novotný V., Deýlová D., Musilová-Karaová J., Maixnerová L., Pecková K., Barek J.: *Chem. Listy* 104, 1181 (2010).
  62. Skalová Š., Stávková K., Hájková A., Barek J., Fischer J., Wang J., Vyskočil V.: *Chem. Listy* 111, 178 (2017).
  63. Makrlíková A., Barek J., Vyskočil V., Navrátil T.: *Chem. Listy* 112, 605 (2018).
  64. Paleček E., Heyrovský M.: *Chem. Listy* 111, 71 (2017).
  65. Hejtmánková M., Broncová G., Shishkanova T. V.: *Chem. Listy* 112, 98 (2018).
- P. Dvořák and V. Vyskočil** (*Charles University, Faculty of Science, Department of Analytical Chemistry, UNESCO Laboratory of Environmental Electrochemistry, Prague*): **Batch Injection Analysis and Possibilities of Its Use in the New Millennium**
- In analytical chemistry, there has been a recent trend to develop fully automated systems that can operate at high speed, analyze a large number of samples and provide analytical results with high trueness, accuracy and precision. The batch injection analysis (BIA) technique, which is based on the already well-known flow injection analysis (FIA) technique, meets these requirements very well. Moreover, it provides additional benefits over FIA, such as avoiding pump problems or completely eliminating consumption of the carrier medium. The aim of this review is to introduce the BIA technique and its main advantages in the determination of inorganic and organic compounds to the general public. It also seeks to highlight the crucial role of electrochemical detection, which has become the predominant type of detection in BIA publications in recent years.
- Keywords: batch injection analysis, electrochemistry, amperometry, review
- Acknowledgement*  
This contribution was created within the framework of the Specific University Research (SVV 260440).