

**CHEMIE**

souhrnný přehled

# Iontově selektivní elektrody (ISE)

## Obsah

Úvod .....	2
Teoretický základ potenciometrie s ISE .....	2
Obecné zásady při práci s ISE .....	7
Přehled ISE dodávaných k systému Pasport .....	8
Srovnávací tabulka základních charakteristik ISE .....	10
Doporučená literatura.....	12

Autoři: prof. RNDr. Ladislav Feltl, CSc., Mgr. Tomáš Feltl

### Zařazení do výuky

Vzhledem k relativně jednoduchému použití se dá měření s iontově selektivními elektrodami zařadit poměrně snadno do výuky všech přírodních věd. Ideální je situace, kdy nám jde o rychlé zjištění určitého trendu, ať už zvyšujícího se, nebo naopak klesajícího, a ne o přesné stanovení koncentrace sledovaného iontu.

### Významný objev

Elektrochemickou analytickou metodou je také **polarografie**, která je výjimečná tím, že spojuje *kvantitativní* a *kvalitativní* analýzu. Za objev této metody vděčíme našemu významnému chemikovi *Jaroslavu Heyrovskému*, který za tento objev obdržel roku 1959 *Nobelovu cenu za chemii*.

### Časová náročnost

Vlastní měření s ISE je otázkou vteřin až několika minut. Je třeba si ovšem uvědomit, že hodnověrnost výsledku je silně závislá na několika faktorech. Jedním z nich je řádné provedení kalibrace ISE, dalším pak přítomnost interferujících látek v analyzovaném roztoku. Eliminace některých nežádoucích faktorů pak může časovou náročnost výrazně zvýšit.

### Chemikálie

Každá ISE vyžaduje určitý způsob zacházení s analyzovaným vzorkem i elektrodou samou. Typické požadované chemikálie a s tím spjaté složení potřebných roztoků je uvedeno v tabulce č. 4.

Protože se některé postupy (např. skladování ISE, měření nízkých koncentrací, atd.) mohou u různých výrobců lišit, doporučujeme vždy prostudovat originální návod dodaný s patřičnou elektrodou.

## Úvod

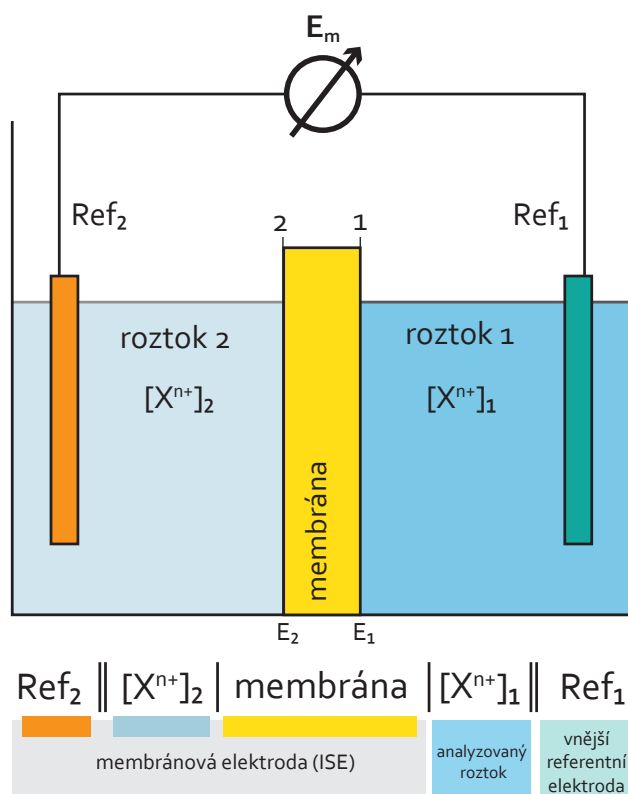
Existuje celá řada elektrochemických analytických metod založených na měření rovnovážného elektromotorického napětí článku. Principem je měření napětí (rozdílu *potenciálů*) mezi dvěma *elektrodami* ponořenými do analyzovaného roztoku. Tyto metody souhrnně označujeme jako **potenciometrické metody**.

V následujícím souhrnném základním textu, který je primárně určen učitelům základních a středních škol, se budeme zabývat oblastí potenciometrie využívající takové elektrody, které jsou selektivně citlivé pouze k některým iontům.

## Teoretický základ potenciometrie s ISE

Elektrody **prvního druhu** a **elektrody redoxní** používané v *potenciometrii* mají tu nevýhodu, že nejsou selektivní, tj. reagují změnou potenciálu na mnoho různých látek. Existují však také elektrody, které jsou citlivé na ionty a jsou více či méně selektivní pro jejich určité druhy. Nazývají se **iontově selektivní elektrody (ISE)** a většina jich je založena na vzniku *membránového potenciálu*. Princip konstrukce a funkce těchto elektrod si přiblížíme s využitím *obr. 1*.

Když od sebe oddělíme dva roztoky 1 a 2, obsahující ionty o různé koncentraci, *pórovitou přepážkou (membránou)*, budou ionty touto přepážkou procházet z jednoho roztoku do druhého tak, aby se pro všechny ionty postupně ustavila rovnováha a roztoky přitom zůstaly elektroneutrální. Protože rychlost průchodu různých iontů přepážkou je různá, je převod elektrického náboje v obou směrech nesouměrný a na přepážce se vytvoří **potenciálový spád**, neboli mezi rozhraními s roztoky 1 a 2 vznikne potenciálový rozdíl zvaný **membránový potenciál**. Je-li membrána propustná pro všechny přítomné druhy iontů, nazývá se tento potenciálový rozdíl *difusní* či *kapalinový* potenciál. Když je membrána **polopropustná**, tj. mohou-li skrze ni procházet jen některé druhy iontů, nazývá se vzniklý potenciálový rozdíl



Obr. 1: Schématické znázornění principu konstrukce ISE.

**Donnanův potenciál.** Z termodynamických úvah lze snadno odvodit, že velikost membránového potenciálu  $E_m$  lze vypočítat z *Nernstovy rovnice*, v jejímž logaritmickém členu vystupuje poměr aktivit příslušného iontu v roztocích 1 a 2 (obr. 1).

$$E_m = E_1 - E_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (1)$$

Pokud bychom tedy v ideálním případě měli membránu propustnou jen pro jediný druh iontů, odpovídal by potenciálový rozdíl specificky poměru aktivit tohoto iontu v roztocích 1 a 2. V takovém případě by se např. při známé aktivitě v roztoku 2 mohla změřením membránového potenciálu specificky stanovit aktivita v roztoku 1. Jsou-li aktivity iontu na obou stranách membrány stejné, jsou stejné i potenciály  $E_1$  a  $E_2$  a  $E_m = 0$ .

V ISE je vždy jedna strana membrány v kontaktu s *referentním* (vnitřním) roztokem o *konstantní koncentraci* (aktivitě) stanovovaného iontu, v němž je ponořena vnitřní *referenční elektroda*. Druhá strana membrány

### 💡 Co je to ta „aktivita“?

V našich úvahách vystupuje tzv. **chemická aktivita ( $a$ )**. Aktivitu určitého iontu ( $i$ ) v roztoku můžeme vyjádřit jako:

$$a_i = \gamma_i \cdot c_i$$

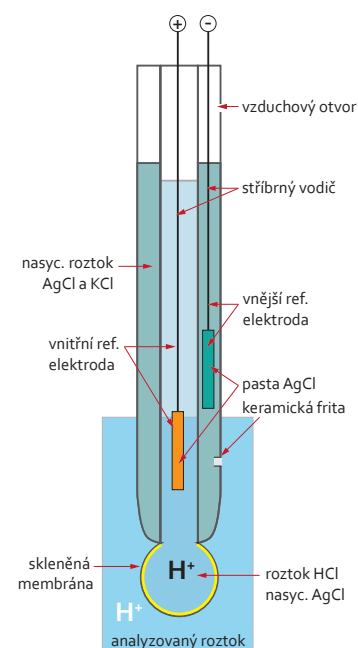
( $\gamma_i$  je aktivní koeficient iontu  $i$ ,  $c_i$  koncentrace iontu  $i$ )

Jedná se o veličinu, která zohledňuje míru interakcí molekul/iontů v rámci našeho roztoku. Tím pádem není možné aktivitu iontů v našem roztoku vždy ztotožnit s koncentrací. Pokud ovšem pracujeme s velmi zředěnými roztoky, což je situace poměrně častá, blíží se aktivní koeficient hodnotě 1, a aktivita je potom prakticky rovná koncentraci.

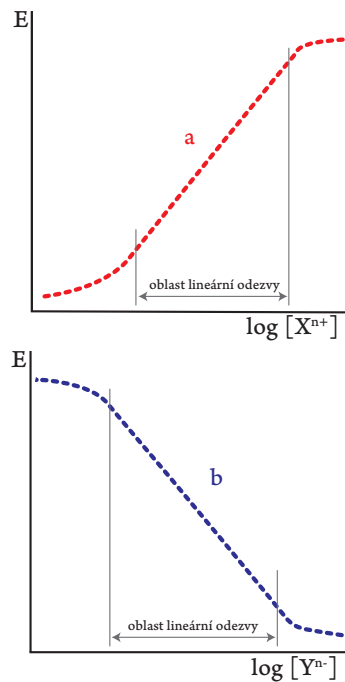


### Proti čemu měříme?

Obr. 2: Nejčastější konstrukce ISE je taková, že **referenční elektroda** je vnější součástí vlastní měřící elektrody. Jedná se o tzv. kombinované provedení elektrody. Elektrody dodávané k systému Pasco jsou právě tohoto typu. Následující obrázek ukazuje klasickou konstrukci pH elektrody se skleněnou membránou. Referenční elektroda tvoří „plášť“ měřící elektrody.



Obr. 3: Kalibrační závislosti ISE (křivka „a“ pro kationtovou ISE, křivka „b“ pro aniontovou ISE).



U kationtové ISE potenciál s růstem koncentrace kationtu roste (křivka „a“), u aniontové ISE potenciál s růstem koncentrace aniontu klesá (křivka „b“).

je v kontaktu s **analyzovaným roztokem** se stanovovací koncentrací (aktivitou), v němž je ponořena vnější referenční elektroda. Pro kationt pak platí, že:

$$E_m = K + \frac{0,059}{n} \log [X^{n+}]_1 \quad (2)$$

Je-li vyměřovaným iontem aniont  $Y^{n-}$ , pak platí pro membránový potenciál:

$$E_m = K' - \frac{0,059}{n} \log [Y^{n-}]_1 \quad (3)$$

Odpovídající kalibrační závislosti pro oba typy elektrod jsou schematicky znázorněny na obr. 3.

U kationtové ISE potenciál s růstem koncentrace kationtu roste (obr. 3, křivka „a“), u aniontové ISE potenciál s růstem koncentrace aniontu klesá (obr. 3, křivka „b“). Lineární části závislostí při změně koncentrace kationtu (aniontu) o jeden řád vzroste (poklesne) potenciál ISE o  $0,059/n$  voltů. **Odchyšky** od ideálního chování jsou způsobeny tím, že:

- při **vysokých koncentracích** se výrazněji projevuje **rozdíl** mezi **koncentrací** analytu a jeho **aktivitou** (pro niž přesně platí *Nernstova rovnice*)
- při **nízkých koncentracích** analytu se na hodnotě měřeného potenciálu relativně více podílejí **jiné ionty v roztoku**, protože ideální membrána, která by vyměřovala s roztokem pouze jediný druh iontů, neexistuje.

Závislost potenciálu na logaritmu koncentrace bývá **lineární přes několik koncentračních řádů** (typicky asi od  $10^{-5}$  do  $10^{-1}$  mol/l), analyticky lze ISE využít pro stanovení iontů v koncentracích od asi  $10^{-6}$  do **1 mol/l**.

V reálných ISE nemívají obě strany membrány naprosto stejné vlastnosti, takže i při stejné koncentraci iontů na obou stranách membrány lze na membráně naměřit potenciálový rozdíl, tzv. **asymetrický potenciál**. Jeho hodnota bývá zahrnuta v konstantě K (K'). Změna asymetrického potenciálu s časem je jedním z důvodů relativně časté **kalibrace** iontově selektivních elektrod.

Potenciál ISE s reálnou membránou je ovlivňován nejen ionty analytu, ale i větším, či menším počtem iontů jiných (*interferujících*), které jsou přítomny v analyzovaném roztoku. Je-li v roztoku obsahujícím měřený kationt  $A^{n+}$  přítomen rušící kationt  $B^{n+}$ , je potenciál dán Nernstovou rovnicí ve tvaru:

$$E_m = K + \frac{0,059}{n} \log (a_{A^{n+}} + k_{AB}^{pot} a_{B^{n+}}) \quad (4)$$

kde  $k_{AB}^{pot}$  je *koeficient selektivity* pro kationt  $A^{n+}$  vedle kationtu  $B^{n+}$ . Čím je hodnota  $k_{AB}^{pot}$  menší, tím větší musí být aktivita kationtu  $B^{n+}$ , aby na ni elektroda reagovala, a tím selektivnější je tedy stanovení kationtu  $A^{n+}$ . Je-li  $k_{AB}^{pot} = 1$ , je ISE stejně citlivá k analytu A i interferentu B. Podle počtu interferujících iontů by měla být selektivita příslušné ISE charakterizována odpovídajícím počtem koeficientů selektivity.

Pro *aniontovou* ISE platí obdobná rovnice:

$$E_m = K' - \frac{0,059}{n} \log (a_{Y^{n-}} + k_{YZ}^{pot} a_{Z^{n-}}) \quad (5)$$

V tabulce 1 a 2 jsou pro ilustraci uvedeny některé *koeficienty selektivity* kadmiové a dusičnanové ISE. Při stanovení  $Cd^{2+}$  interferují ionty *železnaté* a *olovnaté*, zatímco ionty *zinečnaté* a *kobaltnaté* mají zanedbatelný vliv (pokud nejsou ve srovnání s kademnatými ionty ve velkém nadbytku). V případě dusičnanové elektrody ( $NO_3^-$ ) značně interferují ionty *chloristanové* a *thiokyanatanové*; z praktického hlediska je důležité, že málo interferují ionty *dusitanové*, které v reálných vzorcích často dusičnanové ionty doprovázejí. Znalost koeficientů selektivity je důležitá, pokud mají být stanovovány určité ionty ve vzorku, kde se rovněž vyskytují ionty, pro které má použitá ISE vysokou hodnotu koeficientu selektivity. Ty je nutno vhodným způsobem *maskovat* nebo *separovat*.

**Tabulka 1 a 2:** Ukázka interferujících iontů s jejich koeficienty selektivity pro *kadmiovou* a *dusičnanovou* elektrodu

kadmiová ISE	
interferent (B)	koeficient selektivity
Zn <sup>2+</sup>	4 · 10 <sup>-4</sup>
Co <sup>2+</sup>	0,02
Al <sup>3+</sup>	0,13
Pb <sup>2+</sup>	6,31
Fe <sup>2+</sup>	200

Při stanovení  $Cd^{2+}$  interferují především ionty *železnaté* a *olovnaté*, zatímco ionty *zinečnaté* a *kobaltnaté* mají zanedbatelný vliv (pokud nejsou ve srovnání s kademnatými ionty ve velkém nadbytku).

dusičnanová ISE	
interferent (B)	koeficient selektivity
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup>
Cl <sup>-</sup>	5 · 10 <sup>-3</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,05
I <sup>-</sup>	20
SCN <sup>-</sup>	63
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1000

V případě dusičnanové elektrody ( $NO_3^-$ ) značně interferují ionty *chloristanové* a *thiokyanatanové*; z praktického hlediska je důležité, že málo interferují ionty *dusitanové*, které v reálných vzorcích často dusičnanové ionty doprovázejí.

**Tabulka 3:** Typické materiály polopropustných membrán u vybraných typů ISE

typ a materiál membrány	stanovovaný iont
sklo	H <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>
monokrystal LaF <sub>3</sub> s příměsí Eu <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>
polykrystalický materiál	
AgI	I <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup>
Ag <sub>2</sub> S	Ag <sup>+</sup> , S <sup>2-</sup>
CuS (+Ag <sub>2</sub> S)*	Cu <sup>2+</sup>
PbS (+Ag <sub>2</sub> S)*	Pb <sup>2+</sup>
CdSe (+Ag <sub>2</sub> S)*	Cd <sup>2+</sup>
PVC membrána různé aktivní komponenty, extrakční systémy	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> K <sup>+</sup> Ca <sup>2+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> tvrdost vody

\* materiál přidávaný do membrány pro zvýšení její celkové vodivosti

#### Co je to „iontová síla“?

Iontová síla je veličina charakterizující celkovou „koncentraci náboje“ v roztoku.

Iontová síla roztoku ovlivňuje aktivní koeficienty jednotlivých iontů, a tím i všechny veličiny, které závisí na aktivitě (např. pH, rovnovážnou konstantu, změnu Gibbsovy energie apod.).

Protože iontová síla *biologicky významných roztoků* je relativně vysoká, je jí nutno brát v úvahu při všech *výpočtech*, kde se vyskytuje aktivita iontů a nespolehat se na oblíbené konstatování, že „koncentrace látek v roztoku je nízká a místo aktivit můžeme použít koncentrace“.

Většina ISE je založena na použití membrán, které mají povrch **selektivních tuhých** nebo **kapalných měničů iontů** nebo povrchu **extrakčních činidel**. Jsou to:

- membrány **skleněné** tvořené skly různého složení
- membrány **krystalické** tvořené *monokrystalem*, nebo *lisované z polykrystalických materiálů*, často např. ze sulfidů těžkých kovů
- membrány **kapalné**, v nichž je aktivní komponenta rozpuštěna ve vhodném hydrofobním rozpouštědle *imobilizována v polymerním materiálu* (nejčastěji PVC). Aktivní komponentou jsou zde speciální typy iontoměničů, případně neutrální nosiče iontů, tzv. *ionofory*, tvořící se stanovovaným iontem komplex.

V *tabulce 3* je uveden výběr ISE s membránami z uvedených materiálů a příklady iontů, pro jejichž stanovení se používají. Principy konstrukčního uspořádání membrán v ISE jsou znázorněny na *obr. 4*.

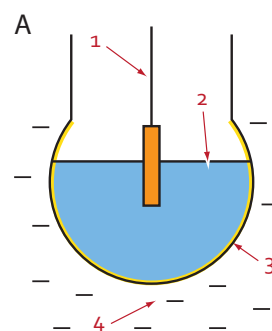
*Vnitřní elektrolyt* bývá při praktických aplikacích zdrojem experimentálních problémů (únik roztoku, vypařování), proto je v mnoha ISE vnitřní roztok a v něm ponořená vnitřní referentní elektroda nahrazena kontaktem vhodného tuhého materiálu s membránou tak, aby se na tomto kontaktu vytvořil konstantní potenciálový rozdíl, který plní úlohu vnitřní referentní elektrody. V tomto případě se mluví o tzv. **solid-state elektrodách**.

Měření s iontově selektivními elektrodami se liší od většiny ostatních analytických metod tím, že se *zjišťuje aktivita iontů, nikoli jejich celková koncentrace*. To je výhodné v případech, kdy se má stanovit pouze obsah volného iontu, který není vázán např. v komplexech (stanovení vápenatých iontů v krvi apod.). Při řadě stanovení se však požaduje znalost celkového obsahu určitého iontu. Pak se elektroda musí pečlivě zkalibrovat roztoky se známou koncentrací daného iontu (a to se stejným složením roztoků jako je složení analyzovaného vzorku).

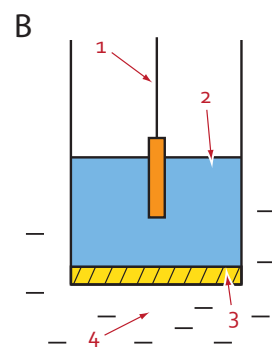
## Obecné zásady při práci s ISE

- Řádné sestavení a naplnění elektrody přiloženými plnicími roztoky proveďte pečlivě dle instrukcí v manuálu ke konkrétní elektrodě.
- Membrána je citlivou součástí elektrody a její hrubé mechanické poškození (poškrábání, proražení) většinou znamená zničení elektrody. U některých elektrod (např. Cl<sup>-</sup> ISE) je při snížení citlivosti doporučeno mechanické očištění membrány. V takovém případě bývá u elektrody přiložený speciální čistící tkánina/papírek. K čištění nepoužívejte jiné materiály. Dodržujte postup čištění uvedený v manuálu elektrody.
- Základním předpokladem pro naměření smysluplných hodnot je čisté chemické nádobí a kvalitní destilovaná/deionizovaná voda.
- Zbavte se všech bublinek na plochách vnějších i vnitřních rozhraní elektrody. Pokud někde zůstane bublinka, jsou výsledky měření většinou podivné a nereprodukovatelné. (Podobné chování jako bublinky může způsobit i přítomnost hydrofobních „mastných“ látek jako jsou např. oleje. V takovém případě je třeba elektrodu vyčistit dle postupu uvedeném v manuálu elektrody.)
- Mezi měřeními a po ukončení měření elektrodu důkladně opláchněte, lehce osušte např. buničitou vatou, a uložte ve skladovacím pufru (nikdy ne v destilované vodě!). Pro dlouhodobé skladování dbejte pokynů uvedených v manuálu k elektrodě (přehled viz *tabulka 4*).
- Při kalibraci kontrolujte směrnici kalibrační přímky. Pokud se výrazně liší od hodnoty uvedené v manuálu elektrody, něco není v pořádku (elektroda bude potřebovat důkladně vyčistit s využitím postupů popsaných v manuálu elektrody). Pokud to nezabere, je čas pořídit elektrodu novou.
- Čím častější kalibrace, tím přesnější výsledky. Většina výrobců doporučuje rekalibraci elektrody každou 1–2 hodiny. Na začátku praktika by si tedy měli žáci elektrodu vždy řádně zkalibrovat.
- Výsledek měření je u ISE ovlivněn nejen stářím/kondicí elektrody, ale také interferujícími ionty, teplotou a hodnotou pH analyzovaného roztoku. Kalibraci provádějte vždy za stejných podmínek, za jakých bude probíhat analýza neznámých vzorků. Při změně teploty, popř. pH, může dojít k výraznému zkreslení výsledku. Typicky se pro změnu teploty o 1 °C uvádí nárůst chyby měření o 2–4 %. V případě silně kyselých (pH 0–2) a silně zásaditých (pH 12–14) roztoků se možná chyba měření pohybuje až v řádu několika desítek procent!
- Ve školním prostředí je vhodné držet se běžných detekčních limitů. I když je postup měření velmi nízkých koncentrací běžnou součástí manuálů elektrod, je třeba si uvědomit, že měření v těchto oblastech klade na experimentátory podstatně větší nároky ve všech krocích (příprava kalibračních roztoků, provedení kalibrace, příprava vzorků, odstranění/maskování interferujících iontů, atd.). Stejně tak je problematické měřit vysoké koncentrace, a to v roztocích, kde není přítomen pouze náš inkriminovaný iont, ale i ionty další. V tomto případě je vhodnější analyzovaný vzorek naředit tak, abychom se dostali do rozmezí běžných detekčních limitů.
- Při jednorázových měřeních koncentrace je třeba vždy vyčkat ustálení měřené hodnoty. Především u starších/špatně skladovaných elektrod může být ustálení hodnoty problematické.
- Pro většinu ISE je kritickým parametrem iontová síla roztoku. Nezapomeňte před kalibrací/měřeními do roztoků přidat doporučené množství roztoku pro úpravu iontové síly (ISA). Typické složení tohoto roztoku pro jednotlivé elektrody je uvedeno v *tabulce 4*.
- Membrány některých elektrod mohou být poškozeny organickými rozpouštědly (popř. určitým specifickým iontem – tzv. membránovým jadem).
- Výrobce většinou udává životnost elektrod v řádu měsíců (nejčastěji 3–6 měsíců). Tyto údaje se vztahují ke klasickému dennímu využívání v laboratorním prostředí. Pro naše školní potřeby se dá předpokládat životnost podstatně delší. Záleží ovšem hodně na způsobu krátkodobého i dlouhodobého skladování. Starší elektroda, nebo elektroda špatně skladovaná, bude mít horší a pomalejší odezvu. Složení běžných skladovacích roztoků je v *tabulce 4*.

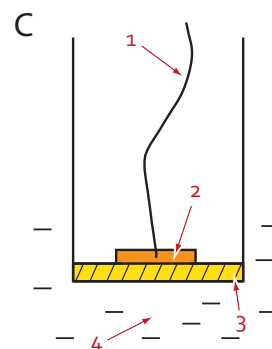
Obr. 4: Princip konstrukčního uspořádání membrán v ISE:



ISE se skleněnou membránou 1 - vnitřní referenční elektroda, 2 - vnitřní roztok, 3 - skleněná membrána, 4 - analyzovaný roztok.



ISE s membránou monokrystalickou, polykrystalickou, případně kapalnou imobilizovanou v PVC. 1 - vnitřní referenční elektroda, 2 - vnitřní roztok, 3 - krystalická nebo polymerní membrána, 4 - analyzovaný roztok.



Příklad solid-state ISE (kontakt Ag/Ag<sub>2</sub>S) je v podstatě elektrodou I. druhu, jejíž potenciál je konstantní, pokud je konstantní koncentrace Ag<sup>+</sup> iontu v membráně. 1 - přivodní vodič, 2 - kontakt s membr., 3 - membrána Ag<sub>2</sub>S, 4 - analyzovaný roztok.

## Přehled ISE dodávaných k systému Passport

### pH elektroda (PS-2102)

Před vlastním měřením je nutné provést kalibraci. Pasco (DataStudio) umožňuje maximálně dvoubodovou kalibraci. Doporučené je kalibrovat pufrы s hodnotou pH 4 a pH 7. Následně měříme přímo vodný vzorek o neznámém pH. Mezi měřeními je nutné elektrodu vždy opláchnout destilovanou vodou.

Směrnice se u této elektrody nejčastěji vyjadřuje v % (korektní hodnota se pohybuje v rozmezí 90–105 %). *Postup:* Změříme napětí v pufru pH 4 (*např.:* +160 mV) a v pufru pH 7 (*např.:* -15 mV). Hodnoty odečteme (menší od větší), v našem modelovém případě  $160 - (-15) = 175$  mV. Tuto hodnotu vydělíme rozdílem pH pufrů (v našem případě  $7 - 4 = 3$ , tedy  $175/3 = 58,33$  mV/pH). Ideální teoretické maximum při 25 °C je 59,16 mV/pH. Výpočet tedy završíme dopočítáním procent (v našem případě  $58,33/59,16 \times 100 = 98,6\%$ , naše elektroda je tedy v pořádku).

### NH<sub>4</sub><sup>+</sup> elektroda (CI-6717)

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci amonných iontů 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentrace 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-5</sup> mol/l. Tyto hodnoty je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2).

Roztoky:

- ① standard NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 0,1 M NH<sub>4</sub>Cl (5,34 g/l),
- ② ISA: 5 M NaCl (292 g/l)

### CO<sub>2</sub>(l) elektroda (CI-6726)

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci standardu NaHCO<sub>3</sub> 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Hodnoty koncentrací 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-4</sup> mol/l jsou limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidává 10 ml roztoku citrátového pufru (roztok č. 2). Pro měření je kritická hodnota pH. Ta se musí u měřeného vzorku pohybovat mezi hodnotami pH 4,8–5,2. Pokud měříme roztoky silně kyselý/zásadité je třeba před přidáním citrátového pufru pH upravit.

V případě stanovování celkového obsahu uhličitany v podzemních/povrchových vodách je třeba kalibraci a vlastní měření provádět v prostředí 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (roztok č. 3).

Měření je nejlépe provádět okamžitě. V případě skladování vzorků je třeba, aby byly vzorky ne-

prodyšně uzavřené. Pokud vzorkujeme v terénu a budeme vzorky před vlastní analýzou déle skladovat, je třeba upravit pH vzorků na hodnotu pH 8–9, ideálně přidáním nasyceného roztoku NaOH, množství vždy dle skutečného pH vzorku. V nasyceném roztoku NaOH (19 M) je Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> prakticky nerozpustný, a proto nedochází ke kontaminaci našeho vzorku.

Roztoky:

- ① standard NaHCO<sub>3</sub>: 0,1 M NaHCO<sub>3</sub> (8,4 g/l, připravujeme vždy čerstvý),
- ② citrátový pufr: 294 g Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O na 1 l roztoku,
- ③ 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 167 ml konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> přidáme do 0,5 l destilované vody a následně doplníme na 1 l

### Ca<sup>2+</sup> elektroda (CI-6727)

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci vápenatých iontů 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentrace 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-5</sup> mol/l. Tyto hodnoty je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2).

Roztoky:

- ① standard CaCl<sub>2</sub>: 0,1 M CaCl<sub>2</sub> (14,7 g/l pro CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O),
- ② ISA: 4 M KCl (298 g/l)

### F<sup>-</sup> elektroda (CI-6728)

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci standardu NaF 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentraci 10<sup>-5</sup> mol/l. Hodnoty koncentrací 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-5</sup> mol/l je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml měřeného roztoku přidává 50 ml roztoku TISAB1 (roztok č. 2), tedy 50 ml neznámého/kalibračního vzorku + 50 ml roztoku TISAB1. Vzhledem ke značné interferenci OH<sup>-</sup> iontů je třeba věnovat zvýšenou pozornost hodnotě pH měřeného vzorku, která by se měla pohybovat ideálně v rozmezí pH 5–5,5.

Roztoky:

- ① standard NaF: 0,1 M NaF (4,3 g/l),
- ② TISAB1: na 1 l finálního roztoku 230 ml konc. kys. octové, 232 g NaCl, 16 g CDTA (1,2-cyclohexylendiamintetraoctová kyselina), 150 g NaOH, upravit na pH 5,25 pomocí 5 M NaOH. Pro specifické účely jsou používány různé modifikace roztoků TISAB (v manuálu k elektrodě jsou uvedeny dále roztoky: TISAB2 pro měření nízkých koncentrací F<sup>-</sup>, a TISAB3 pro měření v přítomnosti vyšších koncentrací Al<sup>3+</sup>).



**Cl<sup>-</sup> elektroda (CI-6732)**

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci standardu NaCl  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentraci  $10^{-5}$  mol/l. Hodnoty koncentrací  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$  mol/l je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2). V měřených roztocích by se neměly vyskytovat ionty Ag a Hg. Silně zásadité roztoky je vhodné upravit na pH 4 přidáním HNO<sub>3</sub>. Při měření Cl<sup>-</sup> v přítomnosti interferujících iontů (viz *tabulka 4*) je možné většinu těchto iontů odstranit smísením vzorku s roztokem CISA (1:1, roztok č. 4). Vlastní měření provádíme až po 10 minutách odstání. Kalibrace elektrody musí být provedena za stejných podmínek.

Roztoky:

- ① standard NaCl: 0,1 M NaCl (5,84 g/l),
- ② ISA: 5 M NaNO<sub>3</sub> (425 g/l),
- ③ plnicí roztok ref. elektrody: 1 M KNO<sub>3</sub>,
- ④ CISA (oxidační roztok pro odstranění většiny interferujících iontů): 15,1 g NaBrO<sub>3</sub> rozpustíme v 800 ml destilované vody a přidáme 75 ml konc HNO<sub>3</sub> (70%), doplníme vodou na celkový objem 1 l (tento roztok je třeba připravit vždy čerstvý).

**K<sup>+</sup> elektroda (CI-6733)**

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci draselných iontů  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentrace  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  mol/l. Tyto hodnoty je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2). Při vystavení vyšší koncentraci interferujících iontů (viz *tabulka 4*) je následně odezva elektrody velmi pomalá. V takovém případě ponechte elektrodu 1 hodinu v destilované vodě a následně 2 hodiny v roztoku č. 1.

Roztoky:

- ① standard KCl: 0,1 M KCl (7,46 g/l),
- ② ISA: 5 M NaCl (292 g/l)

**Na<sup>+</sup> elektroda (CI-6734)**

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci sodných iontů  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat pro koncentraci  $5 \cdot 10^{-5}$  mol/l. Hodnoty  $10^{-2}$  a  $5 \cdot 10^{-5}$  je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2). Mezi jednotlivými měřeními elektrodu oplachujte v roztoku č. 4 (ne v destilované vodě).

Roztoky:

- ① standard NaCl: 0,1 M NaCl (5,84 g/l),
- ② ISA: 4 M NH<sub>4</sub>Cl (214 g/l), 4 M NH<sub>4</sub>OH (270 ml konc.)
- ③ skladovací roztok: 5 M NaCl (29,2 g na 100 ml rozt.) + 2 ml rozt. č. 2 (ISA)
- ④ oplachovací roztok: 20 ml rozt. č. 2 (ISA) + 980 ml dest. vody

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> elektroda (CI-6735)**

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci standardu NaNO<sub>3</sub>  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat do koncentrací  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  mol/l. Hodnoty koncentrací  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  mol/l je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2). Při vystavení vyšší koncentraci interferujících iontů (viz *tabulka 4*) je následně odezva elektrody velmi pomalá. V takovém případě ponechte elektrodu 30 min v destilované vodě a následně 30 min v roztoku č. 1.

Roztoky:

- ① standard NaNO<sub>3</sub>: 0,1 M NaNO<sub>3</sub> (8,5 g/l),
- ② ISA: 2 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (264 g/l)
- ③ plnicí roztok ref. elektrody: 0,1 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,01 M KCl

**Pb<sup>2+</sup> elektroda (CI-6736)**

Kalibrace elektrody se provádí třibodově roztoky o koncentraci standardu Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  mol/l. Roztoky připravíme nejlépe naředěním rozt. č. 1. Kalibrační přímku je možné extrapolovat až do koncentrace  $10^{-6}$  mol/l. Hodnoty koncentrací  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  mol/l je, při použití standardního postupu, vhodné brát jako limitní. V případě koncentrací blízkých se spodní hranici je doporučeno používat plastové nádoby. Do všech měřených vzorků, včetně kalibračních, se na 100 ml roztoku přidávají 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA, roztok č. 2). V měřených roztocích se nesmí vyskytovat ionty Cu, Ag a Hg („otrava“ membrány).

Roztoky:

- ① standard Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: 0,1 M Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (46,01 g Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O na 1 l roztoku),
- ② ISA: 5 M NaClO<sub>4</sub> (700 g/l)

**Tabulka 4:** Srovnávací tabulka základních informací k ISE (základ přehledu byl vytvořený z informací v manuálech k jednotlivým elektrodám, více informací získáte z těchto manuálů. Manuály jsou dostupné on-line na webu [www.pasco.com](http://www.pasco.com)). Údaje uvedené v tabulce:

- **rozsah, směrnice** (Uvedeny je typický rozsah koncentrací, které je možné měřit standardním postupem. V této oblasti je odezva elektrody lineární a většinou tak stačí pouze dvoubodová kalibrace. Druhým uvedeným údajem je strmost odezvy elektrody u roztoků lišících se koncentrací měřeného iontu o jeden řád.)
- **pH a teplota** (První údaj uvádí rozsah hodnot pH, při kterých je s elektrodou možné měřit. Hodnota pH je poměrně kritická (způsobeno přítomností  $H^+$  resp.  $OH^-$ ). V silně kyselých a silně zásaditých roztocích je měření velmi problematické. Druhý údaj je typický teplotní rozsah, při němž je elektroda použitelná. Důležité je především udržení stejné teploty v průběhu kalibrace i dalšího měření. Chyba, která vznikne změnou teploty o  $1\text{ }^\circ\text{C}$ , je uvedena jako třetí údaj.)
- **interference** (Na prvním místě jsou uvedeny interferující ionty, seřazené dle míry interference sestupně. Další případné informace se vztahují ke komplexaci a k požadavkům na absenci určitých látek při měření (typicky organická rozpouštědla).
- **skladování** (Uvedeny jsou roztoky, ve kterých je možné elektrody krátkodobě skladovat. Dlouhodobé skladování je většinou podmíněno demontáží určité části elektrody, důkladným opláchnutím, osušením a nasazením gumových krytek na citlivé části elektrody, včetně plnicího otvoru. V případě dlouhodobého skladování postupujte dle manuálu ke konkrétní elektrodě.)
- **roztoky** (Roztoky potřebné pro běžné měření s elektrodou.)

elektroda	rozsah, směrnice	pH a teplota	interference	skladování	roztoky
pH (PS-2102)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 0–pH 14</li> <li>• ideální teoretické maximum 59,16 mV/pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 0–14</li> <li>• T: neuvádí se (v průběhu měření nutno dodržovat konstantní)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• neuvádí se (nejselektivnější ISE, koeficient selektivity kolem <math>10^{-12}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rozt. č. 1 + rozt. č. 2 (objemově 1 : 1)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 4 M KCl (298 g/l)</li> <li>2. pufr pH 4 (0,1 ml 0,1 M NaOH + 50 ml 0,1 M hydrogenuhličitanu draselného)</li> <li>3. pufr pH 7 (1,2 g <math>NaH_2PO_4</math> + 0,885 g <math>Na_2HPO_4</math> na 1 l)</li> </ol>
$NH_4^+$ (CI-6717)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-1}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup)</li> <li>• <math>56 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 4–10</li> <li>• T: 0–40 °C</li> <li>• změna teploty o <math>1\text{ }^\circ\text{C}</math> v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Cs^+</math>, <math>K^+</math>, <math>Tl^+</math>, <math>H^+</math>, <math>Ag^+</math>, <math>trist^+</math>, <math>Li^+</math>, <math>Na^+</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M <math>NH_4Cl</math> (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 3 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard <math>NH_4^+</math>: 0,1 M <math>NH_4Cl</math> (5,34 g/l)</li> <li>2. ISA: 5 M NaCl (292 g/l)</li> <li>3. rozt. ref. elektrody: 0,1 M NaCl</li> </ol>
$CO_2$ (CI-6726)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-2}</math>–<math>1 \cdot 10^{-4}</math> M</li> <li>• <math>56 \pm 3</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 4,8–5,2</li> <li>• T: 0–50 °C</li> <li>• pozor na vyšší teplotu (množství <math>CO_2</math> se v roztoku rychle snižuje, všechny vzorky uchovávat uzavřené)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>HCOOH</math>, <math>CH_3COOH</math>, <math>HSO_3^-</math>, <math>NO_2^-</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,1 M NaCl</li> <li>• skladování delší než 1 týden doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard <math>NaHCO_3</math>: 0,1 M <math>NaHCO_3</math> (8,4 g/l, připravujeme vždy čerstvý)</li> <li>2. citrátový pufr: 294 g <math>Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O</math> na 1 l roztoku</li> <li>3. 3 M <math>H_2SO_4</math>: 167 ml konc. <math>H_2SO_4</math> přidáme do 0,5 l destilované vody a následně doplníme na 1 l</li> </ol>
$Ca^{2+}$ (CI-6727)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-1}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup)</li> <li>• <math>26 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 3–10</li> <li>• T: 0–40 °C</li> <li>• změna teploty o <math>1\text{ }^\circ\text{C}</math> v průběhu měření vnáší 4% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Pb^{2+}</math>, <math>Hg^{2+}</math>, <math>H^+</math>, <math>Sr^{2+}</math>, <math>Fe^{2+}</math>, <math>Cr^{2+}</math>, <math>Ni^{2+}</math>, <math>Na^+</math>, <math>K^+</math>, <math>Ba^{2+}</math>, <math>Zn^{2+}</math>, <math>Mg^{2+}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M <math>CaCl_2</math> (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard <math>CaCl_2</math>: 0,1 M <math>CaCl_2</math> (14,7 g/l pro <math>CaCl_2 \cdot 2H_2O</math>),</li> <li>2. ISA: 4 M KCl (298 g/l)</li> </ol>
$F^-$ (CI-6728)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-2}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup, nutno použít plastové nádoby)</li> <li>• <math>57 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 5–7 (lépe 5–5,5)</li> <li>• T: 0–80 °C</li> <li>• změna teploty o <math>1\text{ }^\circ\text{C}</math> v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>OH^-</math></li> <li>• komplexace s <math>Al^{3+}</math>, <math>Si^{4+}</math>, <math>Fe^{3+}</math></li> <li>• ve vzorku nesmí být organická rozpouštědla! (občasné měření v methanolu, acetonu a dioxanu možné)</li> <li>• ve vzorku nesmí být silně polární látky jako <math>CHCl_3</math> či DMF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M NaF (10× zředěný rozt. č. 1) s přídatkem rozt. č. 2</li> <li>• nikdy nenechávat déle v dest. vodě</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard NaF: 0,1 M NaF (4,3 g/l),</li> <li>2. TISAB1: na 1 l finálního roztoku 230 ml konc. kys. octové, 232 g NaCl, 16 g CDTA (1,2-cyclohexylendiamintetraoctová k.), 150 g NaOH, upravit na pH 5,25 pomocí 5 M NaOH. Pro specifické účely jsou použity různé modifikace roztoků TISAB (v manuálu k elektrodě jsou uvedeny dále roztoky: TISAB2 pro měření nízkých koncentrací <math>F^-</math>, a TISAB3 pro měření v přítomnosti vyšších koncentrací <math>Al^{3+}</math>).</li> </ol>

elektroda	rozsah, směrnice	pH a teplota	interference	skladování	roztoky
Cl <sup>-</sup> (Cl-6732)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-2}</math>–<math>1 \cdot 10^{-6}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-4}</math> M doporučený upravený postup, při měření koncentrací vyšších než <math>10^{-2}</math> se nepřidává rozt. ISA)</li> <li>• <math>56 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 2–12 (nejlépe kolem 4)</li> <li>• T: 0–80 °C</li> <li>• změna teploty o 1 °C v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CN<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, Br<sup>-</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup></li> <li>• komplexace s Tl<sup>3+</sup>, Sn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Bi<sup>3+</sup></li> <li>• ve vzorku nesmí být organická rozpouštědla! (občasné měření v methanolu, ethanolu, benzenu a acetonitrilumozné)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M NaCl (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard NaCl: 0,1 M NaCl (5,84 g/l),</li> <li>2. ISA: 5 M NaNO<sub>3</sub> (425 g/l),</li> <li>3. plnicí roztok ref. elektrody: 1 M KNO<sub>3</sub>,</li> <li>4. CISA (oxidační roztok pro odstranění většiny interferujících iontů): 15,1 g NaBrO<sub>3</sub> rozpustíme v 800 ml destilované vody a přidáme 75 ml konc. HNO<sub>3</sub> (70%), doplníme vodou na celkový objem 1 l (tento roztok je třeba připravit vždy čerstvý).</li> </ol>
K <sup>+</sup> (Cl-6733)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-2}</math>–<math>1 \cdot 10^{-6}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup)</li> <li>• <math>56 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 2–12</li> <li>• T: 0–40 °C</li> <li>• změna teploty o 1 °C v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cs<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Tl<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, tris<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup></li> <li>• ve vzorku nesmí být organická rozpouštědla!</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M KCl (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 3 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard KCl: 0,1 M KCl (7,46 g/l),</li> <li>2. ISA: 5 M NaCl (292 g/l)</li> </ol>
Na <sup>+</sup> (Cl-6734)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-1}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup)</li> <li>• <math>59 \pm 4</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 5–12 (nejlépe &gt;9)</li> <li>• T: –5 až 70 °C</li> <li>• změna teploty o 1 °C v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ag<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Tl<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• roztok č. 3</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard NaCl: 0,1 M NaCl (5,84 g/l),</li> <li>2. ISA: 4 M NH<sub>4</sub>Cl (214 g/l), 4 M NH<sub>4</sub>OH (270 ml konc.)</li> <li>3. skladovací roztok: 5 M NaCl (29,2 g na 100 ml rozt.) + 2 ml rozt. č. 2 (ISA)</li> <li>4. oplachovací roztok: 20 ml rozt. č. 2 (ISA) + 980 ml dest. vody</li> </ol>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (Cl-6735)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-1}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup)</li> <li>• <math>55 \pm 2</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 2,5–11</li> <li>• T: 0–40 °C</li> <li>• změna teploty o 1 °C v průběhu měření vnáší 2% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup></li> <li>• ve vzorku nesmí být organická rozpouštědla!</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M NaNO<sub>3</sub> (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard NaNO<sub>3</sub>: 0,1 M NaNO<sub>3</sub> (8,5 g/l),</li> <li>2. ISA: 2 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (264 g/l)</li> <li>3. plnicí roztok ref. elektrody: 0,1 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,01 M KCl</li> </ol> <p>Pozn.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• při expozici vyššími koncentracemi interferujících iontů začne mít elektroda velice pomalou odezvu. Pro obnovení odezvy dáme elektrodu na 30 min do dest. vody a následně na 30 min do rozt. č. 1)</li> <li>• pro odstranění interferujících iontů I<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, a Cl<sup>-</sup> přidáme 0,5 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na 100 ml měřného rozt.</li> </ul>
Pb <sup>2+</sup> (Cl-6736)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 \cdot 10^{-2}</math>–<math>1 \cdot 10^{-5}</math> M (pro měření velmi nízkých koncentrací pod <math>10^{-5}</math> M doporučený upravený postup, plastové nádoby)</li> <li>• <math>26 \pm 3</math> mV (<math>10^{-3}</math>–<math>10^{-2}</math> M roztok)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 3–8 (ideálně 5–6)</li> <li>• T: 0–80 °C</li> <li>• změna teploty o 1 °C v průběhu měření vnáší 4% chybu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fe<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> (eliminace vlivu posunem pH nad hodnotu 4)</li> <li>• komplexace: acetát, amoniak, aminokyseliny, citrát, kyanidy, EDTA</li> <li>• ve vzorku nesmí být ionty Hg, Ag a Cu, které způsobují „otravu“ membrány</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,01 M Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (10× zředěný rozt. č. 1)</li> <li>• skladování delší než 2 týdny doporučeno v suchém stavu</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. standard Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: 0,1 M Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (46,01 g Pb(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O na 1 l roztoku),</li> <li>2. ISA: 5 M NaClO<sub>4</sub> (700 g/l)</li> </ol>

## Doporučená literatura

- J. Koryta: Iontově selektivní membránové elektrody, Academia, Praha 1972  
J. Veselý, D. Weiss, K. Štulík: Analýza iontově selektivními elektrodami, SNTL, Praha 1979  
J. Koryta: Ionty, elektrody, membrány, Academia, Praha 1980  
J. Koryta, K. Štulík: Iontově-selektivní elektrody, Academia, Praha 1984  
R. Kalvoda a kolektiv: Elektroanalytická chemie životního prostředí, SNTL, Praha 1985  
M. Popl a kolektiv: Instrumentální analýza, SNTL, Praha 1986  
Z. Holzbecher, J. Churáček: Analytická chemie, SNTL/ALFA, Praha 1987  
J. Zýka a kolektiv: Analytická příručka, I. díl, SNTL, Praha 1988