

QUO VADIS, ELIMINAČNÍ VOLTAMETRIE?

Publikace je věnovaná panu prof. RNDr. Jiřímu Barkovi, CSc. k jeho životnímu jubileu.

LIBUŠE TRNKOVÁ

Ústav chemie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kamenice 5, 625 00 Brno, Česká republika
libuse@chemi.muni.cz

Došlo 29.7.24, přijato 5.9.24.

Článek představuje otevřený osobní přístup k budoucnosti eliminační voltametrie s lineárním skenem (EVLS) v kontextu očekávaného vývoje a výzkumu nových materiálů a nových technologií. Společně s tímto vývojem se bude rozšiřovat aplikační schopnost EVLS, jejíž podstatou je matematický aparát umožňující z celkového voltametrického záznamu některé proudové složky eliminovat a jiné zachovávat. I když prozatímní a nezpochybnitelnou úlohu EVLS hrála v elektroanalytických aplikacích, kde pomáhala k získání nižších hodnot limitů detekce (LOD) nejrůznějších organických a anorganických substancí a k odhalení elektrodových procesů skrytých ve voltametrických signálech, další její rozvoj naznačuje slibné využití i v jiných výzkumných oblastech. Cílem sdělení je obecnější, ale i flexibilnější definice eliminační metody, její specifická paradigmat, její výhledy a cíle do budoucnosti.

Klíčová slova: eliminační voltametrie s lineární polarizací (EVLS), difuzní, kapacitní a kinetická složka proudu, eliminační funkce, adsorpční EVLS pík-protipík, aplikace EVLS, paradigmat EVLS

Po řadu desetiletí se voltametrické metody, vycházející z objevu polarografie Jaroslava Heyrovského (Nobelova cena, 1959), rozvíjejí, a to jak po stránce instrumentální, tak po stránce teoretické. Pro oba přístupy byl a je rozhodující prudký rozvoj výpočetní techniky. Digitalizace úspěšně zasahuje do oblasti rychlejšího a přesnějšího získání a zpracování dat. Voltametrické metody nejsou výjimkou a právě díky digitalizaci se mohly „narodit“ eliminační metody¹. Zpočátku to byla eliminační polarografie, která využívala rozdílných časových závislostí proudových složek (kapacitní, kinetická, difuzní) a transformovala je do kombinací časových derivací a integrálů^{2,3}. Některá proudová složka byla derivací nebo integrálem eliminována, jiná zachována. V eliminační voltametrii (EVLS) se časová závislost dílčích voltametrických proudů odráží v exponenciálním parametru rychlosti polarizace a eliminační procedura se provádí matematickou kombinací celkových voltametrických proudů snímaných při různých rychlostech polarizace^{4,5} (scan rate, ν). Původní teorie EVLS a odvození různých typů eliminací pomocí eliminačních funkcí se vztahovala k reverzibilnímu elektrodovému procesu, kde kapacitní proud je přímo úměrný rychlosti polarizace, difuzní proud má závislost odpovídající druhé odmocnině z rychlosti polarizace a kinetický proud je na ní nezávislý. Za předpokladu platnosti dvou podmínek, kdy celkový voltametrický proud odpovídá součtu dílčích eliminovaných proudů a kdy každý dílčí proud lze vyjádřit jako součin funkce rychlosti polarizace a funkce potenciálu, je možné při využití tří celkových voltametric-

kých záznamů získaných při třech různých rychlostech polarizace simultánně eliminovat dva dílčí proudy^{6,7}. Obecně vzato, pro eliminaci $n-1$ proudů je třeba získat n voltametrických záznamů. Geniálním a zcela podstatným pilířem EVLS je normování proudů, kdy jedna rychlost polarizace je zvolena jako referenční a k ní se vztahují další dvě rychlosti v určitém poměru. Pro tyto účely mohou být zvoleny různé poměry polarizačních rychlostí, ovšem optimální, nejméně chybou zatížený, je poměr odpovídající celému číslu dvě (integer 2) (pozn.: důkaz by měl být autorkou tohoto příspěvku publikován v nejbližší době v časopisu *Electrochimica Acta*). Eliminační funkce pro tři měřené voltametrické proudy nabývá tvaru: $f(I) = aI_{1/2} + bI + cI_2$, kde I představuje zvolený proud referenční, $I_{1/2}$ a I_2 proudy s poloviční a dvojnásobnou rychlostí polarizace, koeficienty a , b , c eliminační koeficienty, které lze vypočítat pomocí procedury několikrát publikované v našich dřívějších pracích⁸⁻¹². Slovně lze postup pro integer 2 popsat tímto algoritmem: a) všechny tři celkové voltametrické proudy $I_{1/2}$, I a I_2 obsahují kapacitní proudovou složku (I_k) s hodnotami 1/2, 1 a 2, difuzní proudovou složku (I_d) s hodnotami $\sqrt{1/2}$, $\sqrt{1}$ a $\sqrt{2}$ a kinetickou proudovou složku (I_k) s hodnotami 1, 1, 1, b) vychází se ze tří rovnic o třech neznámých (koeficienty a , b , c) a pokud žádáme zachování difuze, pak jedna rovnice s $\sqrt{1/2}$, $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$ bude nulová, ostatní dvě rovnice pro kapacitní a kinetický proud budou nulové, c) eliminační funkce $f(I) = aI_{1/2} + bI + cI_2$ je aplikovaná na každou dvojici $I-E$ a výsledkem je eliminační (EVLS) voltamogram. Počet $I-E$ dvojic po-

chopitelně závisí na potenciálovém kroku (potential step), který musí být pro všechny tři snímané voltamogramy stejný, aby byla eliminační procedura prováděna postupně vždy při stejné hodnotě potenciálu. Hodnoty eliminačních koeficientů pro tři EVLS funkce jsou uvedeny v tab. I.

Eliminační voltamogram má další výpovědní hodnotu a pomáhá odhalit procesy, které v běžné lineární nebo cyklické voltametii nejsou patrné.

1) Z těch nejdůležitějších procesů je to adsorpce elektroaktivní molekuly většinou podléhající ireverzibilnímu redukčnímu nebo oxidačnímu procesu, což eliminační funkce zachovávající difuzní složku proudu a eliminující kapacitní a kinetickou složku proudu (EVLS E4) ukáže v podobě speciálního signálu píku-protipíku¹³. Tento eliminační signál, podobný derivačnímu voltametričkému záznamu, byl potvrzen i teoreticky a bez komplikace spojené s chemickou reakcí klasifikován poměrem pík/(rozpětí pik-protipík) s teoretickou hodnotou 0,409. Většina zcela adsorbovaných elektroaktivních látek poskytovala hodnotu vyšší než je hodnota teoretická^{12,14–21} a je možné, že zvýšení tohoto poměru způsobuje předřazená chemická reakce (připravované sdělení podložené teorií). Nesporným faktem zůstává, že indikace adsorpce studované elektroaktivní substance pomocí eliminační funkce E4 je velmi rychlá a nevyžaduje drahé přístrojové vybavení.

2) Pokud se nachází sledovaná elektroaktivní molekula v několika izomerech (např. oligonukleotid ve struktuře vlásenky, i-motivu, duplexu, quadruplexu) nebo pokud analyt obsahuje více elektroaktivních míst (adenin, cytosin a guanin ve fragmentech DNA), EVLS funkce úspěšně separuje voltametričké signály s rozdílem potenciálu menším než 40 mV, což často není schopna ani diferenční pulzní voltametrie^{16,17,20,22,23}. EVLS ve spojení s visící rtuňovou kapkovou elektrodou byla úspěšná v rozlišení různých sekvencí adeninu a cytosinu v DNA noname-rech^{11,16,17} a strukturních změn v heptamerech^{24–27}.

3) Velkým přínosem pro krajní hodnoty potenciálového okna pracovních elektrod jsou EVLS funkce eliminující kinetickou složku proudu. Rozsah potenciálového okna je vymezen nejen složením a morfologií povrchu elektrody, ale i redukčními a oxidačními procesy rozpouštědla a použitého základního elektrolytu na straně limitních negativních i pozitivních potenciálů. Ve vodných roztocích se to týká redoxních dějů doprovázených vývojem vodíku a kyslíku. Pokud se v těchto rozsáhlých kinetických proudcích skrývá hledaný minoritní elektrodový proces, pak eliminací kinetického proudu může být tento proces odkryt^{24,28,29}. Kinetická eliminační aplikace byla použita na odkrytí redukčních procesů některých purinových derivátů v majoritním procesu vylučování vodíku a bylo také zjiště-

no, že EVLS může indikovat i propojení redoxních mechanismů. Jinak řečeno, EVLS byla úspěšná, pokud redukční mechanismus sledovaného purinu nebyl spojen s redukčním procesem vodíku (inosin). Pokud ovšem do procesu purinové redukce zasahuje proces vylučování vodíku (guanin) a tyto procesy jsou spřažené, pak kinetická eliminace úspěšná není (nepublikováno). Je to jeden z příkladů možné aplikace EVLS pro pomoc při řešení mechanismů elektrodových procesů.

4) Použitím různých typů EVLS funkcí a jejich vzájemným porovnáním lze studovat elektrodové procesy. Stanovené rozdíly při volbě různých experimentálních parametrů (pH, koncentrace, složení roztoku a jeho iontová síla, teplota, modifikace povrchu elektrody atd.) vytváří EVLS mozaiku, která pomáhá odhalit příčinu změn v mechanismu elektrodového procesu^{24,30–38}.

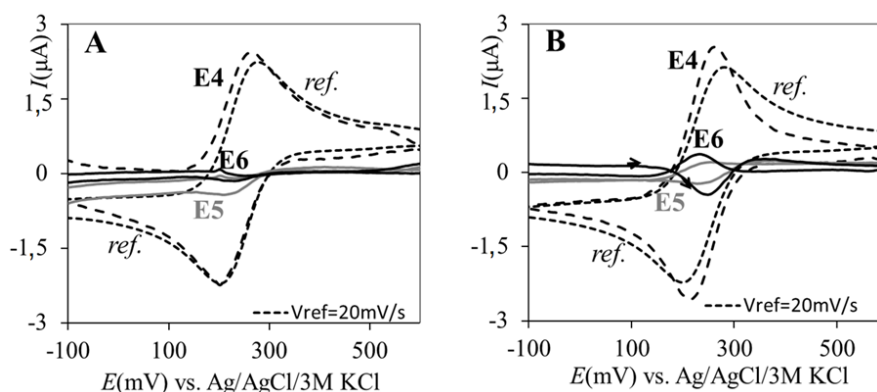
5) Jak už bylo uvedeno, teoretické základy EVLS se týkaly především reverzibilních systémů. V každé elektrochemické laboratoři lze s úspěchem testovat elektrodovou sestavu (set-up) a její správnou funkci na základě cyklického voltametričkého záznamu elektrochemické sondy, jako je např. $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$, $[\text{Rb}(\text{NH}_3)]^{3+/2+}$, $[\text{IrCl}_6]^{2-/3-}$. Pro reverzibilní difuzně řízený elektronový transfer bez dalších komplikací (adsorpce, interakce s elektrodovým povrchem, nezkompenzovaný odpor, chemické reakce atd.) EVLS funkce eliminující difuzní složku proudu (označená jako E5 a E6) by měla poskytovat nulovou proudovou linii^{39,40}. Z tohoto předpokladu byl navržen test: a) správné funkce všech elektrod, b) vlivu různých experimentálních podmínek, jako jsou rychlost polarizace, složení analyzovaného roztoku spolu s koncentracemi jednotlivých složek, a c) efektu povrchové úpravy pracovní elektrody (terminace, modifikace nanočásticemi, kompozity a polymery), od níž se odráží rozdílné interakční chování redoxní (outer sphere – OS, inner sphere – IS) sondy. Při testování polymerní pentelkové grafitové elektrody pomocí komplexu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ zjistila EVLS zajímavý efekt – příznivý vliv kyslíku přítomného v roztoku na redoxní proces komplexu (obr. 1). Přenos elektronů sledovaného komplexu s přístupem kyslíku byl rychlejší (obr. 1A), což bylo verifikováno vyšší hodnotou heterogenní rychlostní konstanty a nižší hodnotou odporu v transferu elektronu⁴⁰.

6) Eliminační procedura konkuruje voltametričkým metodám, pomocí kterých jsou určovány koeficienty přenosu náboje (electron transfer, ET) α (redukce) nebo β (oxidace). Určení koeficientů ET umožňuje porovnání eliminačních výstupů dvou EVLS funkcí. Např. potenciálový rozdíl píků dvou eliminací (zachování difuzní složky proudu pomocí dvou a třech měřených voltamogramů) je

Tabulka I

EVLS funkce E4, E5 a E6 ve tvaru: $f(I) = aI_{1/2} + bI + cI_2$

Funkce	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
E4 (zachování I_d)	-11,6570	17,4850	-5,8284
E5 (zachování I_k)	6,8284	-8,2426	2,4142
E6 (zachování I_c)	4,8284	-8,2426	3,4142



Obr. 1. Cyklické a eliminační voltamogramy (E4 ---, E5 — a E6 —) 1mM $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ na polymerní pentelkové grafitové elektrodě (pPeGE) v 0,1M KCl s přístupem kyslíku (A) a bez přístupu kyslíku (B). Referenční rychlost polarizace 20 mV/s (----)

vázán vztahem $\Delta E_p = 0,62RT/an_aF$ (n_a je počet přenesených elektronů v nejpomalejším kroku elektrodového procesu)^{14,41}.

7) EVLS je nadějným nástrojem pro zjišťování hodnot kapacitních složek proudu. Do této aplikace jsou zapojovány EVLS funkce s eliminací difuzních a kinetických proudů. Zůstávající kapacitní proud může být indikátorem změn v kapacitě elektrické dvojvrstvy^{14,30,40}.

8) Zajímavou a pro materiálovou chemii užitečnou aplikaci EVLS lze nalézt ve studiích, které zkoumají vznik kovových nanostruktur na povrchu grafitových elektrod^{37,42–44} nebo se zabývají tvorbou samospořádaných vrstev (SAM) na zlatých elektrodách^{45,46}.

9) Z hlediska difuze je EVLS schopna poukázat na podíl lineární a sférické difuze, neboť sférická difuze inklinuje k chování kinetické složky proudu. U elektrod malých rozměrů (mikroelektrod) je ve srovnání s jejich poloměry difuzní vrstva silná a nestacionární lineární difuze se mění na stacionární sférickou difuzi, která ztrácí závislost na rychlosti skenování²⁹.

10) Důležitou roli EVLS hraje při citlivé elektroanalýze a elektroanalytických studiích mechanismu elektrodových procesů ve vodných i nevodných prostředích na rtuťových, amalgámových (nejčastěji stříbrných) a grafitových (kompozitních, tištěných a pentelkových) elektrodách^{35,36,47–57} a při studiu tvorby komplexů organických látek (selenoaminokyseliny, antidota, purinové deriváty) s kovovými ionty (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^+)^{28,32,34,58–62}.

11) Na základě zkušeností s elektrochemickými procesy purinových derivátů (aminopurinů a oxopurinů) na grafitových elektrodách v prostředí jednomocné mědi byl navržen inovativní elektrochemický senzor využívající spojení EVLS s adsorpční rozpouštěcí voltametří (adsorptive stripping, AdS). Zvýšená povrchová koncentrace zkoumaného purinu v důsledku adsorpce málo rozpustného kovového komplexu Cu^+ -purin zaručuje spolu se specifickým eliminačním signálem pik-protipík (funkce E4) vysokou citlivost s výhledem na mikrosenzory a mikročipy^{15,23}.

Každý vědec připustí, že žádná metoda není univerzální a každá má svoje benefity a svoje omezení. Je to pochopitelné i případ EVLS, která dovede s vyšší citlivostí reagovat na změny v elektrochemických podmínkách než běžné voltame-

trické metody, ale na druhé straně je vázána na několik paradigmat. Jedním z paradigmat EVLS, vycházejícím z jejího teoretického odvození, je, že každý dílčí proud lze vyjádřit součinem dvou funkcí (potenciálu a rychlosti polarizace), které jsou na sobě nezávislé. Požadovaná EVLS funkce je počítaná vždy při stejném určitém potenciálu, neboť potenciálovým krokem (potential step) je zaručen shodný počet voltametrických I - E párů. Je třeba si však uvědomit, že v důsledku rozdílné polarizační rychlosti je časová dosažitelnost daného potenciálu různá. Například potenciál 1 V je při rychlosti polarizace 100 mV/s dosažen za 10 s, při 200 mV/s za 5 s a při 400 mV/s za 2,5 s (diskuse a závěry v připravované publikaci). Dalším paradigmatem EVLS je zachování stejných počátečních podmínek před snímáním voltamogramů při rozdílných (nejčastěji třech) rychlostech polarizace, což platí nejen o zachování geometrického uspořádání elektrodového setu, ale i o elektrodovém povrchu pracovní elektrody. V tomto směru byla a je ideální visící rtuťová kapková elektroda; obnova jejího povrchu zaručuje stejnou elektroaktivní plochu a stejný nedotčený elektrodový povrch. Zcela identické podmínky nemohou být očekávány u všech povrchových elektrod. Řešení může spočívat v reprodukovatelné obnově povrchu pracovní elektrody pomocí elektrochemické předpřípravy (pretreatment). První výběr míří na borem dopované diamantové elektrody (BDDE), kde je obnova povrchu elektrod, provedená za stejných experimentálních podmínek (potenciál, čas a koncentrace kyseliny nebo hydroxidu), zaručena H- nebo O-terminací⁶³. Pomocí EVLS a použité redoxní sondy je možné také ověřovat reprodukovatelnost terminačního procesu nejen na pevné BDDE, ale i na síťotiskové borem dopované diamantové elektrodě (SP/BDDE). Na poslední jmenované elektrodě byla nedávno EVLS úspěšná v odhalení několika difuzně řízených ireverzibilních oxidačních kroků atomoxetinu⁶⁴.

Výstupy eliminačních funkcí by měly být srozumitelné pro správnou a věrohodnou interpretaci. Obsah EVLS je otevřený k diskusi, ke změně, obohacení a k bližšímu sdílení elektrochemickou komunitou. EVLS výsledky získané při různých experimentálních podmínkách mohou být zdrojem pro zdokonalení současných nebo nově navržených aplikací. Tímto způsobem může EVLS významně

prispívat k procesům R&D&I (Research & Development & Innovation)⁶⁵. I když je EVLS spíše metoda kvalitativní než kvantitativní, je schopna se podílet na prolomení hranic poznání a vytvoření nových paradigmat. Nápomocné mohou být představy, intuice a invence, které směřují i do výzkumu nanomateriálů a nanotechnologií. Již dřívější výčet aplikací EVLS naznačuje rychlé testování modifikací povrchů pracovních elektrod pomocí nanočástic.

Klasický koncept eliminační metody a vzájemný vztah mezi teorií a experimentem bude s kritickým přístupem hodnocen. I přes některá úskalí přispívá EVLS k plnění úkolů elektroanalytických metod a k plnění požadavku na kvalitu elektrochemických senzorů, k nimž patří S&S&S (Sensitivity & Selectivity & Stability). Pro rozvoj v této oblasti je nezbytná interpretace elektroanalytických dat a eliminační voltametrie k sofistikovanému interpretačnímu rozboru může značnou měrou přispět. Předpokládáme, že tato nabídka bude mít odezvu nejen v oboru elektroanalytických metod, ale i v oblasti charakterizované dostupností S&T (Science & Technology).

Jelikož paradigma je hodnoceno jako obecně přijímané schéma, vzorec, myšlení či model, také jako standard, perspektiva nebo soubor myšlenek, vzniká otázka, zda obecně přijímaným paradigmatem se stává i EVLS a zda zastaralé paradigma bude nahrazeno novým, perspektivnějším a lákavějším pro mladé elektroanalytické chemiky. Ta nová by mohla vznikat na základě podrobnějšího studia:

- elektronového přenosu komplexů s vnitřní a vnější sférou,
 - ireverzibilního elektrochemického procesu adsorbované elektroaktivní částice s předřazenou chemickou reakcí,
 - rozdílů fyzikální a chemické sorpce,
 - elektrické dvojvrstvy a efektu potenciálu nulového náboje,
 - slabých a silných interakcí komponent roztoku s povrchem elektrody,
 - efektu krystalové struktury (single crystals),
 - katalytického efektu nanočástic a plynů,
- neboť EVLS umožňuje nahlédnout do rozhraní elektroda/elektrolytu pomocí redoxních sond a poskytnout informaci o vlivu experimentálních podmínek na mechanismus přenosu elektronů. Ve snaze prozkoumat „tajemství“ elektrochemického procesu monitorovaného cyklickou voltametrií je nabízena procedura EVLS, kdy u difuzně řízeného reverzibilního proudu zvolené redoxní sondy při eliminaci difuzního proudu je odkrýván proud kinetický nebo kapacitní. Tento jiný úhel pohledu na elektrodové procesy by mohl být nabízen jako jednoduchý software implementovaný do potenciostatických analyzátorů.

Autorka děkuje všem spolupracovníkům a studentům (Masarykova Univerzita, Mendelova Univerzita, Univerzita Karlova, Ústav FCH J. Heyrovského, Univerzita Pardubice, Univerzita Palackého v Olomouci, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košicích), kteří se na výzkumu, vývoji a inovaci EVLS podíleli. Za finanční a pracovní podporu autorka děkuje GAČR, MŠMT ČR a firmě Metrohm ČR.

LITERATURA

1. Adam V., Hubalek J., Kizek R.: *Int. J. Electrochem. Sci.* 8, 4363 (2013).
2. Dracka O.: *J. Electroanal. Chem.* 296, 405 (1990).
3. Trnkova L., Dracka O.: *J. Electroanal. Chem.* 348, 265 (1993).
4. Dracka O.: *J. Electroanal. Chem.* 402, 19 (1996).
5. Trnkova L., Dracka O.: *J. Electroanal. Chem.* 413, 123 (1996).
6. Hrbac J., Halouzka V., Trnkova L., Vacek J.: *Sensors* 14, 13943 (2014).
7. Serrano N., Klosova K., Trnkova L.: *Electroanalysis* 22, 2071 (2010).
8. Trnkova L.: *Chem. Listy* 95, 518 (2001).
9. Trnkova L.: *J. Electroanal. Chem.* 582, 258 (2005).
10. Trnkova L.: *Chem. Listy* 112, 802 (2018).
11. Trnkova L.: *J. Electroanal. Chem.* 905, 115961 (2022).
12. Trnkova L., Jelen F., Petřilová J., Adam V., Potesil D., Kizek R.: *Sensors* 5, 448 (2005).
13. Trnkova L., Kizek R., Dracka O.: *Electroanalysis* 12, 905 (2000).
14. Trnkova L., Friml J., Dracka O.: *Bioelectrochemistry* 54, 131 (2001).
15. Trnkova L., Jelen F., Hason S., Adam V., Kizek R.: *IEEE Sensors* 2010, 856 (2010).
16. Trnkova L., Jelen F., Postbieglova I.: *Electroanalysis* 15, 1529 (2003).
17. Trnkova L., Jelen F., Postbieglova I.: *Electroanalysis* 18, 662 (2006).
18. Trnkova L., Kizek R., Dracka O.: *Bioelectrochemistry* 55, 131 (2002).
19. Trnkova L., Kizek R., Vacek J.: *Bioelectrochemistry* 63, 31 (2004).
20. Trnkova L., Postbieglova I., Holik M.: *Bioelectrochemistry* 63, 25 (2004).
21. Mikelova R., Trnkova L., Jelen F., Adam V., Kizek R.: *Electroanalysis* 19, 348 (2007).
22. Trnkova L., Triskova I., Vorlickova M., Kejnovska I., Dvorakova Z., Pivonkova H., Fiala R.: *Electroanalysis* 31, 2081 (2019).
23. Trnkova L., Zerkankova L., Dycka F., Mikelova R., Jelen F.: *Sensors* 8, 429 (2008).
24. Triskova I., Fiala R., Trnkova L.: *Electroanalysis* 28, 2841 (2016).
25. Triskova I., Gurecky L., Trnkova L.: *Monatsh. Chem.* 147, 857 (2016).
26. Triskova I., Trnkova L.: *Chem. Listy* 110, 222 (2016).
27. Triskova I., Veznik J., Lacina K., Trnkova L.: *Bioelectrochemistry* 134, 107515 (2020).
28. Sharma V. K., Jelen F., Trnkova L.: *Sensors* 15, 1564 (2015).
29. Trnkova L., Novotny L., Serrano N., Klosova K., Polaskova P.: *Electroanalysis* 22, 1873 (2010).
30. Rozik R., Trnkova L.: *J. Electroanal. Chem.* 593, 247 (2006).

31. Rozikova M., Janderka P., Trnkova L.: Collect. Czech. Chem. Commun. 76, 997 (2011).
32. Serrano N., Alberich A., Trnkova L.: Electroanalysis 24, 955 (2012).
33. Serrano N., Holubova S., Trnkova L.: Electroanalysis 23, 2217 (2011).
34. Sharma V. K., Trnkova L.: Electroanalysis 28, 2834 (2016).
35. Skalova S., Langmaier J., Berek J., Vyskocil V., Navratil T.: Electrochim. Acta 330, 135180 (2020).
36. Skopalova J., Navratil T.: Chem. Anal. (Warsaw, Pol.) 52, 961 (2007).
37. Streckova M., Orinakova R., Rozik R., Trnkova L., Galova M.: Helv. Chim. Acta 89, 622 (2006).
38. Sander S., Navratil T., Novotny L.: Electroanalysis 15, 1513 (2003).
39. Li X. C., Čechal J., Spanhel L., Toscani S., Martinik J., Oborilova R., Trnkova L.: Electrochim. Acta 475, 143615 (2024).
40. Li X. C., Triskova I., Trnkova L.: Electrochim. Acta 442, 141921 (2023).
41. Galandova J., Trnkova L., Mikelova R., Labuda J.: Electroanalysis 21, 563 (2009).
42. Orinakova R., Streckova M., Trnkova L., Rozik R., Galova M.: J. Electroanal. Chem. 594, 152 (2006).
43. Orinakova R., Trnkova L., Galova M., Supicova M.: Electrochim. Acta 49, 3587 (2004).
44. Pikna L., Kovacova Z., Hezelova M., Trnkova L.: J. Solid State Electrochem. 17, 2687 (2013).
45. Novakova Z., Orinakova R., Fedorkova A. S., Orinak A.: J. Solid State Electrochem. 18, 2289 (2014).
46. Novakova Z., Orinakova R., Orinak A., Hvizdos P., Fedorkova A. S.: Int. J. Electrochem. Sci. 9, 3846 (2014).
47. Navratil T., Senholdova Z., Shanmugam K., Berek J.: Electroanalysis 18, 201 (2006).
48. Novakova K., Harvila M., Navratil T., Zima J.: XXXV. Moderní Elektrochemické Metody, sborník přednášek, str. 161 (2015).
49. Novakova K., Hrdlicka V., Navratil T., Harvila M., Zima J., Berek J.: Monatsh. Chem. 147, 181 (2016).
50. Novakova K., Navratil T., Dyttrtova J. J., Chylkova J.: XXXII. Moderní Elektrochemické Metody, sborník přednášek, str. 87 (2012).
51. Novakova K., Navratil T., Hrdlicka V., Vyskocil V., Berek J., Chylkova J.: XXXIV. Moderní Elektrochemické Metody, sborník přednášek, str. 109 (2014).
52. Novakova K., Navratil T., Jaklova Dyttrtova J., Chylkova J.: Int. J. Electrochem. Sci. 8, 1 (2013).
53. Hrdlicka V., Choinska M., Redondo B. R., Berek J., Navratil T.: Electrochim. Acta 354, 136623 (2020).
54. Skalova S., Navratil T., Berek J., Vyskocil V.: Monatsh. Chem. 148, 577 (2017).
55. Bandzuchova L., Selesovska R., Navratil T., Chylkova J.: Electroanalysis 25, 213 (2013).
56. Novakova K., Hrdlicka V., Navratil T., Vyskocil V., Berek J.: Monatsh. Chem. 146, 761 (2015).
57. Sestakova I., Navratil T.: Bioinorg. Chem. Appl. 3, 43 (2005).
58. Gilsanz C., Gusmao R., Chekmeneva E., Serrano N., Diaz-Cruz J. M., Arino C., Esteban M.: Electrochim. Acta 56, 5988 (2011).
59. Jelen F., Kourilova A., Hason S., Kizek R., Trnkova L.: Electroanalysis 21, 439 (2009).
60. Navratil R., Jelen F., Kayran Y. U., Trnkova L.: Electroanalysis 26, 952 (2014).
61. Navratil R., Jelen F., Trnkova L.: XXXIII. Moderní Elektrochemické Metody, sborník přednášek, str. 118 (2013).
62. Aladag N., Trnkova L., Kourilova A., Ozsoz M., Jelen F.: Electroanalysis 22, 1675 (2010).
63. Granger M. C., Swain G. M.: J. Electrochem. Soc. 146, 4551 (1999).
64. Selesovska R., Navratil T., Hrdlicka V., Michniak P., Hatala M., Vojs M., Marton M., Matvieiev O., Janikova L., Chylkova J.: Electrochim. Acta 403, 139642 (2022).
65. Valcarcel M.: Anal. Bioanal. Chem. 408, 13 (2016).

L. Trnková (Department of Chemistry, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, Czech Republic): **Quo Vadis, Elimination Voltammetry?**

The article presents an open personal approach to the future of elimination voltammetry with linear scan (EVLS) in the context of the expected development and research of new materials and new technologies. With this development, the application capability of EVLS will be expanded, the basis of which is a mathematical apparatus that allows some current components to be eliminated from the overall voltammetric record, while others to be preserved. Although EVLS played a provisional and unquestionable role in electroanalytical applications, where it helped to obtain lower limits of detection (LOD) values of various organic and inorganic substances and to reveal electrode processes hidden in voltammetric signals, its further development indicates promising use in other research areas as well. The aim of the communication is a more precise but also more general definition of the elimination method, its specific paradigms, prospects and goals for the future.

Keywords: elimination voltammetry with linear scan (EVLS), diffusion, capacitive and kinetic current components, elimination functions, EVLS peak-counterpeak, EVLS application, EVLS paradigms



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.