

Elektrochemické metody v analýze vod

Elektrochemické metody představují širokou oblast experimentálních technik, jejichž společným rysem je přenos elektrického náboje přes rozhraní mezi fázemi, z nichž alespoň jedna musí být iontovým vodičem elektrického proudu. Tento děj je ovlivněn existencí elektrického potenciálového rozdílu mezi stýkajícími se fázemi, vyvolaného buď vnějšími vlivy (vnější zdroj elektrického napětí) nebo přímo chemickým složením celé soustavy. Obvykle bývá přenos elektrického náboje spojen s chemickou změnou ve studované soustavě – takový děj pak nazýváme elektrodovou reakcí, mluvíme-li o změnách přímo na sledovaném fázovém rozhraní nebo elektrolýza, mluvíme-li o celkových změnách ve studované soustavě, způsobených prošlým elektrickým proudem.

V závislosti na podmínkách experimentu a měřené veličině rozdělujeme tuto různorodou oblast metod do užších skupin se společnými rysy. Konduktometrie tak zahrnuje metody, při nichž sledovaná veličina (vodivost) nesouvisí přímo s průběhem elektrodové reakce na rozdíl např. od potenciometrických nebo voltametrických metod, při nichž je sledovaná veličina (napětí, proud) přímo závislá na probíhajícím elektrodovém ději. Při potenciometrii studovanou soustavou neprochází proud (soustava je v rovnováze), při voltametrii (např. polarografii) právě z velikosti procházejícího proudu činíme závěry o studované soustavě.

Konduktometrie v analýze ukazatelů kvality vody

Princip stanovení:

Roztoky elektrolytů jsou schopny vést elektrický proud díky kladně a záporně nabitým iontům, vznikajícím v roztoku při disociaci rozpuštěného elektrolytu. Vodivost roztoků elektrolytů závisí na typu elektrolytu, jeho koncentraci a na teplotě roztoku. Protože závislost na teplotě je poměrně výrazná (cca 2% vzrůst při vzrůstu teploty o 1°C) je nutno teplotu kontrolovat, nejlépe termostatem. Měření vodivosti - konduktance, $[G] = S(\text{iemens})$ - roztoků elektrolytů je principiálně totožné s měřením odporu R v elektrotechnice ($G = 1/R$). Problém připojení roztoku do elektrického měřicího obvodu zabezpečuje tzv. vodivostní cely, která obsahuje elektrody z inertního materiálu (platina, grafit apod.). Protože měřená hodnota vodivosti elektrolytu je závislá na vzdálenosti a ploše elektrod, je třeba provést kalibraci cely, jejímž výsledkem je tzv. odporová konstanta cely $C = \kappa_{\text{KCl}}/G_{\text{KCl}}$. Kalibrace se provádí měřením s vhodně koncentrovanými roztoky KCl, který v konduktometrii slouží jako standard viz Tabulka č.1.

Tabulka č.1: Konduktivity roztoku KCl o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ při různých teplotách

teplota (°C)	20	21	22	25
$\kappa (\text{S} \cdot \text{m}^{-1})$	0,1278	0,1305	0,1332	0,1413

Hodnota konduktivity roztoku elektrolytu (vodivost, zbavená závislosti na geometrii cely $\kappa_x = C \cdot G_x$) je již jistou charakteristikou daného roztoku elektrolytu (současně jeho kvality a koncentrace). Při analýze čistoty vody je proto v praxi používána právě hodnota její konduktivity, která jistým způsobem vypovídá o množství iontově rozpuštěných látek. U destilované či demineralizované vody skutečně hodnota konduktivity vypovídá o její kvalitě (vysoce čistá demineralizovaná voda má $\kappa < 5 \cdot 10^{-10} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, ale pozor na rozpuštěný CO_2 , který zvyšuje vodivost). V případě přírodních vod, je souvislost mezi znečištěním a konduktivitou již problematičtější, protože přírodní vody obvykle obsahují velká množství iontově

rozpuštěných látek, které naopak jejich kvalitu z hlediska určitého typu použití zvyšují (pitná voda má předepsaný minimální nutný obsah iontů vápníku a hořčíku).

Pomůcky a chemikálie:

Měřicí přístroj WTW Multi 340i s vodivostním senzorem (viz Použité přístrojové vybavení na konci této kapitoly), sušárna, termostat, váhy s přesností na 1 mg, 3 ks kádinka 100-150 ml, 5 ks kádinka 250 ml, 2 ks varná baňka 100 ml se zátkou, odměrný válec 100 ml, nálevka, filtrační papír, stojan s kruhem, kalibrační roztok KCl o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, vzorky různých druhů vod, buničitá vata.

Pracovní postup:

Před každým měřením je nutné důkladně opláchnout vodivostní senzor nejprve destilovanou vodou a poté osušit buničitou vatou, všechny měřené vzorky vytemperovat na 20-25°C.

V první fázi ověříme správnou kalibraci přístroje MX-300 s vodivostním senzorem pomocí roztoku KCl o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Poté proměříme hodnoty vodivosti vzorků vod v pořadí: vysoce čistá demineralizovaná voda, destilovaná voda používaná v laboratoři, destilovaná voda používaná v laboratoři zbavená CO_2 , přírodní povrchová voda, pitná voda z veřejné vodovodní sítě, stolní minerální voda. Vodu zbavenou CO_2 připravíme cca 5 min povařením vzorku vody a jejím ochlazením na teplotu měření v uzavřené varné baňce.

Paralelně s každým měřením stanovíme celkový obsah rozpuštěných látek v daném vzorku vody (mimo vysoce čistou demineralizovanou vodu a destilovanou vodu zbavenou CO_2). Pro toto stanovení odměříme 100 ml vzorku vody do předsušených kádinek o obsahu 250 ml (předem zvážit) a dáme sušit do sušárny při 105°C (cca 1 hod dosušovat po úplném odpaření vody). Vzhledem k nutné době na úplné vysušení vzorku tuto část úlohy zahájíme hned na úvod cvičení. Po vysušení vzorku vody a ochlazení kádinky na laboratorní teplotu kádinku opět zvážíme. Z rozdílu hmotností určíme celkový obsah rozpuštěných látek a zaneseme jej do tabulky proti zjištěné hodnotě vodivosti. Výsledky vyneseme rovněž do grafu a posoudíme korelaci mezi oběmi hodnotami. U vzorku přírodní povrchové vody odstraníme před tímto stanovením filtrací všechny nerozpuštěné látky (ostatní vzorky by takové látky neměly obsahovat).

Potenciometrie s ISE elektrodami v analýze ukazatelů kvality vody

Na základě nemožnosti měření absolutní hodnoty rozdílu elektrického potenciálu mezi dvěma chemicky různými fázemi musíme v elektrochemii vždy měřit elektrický potenciál studované soustavy (realizované indikační či pracovní elektrodou) vůči jiné soustavě definovaných vlastností (referentní elektroda). V potenciometrii tak můžeme měřit místo požadovaného elektrodového potenciálu pouze elektromotorické napětí vhodně sestaveného článku. Potenciál srovnávací soustavy – referentní elektrody (např. argentochloridové) - se udržuje na stálé hodnotě díky tomu, že tato elektroda je konstrukčně uspořádána tak, aby se její chemické složení během měření neměnilo (vlastní roztok oddělený od zbytku článku fritou). Druhá elektroda článku – indikační elektroda (např. stříbrná) – mění svůj potenciál se změnou složení roztoku v článku, takže z hodnoty výsledného elektromotorického napětí můžeme činit závěry o složení roztoku v článku (zejména koncentraci elektroaktivního iontu, např. Ag^+ pro stříbrnou elektrodu).

V případě reverzibilních elektrod, které se řídí Nernstovou rovnicí, je článková reakce spojena se změnou oxidačního stupně materiálu elektrody ($\text{Ag}^0 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$ pro již zmíněnou stříbrnou elektrodu) či elektroaktivní částice v roztoku (redox elektrody).

U iontově selektivní elektrody (ISE) je řídicí elektrodový děj jiné povahy. Spíše než o chemické reakci zde můžeme mluvit o výměně iontů mezi dvěma odlišnými fázemi, oddělenými semipermeabilní (polopropustnou) membránou. Přes tuto membránu mohou obě fáze vyměňovat jen některé ionty, přičemž ustavená rovnováha je charakteristická tím, že tyto vyměňované ionty mají na obou stranách membrány jinou aktivitu. To je významný rozdíl oproti heterogenní soustavě s rozhranním plně propustným pro všechny ionty, kde v rovnováze je aktivita všech iontů na obou stranách rozhraní sobě rovná. A díky rozdílné aktivitě procházejícího iontu na obou stranách semipermeabilní membrány existuje mezi oběma stýkajícími se fázemi potenciálový rozdíl – membránový (Donnanův) potenciál. Tento potenciál je úměrný aktivitám procházejícího iontu na obou stranách membrány. V případě jediného procházejícího iontu popisuje závislost membránového potenciálu (či ISE, jejíž součástí daná membrána je) E_{ISE} na aktivitě procházejícího iontu a_p v měřeném roztoku vztah, velmi podobný Nernstově rovnici:

$$E_{\text{ISE}} = \text{konst.} + (RT/z_p F) \cdot \ln a_p$$

Konstanta vystupující v této rovnici je charakteristikou té jediné membrány (ISE elektrody), se kterou právě pracujeme a ne skupinovou konstantou pro všechny ISE elektrody, mající stejný typ membrány. Problém nezjistitelnosti této konstanty se obchází kalibrací příslušné ISE elektrody pomocí standardních roztoků.

Volbou vhodného materiálu pro membránu ISE tak lze získat jednoduché potenciometrické čidlo, selektivně reagující svým potenciálem na aktivitu sledovaných iontů (např. H_3O^+ , Na^+ , Ag^+ , Cl^- , NO_3^- atd.). Z tohoto důvodu jsou ISE v praxi velice často využívány k přímému potenciometrickému určení koncentrace daného druhu iontů (např. skleněná elektroda pro měření pH).

Výše uvedená rovnice pro potenciál ISE elektrody platí dostatečně přesně pouze v tom případě, že se v měřeném roztoku nevyskytují příliš vysoké koncentrace tzv. rušících iontů, což jsou ionty, které jsou rovněž schopny procházet přes membránu (např. u běžné skleněné elektrody ionty Na^+). Pokud se tyto ionty v roztoku vyskytují, ovlivňují potenciál ISE společně s těmi stanovovanými a tudíž roste chyba měření.

Nejběžnější kationtovou ISE a vlastně historicky první ISE je elektroda skleněná, používaná pro měření pH, typickým příkladem aniontové ISE je chloridová ISE, jejíž membrána je tvořena polykrystalickým AgCl .

Potenciometrické měření pH se skleněnou ISE elektrodou

Princip stanovení:

Mírou kyselosti vodných roztoků je veličina pH, definovaná vztahem:

$$\text{pH} = -\log a(\text{H}_3\text{O}^+)$$

Hodnotu pH lze zjistit změřením elektromotorického napětí článku sestaveného z vhodné indikační elektrody (tj. elektrody, jejíž potenciál závisí na aktivitě hydroxoniových iontů) a srovnávací elektrody. Jako indikační elektroda je nejčastěji používána elektroda skleněná, pro velmi přesná měření pak elektroda vodíková.

Skleněná elektroda je typem iontově selektivní elektrody, u níž semipermeabilní membránu představuje rozhraní sklo-roztok. Přes toto rozhraní mohou přecházet jen ty kationty, které jsou schopny zastoupit ve skle kationty jeho silikátové krystalové mřížky. Obvykle se používá sodné sklo, takže procházejícími ionty jsou v tomto případě kationty H^+ , Li^+ a Na^+ . V kyselé oblasti, kde je vysoká aktivita H_3O^+ iontů, převládá výměna H^+ iontů z vodného prostředí za Na^+ ionty z krystalové mřížky skla. V alkalické oblasti (obvykle již nad $\text{pH} = 10$) však tato výměna nehraje tak výsadní roli a prosazují se i další, z nichž vzhledem k obvyklému složení roztoků nejvíce problémů působí výměna Na^+ iontů z vody za Na^+ ionty z krystalové mřížky skla. Tato tzv. alkalická chyba se musí korigovat opravami podle příslušné tabulky přiložené k elektrodě od výrobce, nebo je třeba v takové oblasti pH používat typy elektrod speciálně upravených právě pro minimalizaci alkalické chyby. Skleněná elektroda je realizovaná jako tenkostěnná baňka naplněná roztokem o známém pH, do kterého je ponořena vnitřní referentní elektroda. Rovnice pro závislost potenciálu skleněné elektrody na pH v oblasti mimo alkalickou chybu je velmi jednoduchá:

$$E_{\text{skl}} = \text{konst.} + (RT/F) \ln a(\text{H}_3\text{O}^+) = \text{konst.}' - 2,303 \cdot (RT/F) \text{pH}$$

Konstanta v sobě zahrnuje parametry skleněné membrány a vnitřního referentního roztoku, s jehož pomocí je elektroda připojitelná do měřicího obvodu. Linearita závislosti potenciálu skleněné elektrody na pH umožňuje snadný přepočet mezi těmito hodnotami, realizovaný za pomoci kalibrace skleněné elektrody standardními roztoky pufrů. podle požadavku na přesnost měřené hodnoty pH provádíme kalibraci jednobodovou, dvoubodovou a vícebodovou (v širším rozsahu měřených hodnot pH není závislost zcela lineární).

Pomůcky a chemikálie:

Měřicí přístroj WTW Multi 340i s pH senzorem (viz Použité přístrojové vybavení na konci této kapitoly), 3 ks kádinka 100-150 ml, 3 ks kádinka 50 ml, standardní pufrů o $\text{pH} = 4$ a 7 , vzorky různých druhů vod, buničitá vata.

Pracovní postup:

Před každým měřením je nutné důkladně opláchnout pH senzor nejprve destilovanou vodou a poté osušit buničitou vatou. Vzhledem k tomu, že přístroj pracuje s automatickou teplotní kompenzací měřené hodnoty pH, není třeba provádět přesnou temperaci měřených roztoků.

V první fázi provedeme dvoubodovou kalibraci přístroje Multi 340i s pH senzorem pomocí roztoků standardních kalibračních pufrů (viz postup v sekci Použité přístrojové vybavení).

Poté proměříme hodnoty pH vzorků vod v pořadí: vysoce čistá demineralizovaná voda, destilovaná voda používaná v laboratoři, destilovaná voda používaná v laboratoři zbavená CO_2 , přírodní povrchová voda, pitná voda z veřejné vodovodní sítě, stolní minerální voda. Vodu zbavenou CO_2 připravíme cca 5 min povařením vzorku vody a jejím ochlazením na teplotu měření v uzavřené varné baňce.

Výsledky měření zapíšeme do tabulky vedle již naměřených hodnot vodivosti.

Potenciometrické stanovení rozpuštěného kyslíku s kyslíkovou ISE elektrodou

Princip stanovení:

Obsah rozpuštěného kyslíku v přírodních vodách je důležitým ukazatelem čistoty vody v souvislosti s jejím znečištěním biogenními prvky a organickými látkami využívanými vodními mikroorganismy, které k jejich přeměně využívají rozpuštěný kyslík. Přemnožení těchto organismů vlivem atrofizace vod vede k vyčerpání rozpuštěného kyslíku, úhynu vyšších forem života a rozvoji anaerobních procesů rozkladu přítomných živin ve vodě, při němž příslušné mikroorganismy produkují vysoce toxické látky.

Stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku lze provádět buď velmi pracnou jodometrickou titrací nebo v současné době velmi rychle a pohodlně potenciometricky s kyslíkovým čidlem, což principiálně není nic jiného než typ iontově selektivní elektrody.

Tato iontově selektivní elektroda má plastovou semipermeabilní membránu přes níž mohou procházet jen ty plyny, přičemž pouze kyslík dále interaguje s elektrodami, ukrytými za membránou. Protože interakce kyslíku s těmito elektrodami je založena na galvanickém principu (elektrolýza), nelze sestavit jednoduchou rovnici pro závislost potenciálu kyslíkové elektrody na obsahu rozpuštěného kyslíku. ta v zásadě ani není pro měření nutná, protože kalibrace elektrody je velmi jednoduchá – jedním ze standardů je vzduch se svým poměrně stabilním obsahem kyslíku a druhým voda kyslíku zbavená (např. varem).

Pomůcky a chemikálie:

Měřicí přístroj WTW Multi 340i s kyslíkovým senzorem (viz Použité přístrojové vybavení na konci této kapitoly), 3 ks kádinka 100-150 ml, vzorky různých druhů vod.

Pracovní postup:

Před každým měřením je nutné důkladně opláchnout kyslíkový senzor nejprve destilovanou vodou a poté osušit. V první fázi provedeme kalibraci přístroje s kyslíkovým senzorem na vzduchu nasyceném vodními parami (ve vzduchové kalibrační nádobce - viz postup v sekci Použité přístrojové vybavení). Poté proměříme obsah kyslíku ve vzorcích vod v pořadí: vysoce čistá demineralizovaná voda, destilovaná voda používaná v laboratoři, destilovaná voda používaná v laboratoři zbavená CO₂, přírodní povrchová voda, pitná voda z veřejné vodovodní sítě, stolní minerální voda. Vodu zbavenou CO₂ připravíme cca 5 min povařením vzorku vody a jejím ochlazením na teplotu měření v uzavřené varné baňce. Během měření je nutno kyslíkovou sondou v nádobce neustále pohybovat.

Výsledky měření zapíšeme do tabulky vedle již naměřených hodnot vodivosti a pH.

Potenciometrické stanovení koncentrace Cl^- ve vodách s ISE elektrodou

Dalším typickým případem ISE elektrody je obecně halogenidová elektroda. Pro tyto typy ISE existují vhodné konstrukční materiály membrány – díky malé rozpustnosti halogenidů stříbra velmi dobře jako membrána poslouží monokrystal takové sloučeniny. Ten může s roztokem vyměňovat buď stříbrný kationt a chovat se tak jako stříbrná ISE nebo halogenidový anion a pracovat tak ve funkci halogenidové ISE. Pro chloridovou ISE elektrodu lze tedy využít chlorid stříbrný. Mez stanovitelnosti Cl^- iontů touto elektrodou je ve vodných roztocích určena součinem rozpustnosti AgCl , který má při 25°C hodnotu $K_{\text{S,AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$. Reálný měřicí rozsah (oblast lineární závislosti potenciálu této elektrody na $\log a_{\text{Cl}^-}$) je omezen na koncentrace Cl^- iontů v oblasti 1 až cca $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Při měření s touto ISE elektrodou ruší anionty, které tvoří se stříbrem méně rozpustné sloučeniny než AgCl zejména Br^- , I^- , S^{2-} či velmi stabilní komplexy např. CN^- . Pokud se v roztoku objevují uvedené anionty ve větší míře, může to znamenat velké nebezpečí pro funkčnost elektrody, neboť dochází ke konverzi AgCl na méně rozpustnou stříbrnou sloučeninu, nebo se naopak může monokrystal při dlouhodobém působení komplexujícího iontu rozpustit.

Rovnice pro závislost potenciálu chloridové ISE elektrody na koncentraci Cl^- iontů je opět variací na základní vztah:

$$E_{\text{Cl}^-} = \text{konst.} - (RT/F) \ln a_{\text{Cl}^-}$$

Konstanta v sobě zahrnuje konstrukční a fyzikálně chemické parametry elektrody dané výrobou zejména monokrystalu. Proto opět prvním krokem měření s chloridovou ISE elektrodou je její kalibrace.

Pomůcky a chemikálie:

Měřicí přístroj MV-870 Pracitronic (viz Použité přístrojové vybavení na konci této kapitoly) s chloridovou ISE elektrodou a argentchloridovou referenční elektrodou, 3 ks kádinka 100-150 ml, 3 ks kádinka 50 ml, roztok KCl o konc. $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, vzorky různých druhů vod.

Pracovní postup:

Před každým měřením je nutné důkladně opláchnout ISE elektrodu nejprve destilovanou vodou a poté měřeným vzorkem. Vzhledem k závislosti potenciálů elektrod na teplotě je vhodné provádět všechna měření při stejné teplotě, nejlépe po vytemperování v termostatu.

V první fázi provedeme zjištění kalibračního grafu závislosti potenciálu chloridové ISE na koncentraci Cl^- iontů v roztoku. Měření provádíme v kádince naplněné měřeným roztokem KCl o známé koncentraci, v níž je umístěna chloridová ISE elektroda a referenční elektroda. Proměříme alespoň 5 roztoků KCl o koncentračním rozpětí $0,1$ až $10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl (např. $0,1$; $0,03$; $0,01$; $0,003$; $0,001$; $0,0003$; $0,0001$).

Poté proměříme hodnoty vodivosti vzorků vod v pořadí: vysoce čistá demineralizovaná voda, destilovaná voda používaná v laboratoři, přírodní povrchová voda, pitná voda z veřejné vodovodní sítě, stolní minerální voda.

Naměřené hodnoty potenciálů zapíšeme do tabulky a podle kalibračního grafu přepočteme na koncentraci Cl^- iontů ve vzorcích a rovněž zapíšeme do tabulky.

Poznámka:

Do závěrečného protokolu vyhodnotíme kvalitu vzorků vod z hlediska stanovených ukazatelů znečištění podle příslušných zákonných norem (viz příloha).

Použité přístrojové vybavení:

Měřicí přístroj Multi 340i (fy WTW)

Měřicí přístroj WTW Multi 340i je univerzální mobilní elektrochemický měřicí přístroj s výměnnými senzorovými moduly umožňující měření pH, vodivosti a obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodných roztocích. Moduly umožňují současně měření teploty vzorku. Napájení přístroje obstarávají 4 ks alkalických baterií typu AA, resp. síťový napáječ.

Po zasunutí senzorového modulu do příslušné zdířky horního panelu přístroje se přístroj zapne stiskem hlavního vypínače (tlačítko s červeným symbolem kroužku). Měřicí mód se vybere automaticky podle použitého senzorového modulu. Pokud je zapojeno více elektrod, vybírá se měřicí metoda zeleně označeným tlačítkem **M**. Mezi jednotlivými módy měření v rámci dané metody lze přepínat tlačítky označenými šipkami. Vlastní měření se spouští tlačítkem **RUN/ENTER**.

Výsledek měření lze uložit do paměti přístroje stiskem tlačítka **STO**, následně **RUN/ENTER**, šipkou vybrat číslo, pod kterým se údaj uloží a uložení se dokončí stiskem **RUN/ENTER** (lze uložit až 500 výsledků). Z paměti můžeme výsledky vyvolat stiskem tlačítka **RCL** a výpis na displej se zahájí stiskem **RUN/ENTER**. Posun mezi uloženými výsledky umožňují tlačítka se šipkami.

Přístroj disponuje funkcí AutoRead, která kontroluje stálost měřeného signálu. Zapíná se tlačítkem **AR**, na displeji vpravo dole se objeví symbol AR v rámečku. Dokud se měřená hodnota neustálí, symbol na displeji bliká (v té době údaj na displeji neodpovídá měřené hodnotě). Funkci AutoRead lze kdykoliv přerušit stiskem **RUN/ENTER**.

Kalibrace přístroje se obecně provádí po stisku zeleně označeného tlačítka **CAL**, přičemž vlastní průběh kalibrace se řídí použitým měřicím modulem.

Měření s vodivostním modulem.

Do přístroje zasuneme senzorový modul pro měření vodivosti označený TetraCon 325. Po stisku zeleně označeného tlačítka **CAL** se na displeji zobrazí nápis CELL, poté stiskneme tlačítko **RUN/ENTER**. Opláchnuté a osušené vodivostní čidlo ponoříme do otevřené nádoby se standardním roztokem 0,01 M KCl a opět stiskneme **RUN/ENTER**. Jakmile se ustálí měřená hodnota, zobrazí přístroj stanovenou vodivostní konstantu cely a vyhodnocení kalibrace (obrázek cely). Pokud se zobrazí chybové hlášení E3, je kalibrace neplatná. V případě úspěšné kalibrace přepneme do měřicího módu zeleně označeným tlačítkem **M**. V oblasti teplot 0-50°C je použita automatická kompenzace teploty měřených vzorků.

Měření s pH modulem.

Do přístroje zasuneme senzorový modul pro měření pH označený SenTix 41. Po stisku zeleně označeného tlačítka **CAL** se na displeji zobrazí nápis Ct1. Opláchnuté a osušené pH čidlo ponoříme do otevřené nádoby se standardním pufrům pH=4 a poté stiskneme tlačítko **RUN/ENTER**. Jakmile se ustálí měřená hodnota, zobrazí přístroj nápis Ct2 a můžeme opakovat postup s druhým kalibračním pufrům pH=7 (nezapomeneme opláchnout a osušit elektrodu). Po ustálení této hodnoty přístroj zobrazí zjištěné kalibrační parametry a vyhodnocení kalibrace (obrázek elektrody - je-li tělo elektrody nevyplněné, je třeba elektrodu speciálně očistit). Pokud se zobrazí chybové hlášení E3, je kalibrace neplatná. V případě úspěšné kalibrace přepneme do měřicího módu zeleně označeným tlačítkem **M**. V oblasti teplot 0-50°C je použita automatická kompenzace teploty měřených vzorků.

Elektrodu uchovávat s čepičkou naplněnou 3 M roztokem KCl.

Měření s kyslíkovým modulem.

Před kalibrací je třeba připravit kalibrační nádobku OxiCal-SL (bílý tubus na elektrodě). Po povolení černé těsnící matky sundáme nádobku z elektrody. Otevřeme spodní víko tubusu nádobky (je pouze zasunuto) a destilovanou vodou navlhčíme molitanovou vložku (přebytečnou vodu nutno vylít). Víko vrátíme zpět na tubus, nádobku nasuneme na elektrodu a utáhneme matku.

Do přístroje zasuneme senzorový modul pro měření obsahu kyslíku označený Cellox 325, zasunutý v připravené kalibrační nádobce OxiCal-SL. Po stisku zeleně označeného tlačítka **CAL** se na displeji zobrazí nápis CAL, poté stiskem tlačítka **RUN/ENTER** zahájíme kalibraci. Po ustálení kalibrační hodnoty přístroj zobrazí zjištěné kalibrační parametry a vyhodnocení kalibrace (obrázek elektrody - je-li tělo elektrody nevyplněné, je třeba elektrodu vyčistit a naplnit elektrolytem). Pokud se zobrazí chybové hlášení E3, je kalibrace neplatná. V případě úspěšné kalibrace přepneme do měřicího módu zeleně označeným tlačítkem **M**. V oblasti teplot 0-50°C je použita automatická kompenzace teploty měřených vzorků.

Elektrodu uchováváme s nasunutou nádobkou OxiCal-SL se zvlčenou molitanovou vložkou.

Měřicí přístroj MV-870 Präcitronic

Měřicí přístroj MV-870 Präcitronic je stolní digitální pH-metr napájený ze sítě s vysokým vstupním odporem. Umožňuje podle typu připojených elektrod měření buď hodnoty pH roztoků nebo elektromotorického napětí měřících článků v mV s vysokou přesností.

Po zapnutí přístroje tlačítkem na zadním panelu přepneme přístroj buď na měření **pH** nebo napětí v **mV** příslušným tlačítkem na čelním panelu. Do zdírek na zadním panelu připojíme elektrody – indikační (měrnou) do zdířky označené **Glas**, referentní do zdířky **Referenz**. Elektrody ponoříme do roztoků (pozor na propojení solným můstkem) a stiskem tlačítka **M** zahájíme měření. Po ustálení displeje odečteme hodnotu potenciálu či pH a před vytažením elektrod z roztoků opět vypneme tlačítko **M**. Tlačítkem **STOP** můžeme zastavit displej a uchovat tak na něm naměřenou hodnotu do dalšího měření. Pomocí tlačítka rozsahu můžeme měnit citlivost mezi **±200 mV** a **±2000 mV**. Pro běžná měření postačuje rozsah **±2000 mV**.