

NÁVRH MINIATURIZOVANÝCH IONTOVĚ-SELEKTIVNÍCH ELEKTROD A PRAKTICKÉ APLIKACE

Věnováno prof. J. Barkovi k 75. narozeninám.

HANA BŘEZNOVÁ, GABRIELA BRONCOVÁ a TATIANA V. SHISHKANOVA

Ústav analytické chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika
Gabriela.Broncova@vscht.cz

Došlo 28.8.24, přijato 12.9.24.

V této studii jsou představeny miniaturizované membránové iontově-selektivní elektrody (ISE). Tělo elektrody je vyrobeno z poly(vinylchloridové) trubice s vnitřní porézní fritou, která je mechanickou oporou pro vytvořenou membránu. Membrána vzniká jednorázovým nebo opakovaným ponořením konce elektrody do membránového koktejlu rozpuštěného v tetrahydrofuranu (THF). Tloušťka membrány může být řízena množstvím ponoření a/nebo viskozitou membránového koktejlu, resp. množstvím THF. Navržené elektrody byly charakterizovány z hlediska opakovatelnosti, dynamické odezvy, pracovních rozsahů a citlivosti. Jejich parametry byly porovnány s literárními údaji získanými pro konvenční membránové ISE. Tato konstrukce elektrody může být jednoduchou alternativou ke klasickým/tradičním membránovým elektrodám pro různé analytické aplikace.

Klíčová slova: iontově-selektivní elektrody, miniaturizace, aplikace

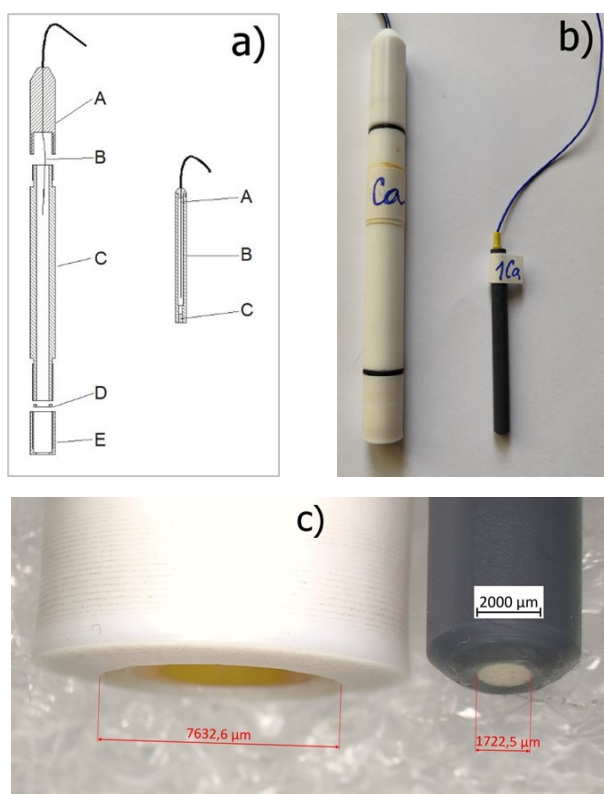
Úvod

Iontově-selektivní elektrody (ISE) jsou jedním z nejčastěji používaných analytických nástrojů v praxi^{1–3}. Potenciometrie s ISE podléhá neustálým inovacím, které jsou nezbytné, jak vyplývá ze statistik. Nicméně počet analýz prováděných s ISE ročně, především v klinické praxi⁴, představuje použití několika milionů elektrod a každé sebemenší zlepšení znamená obrovskou úsporu finančních prostředků a také času. Rovněž nutnost analýzy pouze omezeného množství/objemu vzorku a také sledování více analytů najednou vyžaduje malé rozměry elektrod nejen pro samostatné využití, ale i pro jejich možnou kombinaci do elektrodového pole⁵.

Dosud byly navrženy a v praxi využívány různé konstrukce ISE. Mezi nimi jsou tzv. „coated wire“ a/nebo „solid-state“ elektrody s pevnou vnitřní referenční elektrodou lišící se konstrukcí a přípravou⁶. Avšak nevýhodou těchto elektrod může být špatná reprodukovatelnost elektrodového potenciálu a drift, který v mnoha případech může souviset se špatně definovaným přenosem náboje na rozhraní mezi selektivní membránou s iontovou vodivostí a elektronicky vodivým substrátem⁷. Na druhou stranu konvenční elektrody s vnitřním plnicím roztokem mají velmi dobře definovaný potenciál, ale přítomnost plnicí kapaliny má za následek zase další potíže.

Běžná ISE se skládá z teflonového těla s přichycenou selektivní membránou (obr. 1). Uvnitř těla je vnitřní roztok, který lze nahradit gelem^{8–10}. PVC membrána je připravena z membránového koktejlu, který obsahuje směs PVC, plastifikátoru (změkčovadla), ionoforu a lipofilní přísady rozpuštěné v tetrahydrofuranu (THF). Po odpaření THF z membránového koktejlu se elastická membrána umístí do teflonového těla. Toto uspořádání ISE pro sériovou výrobu není optimální z důvodu velké spotřeby materiálu a časové náročnosti. V této studii představujeme přípravu miniaturizovaných elektrod, které jsou jednoduché, levné a snadno vyrobitelné ve velkých sériích.

Teflonová a epoxidová koncová tělesa mají lepší chemickou odolnost a jejich výměna za tělo elektrody z PVC nabízí nové možnosti jako a) nerozbitnost, b) snadné vstřikování do libovolné formy, c) značná úspora financí a d) přirozené lepení (ve srovnání s teflonem a epoxidem). Fixaci membrány na epoxidové a teflonové těleso lze provést buď kapáním, anebo šroubováním. Z technického hlediska je šroubování poměrně nákladné a náročné na obrábění. Naproti tomu fixace membrány k tělu elektrody z PVC může být snadnou a levnou cestou, a to lepením pomocí směsi čistého PVC prášku rozpuštěného v THF (cit.¹¹). Tato lepicí směs má podobné vlastnosti jako membrána a tudíž neovlivňuje odezvu systému. Lepení spoj je sice trvalý a výměna membrány není možná,



Obr. 1. Konvenční vs. miniaturizovaná elektroda; a) náčres konvenční elektrody: A – šroubovací uzávěr, B – Ag drát, C – tělo, D – membrána, E – spodní šroubovací uzávěr; miniaturizovaná elektroda: A – vnitřní Ag/AgCl referenční elektroda, B – tělo, C – porézní frit; b) reálné zobrazení a c) jejich detail. Mini-elektroda je umístěna na jednotlivých obrázcích a) až c) vždy vpravo

ale v případě levné elektrody to není významný problém a lze nahradit celou elektrodou.

Dalším požadavkem pro aplikace je mechanická odolnost membrány v ISE elektrodách, jednoduše jejich praktická neznititelnost. Membrána ISE může být vždy snadno zničena perforací neadekvátní silou. Tomuto riziku lze předejít přidáním porézního materiálu jako frity do těla elektrody, který zabezpečí mechanickou odolnost mem-

brány. Tato porézní frita umožňuje vyhnout se časově náročné přípravě membrány pro montáž/vlepení do těla elektrody. Konec těla elektrody z PVC s fritou uvnitř lze jednoduše ponořit do membránového koktejlu rozpuštěného v THF (obr. 1b). Příprava ISE je ukončena po odpaření THF (typicky 10 až 15 minut). Tloušťku membrány pak lze snadno řídit celkovým množstvím ponoření a množstvím THF pro rozpuštění membránového koktejlu. Méně THF znamená vyšší viskozitu a silnější membránu. Detail obou membránových elektrod je na obr. 1c, kdy naše nové membrány mají průměr méně než 2 mm a jsou přibližně 4,5× menší než konvenční membrány ISE.

Experimentální část

Chemikálie

Membránové komponenty: poly(vinylchlorid) (PVC, vysokomolekulární typ), 2-nitrofenyloxyethylether (o-NPOE), tetrafenylboritan sodný (TPB), chlorid tridodecylmethylamonný (TDDMACl), dusičnan tridodecylmethylamonný (TDDMANO₃), ionofor vápenatých iontů II (ETH 129), ionofor vápenatých iontů IV (ETH 5234), ionofor draselných iontů (BME 44), ionofor chloridových iontů II (ETH 9009), bis(2-ethylhexyl)sebakát (BEHS) a tetrahydrofuran (THF) byly zakoupeny od společnosti Fluka. Všechny anorganické soli byly zakoupeny od společnosti Lachema (ČR). Všechny roztoky byly připraveny v redestilované vodě. Vzorky minerálních vod (tab. I) byly zakoupeny v místních prodejnách Praha (ČR).

Příprava elektrod

Keramická frit 4/1,8 mm byla vlepena do 60 mm dlouhé trubičky z tvrzeného PVC (AK Plast, ČR) o průměru 5/2,5 mm nahoře a 5/1,9 mm dole (obr. 1b). Špička těla elektrody z PVC s fritou uvnitř byla ponořena do membránového koktejlu rozpuštěného v THF a ponechána, dokud se THF neodpařil (asi 10 minut). Membránové koktejly byly připraveny podle standardní receptury: 100 mg membránového koktejlu bylo rozpuštěno v 0,6 ml THF. Složení membránových koktejlů a vnitřních roztoků je uvedeno v tab. II.

Tabulka I

Obsah vybraných iontů udaných výrobcem v testovaných vzorcích použitých pro stanovení pomocí sensorového pole

Ionty	Dobrá voda [mg l ⁻¹]	Karlovarská korunní kyselka [mg l ⁻¹]	Aquara [mg l ⁻¹]	Kojenecká voda [mg l ⁻¹]	Poděbradka [mg l ⁻¹]	Calcium-500 [mg]
K ⁺	9,3	24,30	–	–	49,3	–
Ca ²⁺	8,7	78,55	40,0	min. 30	144,0	500
NO ₃ ⁻	0,1	–	9,5	max. 15	–	–
Cl ⁻	0,8	14,05	–	–	373,3	–

Tabulka II

Složení membránového koktejlu použitého pro přípravu PVC-membrán se změkčovadlem o-NPOE

Ionofor	Iont	Složení membrány (m/m%)				Vnitřní roztok
		ionofor	lipofilní přídavek ^a	změkčovadlo	PVC	
TDDMACl	ClO ₄ ⁻	–	3,00	64,67	32,33	10 ⁻² NaCl
ETH 129	Ca ²⁺	2,00	0,70 (TPB)	64,70	32,60	10 ⁻² CaCl ₂
ETH 5234	Ca ²⁺	1,00	0,28 (TPB)	65,82	32,90	10 ⁻² CaCl ₂
BME 44	K ⁺	2,00	0,50 (TPB)	65,00	33,00	10 ⁻³ KCl
ETH 9009	Cl ⁻	2,00	0,03 (TDDMA)	64,97 ^b	33,00	10 ⁻² NaCl
TDDMANO ₃	NO ₃ ⁻	6,00	–	65,00	29,00	10 ⁻² KNO ₃

^a TPB – tetrafenylboritan sodný, TDDMACl – chlorid tridodecylmethylamonný; ^b jako změkčovadlo byl použit sebakát (BEHS)

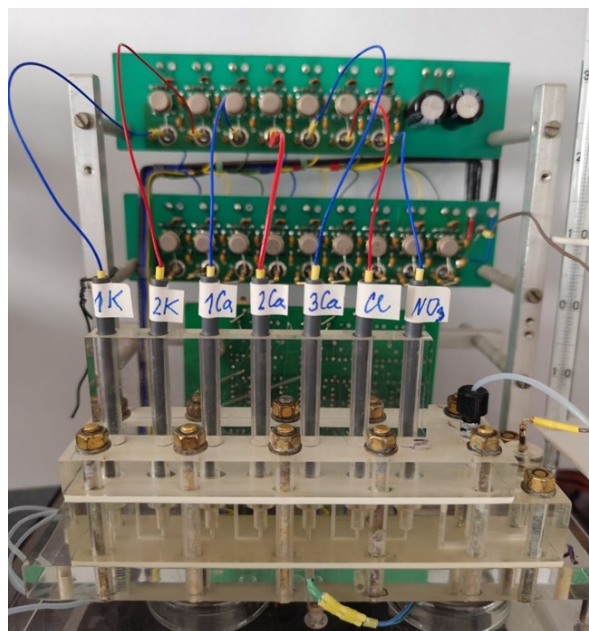
Potenciometrická měření

Před měřením byly elektrody ponořeny do 1·10⁻³ mol l⁻¹ roztoku odpovídajícího iontu. Měření byla provedena pomocí na zakázku vyrobeného automatického ISE testeru navrženého se sedmi kanálovou průtočnou celou (obr. 2). Elektrochemická cela byla umístěna do termostatu o teplotě 25,00 ± 0,01 °C.

Stanovení vzorků minerálních vod

Potenciometrická měření

Koncentrace Ca²⁺ v minerální vodě byla měřena metodou standardního přídavku. Jako pozadí standardní kon-



Obr. 2. Potenciometrické elektrodové pole tvořené 7 označenými minielektrodami pro draselné (1K, 2K), vápenaté (1Ca až 3Ca), chloridové (Cl) a dusičnanové (NO₃) ionty

centrace vápníku 5·10⁻⁴ mol l⁻¹ byl použit 1·10⁻¹ mol l⁻¹ roztok LiCl pro vzorek Veseta a Matoni a 1·10⁻³ mol l⁻¹ LiCl pro vzorek Aquila. Poté byly přidány 3 ml vzorku do 20 ml standardního roztoku. Minerální vody s obsahem uhličitánů byly před použitím probublány proudem dusíku a všechna měření byla třikrát opakována.

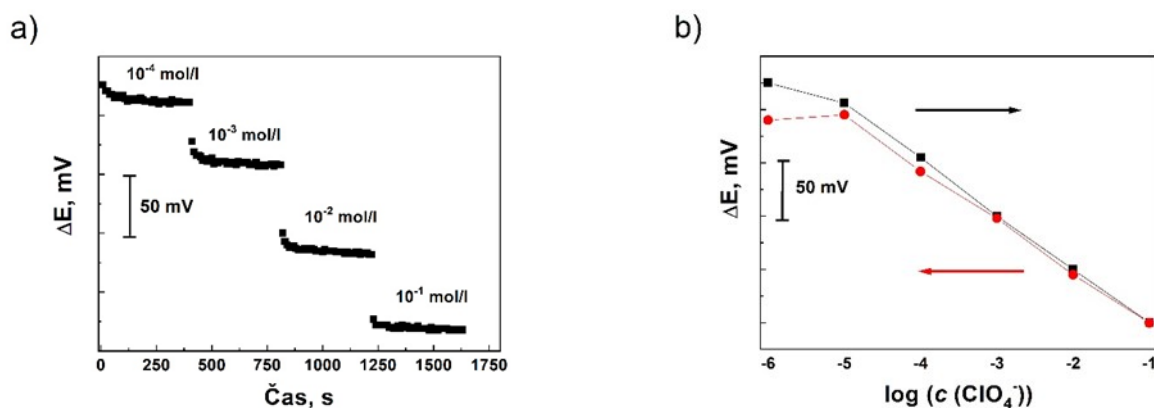
AAS měření

Měření AAS byla provedena pomocí dvoupraprskového spektrometru GBC 932AA řízeného PC (GBC, Austrálie). Použitá vlnová délka byla 422,7 nm, šířka štěrbin byla 0,5 nm a proud lampy byl 7,0 mA. Poloha hořáku a poměr acetylen/vzduch byly optimalizovány podle standardního měřicího postupu. Koncentrace vápníku (II) v minerální vodě byla měřena metodou standardního přídavku. Jako pozadí standardní koncentrace vápníku 1·10⁻⁵ mol l⁻¹ byl použit 1·10⁻³ mol l⁻¹ roztok KCl. Poté byl přidán 1 ml vzorku do 50 ml standardního roztoku.

Výsledky a diskuse

Miniaturizované elektrody založené na měničích aniontů

Elektrody byly připraveny s TDDMACl jako nejběžnějším iontoměničovým lipofilním aditivem pro ověření funkčnosti prezentovaného konceptu. TDDMACl je typický lipofilní kationt schopný reagovat s anionty prostřednictvím coulombických interakcí a vykazovat selektivitu odpovídající Hofmeisterově řadě¹². Chloristany byly vybrány jako modelový systém pro ověření použitelnosti navržené konstrukce elektrody. Časová charakteristika membránové odezvy byla testována skokovou změnou koncentrace vzorku v rozsahu 1·10⁻⁴ – 1·10⁻¹ mol l⁻¹ (obr. 3a) a časová konstanta t₉₀ je od 90 do 160 sekund v závislosti na rozdílu mezi počáteční a konečnou koncentrací. Hystereze odezvy byla velmi nízká (obr. 3b). Po dobu jednoho měsíce byly sledovány potenciometrické parametry miniaturizované elektrody na bázi TDDMACl.



Obr. 3. Studium a) dynamické odezvy a b) hystereze miniaturizované ISE založené na TDDMACI v chloristanu sodném

Tabulka III

Parametry kalibrační závislosti miniaturizované ($n=3$) a konvenční ISE při stanovení chloristanu sodného

Typ elektrody	Směrnice [mV/dekáda]	Pracovní rozsah [mol l^{-1}]	Úsek [mV]
Miniaturizovaná	$-60,1 \pm 8,4$	$10^{-5} - 10^{-1}$	$-58,3 \pm 24,7$
Konvenční	$-57,8$	$10^{-5} - 10^{-1}$	$-75,8$

Bylo zjištěno, že se směrnice měnila nepatrně ($-52,4 \pm 1,9$) mV/dekáda ($S_r = 3,4\%$) a úsek kalibrační závislosti rovněž ($-40,9 \pm 3,5$) mV ($S_r = 8,1\%$), pokles potenciometrického signálu byl 12 mV/měsíc (0,4 mV/den).

Opakovatelnost přípravy membrán byla potvrzena přípravou třech stejných elektrod, jejich parametry jsou shrnuty v tab. III a porovnány s parametry konvenčních ISE. Ve stejné tabulce jsou charakteristiky membrány zachycené v klasicky konstruovaném teflonovém těle. Odezvy jsou totožné ve smyslu směrnice a úseku kalibrační závislosti i pracovního rozsahu.

Miniaturizované elektrody založené na komerčně dostupných ionoforech

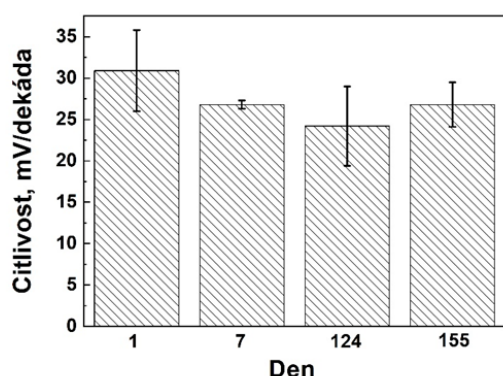
Jako logické pokračování práce byly použity i různé ionofory k ověření, zda funkce miniaturizovaných elektrod není omezena pouze na použití měničů aniontů. Byly připraveny miniaturizované elektrody s komerčními ionofory selektivními na kationty (draselné a vápenaté ionty) a anionty (chloridové, dusičnanové) (tab. II). Hlavní parametry experimentálních kalibračních závislostí jsou shrnuty v tab. IV. Je třeba poznamenat, že potenciometrické parametry miniaturizovaných a konvenčních ISE jsou v souladu s očekávanými hodnotami z literatury^{13–16}. Jak je vidět z tab. IV, neexistují žádné významné rozdíly mezi

Tabulka IV

Parametry kalibračních závislostí získaných pomocí nově navržených experimentálních miniaturizovaných elektrod ($n=3$) a konvenčních elektrod z literatury

Ionty	Miniaturizované elektrody		Konvenční elektrody ^a	
	směrnice [mV/dekáda]	pracovní rozmezí [mol l^{-1}]	směrnice [mV/dekáda]	pracovní rozmezí [mol l^{-1}]
Ca^{2+}	$30,9 \pm 4,9$	$10^{-6} - 10^{-3}$	29,7	$10^{-8} - 10^{-1}$
K^+	$52,8 \pm 4,9$	$10^{-5} - 10^{-1}$	56,0	$10^{-5} - 10^{-1}$
Cl^-	$-53,1 \pm 1,1$	$10^{-4} - 10^{-1}$	$-57,6$	$10^{-5} - 10^{-1}$
NO_3^-	$-50,9 \pm 5,7$	$10^{-4} - 10^{-1}$	$-60,0$	$9 \cdot 10^{-5} - 10^{-1}$

^a Pro konvenční elektrody byly potenciometrické parametry převzaty z cit.¹³ (ionty Ca^{2+}), cit.¹⁴ (ionty K^+), cit.¹⁵ (ionty Cl^-) a cit.¹⁶ (ionty NO_3^-)



Obr. 4. Sledování časové stálosti potenciometrické odezvy Ca-ISE

navrhovanými a konvenčně konstruovanými membránovými ISE v citlivosti a pracovním koncentračním rozsahu. Příklad dlouhodobé stability miniaturizované Ca-ISE ukazuje, že elektroda zůstává funkční v průběhu 3 měsíců (obr. 4).

Analytické aplikace

Samostatné elektrody

Abychom demonstrovali využití dříve popsáných elektrod pro reálné vzorky, použili jsme je pro měření minerálních vod. Protože je Česká republika známa svými minerálními léčivými prameny s minerálními vodami, byla pro testování vybrána miniaturizovaná elektroda na bázi ionoforu ETH 129 citlivého na ionty vápenaté. Výsledky potenciometrických stanovení byly porovnány se stanoveními provedenými technikou AAS (tab. V) a koncentrací deklarovanou výrobcem.

Elektrodové pole

K ověření schopnosti identifikace jednotlivých minerálních vod pomocí elektrodového pole vytvořeného sedmi miniaturizovanými membránovými elektrodami byla využita metoda PCA. PCA nám poskytla transformovanou mapu, ve které byly velmi dobře rozlišeny jednotlivé vzorky minerálních vod (obr. 5a). PCA analýza minerálních vod obsahuje 96 % celkové variability systému. Rozptylový diagram komponentního skóre (obr. 5a) ukazuje po-

dobnost a zároveň odlišnost jednotlivých vzorků minerálních vod, které jsou na základě blízkosti dat v grafu rozděleny do 4 skupin. První hlavní komponenta nese 81 % celkové variability systému a dělí minerální vody na 4 velké shluky. Druhá hlavní komponenta popisuje 15 % variability dat.

Vliv jednotlivých elektrod na rozlišení minerálních vod je patrný z obr. 5b. Vysoký obsah K^+ iontů v minerálních vodách Karlovarská korunní kyselka (K) a Poděbradka (P) měl vliv na separaci těchto dvou minerálních vod vpravo nahoře (zelená elipsa) především vlivem miniaturizovaných elektrod připravených s 1K a 2K receptorem. Minerální vody Aquara (A) a Kojenecká voda (KJ) byly separovány opět společně vpravo dole (modrá elipsa) na základě podobného složení, obsahovaly pouze Ca^{2+} a NO_3^- ionty, pomocí miniaturizovaných elektrod připravených s 1Ca a NO_3^- receptorem. Dobrá voda (DV) byla separována samostatně vlevo nahoře (žlutá elipsa) především vlivem receptoru pro vápenaté ionty 2Ca a 3Ca a receptoru pro chloridové ionty Cl. Poslední testovaná minerální voda Calcium-500 vytvořila zcela samostatný shluk (červená elipsa) na základě přítomnosti pouze velkého obsahu vápenatých iontů, a tudíž vlivu receptoru pro vápenaté ionty 2Ca a 3Ca.

Z obr. 5 je patrná schopnost elektrodového pole rozlišit jednotlivé vzorky minerálních vod a využít je tak k rychlému screeningovému testu většího množství odlišných, ale i podobných vzorků.

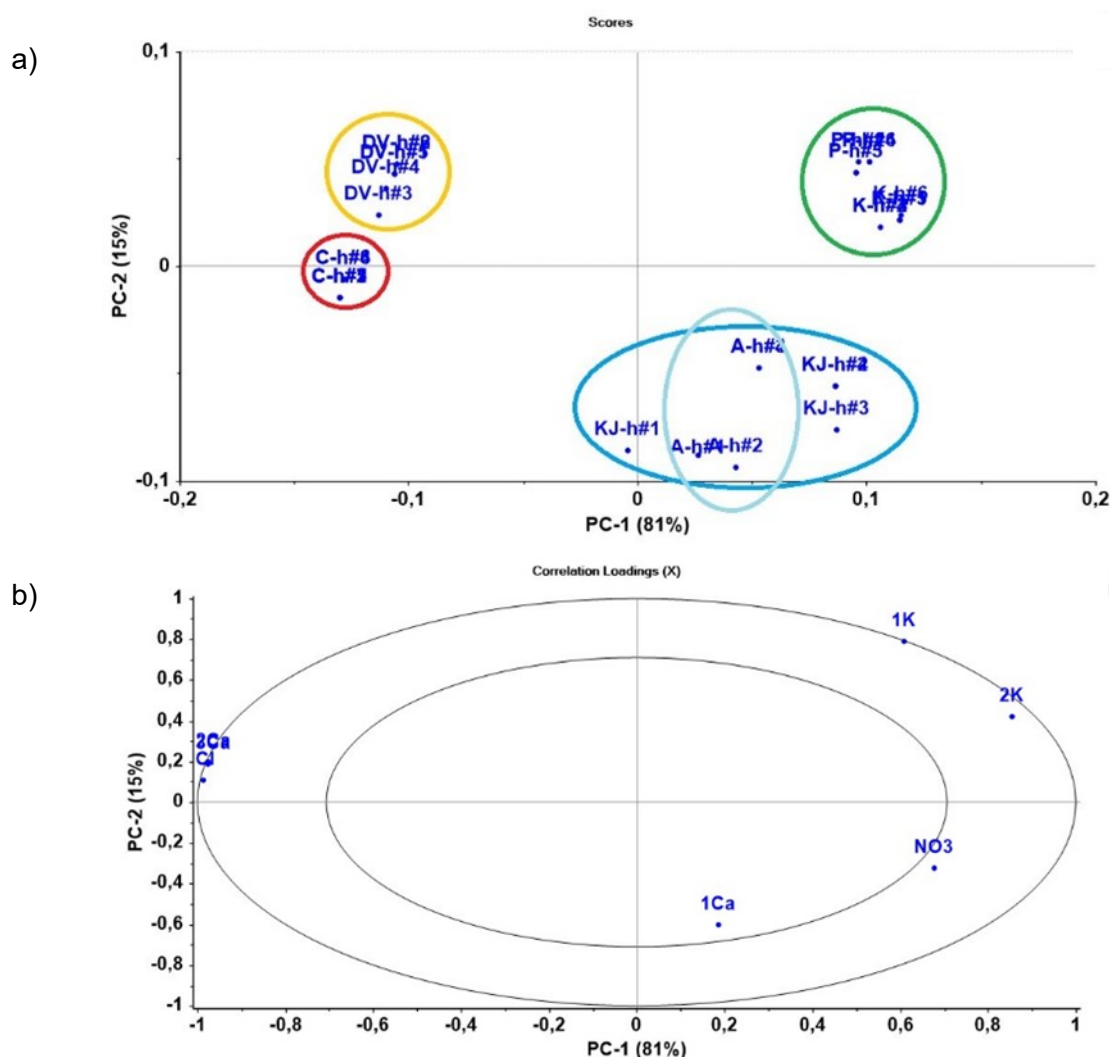
Závěr

Prezentovaná data ukazují, že membránové ISE lze připravit jednoduchým ponořením PVC trubičky do membránového koktejlu. Výsledné elektrody vykazují stejné analytické parametry jako jejich konvenční varianty a předčí je jednoduchostí přípravy a mechanickou odolností. Jedna z našich elektrod dokonce poskytla nezměnnou odezvu, i když se několik našich kolegů pokusilo selektivní vrstvu roztrhnout nehty. Testy provedené se samotným iontoměničem ukázaly, že náš koncept dobře funguje. Experimenty s jinými ionofory potvrzují, že funkce není omezena pouze na TDDMACl a analýzou minerálních vod byla prokázána funkce i pro reálné vzorky. Obecně tedy můžeme konstatovat, že máčené elektrody s PVC tělem jsou velmi životaschopným konceptem.

Tabulka V

Výsledky stanovení Ca^{2+} iontů v reálných vzorcích minerálních vod pomocí AAS a nové ISE

Vzorek	Metoda stanovení		Výrobce/etiketa [mmol l ⁻¹]
	AAS [mmol l ⁻¹]	ISE [mmol l ⁻¹]	
Mattoni	1,8 ± 0,7	2,6 ± 0,8	2,5
Veseta	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2
Aquila	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,4	0,9



Obr. 5. PCA analýza minerálních vod pomocí 7 připravených miniaturizovaných membránových elektrod s různými receptory pro Ca^{2+} , K^+ , Cl^- a NO_3^- ionty: a) rozptylový diagram komponentního skóre; b) diagram skóre s vyznačením jednotlivých zátěží. Vzorky jsou označeny následujícími zkratkami: DV – Dobrá voda, P – Poděbradka, KJ – Kojenecká voda, A – Aquara, K – Karlovarská korunní kyselka, Pro vzorek tablety: C – Calcium-500. Pro miniaturizované elektrody testované v senzorovém poli byly použity následující receptory a vnitřní roztoky: 1Ca – ionofor ETH 129 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-2}$ M CaCl_2), 2Ca – ionofor ETH 5234 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-2}$ M CaCl_2), 3Ca – ionofor ETH 129 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-4}$ M EDTA a $1 \cdot 10^{-3}$ M KCl), 1K – ionofor BME 44 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-3}$ M KCl), 2K – ionofor BME 44 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-3}$ M KNO_3), Cl – ionofor ETH 9009 (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-2}$ M NaCl), NO_3^- – ionofor TDDMANO₃ (vnitřní roztok $1 \cdot 10^{-2}$ M KNO_3)

Tato práce byla podpořena institucionálními zdroji (Katedra analytické chemie, VŠCHT Praha, CZ; Číslo grantu: 402850061). Autoři děkují R. Volfovi a M. Kronďákovi za technický návrh a pomoc při výrobě miniaturizovaných iontově-selektivních elektrod a Vladimíru Královi za zakoupení automatického ISE testeru.

LITERATURA

1. Isildak Ö., Özbek O.: Crit. Rev. Anal. Chem. 51, 218 (2021).
2. Ruiz-Gonzalez A.: Electrochem. 5, 178 (2024).
3. Jadon N., Hosseinzadeh B., Kaya S. I., Ozcelikay-Akyildiz G., Cetinkaya A., Ozkan S. A.: Electrochim. Acta 488, 144204 (2024).
4. Ferrão A. R., Pestana P., Borges L., Palmeira-de-Oliveira R., Palmeira-de-Oliveira A., Martinez-de-Oliveira J.: Biomedicines 12, 1848 (2024).

5. Shishkanova T. V., Broncova G., Kroncak M., Sykora D., Kral V.: *J. Mater. Sci.* 46, 7594 (2011).
6. Shao Y., Ying Y., Ping J.: *Chem. Soc. Rev.* 49, 4405 (2020).
7. Bobacka J., Lindfords T., McCarrick M., Ivaska A., Lewenstam A.: *Anal. Chem.* 67, 3819 (1995).
8. Cosofret V. V., Erdosy M., Johnson T. A., Buck R. P., Ash R. B., Neuman M. R.: *Anal. Chem.* 67, 1647 (1995).
9. Walsh S., Diamond D., McLaughlin J., McAdams E., Woolfson D., Jones D., Bouner M.: *Electroanalysis* 9, 1318 (1997).
10. Zieľinska R., Mulik E., Michalska A., Achmatowicz S., Maj-Žuravska M.: *Anal. Chim. Acta* 451, 243 (2002).
11. Issa Y. M., El-Ansary A. L., Tag-Eldin A. S.: *Microchim. Acta* 135, 97 (2000).
12. Bakker E., Bühlmann P., Pretsch E.: *Chem. Rev.* 97, 3083 (1997).
13. Schefer U., Ammann D., Pretsch E., Oesch U., Simon W.: *Anal. Chem.* 58, 2282 (1986).
14. Lindner E., Tóth K., Jeney J., Horváth M., Pungor E., Bitter I., Agai D., Tölke L.: *Microchim. Acta* 100, 157 (1990).
15. Rothmaier M., Simon W.: *Anal. Chim. Acta* 271, 135 (1993).
16. Wegmann D., Weiss H., Ammann D., Morf W. E., Pretsch E., Sugahara K., Simon W.: *Microchim. Acta* 84, 1 (1984).

H. Březnová, G. Broncová, and T. V. Shishkanova
(*Department of Analytical Chemistry, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*):
Design of Miniaturized Ion-Selective Electrodes and Practical Applications

Miniaturized membrane ion-selective electrodes are introduced. The body of electrode is made of a poly(vinyl chloride) tube with an internal porous frit, which is a mechanical support for the membrane. The membrane is created by a one-time or repeated dipping of the electrode tip into the membrane cocktail dissolved in tetrahydrofuran (THF). The thickness of the membrane is controlled by the number of dipping and/or the viscosity of the membrane cocktail, or the amount of THF. The electrodes were characterized in term of repeatability, dynamic response properties, working ranges, and sensitivity. Their analytical performance was compared with literature data for conventional membrane ion-selective electrodes. This electrode design can be a simple alternative to classical/traditional membrane electrodes for various analytical applications.

Keywords: ion-selective electrodes, miniaturization, application



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.