

# Metody elektroanalytické

## Důležité veličiny

- proud  $I$  (ampér - A)
- náboj  $Q$  (coulomb - C)
- napětí, potenciál  $U$ ,  $E$ ,  $\varphi$   
(volt - V)
- odpor  $R$  (ohm -  $\Omega$ ),  
vodivost  $G$  (siemens - S)
- teplota  $T$  (K), látkové množství  $n$  (mol)

$$Q = \int_0^t I dt$$

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- **isolant - materiál, který nevede elektrický proud**
- **vodiče - schopnost vést elektrický proud**
  - **1. druh - přenašeče - elektrony**
    - **KOVY**
  - **2. druh - přenašeče - ionty**
    - **ELEKTROLYTY**
- **polovodiče - páry „elektron-díra“**

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy - transportní děje

- **pohyb částic v roztocích (elektrolytů)**
  - **migrace (iontů)** - pohyb nabitých částic
    - **vliv elektrického pole**
  - **difuze**
    - **děj řízený koncentračním spádem**
  - **konvekce**
    - **transport účinkem vnějších mechanických sil**

# Metody elektroanalytické

- **pohyb částic v roztocích**

- **migrace**

- **vliv elektrického pole**

- „orientovaný“ **transport nabitých částic - iontů**

- » vznik proudu  $I$

- » potenciálový rozdíl  $\Delta\varphi$

- » odpor elektrolytu  $R$  (**vodivost  $G$** )

$$\Delta\varphi = R I$$

$$R = 1/G = (\rho b) / A$$

$\rho$  - měrný odpor,  $b$  - délka sloupce vodiče  
o základně  $A$

# Metody elektroanalytické

- **pohyb částic v roztocích**

- **migrace**

- $\Delta\varphi / b = \rho I / A$

- ↗ a tedy gradient potenciálu („spád“)

- ↗  $|\text{grad } \Delta\varphi| = \rho J$

- ↗ kde  $J$  je proudová hustota

- ↗  $\gamma = 1/\rho$  je měrná vodivost

# Metody elektroanalytické

- pohyb částic v roztocích
  - migrace
    - vodivost roztoku elektrolytu
      - funkcí koncentrace iontů
  - pro jednotlivou látku
    - » molární vodivost  $\Lambda$
    - »  $\Lambda = \gamma / (1000) c$
    - »  $\Lambda^0$  - molární vodivost při nekonečném zředění

# Metody elektroanalytické

- **pohyb částic v roztocích**

- migrace

- **molární vodivost  $\Lambda$**

- » *iontové molární vodivosti  
kationtů a aniontů*

**silný elektrolyt  $A_m B_n$**

$$\Lambda^0 = m \lambda_{A}^0 + n \lambda_{B}^0$$

**Kohlrauschův zákon**

**o nezávislé migraci iontů**

# Metody elektroanalytické

- **pohyb částic v roztocích**

- **migrace**

- **slabý elektrolyt AB**

- *nutno uvažovat jeho neúplnou disociaci*
    - *disociační konstanta*

$$K_{AB} = \frac{[A][B]}{[AB]} = \frac{\Lambda^2 c}{\Lambda^0 (\Lambda^0 - \Lambda)}$$

- $\Lambda^0(\text{HAc}) = \Lambda^0(\text{NaAc}) + \Lambda^0(\text{HCl}) - \Lambda^0(\text{NaCl})$



# Metody elektroanalytické

- **pohyb částic v roztocích**

- migrace

- molární vodivost  $\Lambda$

- » *závisí i na typu rozpouštědla (jeho permitivitě)*

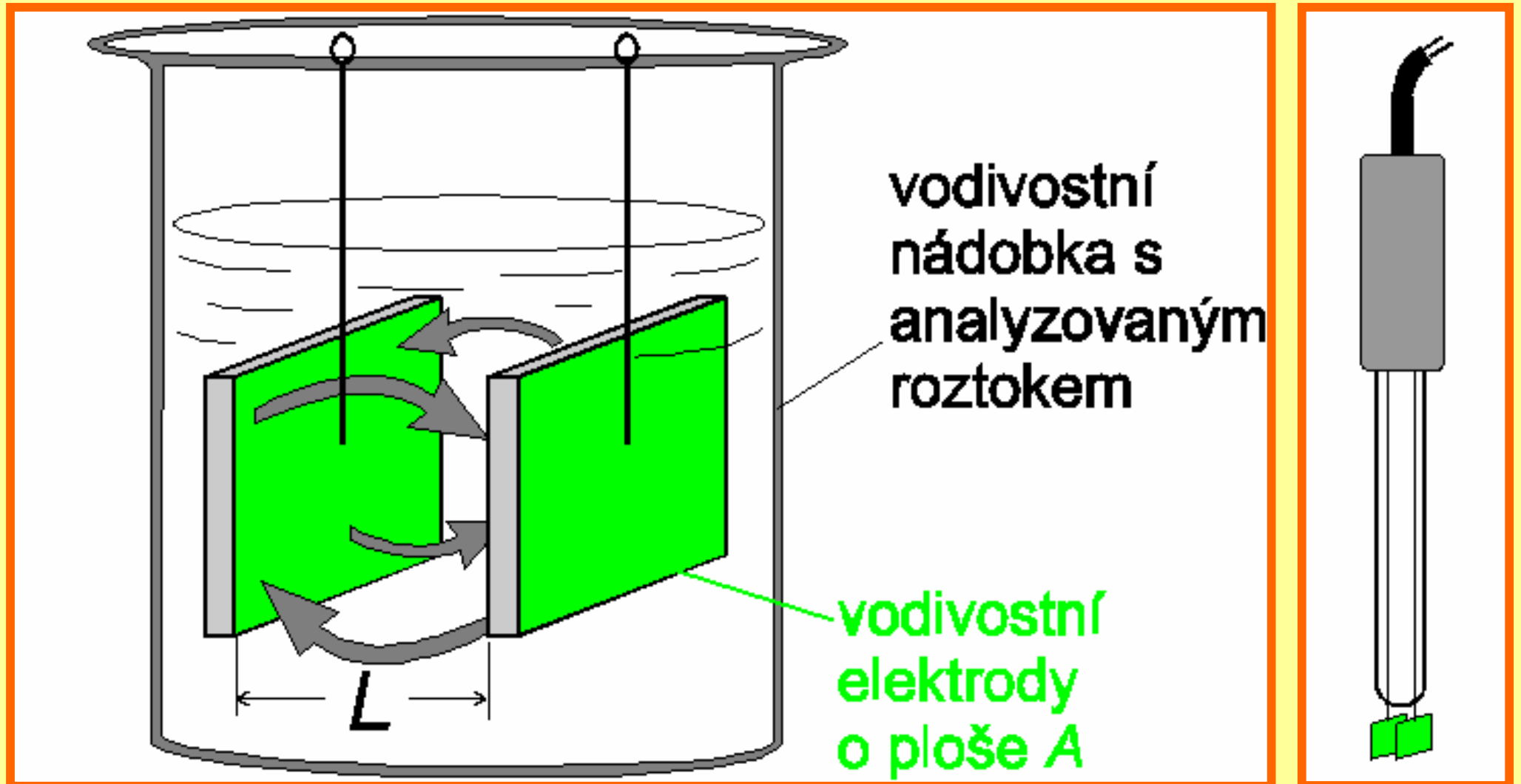
- » *vznik iontových asociátů v méně polárních rozpouštědlech*

- měření vodivosti -

- KONDUKTOMETRIE**

# Metody elektroanalytické

**Konduktometrie** - nesledujeme elektrodové reakce  
- „pouze“ migrace iontů



# Metody elektroanalytické

## Konduktometrie - neselektivní metoda

- konduktometrické cely, konduktometry
- vkládání střídavého napětí na dvojici inertních elektrod (platinové)
  - VHODNÁ VELIKOST a VZDÁLENOST elektrod dle míry vodivosti roztoku
  - eliminace polarizace elektrod
  - eliminace elektrolýzy roztoku
  - eliminace vytváření koncentračních gradientů
  - pro přesná měření - stabilizace teploty

# Metody elektroanalytické

## Konduktometrie

- **přímá konduktometrie**
  - přímé zjišťování koncentrace analytu na základě změření vodivosti roztoku - **KONTROLA ČISTOTY VODY**
    - **DETEKCE V ELEKTROSEPARAČNÍCH METODÁCH**
  - nutná kalibrace před vlastním měřením
    - měření roztoku známého elektrolytu a známé koncentraci při stabilizované teplotě (určení odporové konstanty vodivostního článku)
- **konduktometrické titrace**
  - změny vodivosti během titrace
  - určení bodu ekvivalence - „průsečík lineárních větví“

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy - transportní děje

- pohyb částic v roztocích

- difuze

- děj řízený koncentračním spádem

- rychlost transportu úměrná rozdílu koncentrací

- USTÁLENÁ LINEÁRNÍ DIFUZE

- » 1. Fickův zákon - transport látky v čase

$$\frac{dn}{dt} = -AD \frac{dc}{dx}$$

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy - transportní děje

- pohyb částic v roztocích

- difuze

- děj řízený koncentračním spádem

- USTÁLENÁ LINEÁRNÍ DIFUZE

- » **2. Fickův zákon** - koncentrační gradient  
v čase

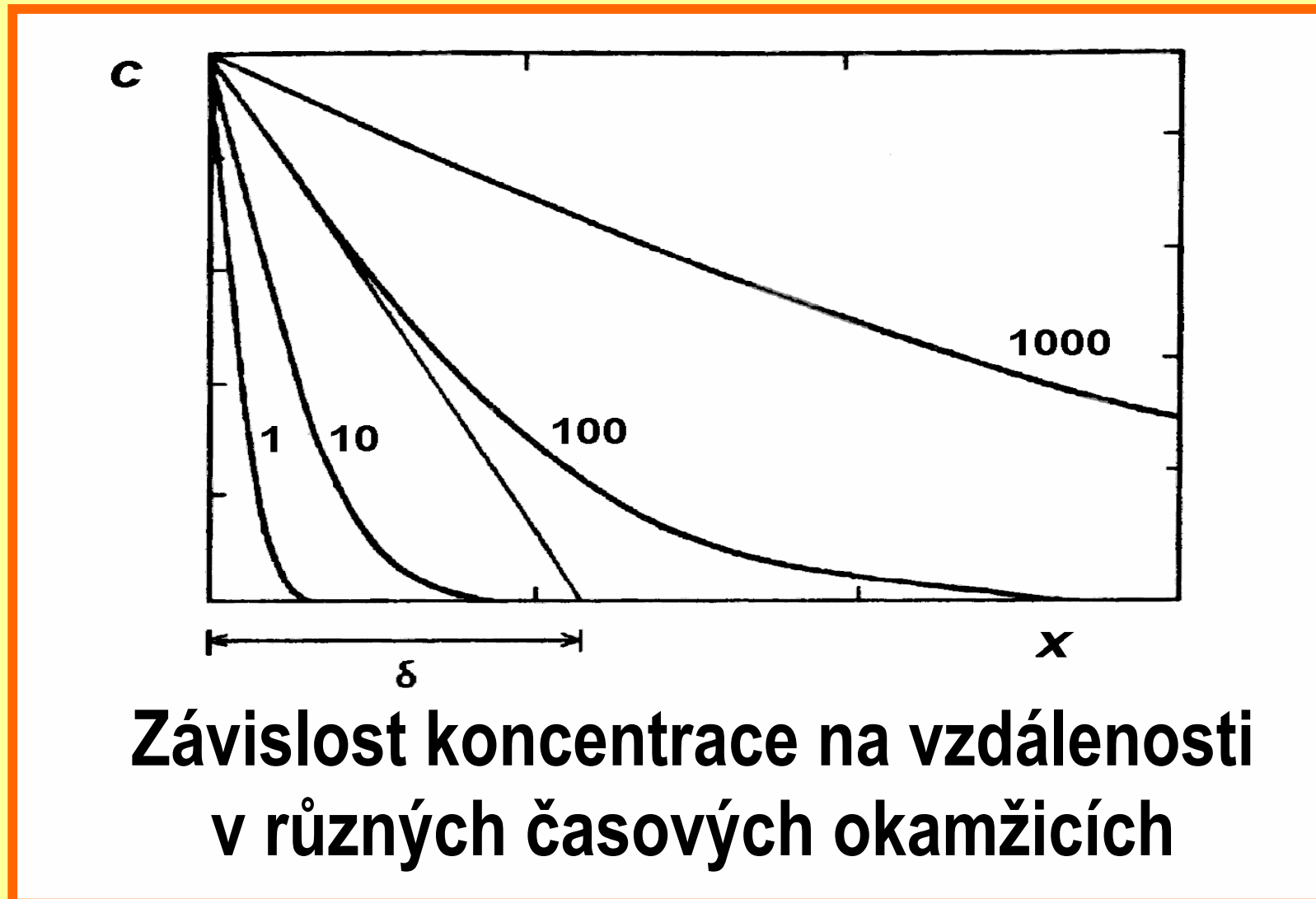
- v určitém místě

$$\left( \frac{dc}{dx} \right)_{x=0} = \frac{c^0}{\sqrt{\pi Dt}}$$

# Metody elektroanalytické

**difuse** - děj řízený koncentračním spádem

» USTÁLENÁ LINEÁRNÍ DIFUSE



# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy - transportní děje

- pohyb částic v roztocích

- difuze

- děj řízený koncentračním spádem

- USTÁLENÁ LINEÁRNÍ DIFUSE

- » vzniká DIFUSNÍ VRSTVA

- o efektivní tloušťce

$$\delta = \sqrt{\pi Dt}$$



# **Metody elektroanalytické**

## **Základní pojmy - transportní děje**

- **pohyb částic v roztocích**

- **konvekce**

- **transport účinkem vnějších mechanických sil**

- **míchání**

- **třepání**

- **pohyb daný odlišnou hustotou různých částí soustavy**

- **systemy míchané/třepané**

- **systemy nemíchané**

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- **elektroda (poločlánek)**

- soustava tvořená vodivými, vzájemně se dotýkajícími fázemi - pevnými, kapalnými nebo plynnými, na styku fází (fázových rozhraních) i uvnitř fází se mohou pohybovat ionty, elektrony i molekuly, mohou zde probíhat chemické reakce, vodivost jednotlivých fází je odlišná
- soustava tvořená vodičem 1.druhu a 2.druhu, mezi nimiž může komunikovat nabitá částice (ion nebo elektron)

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- **elektroda (poločlánek)**

- kontakt dvou či více nemísitelných fází, na fázovém rozhraní - redoxní reakce, výměna nabitých částic, čehož výsledkem je potenciálový rozdíl mezi fázemi
- **FYZICKÁ REALIZACE tohoto KONTAKTU**
  - někdy za elektrodu považována pouze jedna vodivá fáze v KONTAKTu s elektrolytem

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

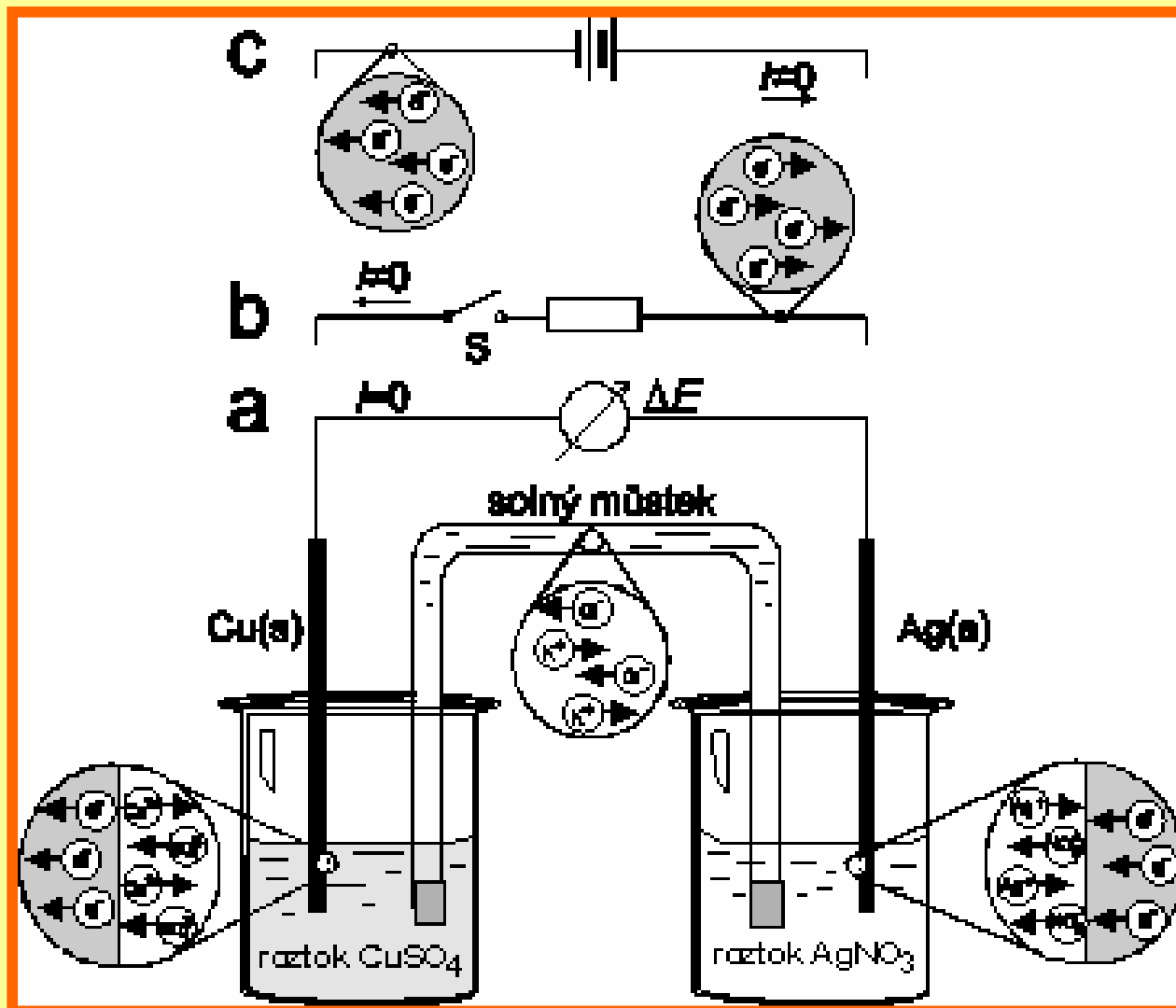
- **elektroda (poločlánek)**
  - měrná - pracovní - indikační
  - referentní - srovnávací
  - pomocná
  
  - anoda - probíhá na ní oxidace
  - katoda - probíhá na ní redukce
  
  - **1. druhu** - např. kov a jeho ionty v roztoku
  - **2. druhu** - např. kov, málo rozpustná sůl, anion v roztoku
  - **redoxní elektrody** - redox pár v roztoku
  - **membránové elektrody - ISE**

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- **minimálně dva spojené poločlánky**
  - **ČLÁNEK (elektrochemický) - CELA**
    - **s probíhající spontánní chemickou reakcí - GALVANICKÝ ČLÁNEK**
      - **článková reakce - redox reakce (součet dvou poloreakcí)**
    - **SCHÉMA (ZÁPIS) ČLÁNKU**
      - » **složení a skupenství fází**
      - » **fázová rozhraní**
      - » **solné můstky (kapalinový potenciál)**

# Metody elektroanalytické



# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- při nulovém proudu měříme rovnovážné napětí článku (elektromotorické napětí) /EMF/
  - všechny přenosy náboje fázovými rozhraními a všechny probíhající reakce jsou v rovnovážném stavu
  - $\Delta E = E_{\text{pravá}} - E_{\text{levá}} = E_K - E_A$  (pro galvanický článek)
    - $\Delta E > 0$  (galvanický článek - samovolný děj)
    - $\Delta E < 0$  (elektrolýza - vynucený děj)

# Metody elektroanalytické

## Základní pojmy

- Definice – potenciál elektrody  $M^{n+}/M^0$  je dán napětím článku
  - Pt,  $H_2$  ( 101 kPa) |  $H^+$  (a=1) ||  $M^{n+}$  |  $M^0$
  - potenciály elektrod jsou vztažené ke standardní vodíkové elektrodě
  - pro praktické účely se potenciály vyjadřují i vůči jiným referentním elektrodám
    - např. vs. SCE (standardní kalomelová elda)



# **Metody elektroanalytické**

## **Základní pojmy - potenciály**

- potenciály standardní**
  - používáme aktivity**
  
- potenciály formální**
  - používáme koncentrace**
  - musíme definovat složení soustavy**

# Metody elektroanalytické

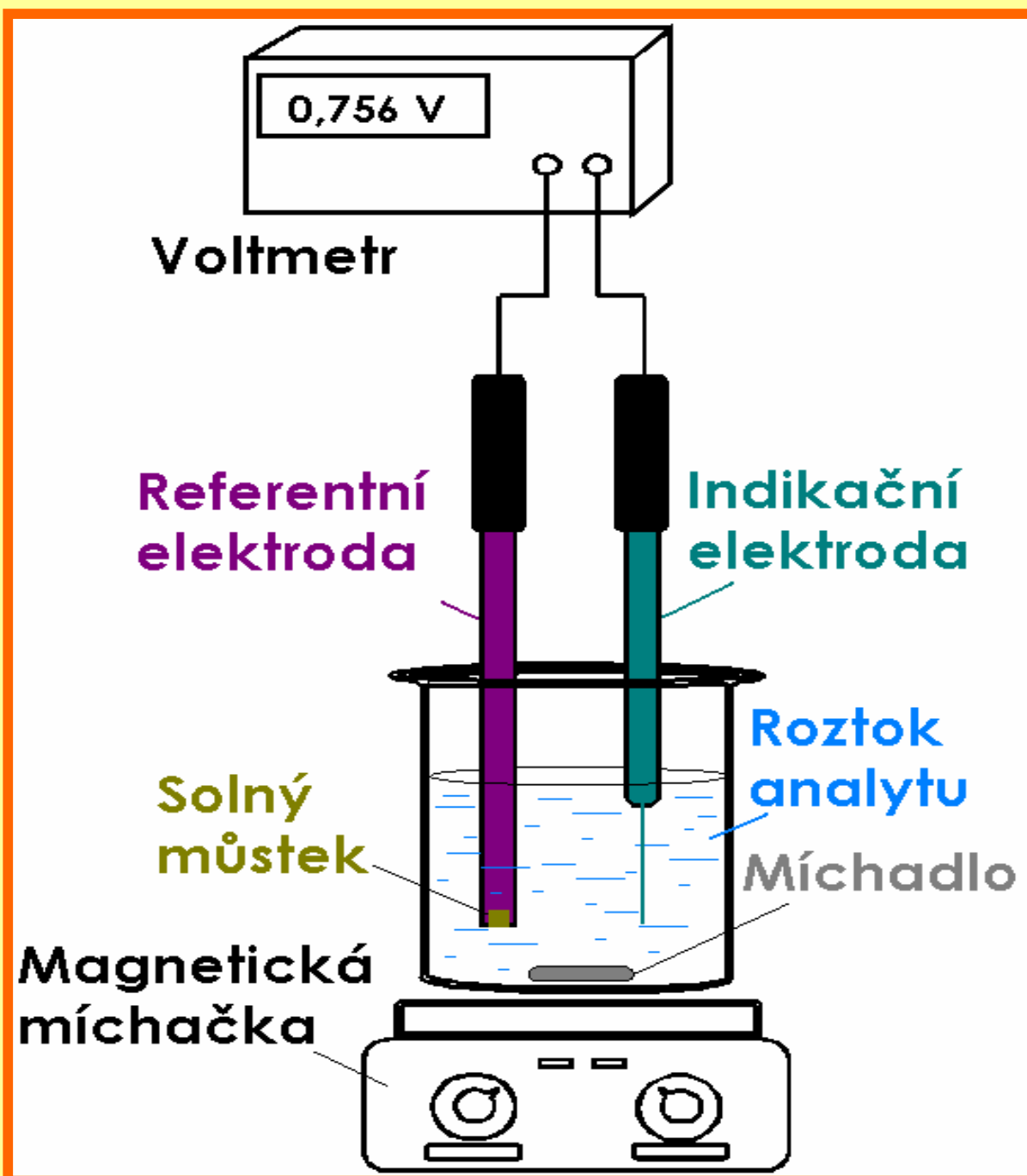
## Statické metody

- prakticky nulová hodnota proudu procházejícího elektrochemickým systémem
- MĚŘENÍ POTENCIÁLŮ (NAPĚTÍ) za bezproudého“ stavu (kompenzační metoda, velký odpor měřidla)

**POTENCIOMETRIE - koncentrace analytu se stanovuje z napětí galvanického článku**

- měrné (indikační) elektrody - potenciál závislý na koncentraci analytu
- referentní elektrody - „konstantní“ potenciál

# Metody elektroanalytické



## POTENCIOMETRIE

koncentrace  
analytu se  
stanovuje

z napětí  
galvanického  
článku

- indikační elektroda
- referentní elektroda

# Metody elektroanalytické

## Potenciometrie

### referentní elektrody

- **reversibilní chování s souladu s Nernstovou rovnicí**
- **časově stálý potenciál, nezávislý na malém proudovém zatížení**
- **malá teplotní hystereze při „malých“ opakovaných změnách teploty**
- **potenciál nezávislý na koncentraci stanovovaného analytu, příp. dalších složek vzorku, jejichž obsah kolísá**

# Metody elektroanalytické

## Potenciometrie

- elektrody 1. druhu

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln a_{Me^{n+}}$$

- elektrody 2. druhu

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln a_{X^{n-}}$$

- redoxní elektrody

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Red}}{a_{Ox}}$$

koeficient  
selektivity

- membránové

$$E = \textit{kons.} + \frac{RT}{F} \ln \left( a_{H_3O^+} + K_S a_{Na^+} \right)$$

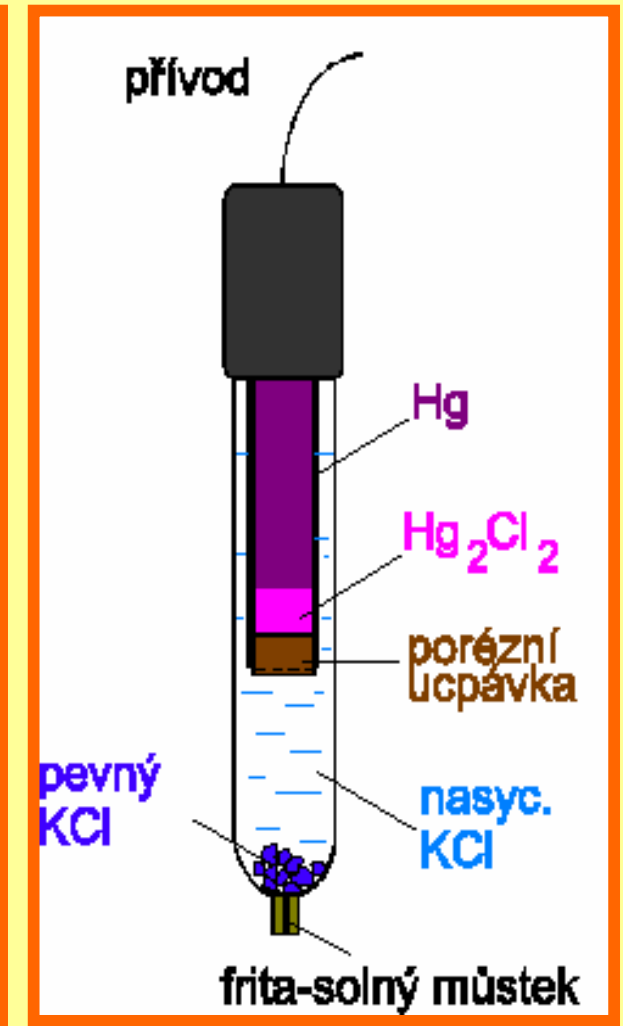
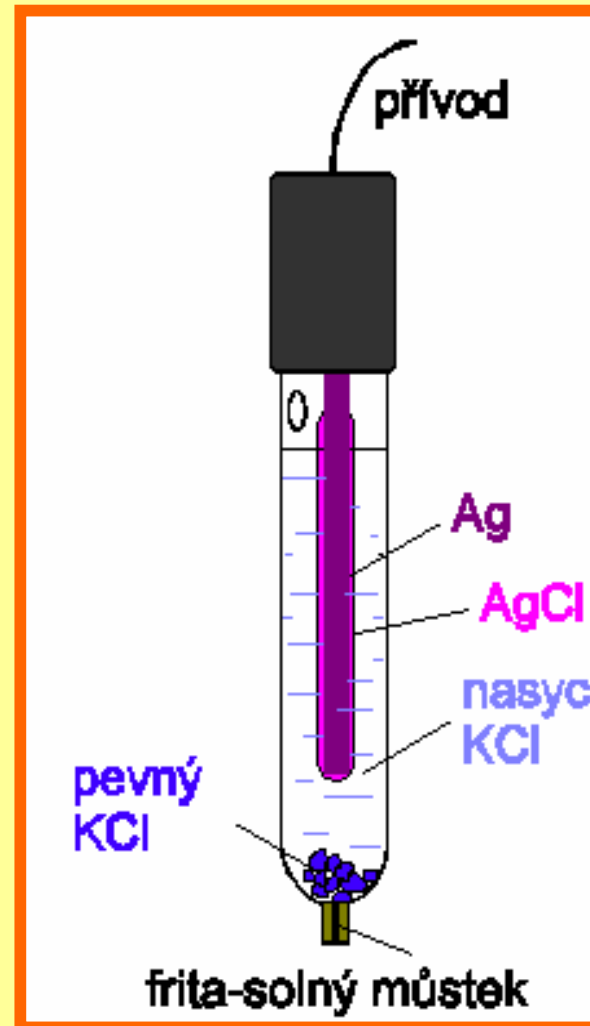
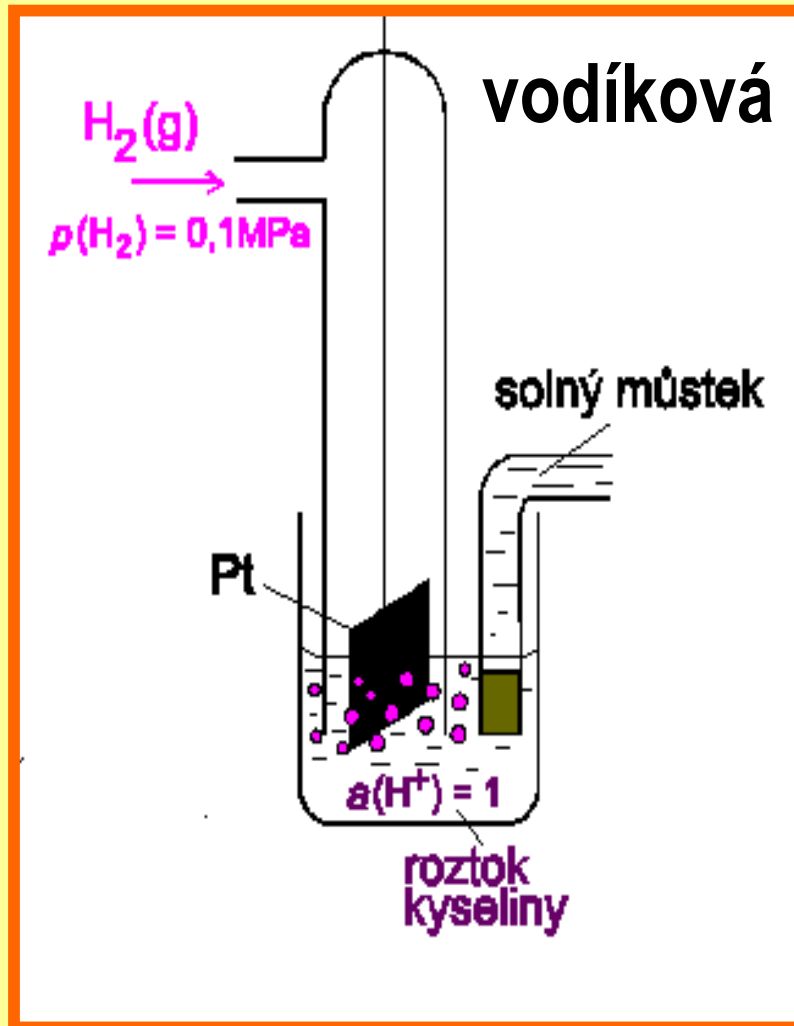
příklad pro skleněnou elektrodu

# Metody elektroanalytické

## Potenciometrie

argentchloridová

kalomelová



# Metody elektroanalytické

## Potenciometrie

- **INDIKAČNÍ ELEKTRODY**

- *kovové elektrody citlivé na vlastní ionty*

  - *stříbrná elektroda*

- *Pt (Pd, Au) - drátek (terčík) pro redoxní elektrody*

  - *poměr obsahu železnatých a železitých iontů*

- **MEMBRÁNOVÉ ELEKTRODY**

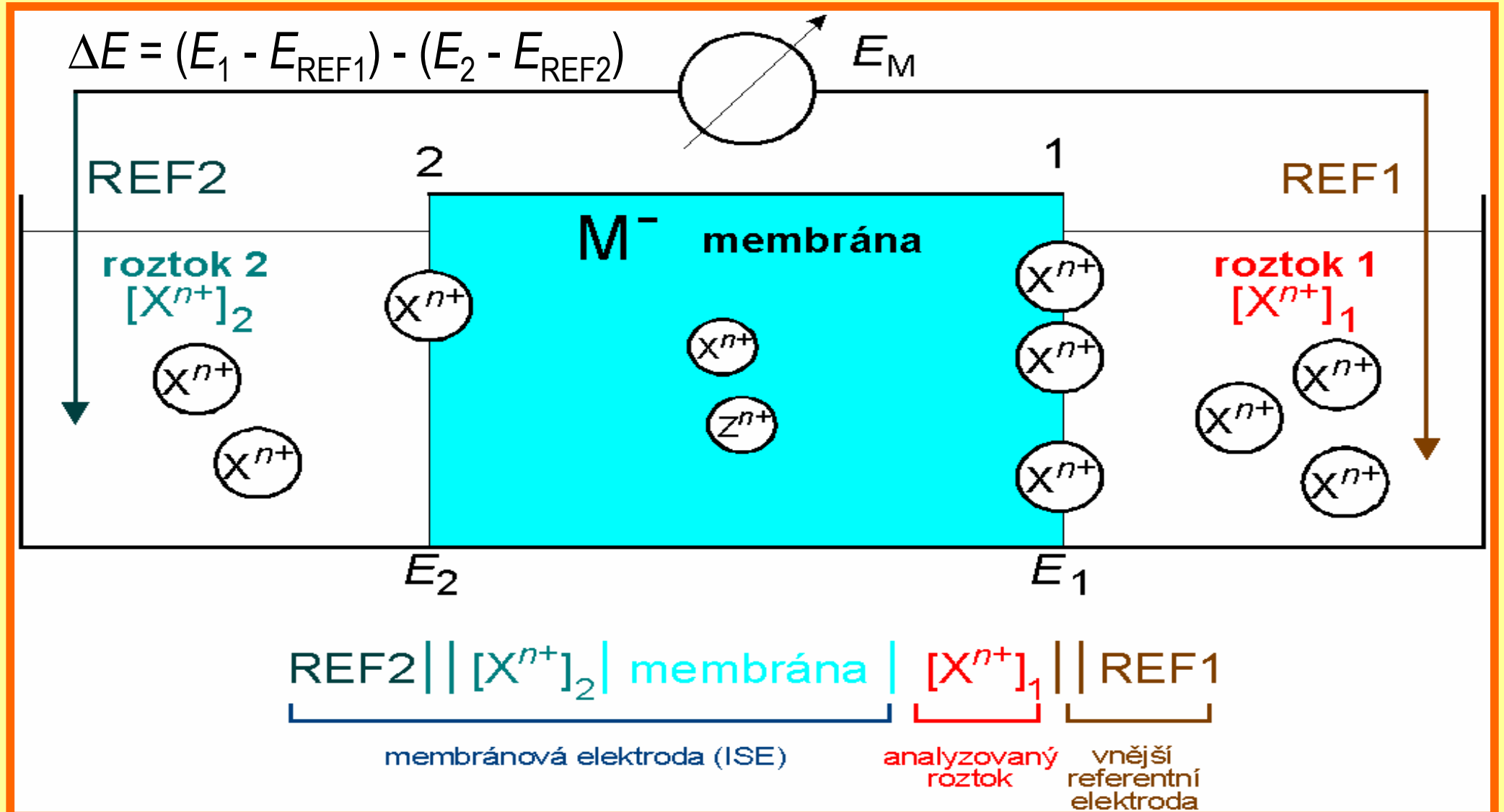
  - *iontově selektivní*

Nikolského rovnice

$$E = \text{kons.} + \frac{RT}{z_i F} \ln \left( a_i + \sum_j K_{Si,j} a_j^{\left(\frac{z_i}{z_j}\right)} \right)$$

# Metody elektroanalytické

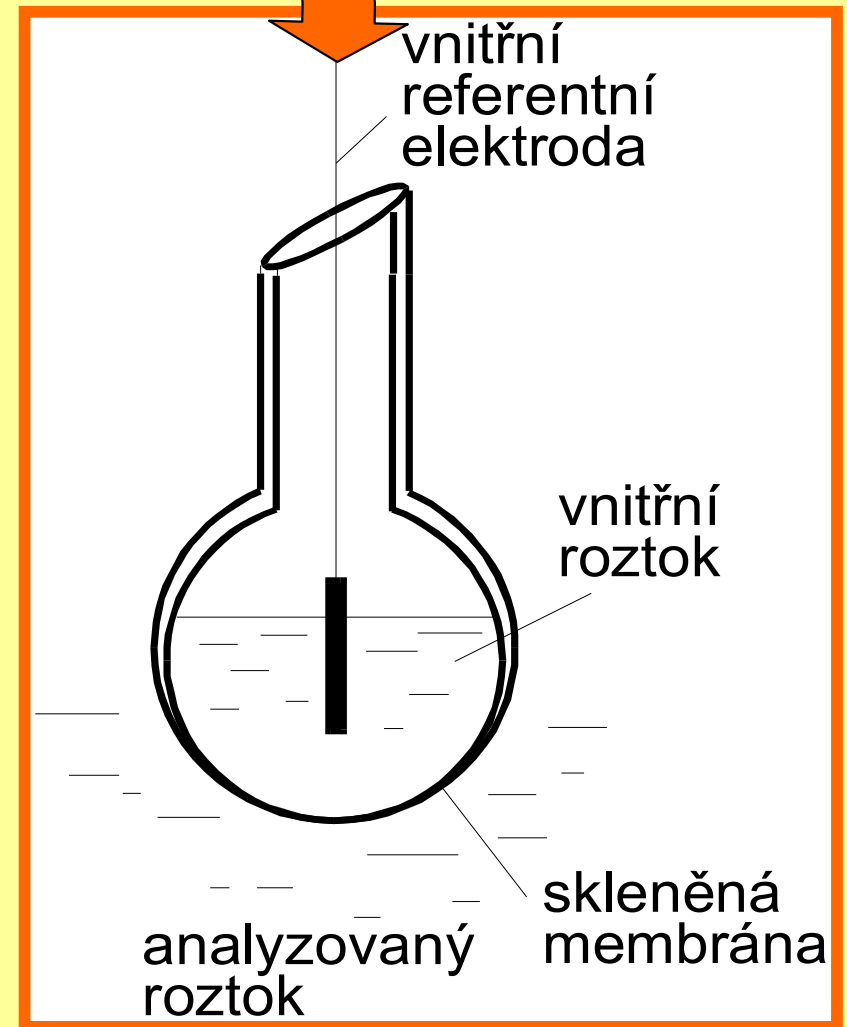
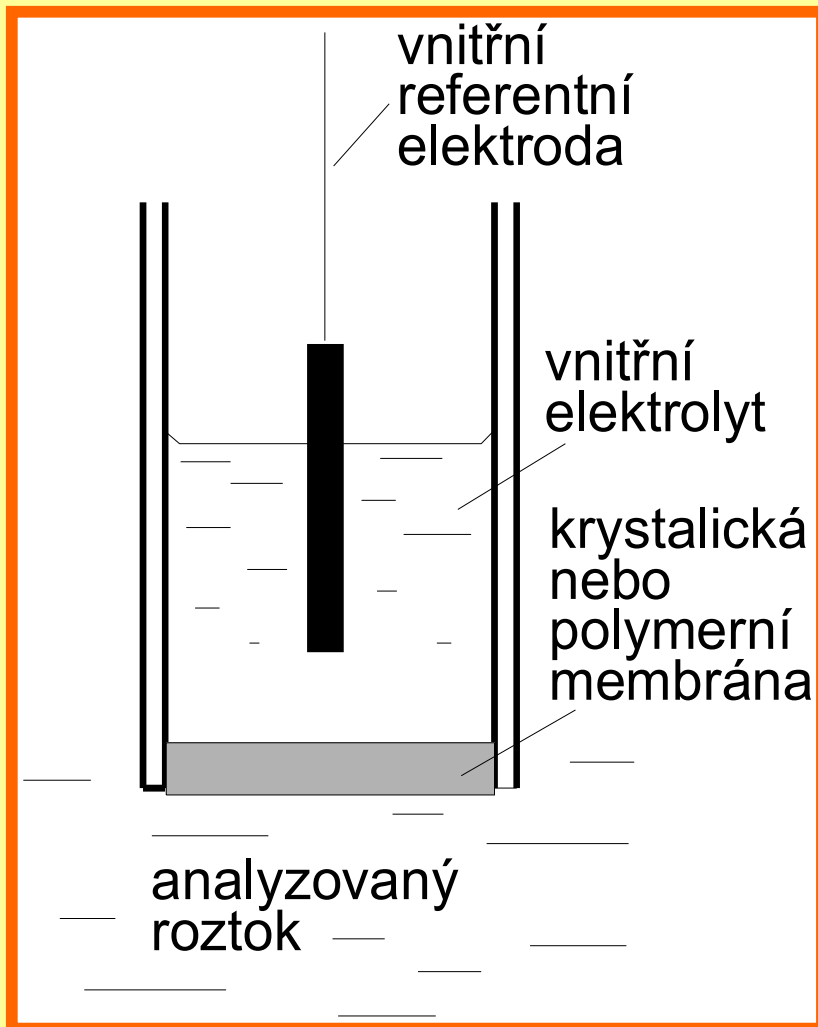
- membránové elektrody - „mebránový“ potenciál
  - selektivní na určité ionty - problém interferujících iontů





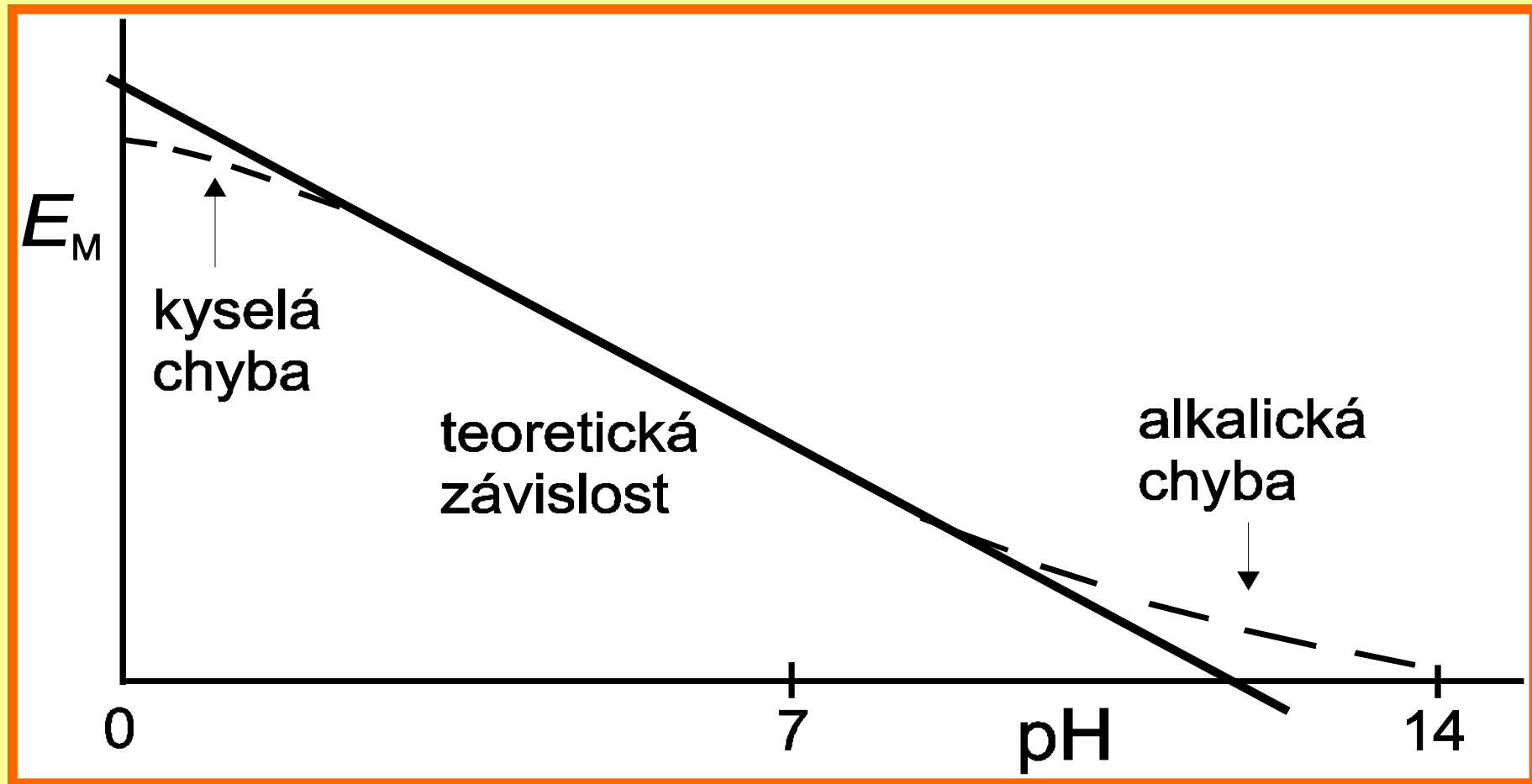
# Metody elektroanalytické

- membránové elektrody - „mebránový“ potenciál
  - selektivní na určité ionty - kationty i anionty
  - **SKLENĚNÁ ELEKTRODA** - měření pH



# Metody elektroanalytické

- membránové elektrody - „mebránový“ potenciál
  - SKLENĚNÁ ELEKTRODA - měření pH
  - kombinovaná elektroda - obě REF elektrody v jednom konstrukčním bloku



# Metody elektroanalytické

- membránové elektrody - „membránový“ potenciál
  - pevná membrána - monokrystal  $\text{LaF}_3$  - **fluoridy**
  - iontoměnič v polymerní matrici (měkčené PVC)
    - **valinomycin pro  $\text{K}^+$**
    - **tetraheptylamonium pro  $\text{NO}_3^-$**
  - membrána propustná pro plyny (PP, teflon)  
hydrolyzující v roztoku ( $\text{CO}_2$ )
  - biosenzory - pro biologicky významné ionty
    - **miniaturizace - mikrosenzory**

# Metody elektroanalytické

## Potenciometrie

- **PŘÍMÁ POTENCIOMETRIE** - nutná kalibrace potenciometru
  - měření pH roztoků
  - stanovení některých kovů (kationty)
  - stanovení některých aniontů
- **POTENCIOMETRICKÉ TITRACE**
  - objektivní zjištění bodu ekvivalence
  - závislost potenciálu indikační elektrody na objemu odměrného roztoku přidaného ke vzorku
  - **acidobazické titrace, redox. titrace, argentometrie, komplexometrie**

# Metody elektroanalytické

## Dynamické metody - vnučené, nespontánní děje

- elektrochemickým systémem prochází PROUD
- voltametrie, amperometrie
- elektrogravimetrie, coulometrie
  - závislost proudu na potenciálu - POLARIZAČNÍ KŘIVKA
  - migrační a difusní proud
  - nabité a nenabité částice v roztoku
    - NENABITÉ částice - žádný příspěvek migrace

# Metody elektroanalytické

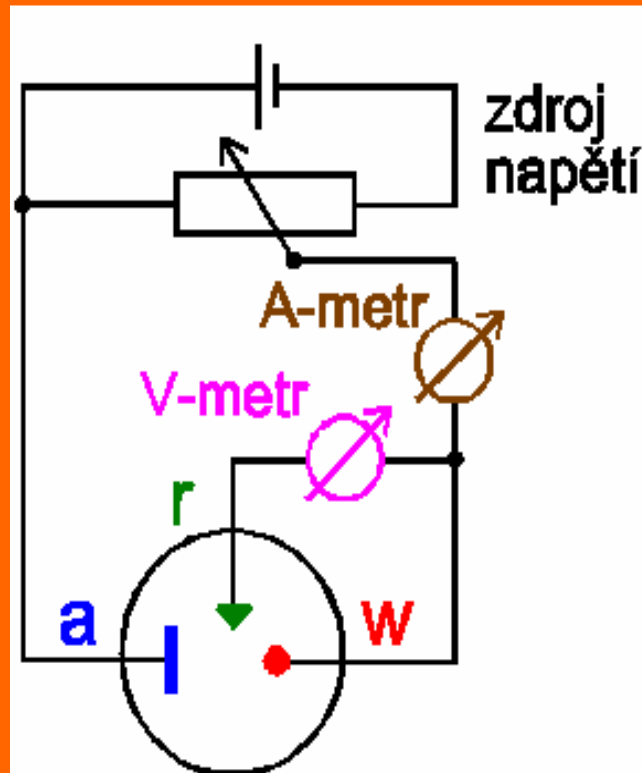
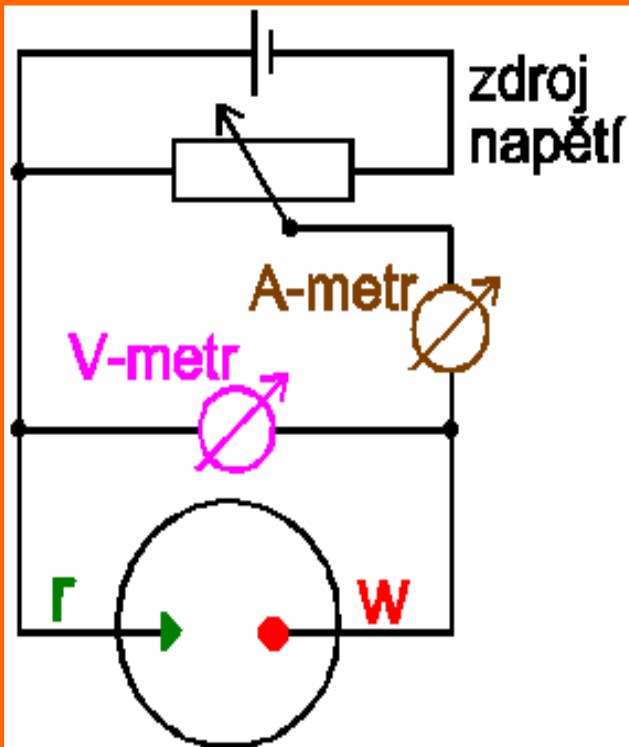
## Voltametrie -

### vnučené, nespontánní děje

- použití elektrochemický článků jako elektrolyzérů
- závislost proudu protékajícího pracovní elektrodou na v čase proměnném potenciálu, který je na ni vkládán
- hodnota zaznamenávaného proudu je funkcí koncentrace analytu
- dvouelektrodové zapojení - **pracovní** a **referentní**
- tříelektrodové zapojení - **pracovní**, **referentní** a **pomocná**

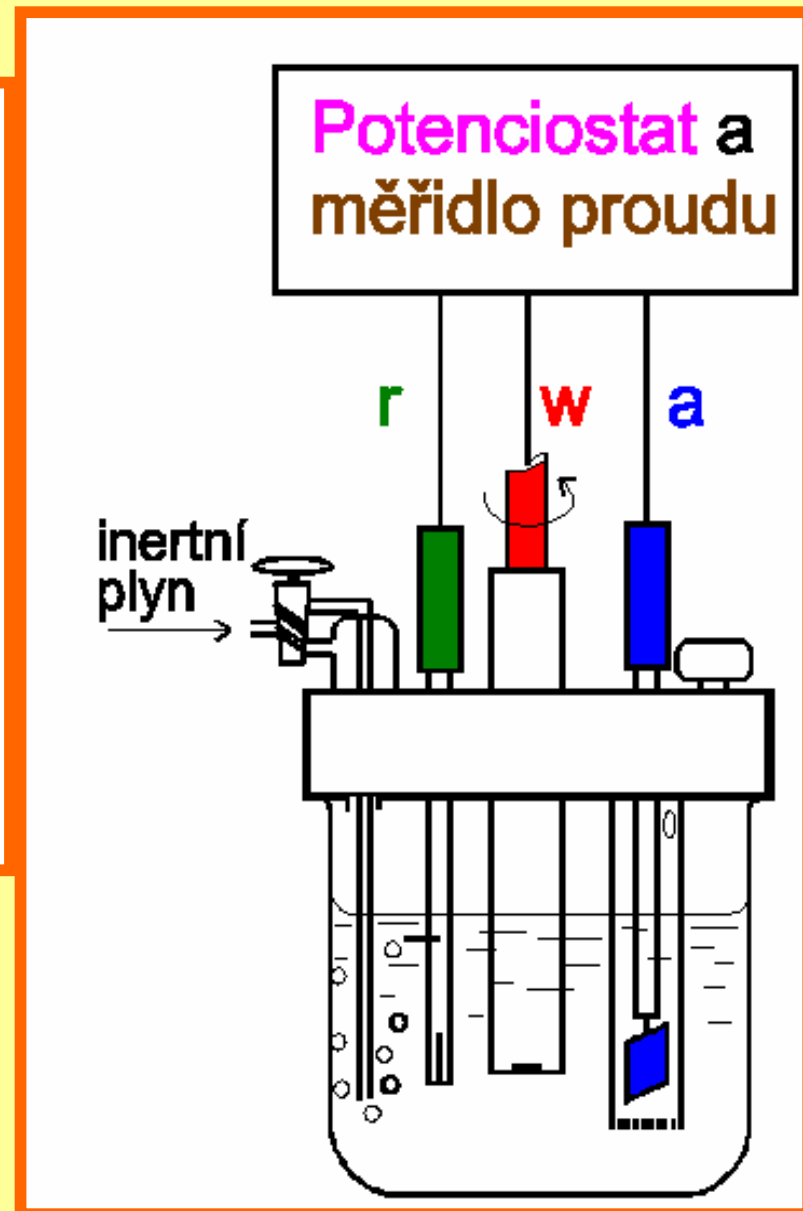
# Metody elektroanalytické

## Voltametrie



dvouelektrodové  
zapojení

tříelektrodové  
zapojení



# Metody elektroanalytické

## Voltametrie

- rozkladné napětí a přepětí

$$U = (E_{r,p} + \eta_p) - (E_{r,l} + \eta_l) + I R$$

polarizační potenciál

$\eta$  - PŘEPĚTÍ (V) - míra polarizace elektrod

- vliv rychlosti dějů v elektrochemické soustavě



# Metody elektroanalytické

## Voltametrie

### Polarizace elektrod

- článkem teče menší proud než odpovídá napětí na elektrodách
- čím menší povrch elektrody, tím větší schopnost polarizace
  
- **KONCENTRAČNÍ POLARIZACE**
  - limitním dějem **TRANSPORTNÍ PROCES**
  
- **PŘENOSOVÁ (AKTIVAČNÍ) POLARIZACE**
  - limitním dějem **REAKCE PŘENOSU NÁBOJE**

# Metody elektroanalytické

## Voltametrie

### Polarizace elektrod

– článkem teče menší proud než odpovídá napětí na elektrodách

- přepětí pro vylučování kovů často zanedbatelné

- přepětí pro vylučování plynů na kovových elektrodách - VÝZNAMNÉ HODNOTY

- pro vodné prostředí klíčové - přepětí vodíku na katodě  
- přepětí kyslíku na anodě

# Metody elektroanalytické

## Voltametrie

- stanovení anor. i org látek, které mohou být elektrochemicky redukovány či oxidovány - podléhají elektrolýze - depolarizátory

### Depolarizátory

- látky, které se při určitém potenciálu mohou oxidovat či redukovat (depolarizují elektrodu), takže elektrodou může téci proud

# Metody elektroanalytické


## Voltametrie

- koncentrace v blízkosti povrchu
  - eliminace vlivu konvekce a migrace
  - řídicí děj - difuze

$$(dn/dt) = k (c - c^0)$$

je-li  $c \gg c^0$  pak

$$I \sim (dn/dt) = k c$$



koncentrace  
u povrchu elektrody

jedná se o IDEÁLNĚ POLARIZOVANOU  
ELEKTRODU

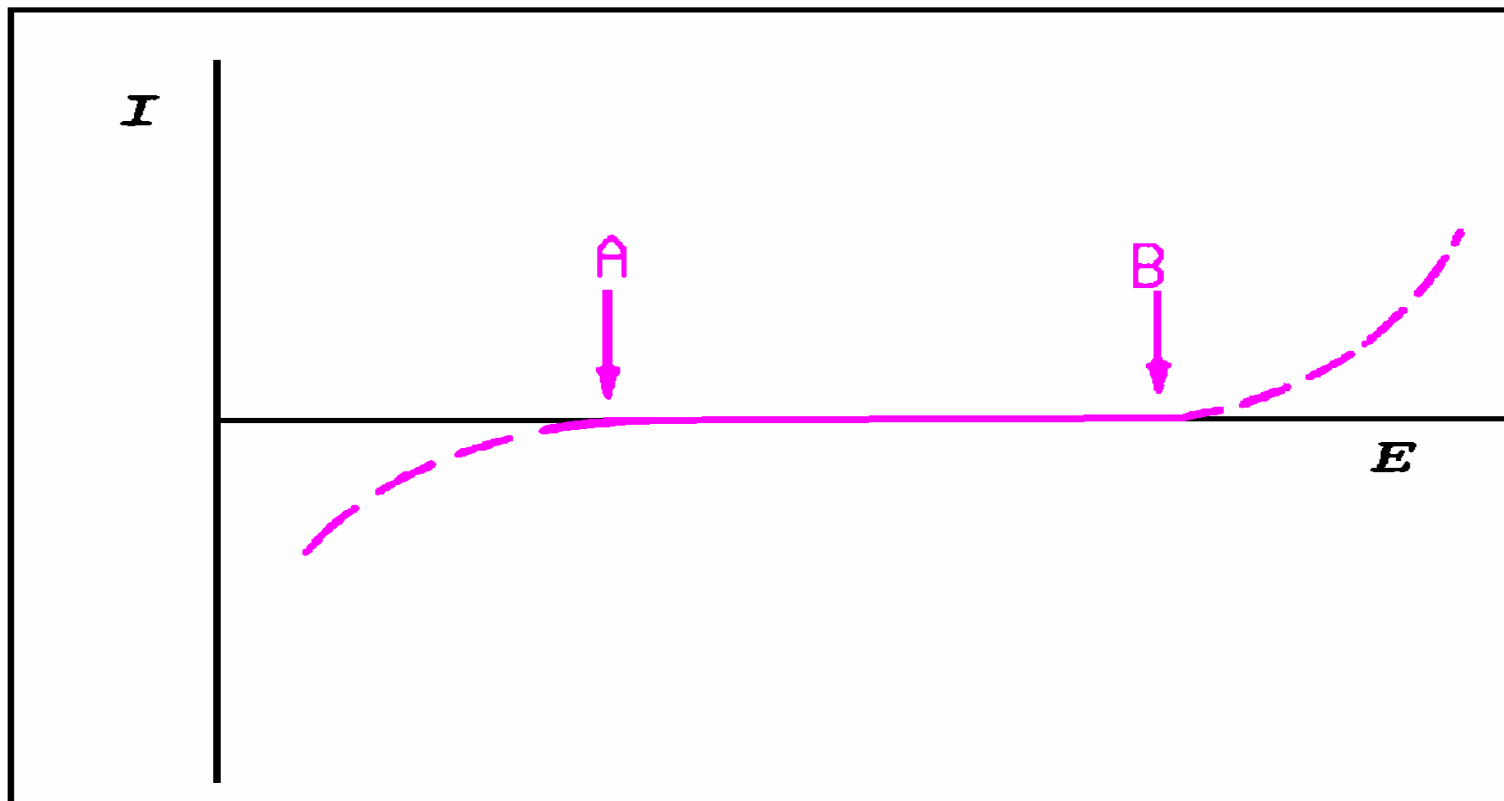
# Metody elektroanalytické

- difuze k rovinné elektrodě

$$I = z F (dn/dt) = z F A D (c - c^0) / \delta$$

- proud úměrný koncentraci transportované látky

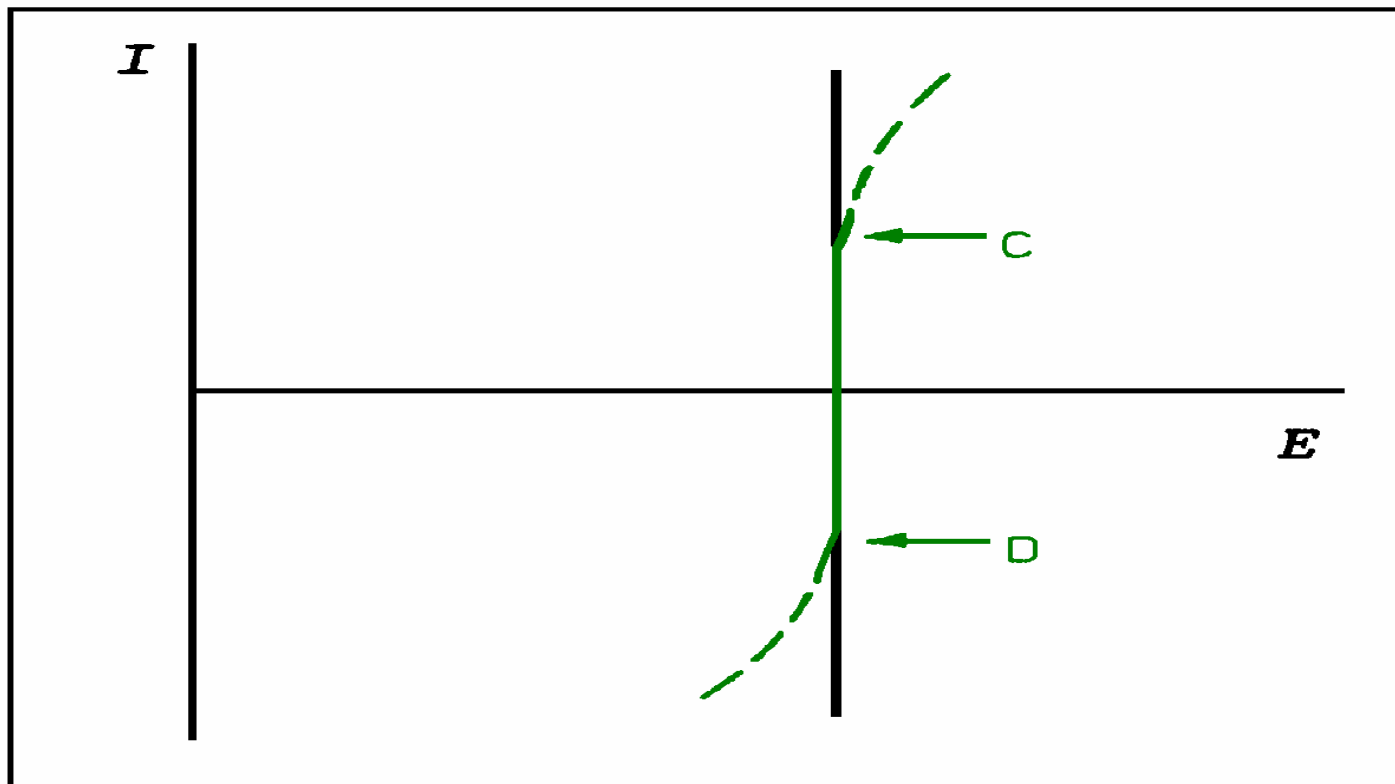
## IDEÁLNĚ POLARIZOVANÁ ELEKTRODA



# Metody elektroanalytické

- nepolarizovatelné elektrody - referentní
  - potenciál nezávislý na procházejícím proudu
  - potenciál nezávislý na koncentraci analytu

## IDEÁLNĚ NEPOLARIZOVANÁ ELEKTRODA



# Metody elektroanalytické

## Voltametrie

- s polarizovatelnou rtuťovou elektrodou s obnovovaným povrchem - **POLAROGRAFIE**
- jako nepolarizovatelná elektroda použita
  - rtuťová velkoplošná elektroda
  - referenční elektroda - kalomelová
    - argentchloridová

# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE

### – klasická indikační elektroda

- rtuťová kapková elektroda

- rtuť odkapává z kapiláry

- » doba trvání kapky -  $\tau$  [s]

- » hmotnostní průtok rtuti kapilárou -  
-  $m_h$  [g.s<sup>-1</sup>]

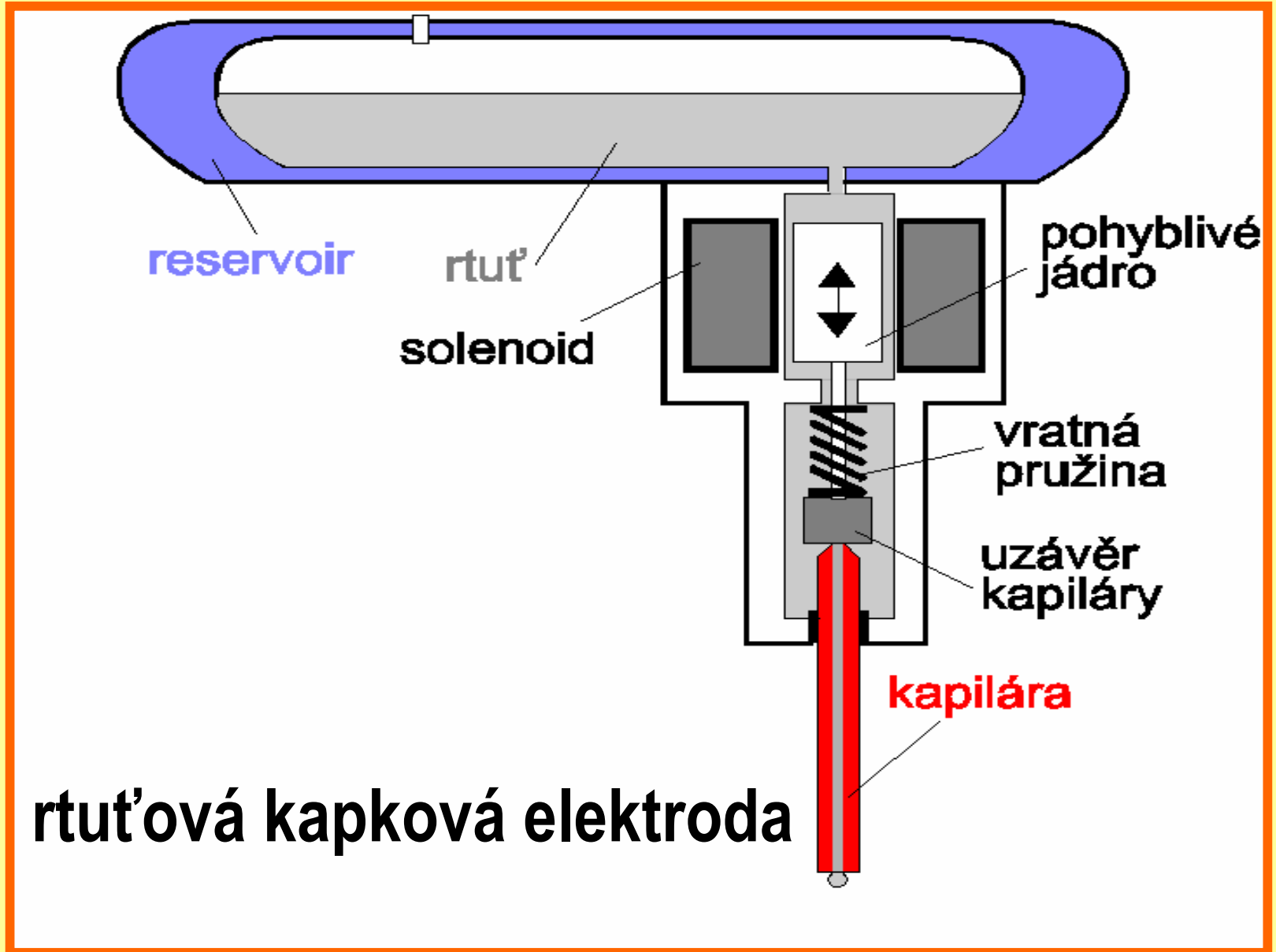
- » tíha kapky  $G$  překonává povrchové síly,  
dané povrchovým napětím

- » v čase se mění plocha povrchu kapky



# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE



# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE

- rtuťová kapková elektroda
  - přenos náboje mezi roztokem a kapkou
  - nabitý povrch kapky - opačné nabité ionty přitahovány z roztoku k elektrodě
- VZNIK ELEKTRICKÉ DVOJVRSTVY
  - vlastnosti kondenzátoru
    - » nabíjení kondenzátoru - nabíjecí, kapacitní proud
    - » kapacitní proud se mění během růstu kapky

$$I_c \sim dA/dt$$

# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE

- rtuťová kapková elektroda
  - rychlý děj přenosu náboje
  - řídicí děj transportu látky k povrch kapky

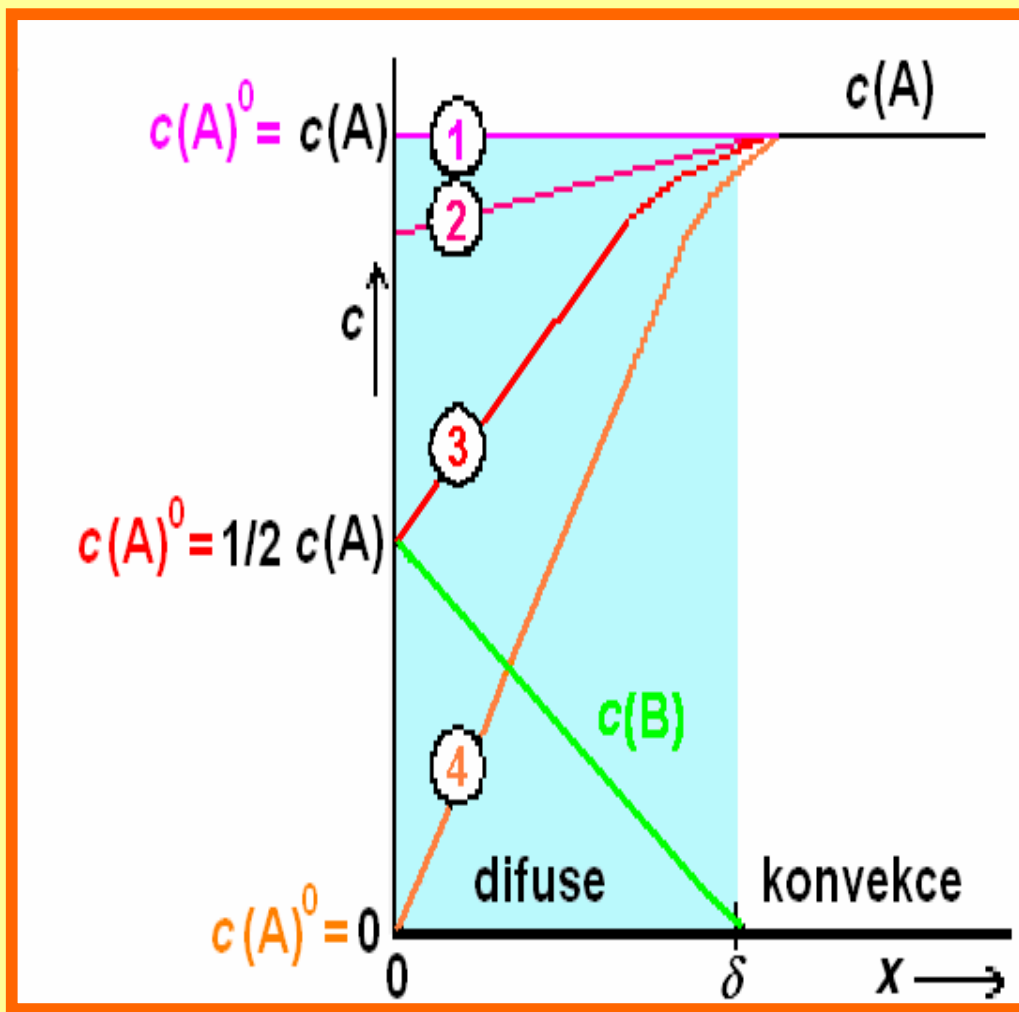
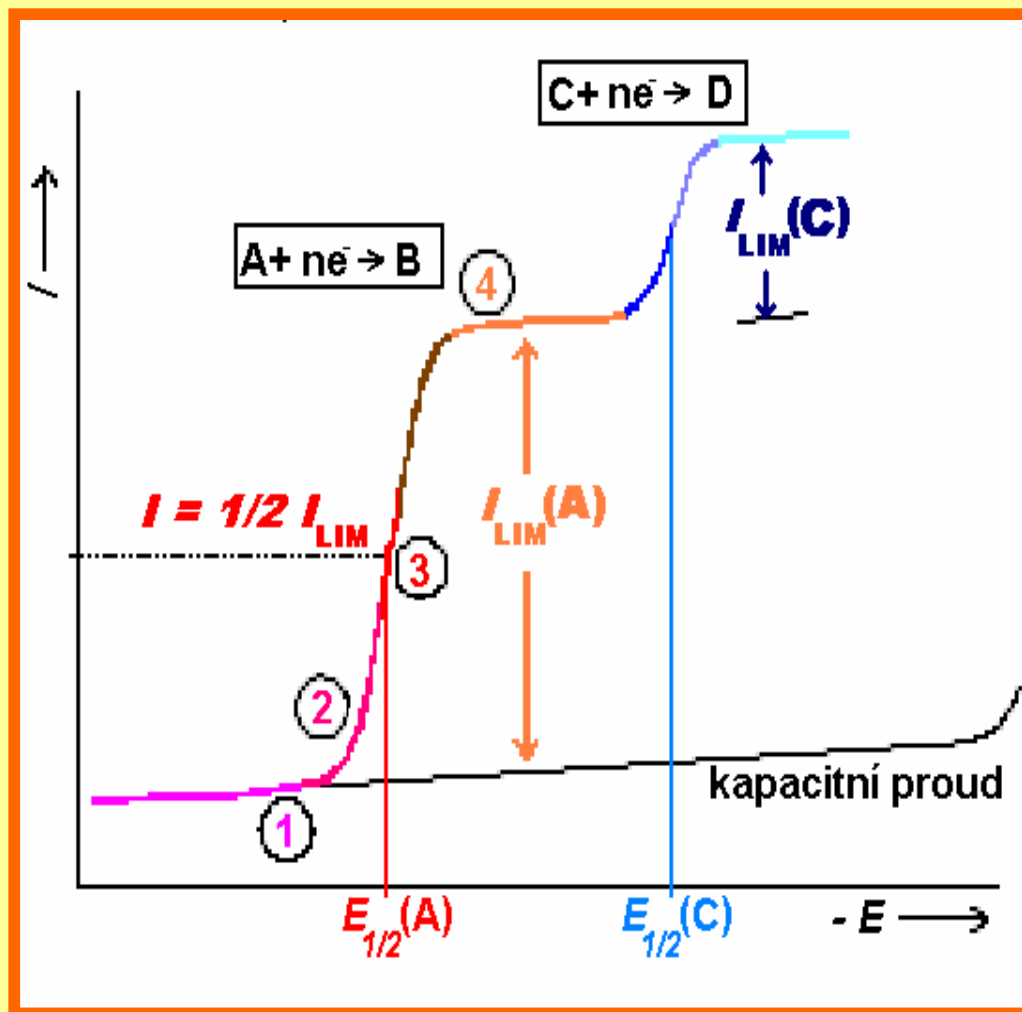
### DIFUSE

- **DIFUSNÍ PROUD -  $I_d$  dán ILKOVIČOVOU ROVNICÍ**

- $I_d \sim k \cdot (c - c^0)$ ,  $k$  je Ilkovičova konstanta  
 $c^0 \rightarrow 0$ , pak limitní difusní proud je dán  
součinem  $I_{d,LIM} = k c$

# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE - průběh polarogramu



# Metody elektroanalytické

## POLAROGRAFIE

Základní parametry voltametrické vlny:

**půlvlnový potenciál** – kvalitativní údaj;

**limitní proud** – údaj kvantitativní,  $I_{LIM}$  je přímoúměrný koncentraci analytu

- pro nízké koncentrace analytu je limitující  
hodnota **kapacitního proudu**

Příprava roztoku k analýze:

- přidavek indiferentního elektrolytu
- odstranění rozpuštěného vzdušného kyslíku

# **Metody elektroanalytické**

## **POLAROGRAFIE**

### **- PULZNÍ TECHNIKY**

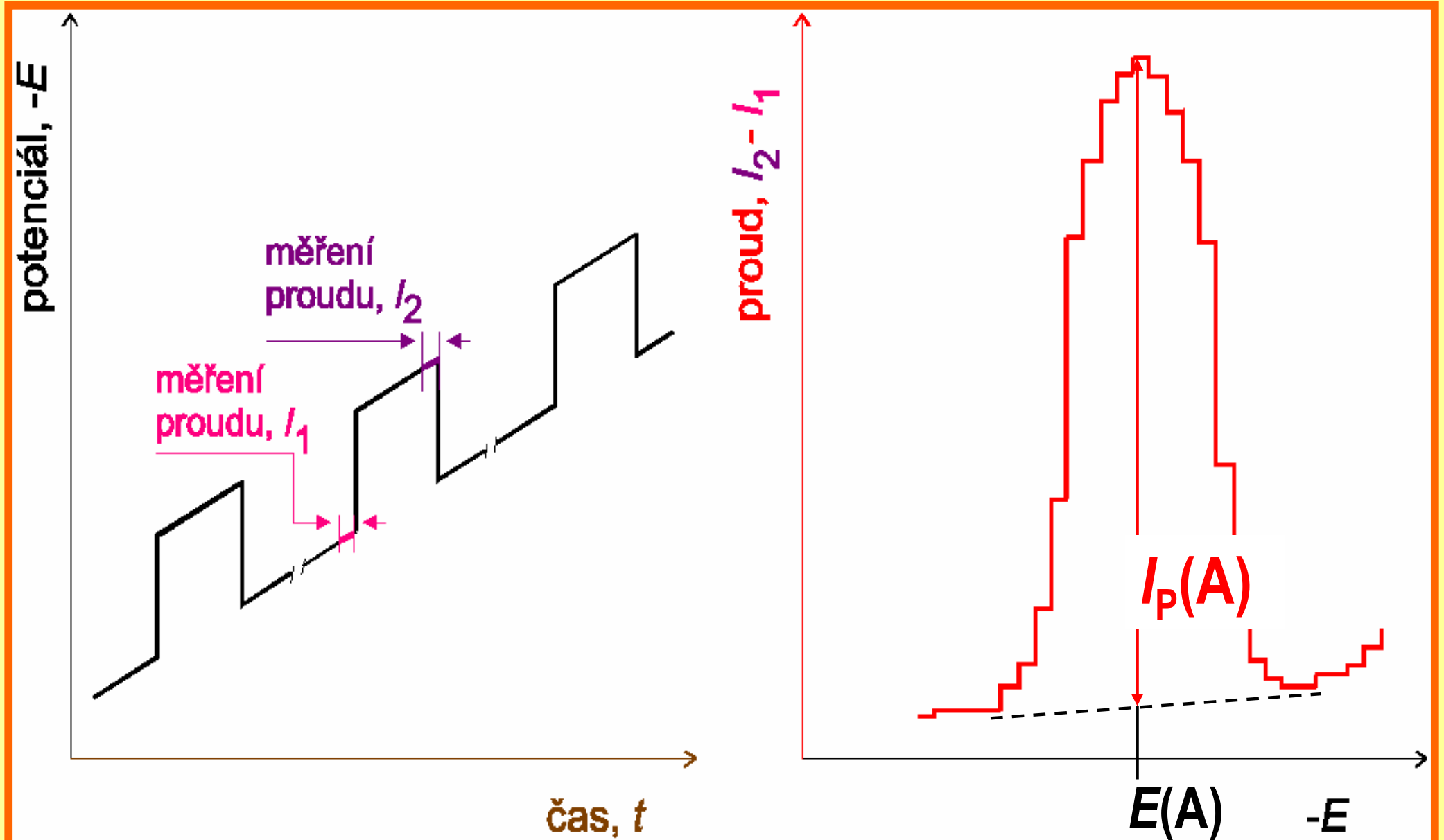
- potlačení vlivu kapacitního proudu**
- možnost stanovení nižších obsahů analytů**

## **DIFERENČNÍ PULZNÍ POLAROGRAFIE**

- měření proudu až ke konci růstu kapky**
- průběh potenciálu**
  - základní pomalu rostoucí napětí**
  - ke konci růstu kapky se přidá pravoúhlý puls**

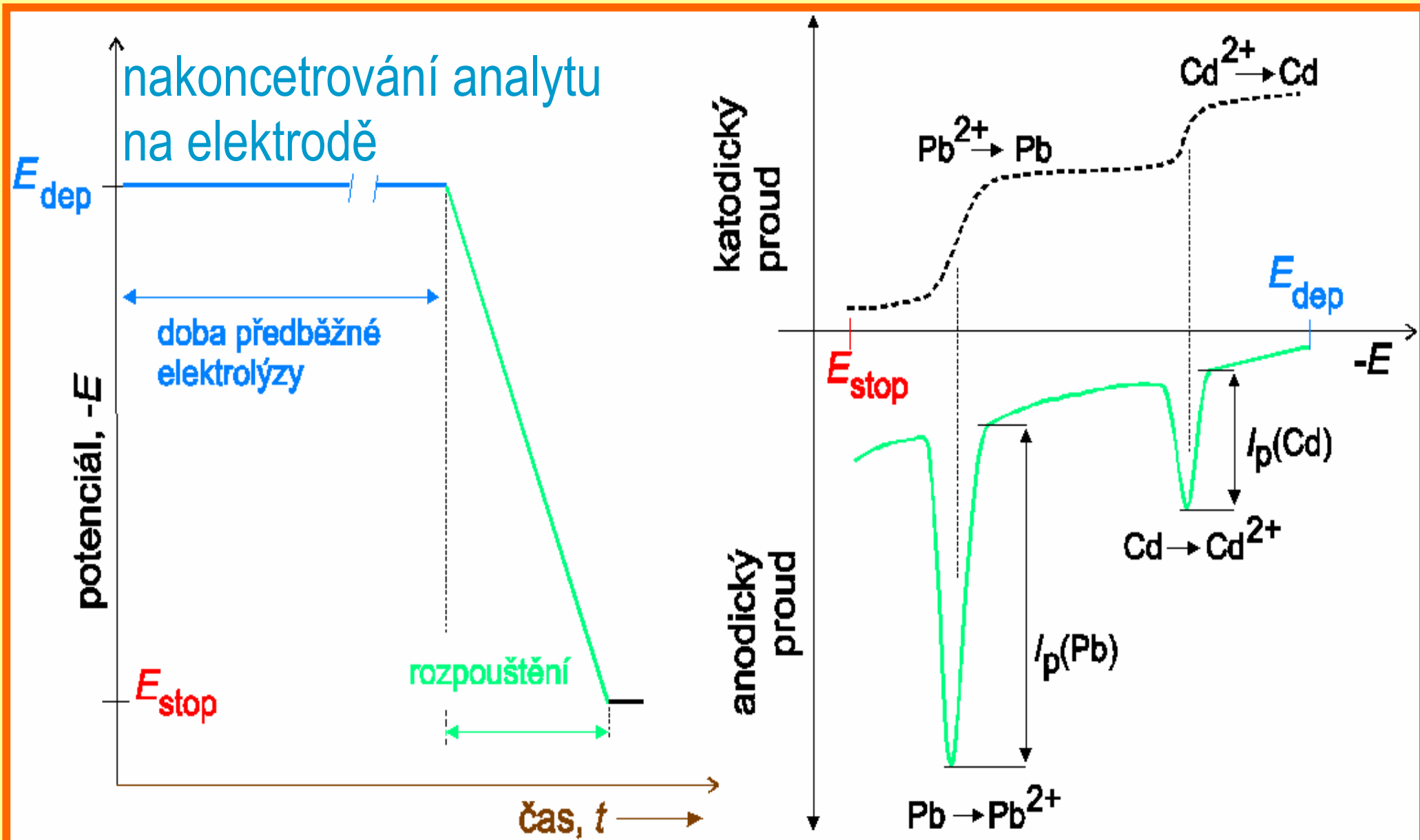
# Metody elektroanalytické

## DIFERENČNÍ PULZNÍ POLAROGRAFIE



# Metody elektroanalytické

## ROZPOUŠTĚCÍ VOLTAMETRIE





# Metody elektroanalytické

## Porovnání voltametrických metod

### Metoda

DC voltametrie

Diferenční pulsní voltametrie

Rozpouštěcí voltametrie

### Limit detekce a $\Delta E_{1/2}$

$10^{-5} \text{ mol.l}^{-1}$ ,  $\Delta E_{1/2} > 200 \text{ mV}$

$10^{-8} \text{ mol.l}^{-1}$ ,  $\Delta E_{1/2} > 50 \text{ mV}$

$10^{-10}$  až  $10^{-12} \text{ mol.l}^{-1}$

# Metody elektroanalytické

## Amperometrie

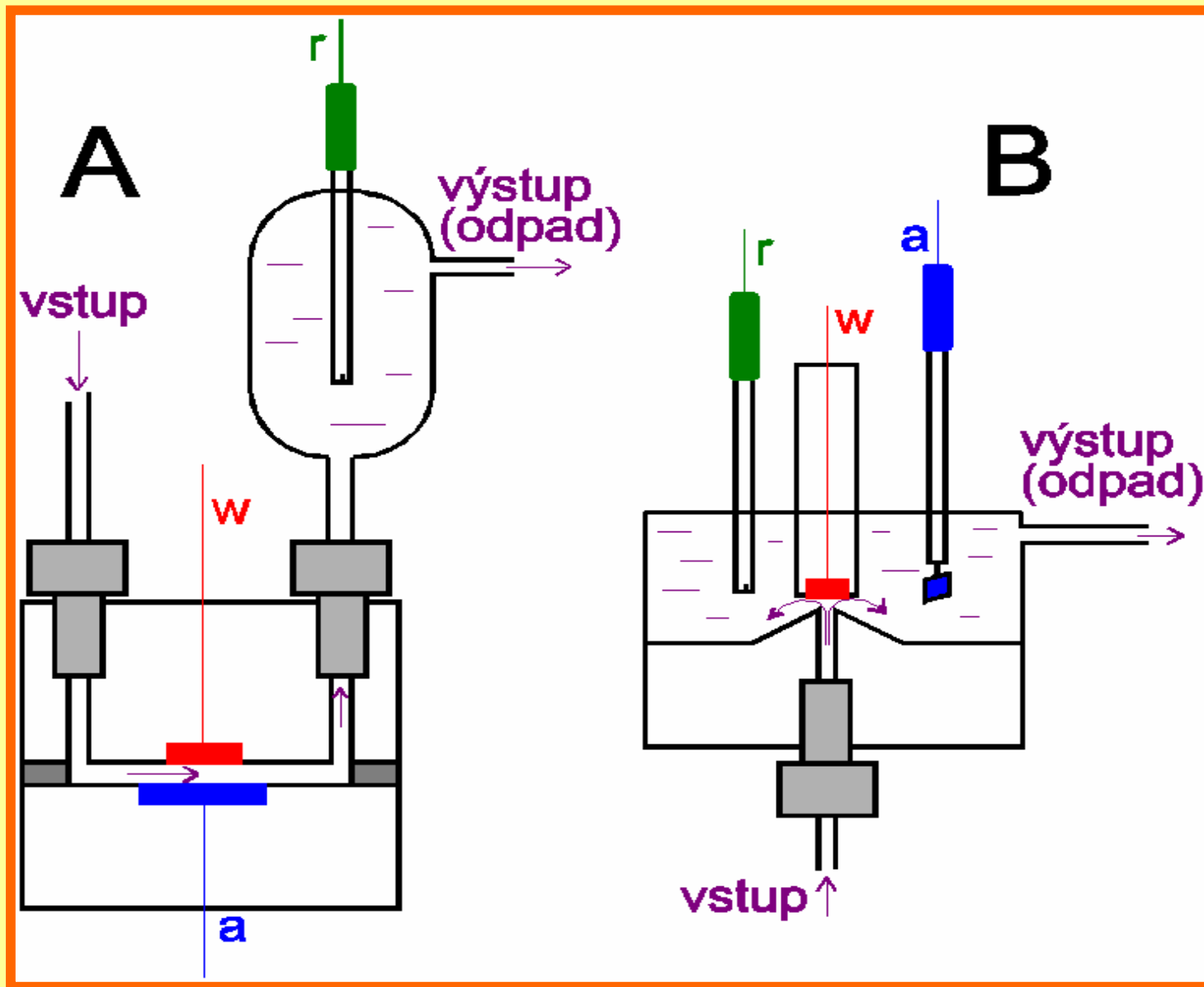
- na pracovní elektrodu je vložen konstantní potenciál
- měří se proud v závislosti na čase
- hodnota proudu je závislá na koncentraci analytu
  - instrumentace obdobná jako ve voltametrii
  - detekce látek v proudících kapalinách
    - průtokové analytické metody
    - kapalinová chromatografie - detekce
    - stanovení plynů v kapalinách, biosenzory atp.

# Metody elektroanalytické

## Amperometrie

A- měření  
v tenké vrstvě

B - wall-jet  
uspořádání



# **Metody elektroanalytické**

## **Amperometrické titrace**

**- konstantní potenciál**

**- měří se limitní difusní proud v závislosti na objemu titračního činidla**

**Titrace s jednou polarizovatelnou elektrodou**

**- depolarizátor - analyt či titrační činidlo**

**Titrace s dvěma polarizovatelnými elektrodami -**

**BIAMPEROMETRIE**

# Metody elektroanalytické

## Elektrogravimetrie

- analyt je stanoven z hmotnosti látky vyloučené na elektrodě
  - **vylučování za konstantního proudu**
    - snadný výpočet prošlého náboje, mění se potenciál pracovní elektrody
  - **vylučování za konstantního potenciálu pracovní elektrody**
    - mění se hodnota procházejícího proudu, konstantní potenciál činí snadnějším separátní vylučování různých iontů

# Metody elektroanalytické

## Elektrogravimetrie

– vylučování za konstantního proudu

- $Q = I t$
- při vylučování kovů na katodě se postupně snižuje polarizační potenciál katody **s RIZIKEM vylučování dalšího kovu**
- kovy lze vylučovat na Pt i Hg elektrodě, aniž dochází k vylučování vodíku, díky vysoké hodnotě přepětí u vodíku

# Metody elektroanalytické

## Elektrogravimetrie

- vylučování za konstantního potenciálu pracovní elektrody
- optimální nastavení potenciálu pro selektivní vyloučení jednoho prvku
- pokles proudu během elektrolýzy

- $I_t = I_0 e^{-kt}$

- $k$  - koeficient přenosu hmoty

- $c_t = c_0 e^{-kt}$

- pokles koncentrace látky v roztoku

# Metody elektroanalytické

## Elektrogravimetrie

- analyt je stanoven z hmotnosti látky vyloučené na elektrodě
- platinové elektrody
  - pracovní (obvykle katoda) - síťková - vylučování kovů v elementární formě
    - anoda - vylučování  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{PbO}_2$
  - pro elektrolýzu za konstantního potenciálu nutná referentní elektroda
  - pomocná (anoda) - spirálová



# Metody elektroanalytické

## Coulometrie

- analyt je stanoven z velikosti náboje prošlého elektrodou
  - **nutnou podmínkou kvantitativní proběhnutí reakce**
  - **vylučování za konstantního potenciálu pracovní elektrody**
    - **potenciostatická coulometrie**
  - **vylučování za konstantního proudu**
    - **coulometrické titrace**

# Metody elektroanalytické

## Coulometrie

- vylučování za konstantního potenciálu pracovní elektrody
- potenciostatická coulometrie

$$Q = \int_0^t I_t dt$$

- $I_t = I_0 e^{-kt}$

$$Q = \frac{I_0}{k} (1 - e^{-kt})$$

- $n = Q / zF$

# Metody elektroanalytické

## Coulometrie

- **vylučování za konstantního proudu**
  - **coulometrické titrace**
    - **rovnoméřné generování titračního činidla až do BODU EKVIVALENCE**
    - **proud - GENERAČNÍ**

$$Q = I t$$

$n = Q / z F$  - **látkové množství vygenerovaného titračního činidla**

- **například generování stříbra pro argentometrii**