

# Elektrochemické metody

Konduktometrie

Coulometrie

Potenciometrie, Iontově selektivní elektrody (ISE)

Voltametrie (Ampérometrie, Polarografie)

Biosenzory

**Petr Breinek**



# Elektrochemie

Elektrochemie se zabývá studiem závislosti elektrochemického chování roztoků na jejich koncentraci a složení.

Základem je práce s elektrodami a **elektrochemickými články** v roztoku.

**Elektroda** = heterogenní elektrochemický systém sestávající se z kovového vodiče (vede el.proud pomocí elektronů), který je v kontaktu s roztokem elektrolytu (vede el.proud prostřednictvím iontů)

Elektrochemický článek se skládá ze dvou poločlánků, tvořených např. kovovou elektrodou ponořenou do roztoku iontu elektrodového kovu.

Poločlánky jsou navzájem vodivě propojeny, např. solným můstkem.

V každém poločlánku se nachází oxidovaná a redukovaná složka, které spolu vytvářejí redox pár.

# Měřené elektrické veličiny

- Napětí (potenciál, potenciální rozdíl)
- Proud
- Náboj
- Vodivost

# Měřené analyty

- pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>
- Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>
- Glukóza, laktát, močovina, kreatinin,...
- Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Li<sup>+</sup>, ...
- Čistota vody
- Metanefríny, katecholaminy, ...

# Konduktometrie

Konduktometrie je elektroanalytická metoda, která umožňuje **měřením vodivosti** mezi dvěma elektrodami stanovovat koncentraci rozpuštěných látek.

Vodivost závisí na:

- koncentraci rozpuštěných látek v roztoku
- teplotě
- ploše a vzdálenosti elektrod

Vodivost ( $G$ ) je reciproká hodnota odporu ( $G = 1/R$ )

Jednotka: S (siemens)

Elektrický proud je úměrný vodivosti

Ohmův zákon

$$R = \frac{U}{I}$$

# Měrná vodivost

Jednotka:  $S \cdot m^{-1}$  (siemens/metr )

Použití: **kontrola čistoty vody**

destilovaná $H_2O$	$1 \mu S \cdot m^{-1}$
$H_2O$ pro HPLC	$0,1 \mu S \cdot m^{-1}$

**počítání krevních buněk v průtokových cytometrech (hematologie),....**



# Coulometrie

Coulometrie je elektroanalytická metoda, při které se **měří velikost elektrického náboje** (Q, coulomb) procházející mezi dvěma elektrodami.

Velikost elektrického náboje je přímo úměrná oxidaci nebo redukci stanovované látky na jedné z elektrod. Přenesený náboj je úměrný množství stanovované látky (Faradayův zákon)

$$Q = z \cdot a \cdot F$$

Q (množství přeneseného elektrického náboje)

z (počet přenesených elektronů při redox reakci)

a (množství stanovované látky v molech)

F (Faradayova konstanta, 96487 coulomb/mol)



# Oxidace a redukce

- **Oxidace** je děj, při kterém dochází ke zvyšování oxidačního čísla částice



**ANODA**

- **Redukce** je děj, při kterém dochází ke snižování oxidačního čísla částice



**KATODA**

# Příklad: Stanovení chloridů (coulometricky)

**Anoda: Ag** (přeměna/oxidace Ag na Ag<sup>+</sup>)

**Katoda: Pt** (redukce H<sup>+</sup> na plynný vodík)

Mezi anodu a katodu je vložen konstantní proud (I):  
potom  $Q = I \cdot t$

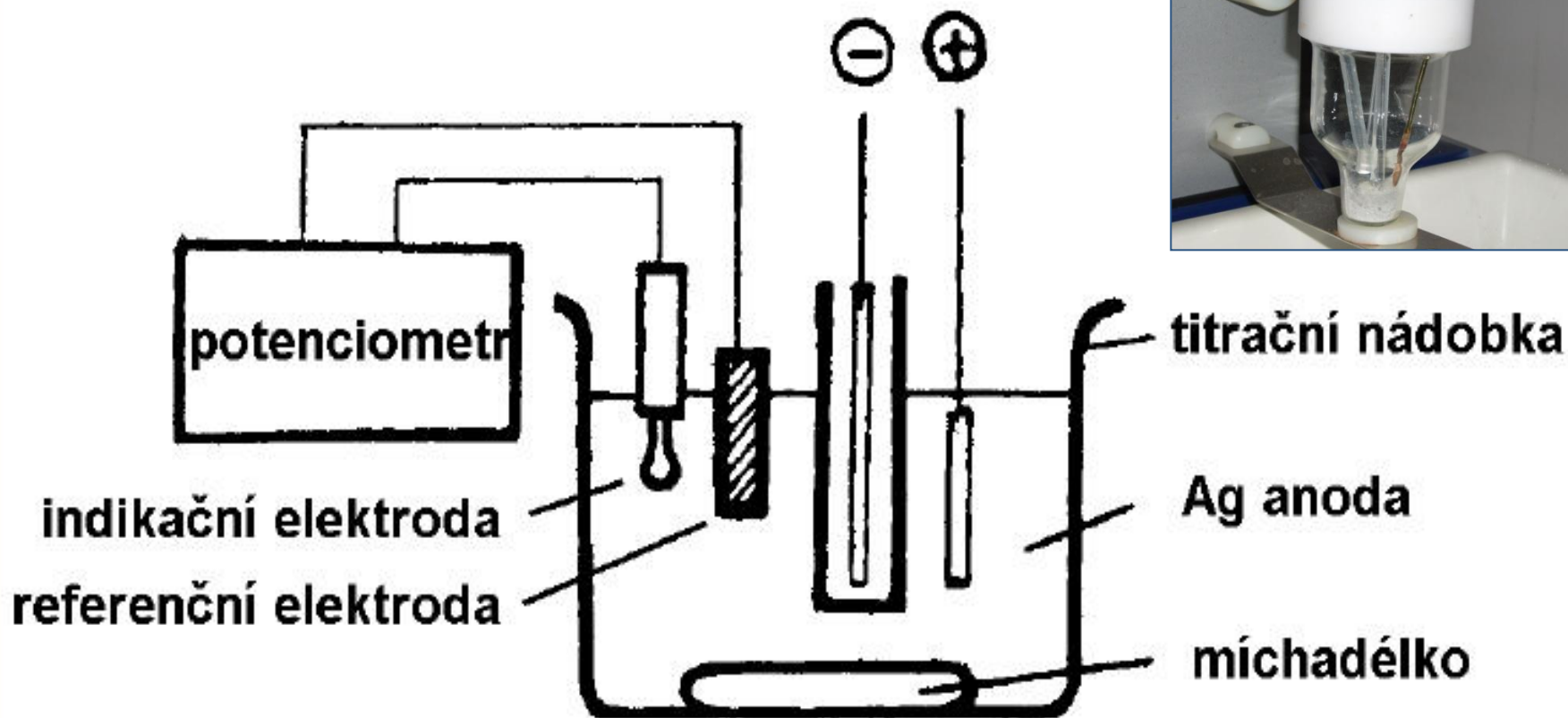
(coulomb = ampéry . čas)

Uvolněné Ag<sup>+</sup> z anody reagují s Cl<sup>-</sup> v analyzovaném vzorku  
za vzniku AgCl ( $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$ )

V okamžiku, kdy jsou všechny Cl<sup>-</sup> vázány v AgCl, dojde k prudkému nárůstu proudu způsobenému uvolněnými Ag<sup>+</sup>, titrace se zastaví.

Koncentrace Cl<sup>-</sup> se vypočítá z doby titrace (čas)

# Chloridový titrátor- schema měření



# Potenciometrie

Potenciometrie je elektroanalytická metoda založená na měření rozdílu elektrického potenciálu (napětí) mezi dvěma elektrodami (oxidačně-redukční reakce) při nulovém elektrickém proudu.

Elektrodou rozumíme kontakt dvou nebo více navzájem nemísitelných fází, na jejichž rozhraní může docházet k redoxním reakcím nebo výměně elektricky nabitých částic. Výsledkem je potenciálový rozdíl mezi fázemi.

# Elektrody

## Referenční elektrody (porovnávací, vztažné)

konstantní potenciál

vodíková elektroda	( $E = 0 \text{ V}$ )	Pt/vodík
kalomelová elektroda	( $E = 0,242 \text{ V}$ )	Hg/kalomel
argentchloridová elektroda		Ag/AgCl

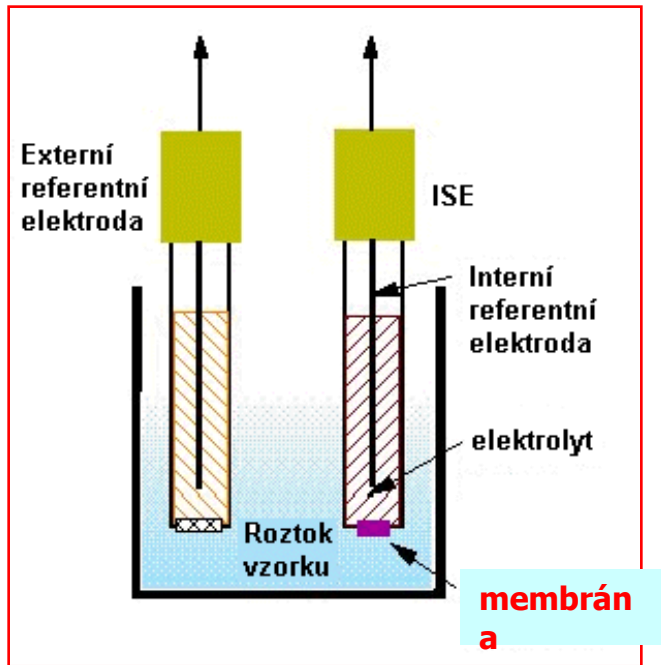
## Indikační elektrody (měřicí)

Nejčastěji ISE elektrody

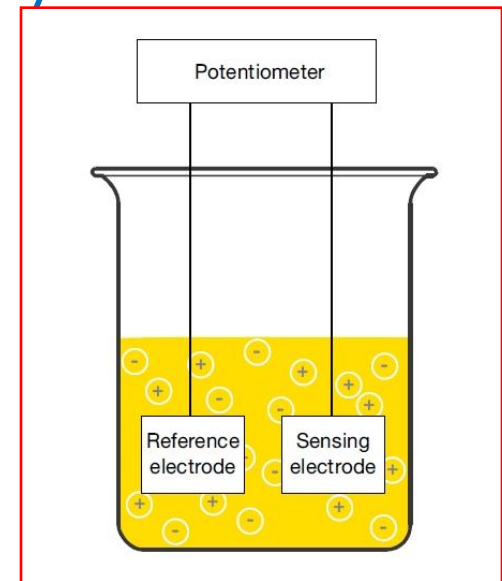
skleněná elektroda ( $\text{H}^+ = \text{pH}$ ,  $\text{Na}^+$ )

PVC membránové elektrody ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$ )

# Iontově selektivní elektrody



**Selektivitou** ISE se rozumí, že membránový potenciál není závislý jen na aktivitě jediné elektricky nabitě částice v proměřovaném roztoku, ale že na jeho hodnotě se mohou podílet i další ionty.



# Iontově selektivní elektrody (ISE)

Membrány s iontově-výměnnými místy

- Skleněné ( $H^+$ ,  $Na^+$ )
- S polymerní membránou ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $NH_3$ )
- Kapalné ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ )
- Biosenzory (močovina, glukóza, laktát,...)
- Krystalické

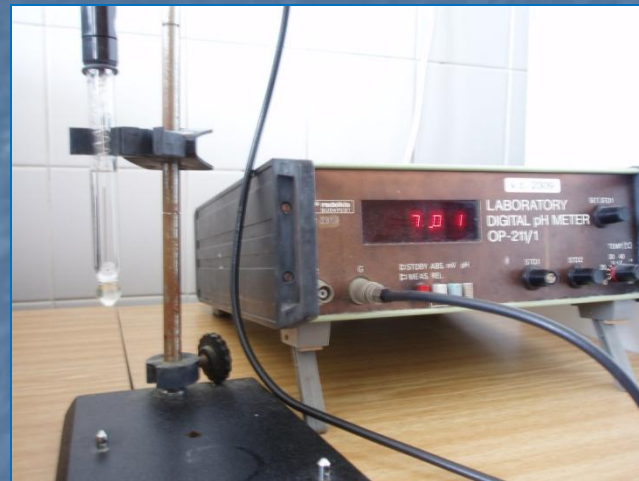
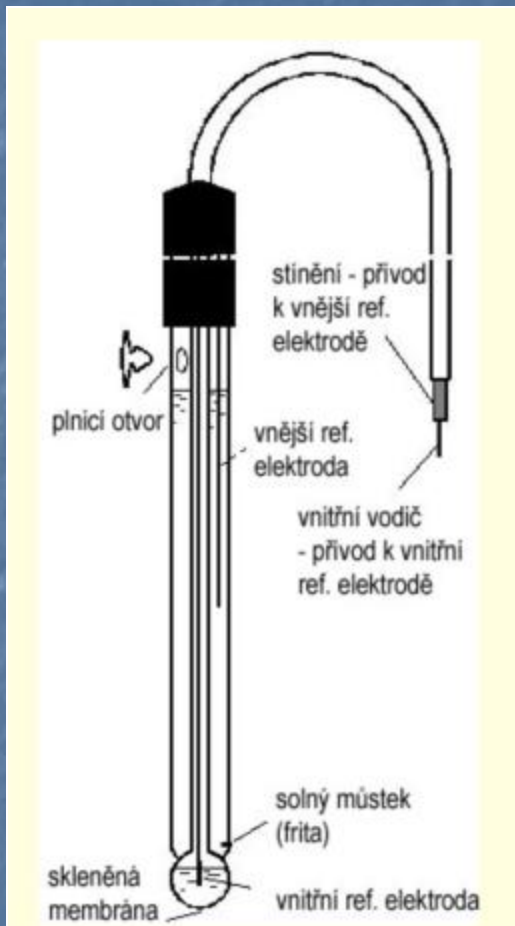
**Skleněná elektroda** je tvořena tenkou skleněnou membránou, která z jedné strany obsahuje argentchloridovou elektrodu a pufr o konstantní hodnotě pH a z druhé strany je prostředí měřeného vzorku.

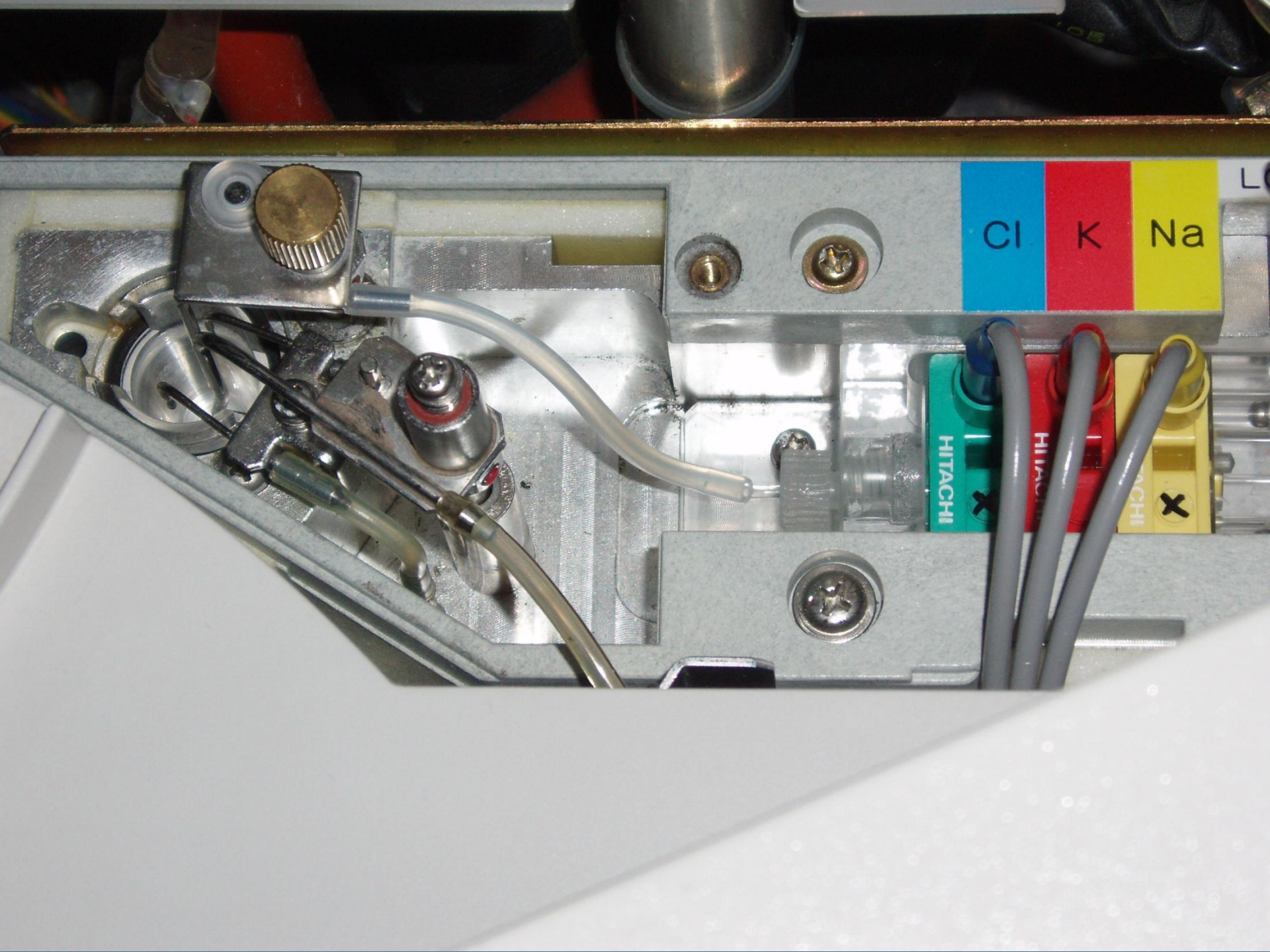
Na fázových rozhraních vzniknou potenciálové rozdíly, které se měří pomocí referenční elektrody.

**Potenciál vzniká výměnou iontů mezi roztokem a membránou** (iontově selektivní elektroda, ISE).



# Měření pH, skleněná elektroda



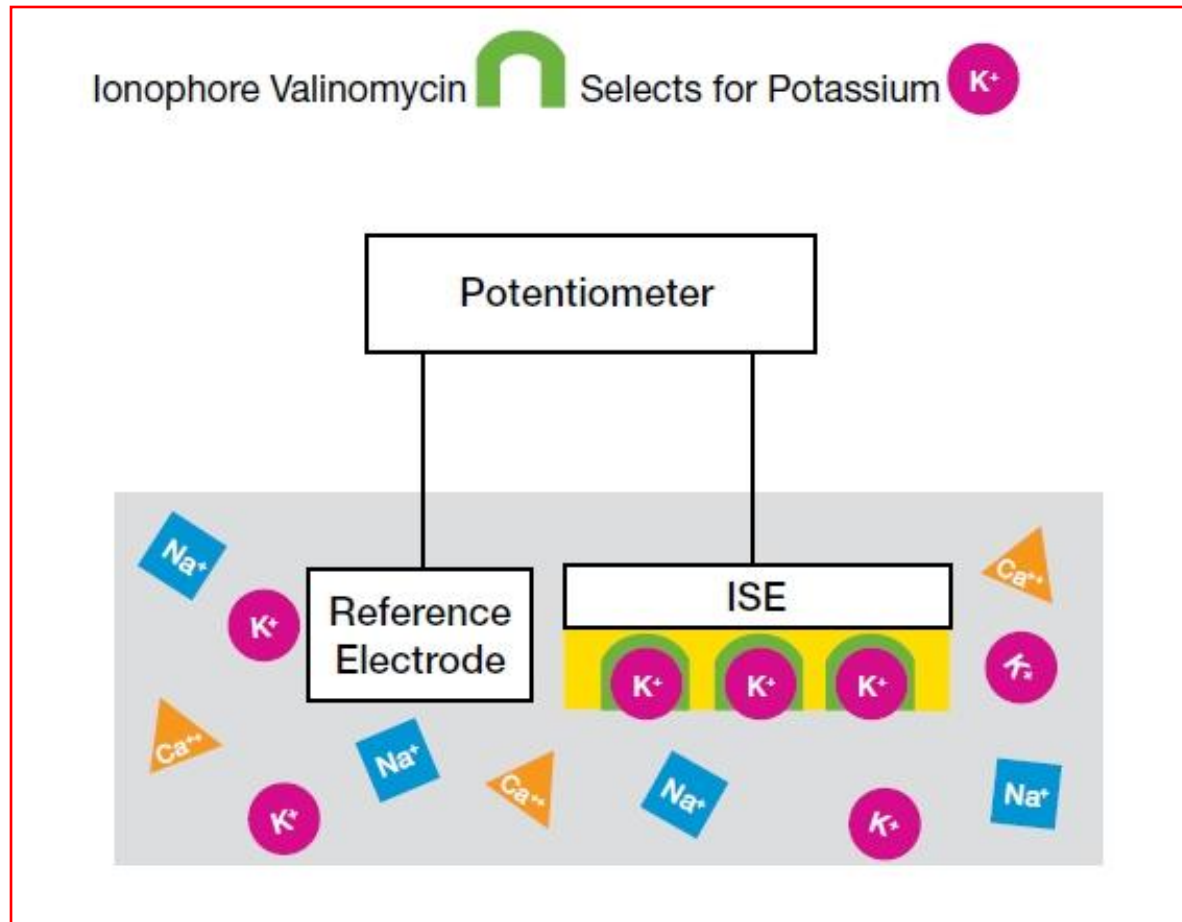


Cl K Na

HITACHI X  
HITACHI X  
HITACHI X

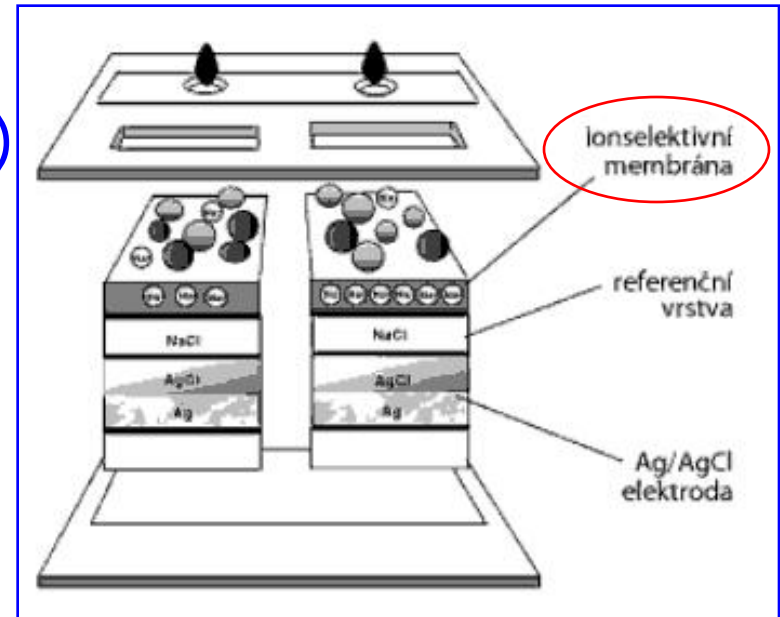
# ISE: stanovení $K^+$

✓ Iontově selektivní membrána obsahuje specifický nosič draselných iontů, kterým je neionogenní makrocyclické **antibiotikum valinomycin** rozpuštěné v dioktyladipátu na porézním PVC nosiči. Jako nosič může sloužit také teflon



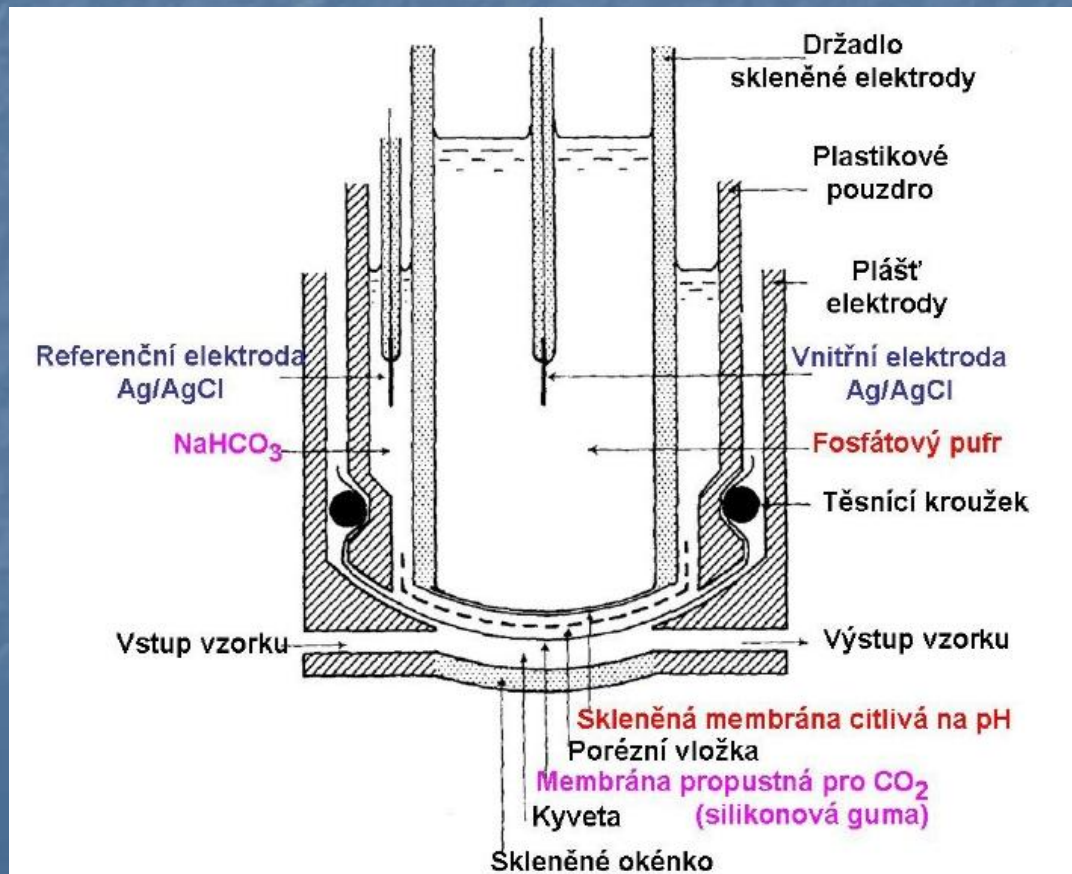
# ISE: stanovení $\text{Na}^+$

- ✓ Skleněná elektroda
- ✓ Dále se používají tzv. „crown“ étery integrované do plastové membrány
- ✓ Směs několika ionoforů („koktail“)
- ✓ Stanovení  $\text{Na}^+$  v pevné fázi



# Elektroda na měření CO<sub>2</sub> (Severinghaus)

- Modifikovaná pH elektroda
- Skleněná elektroda oddělena od měřeného prostředí membránou propouštějící CO<sub>2</sub>



# Biosenzory

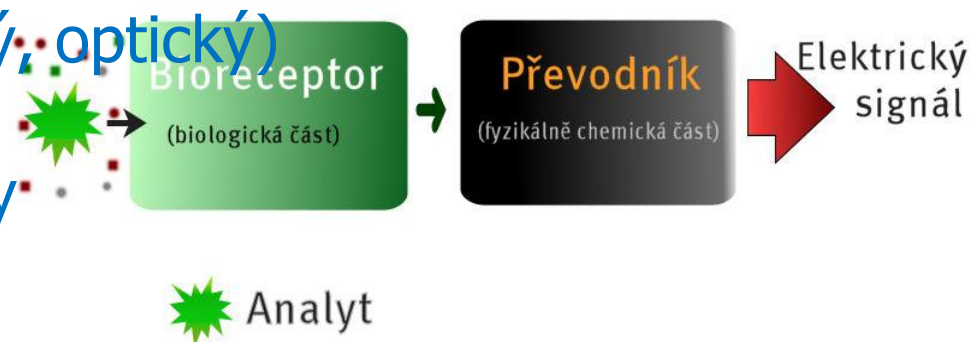
**Biosenzor** je analytický přístroj, v principu ISE, obsahující **bioreceptor** a fyzikálně-chemický **převodník**.

**Bioreceptory** jsou molekuly, často enzymy, které rozpoznávají látku, která má být analyzována. Důležitou částí je i nosič bioreceptoru.

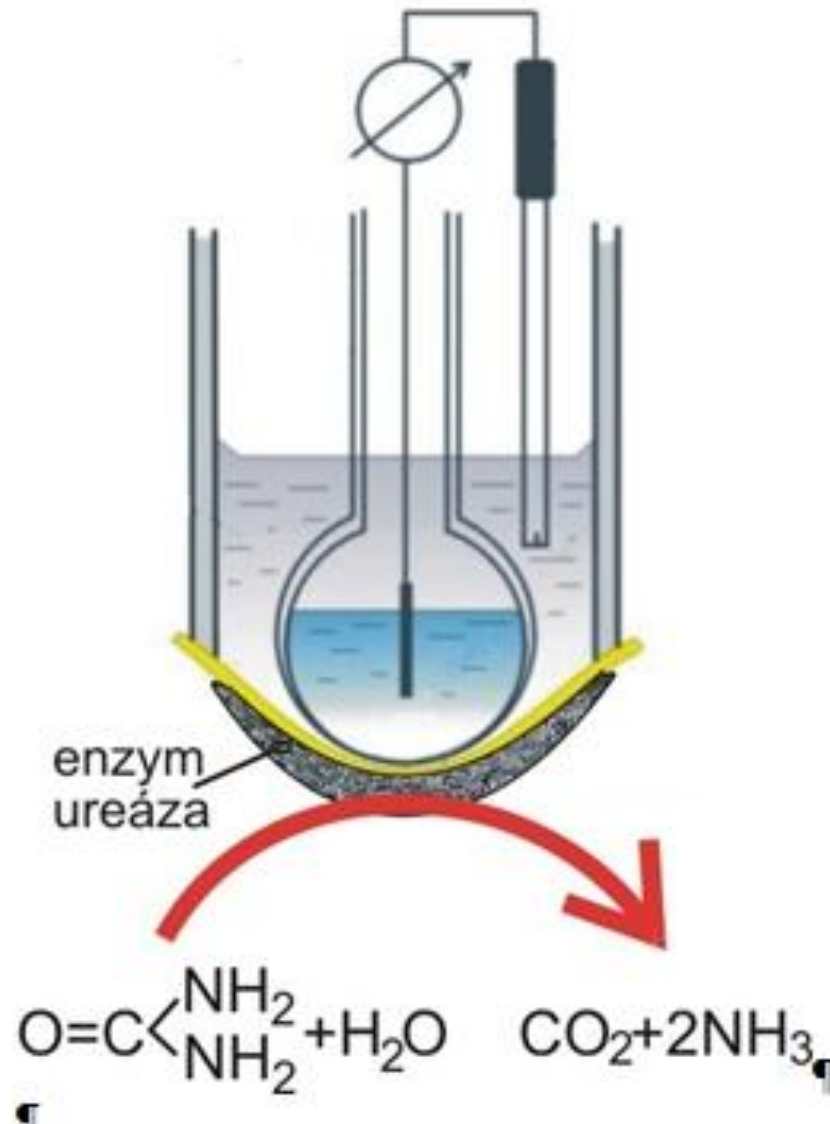
- Biokatalytické
- Bioafinitní (imunosenzory)

**Převodník** (elektrochemický, optický)

- potenciometrické biosenzory
- amperometrické biosenzory



# Stanovení močoviny (biosenzor)



# Voltametrie

Ampérometrie je elektroanalytická metoda založená na měření změn mezi proudem a napětím při změně potenciálu indikačních elektrod.



# Ampérometrie

Ampérometrie je elektroanalytická metoda založená na měření elektrického proudu při konstantním napětí.

Využívá se skutečnosti, že některé látky mohou být oxidovány nebo redukovány na inertní kovové elektrodě, na kterou je vložen určitý elektrický potenciál, ten způsobí buď oxidaci nebo redukci, výsledkem je elektrický proud, který se měří.

# Polarografie

Polarografie je elektrochemická analytická metoda založená na **měření změn elektrického proudu** (intenzity elektrického proudu) v roztoku s různými ionty **při plynule se zvyšujícím napětím** pomocí dvojice rtuťových elektrod

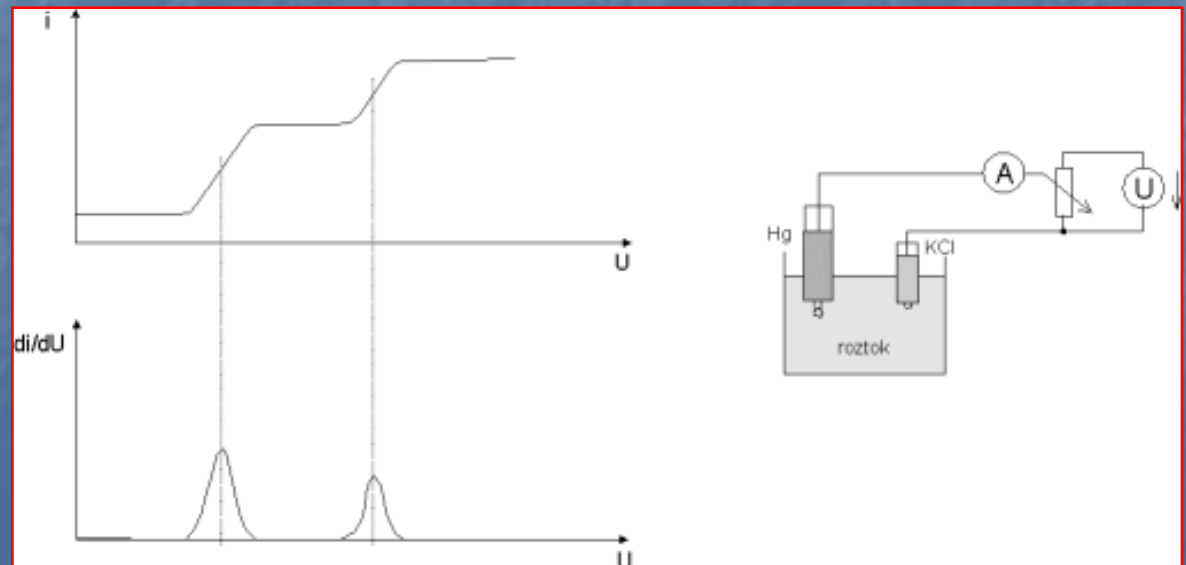
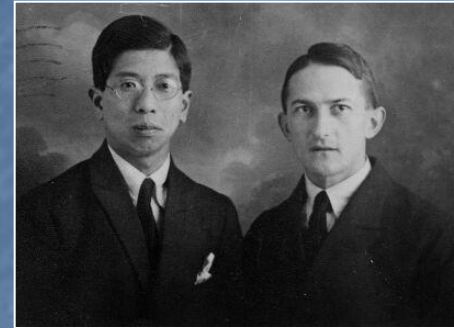
Indikační elektroda (**kapková Hg elektroda**, polarizovatelná = změna potenciálu vlivem proudu)

**Hg - elektroda** (vrstva Hg)

# Prof. Ing. Jaroslav Heyrovský

objevitel polarografie

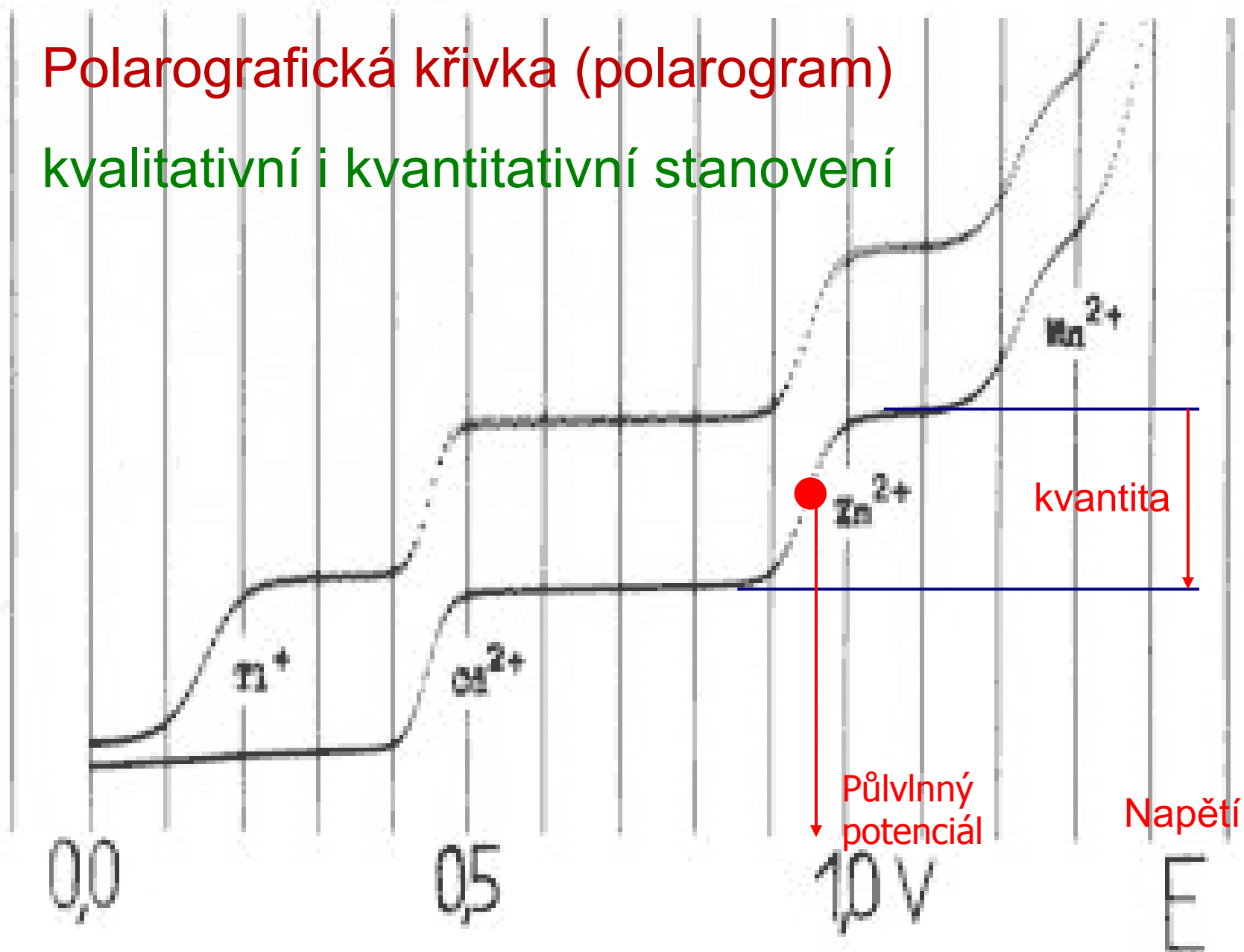
za svůj objev z roku 1922  
obdržel v roce 1959 Nobelovu cenu



Proud

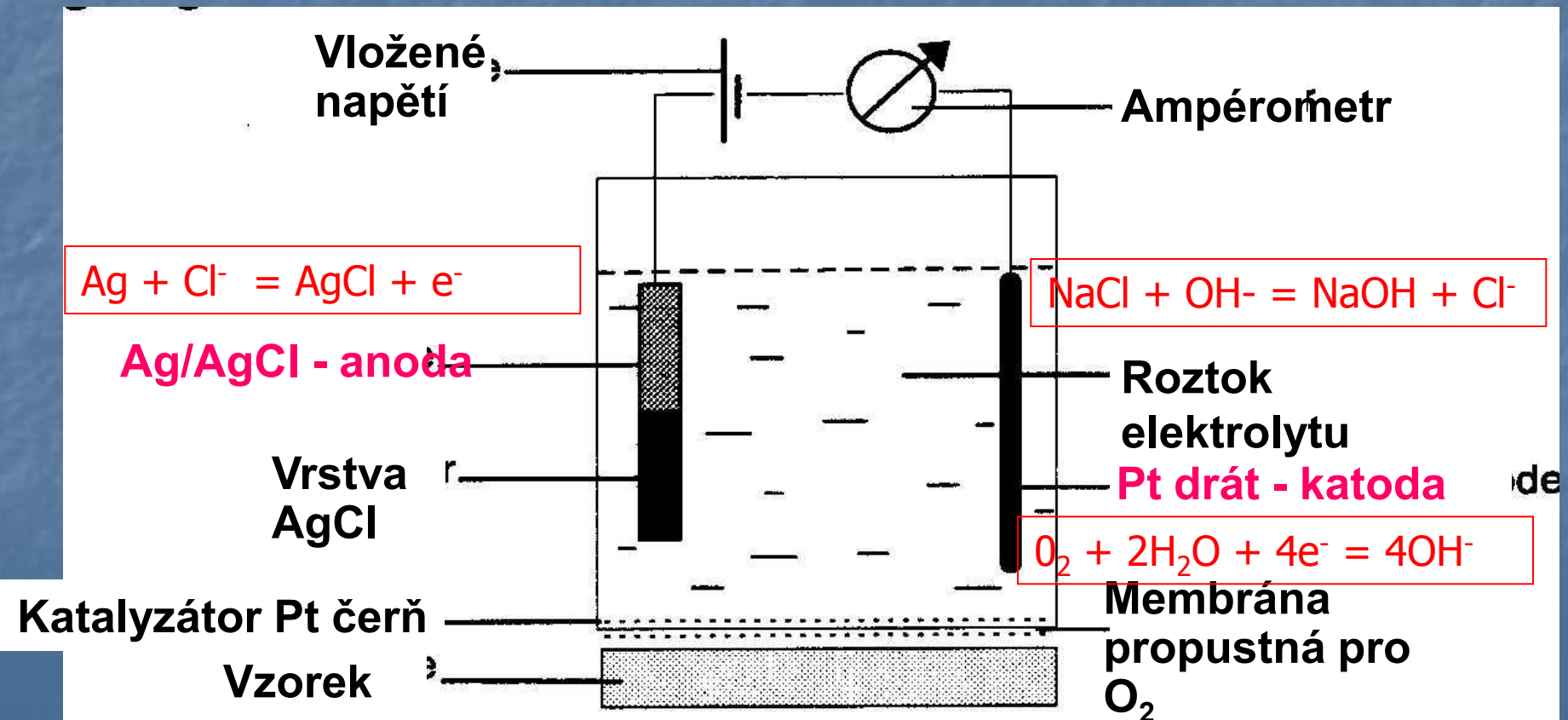
Polarografická křivka (polarogram)

kvalitativní i kvantitativní stanovení

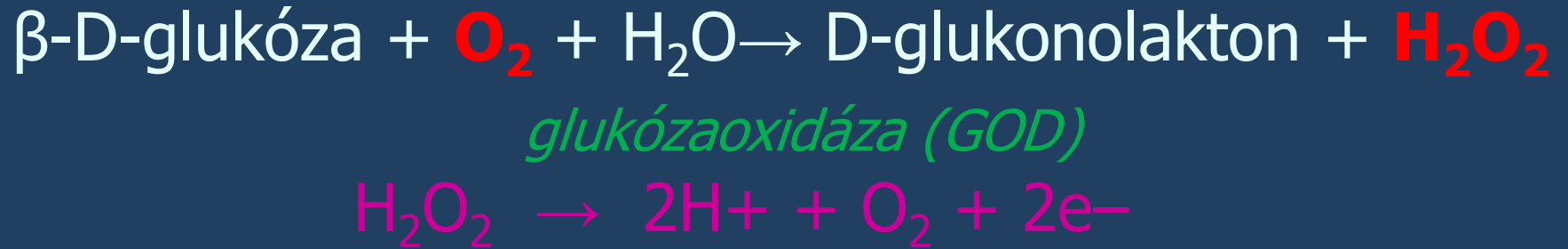


# Kyslíková elektroda – měření O<sub>2</sub> (Clark)

- Měření proudu za konstantního potenciálu  
(-630mV = redukční potenciál O<sub>2</sub>)
- Proud je mírou koncentrace stanovovaného analytu  
(změna proudu je úměrná počtu molekul O<sub>2</sub>)



# Biosenzory: stanovení glukózy



## 1. Stanovení $\text{H}_2\text{O}_2$

- přímá oxidace leukobází na barevné produkty
- oxidační kopulace mezi aromatickými aminy a fenoly katalyzovaná peroxidázou (POD)
- elektrooxidace  $\text{H}_2\text{O}_2$  - ampérometrická detekce signálu

## 2. Měření úbytku $\text{O}_2$ – ampérometrická detekce pomocí Clarkovy elektrody

3. Ampérometrické měření signálu s novými elektronovými akceptory elektronů místo kyslíku, tzv. mediátory (ferroceny, chinony)

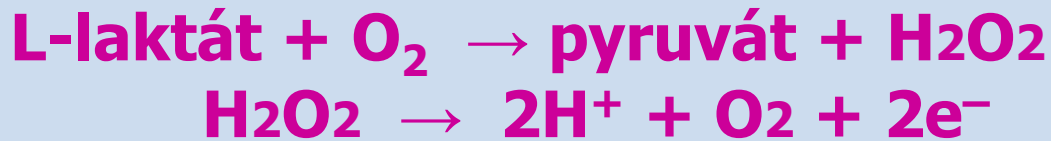
# Glukosový a laktátový analyzátor EBIO plus - Eppendorf



# Biosenzory: stanovení laktátu

## a) Polarografie (amperometrie)

Měrná elektroda je potažena **laktát oxidázou** (odtud název „laktátová“ elektroda). Při konstantním potenciálu (přepětí) je vzniklý proud úměrný koncentraci peroxidu vodíku.



Elektroda je vlastně modifikací Clarkovy kyslíkové elektrody.

Laktátový senzor obsahuje většinou čtyři elektrody:

- platinovou měrnou elektrodu potaženou laktát oxidázou
- srovnávací argentchloridovou elektrodu
- platinovou elektrodu určenou ke stabilizaci konstantního potenciálu
- platinovou elektrodu bez enzymu sloužící ke stanovení interferujících látek