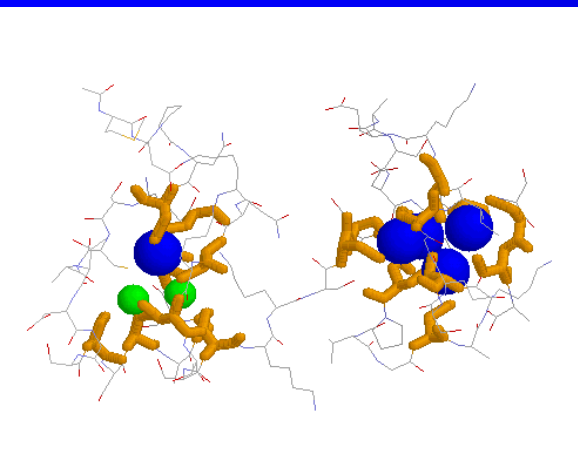
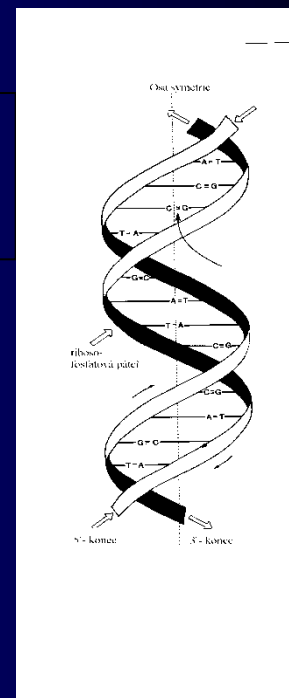
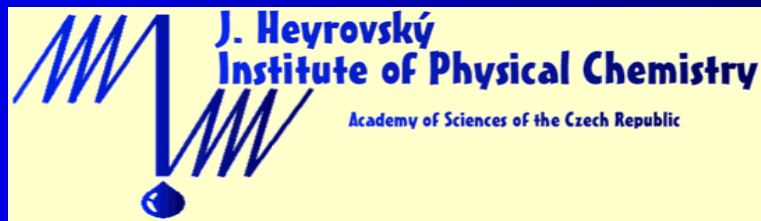


Elektrochemie ve studiu biologicky významných látek



Tomáš Navrátil



Tým Biosenzorů, Biofyzikální oddělení

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i,

Dolejškova 3, 182 23 Praha 8, Navratil@jh-inst.cas.cz

Tým „Biosenzorů“



„Tým specializující se na studium elektrochemických vlastností biologicky významných látek“



Elektrochemie

[Řečtina], odvětví fyzikální chemie zabývající se soustavami, v nichž probíhají chemické děje a ustavují se chemické rovnováhy, kterých se účastní nabitě částice (ionty). Elektrochemie studuje iontové rovnováhy v roztocích, elektrické potenciály na fázových rozhraních (zejména na rozhraních kov nebo polovodič-roztok nebo tavenina elektrolytu), elektrodové děje, vodivost roztoků a tavenin elektrolytů, rovnováhy a děje na membránách. **Průmyslová elektrochemie** se uplatňuje při výrobě například hliníku, hořčíku, draslíku, sodíku, chloru, zinku, olova, při výrobě zdrojů elektrické energie (baterie, akumulátory).

Elektroanalýza

- Potenciometrie (pH metry, iontově selektivní elektrody)
- Elektrogravimetrie
- Konduktometrie
- Coulometrie (coulometrické titrace)
- Polarografie, voltametrie
- Potenciometrická stripping analýza
- Tensiometrie

Polarografie

- **Definice Polarografie - voltametrie**

Voltametrie je elektroanalytickou metodou, při níž se sleduje závislost elektrického proudu tekoucího **pracovní elektrodou** ponořenou v analyzovaném roztoku na jejím potenciálu, který se s časem mění (zpravidla lineárně s časem roste či klesá)

- Definice polarografie

Polarografie pracuje se rtuťovou elektrodou, jejíž povrch je v průběhu měření periodicky obnovován

- Definice voltametrie

Povrch pracovní elektrody je konstantní

90. výročí objevu polarografie

All must
be made with
the galvanometer!

9. February 1922 afternoon:
T = 22.5°C

mm	0.300	3.06605	102.4
	0.300	3.06605	102.7

	0.400	3.07150	104.5
	0.400	3.07150	105.1

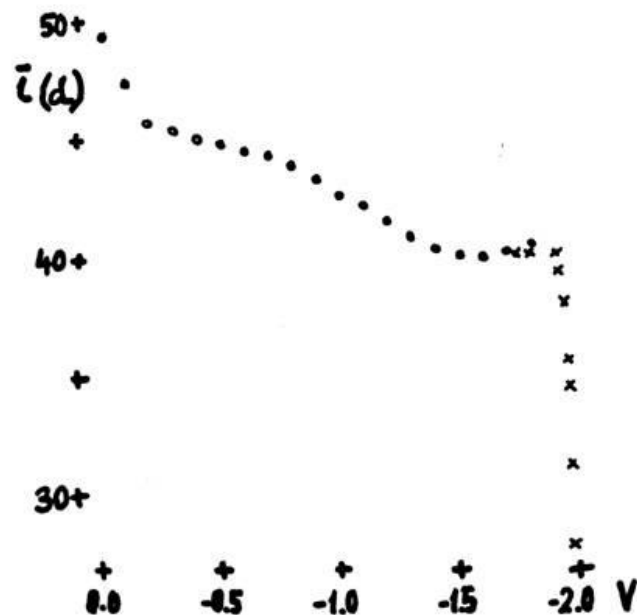
	0.500	3.07525	106.6
--	-------	---------	-------

}	0.550	3.0814 (?)	108.0
	0.550	3.0794 (!)	107.8
	0.550	3.0798 !	108.2

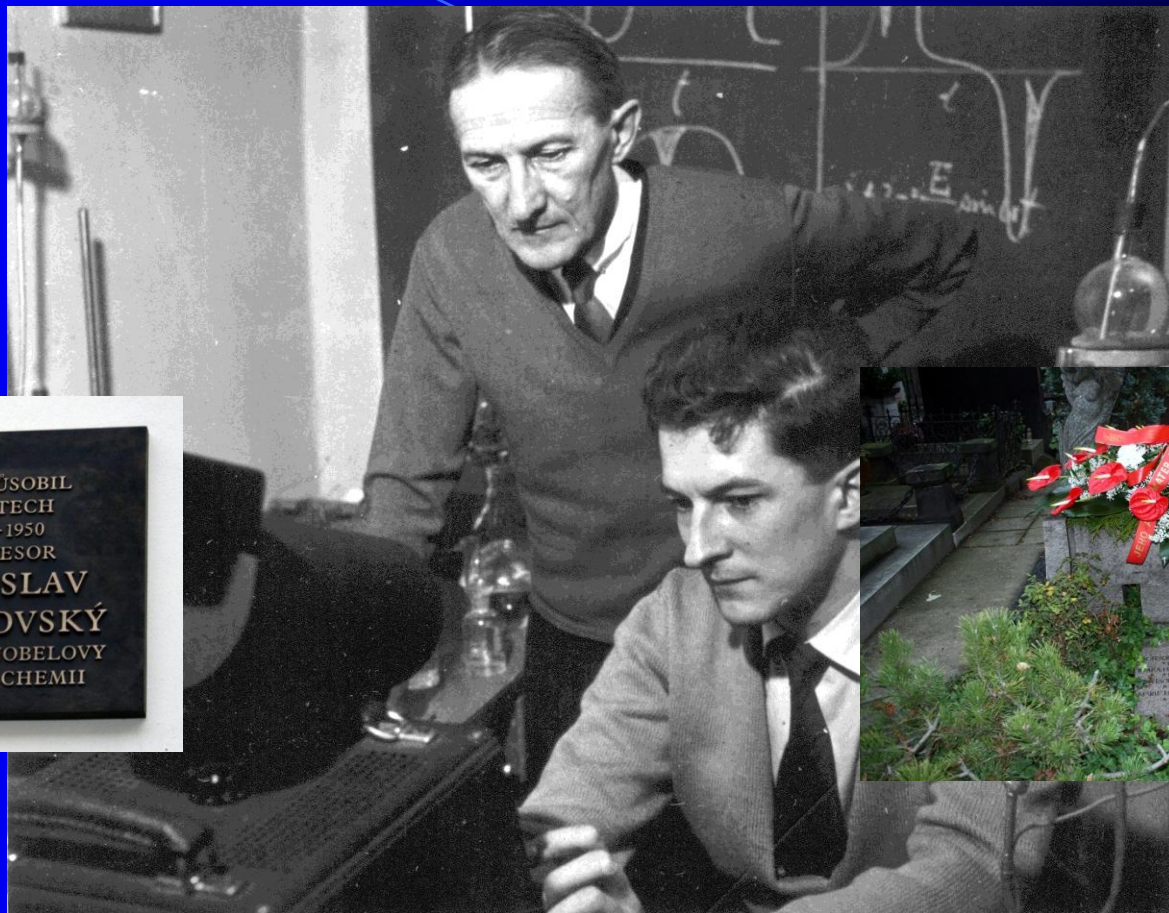
at the maximum is something
happening, but no time to look
for this now!

Friday February 10th 1922 afternoon

In NaCl open to air

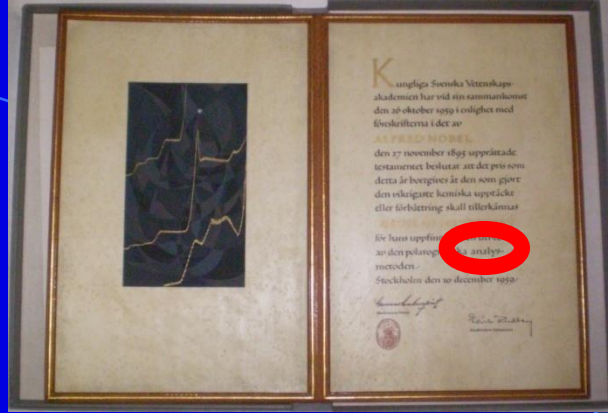


45. výročí úmrtí akademika Heyrovského

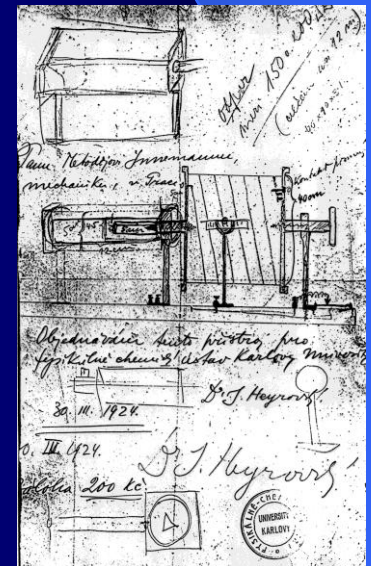
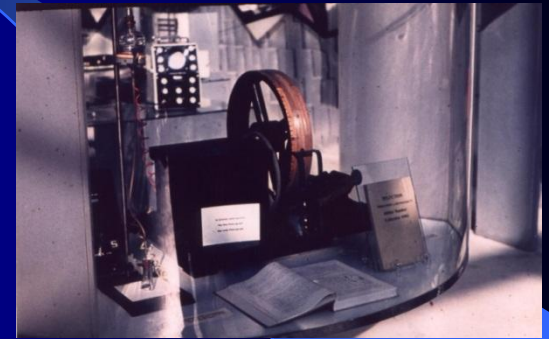


Michael Heyrovský, PhD (*29. 5. 1932 -)

Prof. Jaroslav Heyrovský (*20. 12. 1890 - † 27. 3. 1967)



**Král Gustav Adolph VI. - Prof. Jaroslav Heyrovský
(Stockholm - 10. 12. 1959)**



Kolik Nobelových cen bylo uděleno občanům České republiky? **Ani jedna**



Nobelovy ceny udělené občanům Československa

1. Akademik Jaroslav Heyrovský – za chemii - 1959
2. Jaroslav Seifert – za literaturu - 1984

- a) České republiky od roku 1993
- b) Československa v letech 1920–1992

Který občan Československa byl 1. nositelem Nobelovy ceny

Thomas Mann



Nobelovy ceny Československu

1. Bertha...
2. Carl F...
3. Gerta...
4. Peter C...

1936
1939

...kům z

(míru) –

A - 1947

JSA – 1947

197

Nobelovy ceny v Československu (nominace - neuděleno):

1. Edvard Beneš (míru)
2. Karel Čapek (za literaturu)
3. Milan Kundera (za literaturu)
4. Jiří Hájek (míru)
5. Václav Havel (míru)
6. Tomáš Garrigue Masaryk (míru)
7. Otto Wichterle (za chemii)

Chem. Listy 16 (6), 256 (1922)

Zvláštní otisk z časopisu „Chemické listy pro vědu a průmysl“, roč. XVI.

(1922) 256-63

Elektrolýza se rtuťovou kapkovou katodou.

Dr. J. Heyrovský

Úvod.

Profesor B. Kučera zavedl (Drud. Ann. 11, p. 698, r. 1903) pro přesné měření povrchového napětí polarisované rtuť metodu vážení kapek. Při této metodě polarisujeme rtuť kapající zvolna z úzké kapiláry do roztoku, při čemž druhou elektrodou je vrstva rtuť na dně nádoby. Výsledky jeho měření jsou shodné s výsledky původní Lippmannaovy metody, při níž polarisovaná rtuť zůstává uvnitř kapiláry; oba způsoby dávají stejné elektrokapilární paraboly, znázorňující vztah mezivrchového napětí mezi rtuť a roztokem k polarisující elektromotorické síle, metoda Kučerova jest však přesnější.

Při pracích touto metodou bylo pozorováno, že se na kapkách rtuť, činíme-li je katodou, v neutrálním a alkalickém prostředí i při značné polarisaci vodík nevyvíjí a že spíše vznikne amalgam i nejpositivnějších kovů. Proto se zdálo takováto kapková elektroda vhodnou ke studiu katodického vylučování se kovů, jež by jinak reagovaly s vodou, dávajíce vodík, jako jsou kovy alkalií a kovy alkalických zemin.

Kromě tohoto nešťastného vývoje vodíku čili velkého «přepětí» čisté kapalici rtuť, poskytuje kapková katoda také jiné výhody: v okolí elektrody se stýká následkem automatického míchání odpadávajícími kapkami stále nový čistý povrch rtuť s roztokem, čímž se odstraňuje změna koncentrace v okolí elektrody, t. zv. «koncentrační polarisace», jež jinak vždy ruší měření polarisací; dále kapky dopadající do rtuť na dně, jež slouží za anodu, míchají roztok i tam. Tato vrstva rtuť, pokrývající dno nádoby, udržuje v roztoku

chloridů nebo hydroxydů během polarisace známý potenciál elektrod kalomelových nebo merkuri-oxydových, na něž můžeme potenciál polarisované katody vztahovati.

S takovýmto uspořádáním lze na kapkách rtuť vylučovati z vodných roztoků i kalcium a magnesium dříve, než se počne vyvíjetí vodík, a tvoření jejich amalgam lze tak podrobně sledovati.

Již prostým stanovením váhy kapek nebo doby kapek polarisované rtuť lze vyšetřiti snadnost, s níž se kov na rtuťové katodě vylučuje. Jakmile totiž nastane elektrolýza roztoku a na katodě vzniká amalgam, nelze polarisovati rtuť na vyšší potenciály a váha kapek, jakož i doba kapek se dále při zvětšování polarisující elektromotorické síly (zkráceně E. M. S.) nemění.

V tom bodě se změní pak elektrokapilární parabola a křivka postupuje rovnoběžně s osou úseček (viz obr. 1).

Graf na obraze 1, znázorňující změnu povrchového napětí rtuť polarisované v decinormálních roztocích chloridů příslušných kationtů, ukazuje řadu, podle níž se kovy s větší nebo menší ochotou na katodě vylučují. Výsledky nejsou však úplně přesné, neboť ohyb paraboly záleží, jak se shledalo, na podmínkách určujících intenzitu procházejícího proudu, t. j. na velikosti a rychlosti kapek, koncentraci roztoku a rozměrech nádoby.

Avšak mnohem přesnější metoda, jíž lze vylučování se kovů na kapkách rtuť od počátku přesně sledovati, spočívá ve měření velikosti proudu způsobeného polarisací, t. j. určením t. zv. křivky intenzity a napětí. Pojednání, jež tuto následuje, popisuje taková měření.

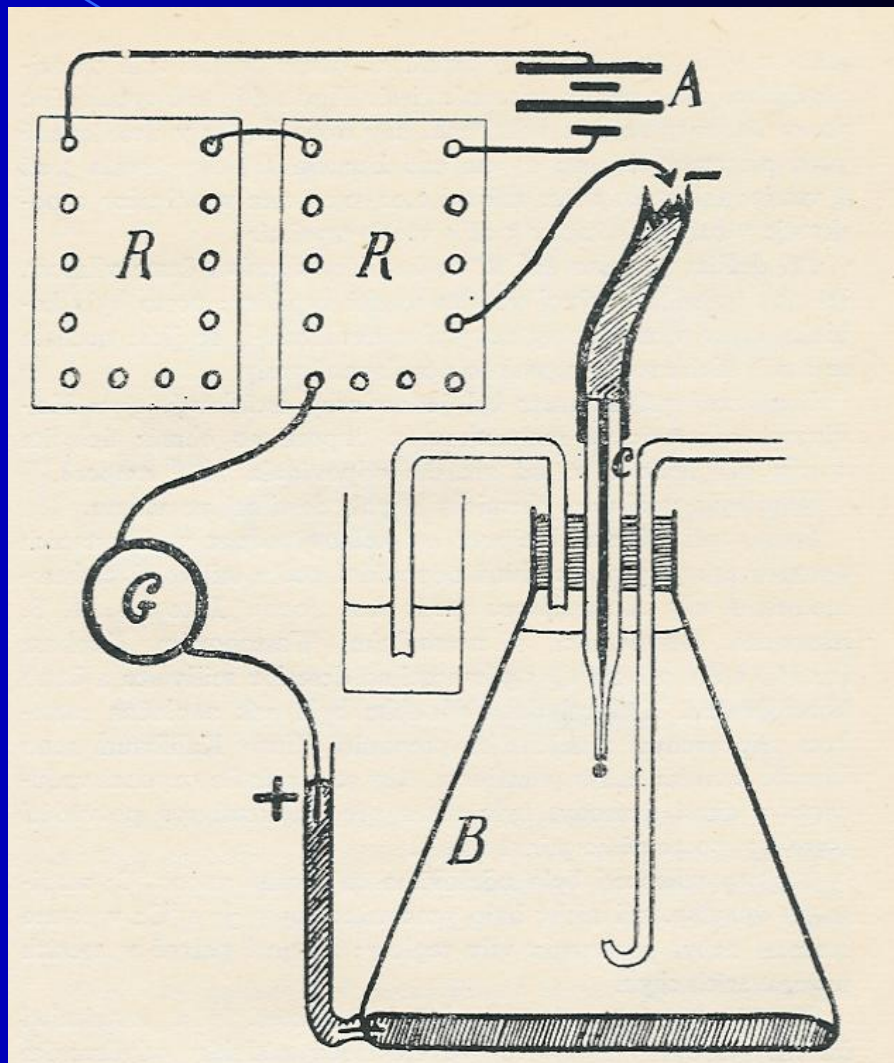
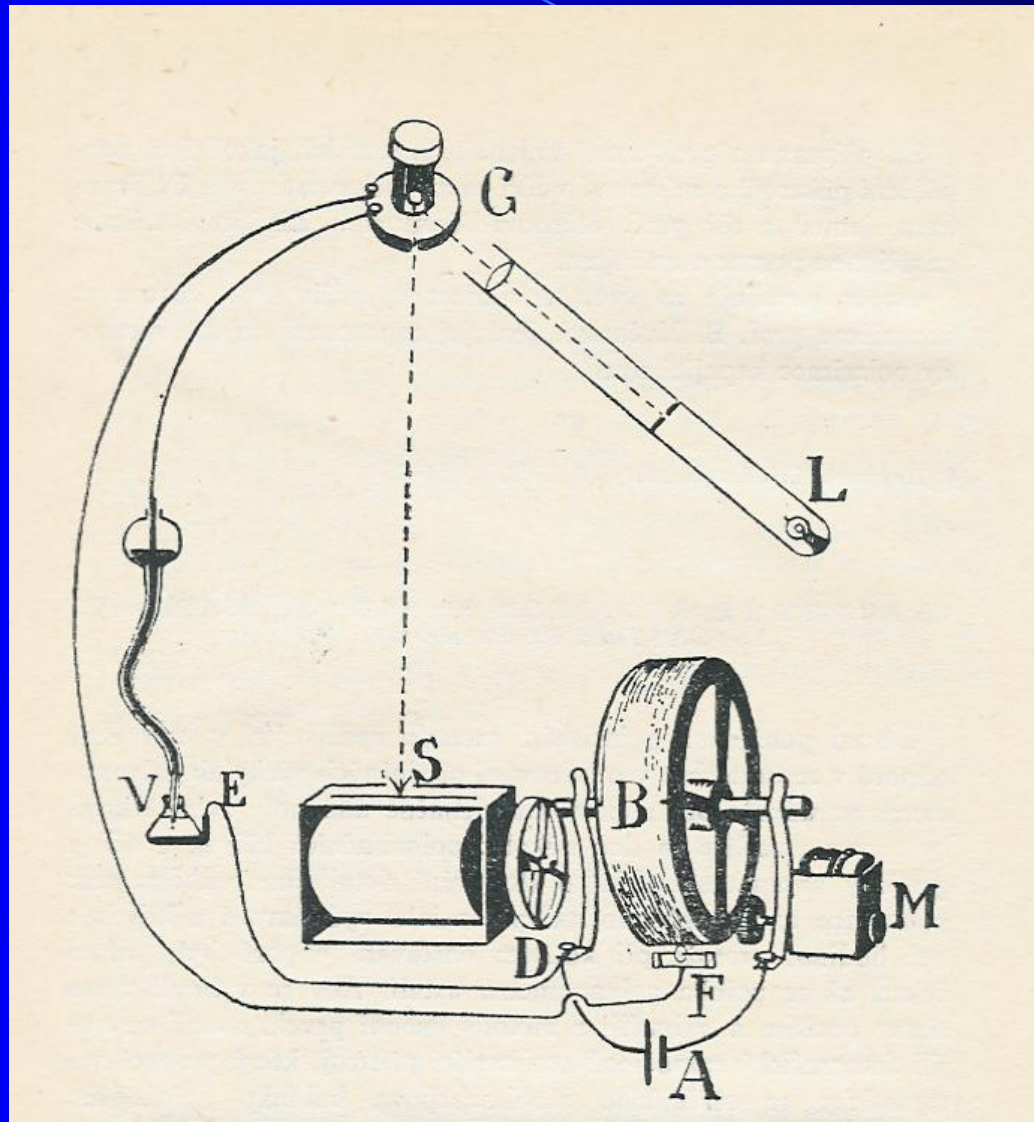
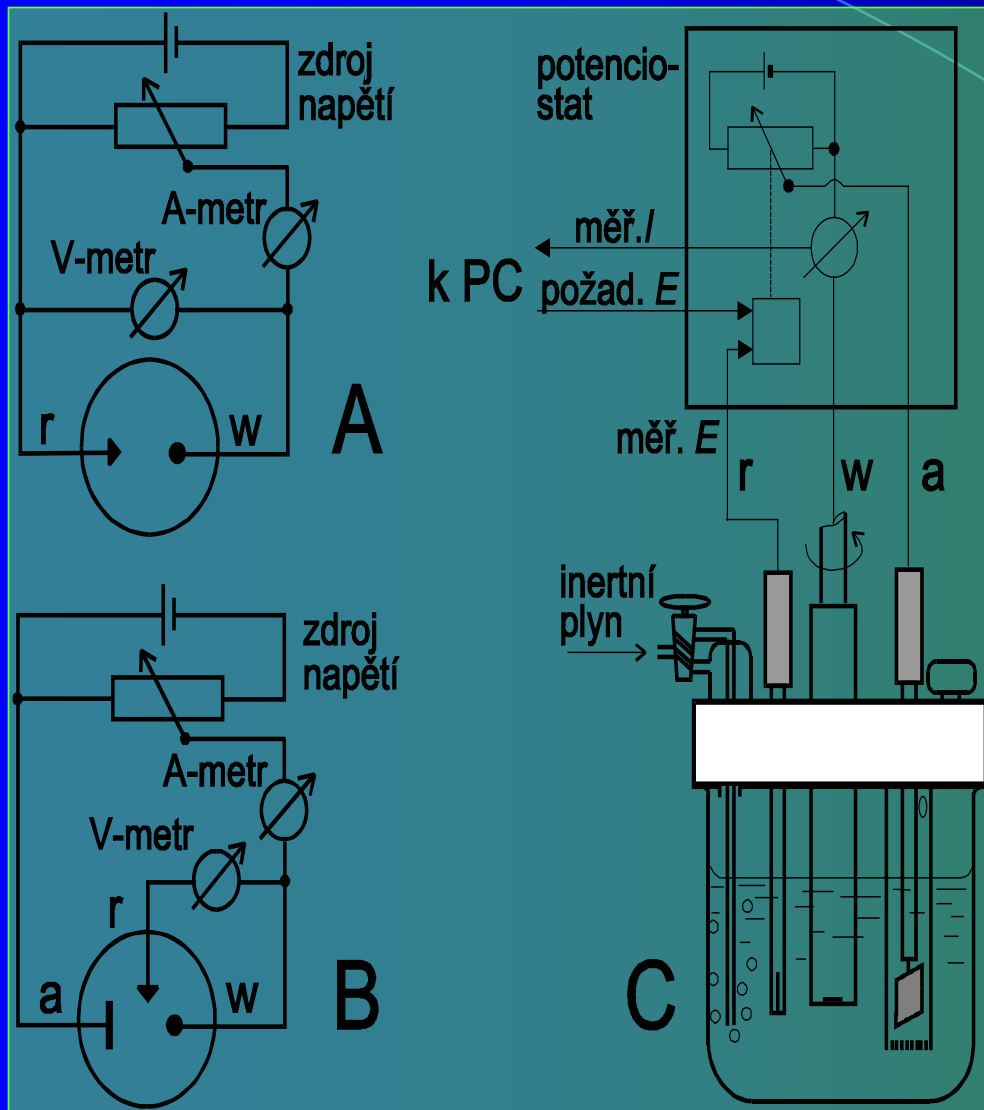


Schéma klasického polarografu

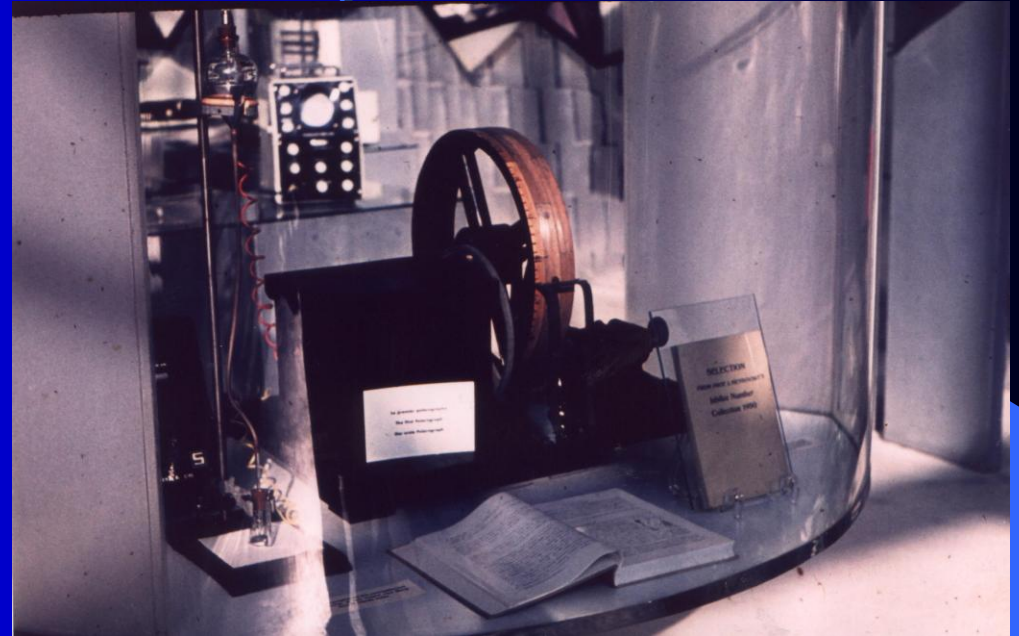
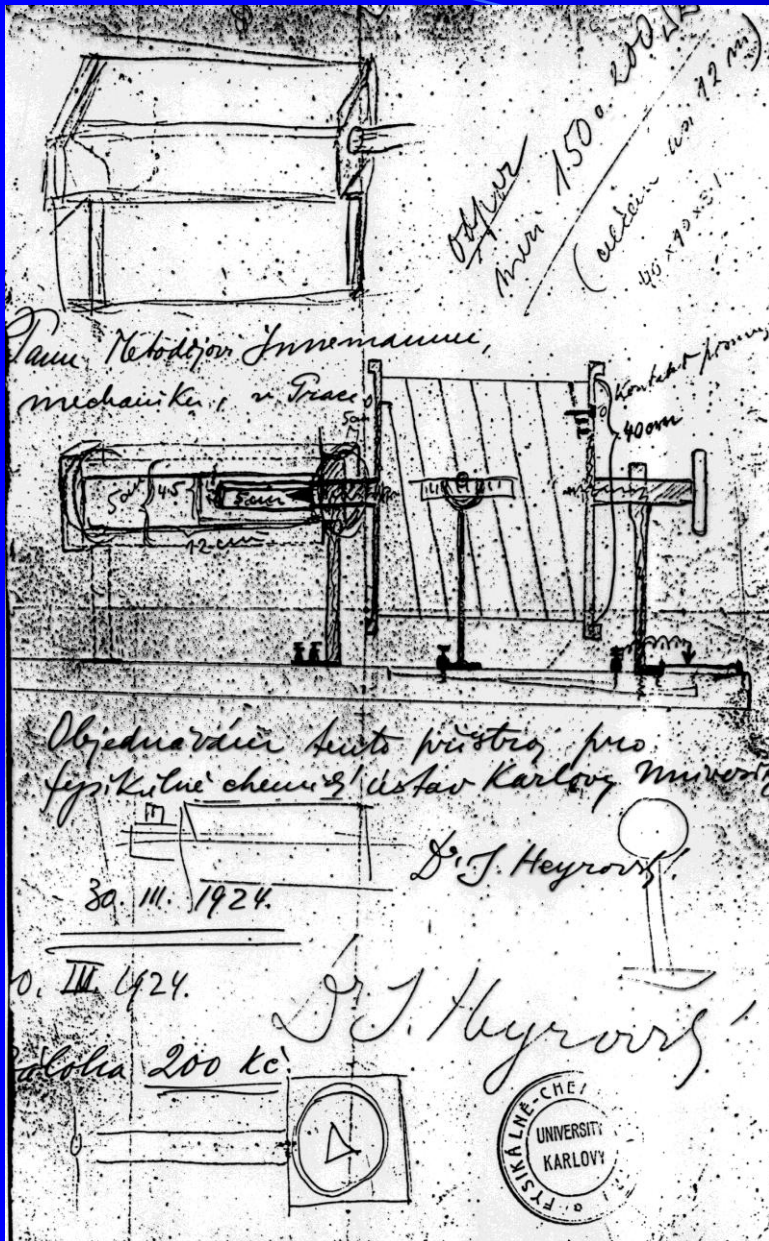


Blokové schéma polarografu

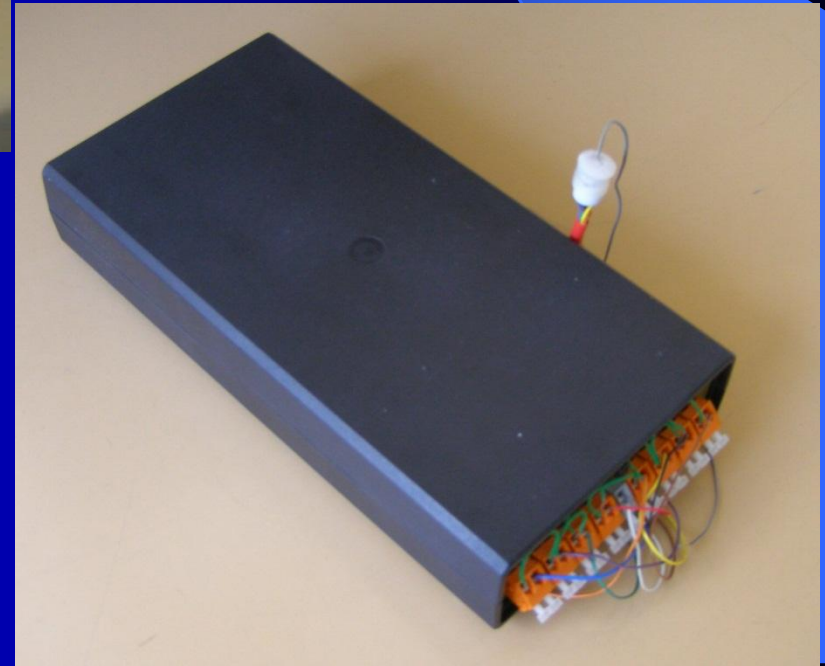
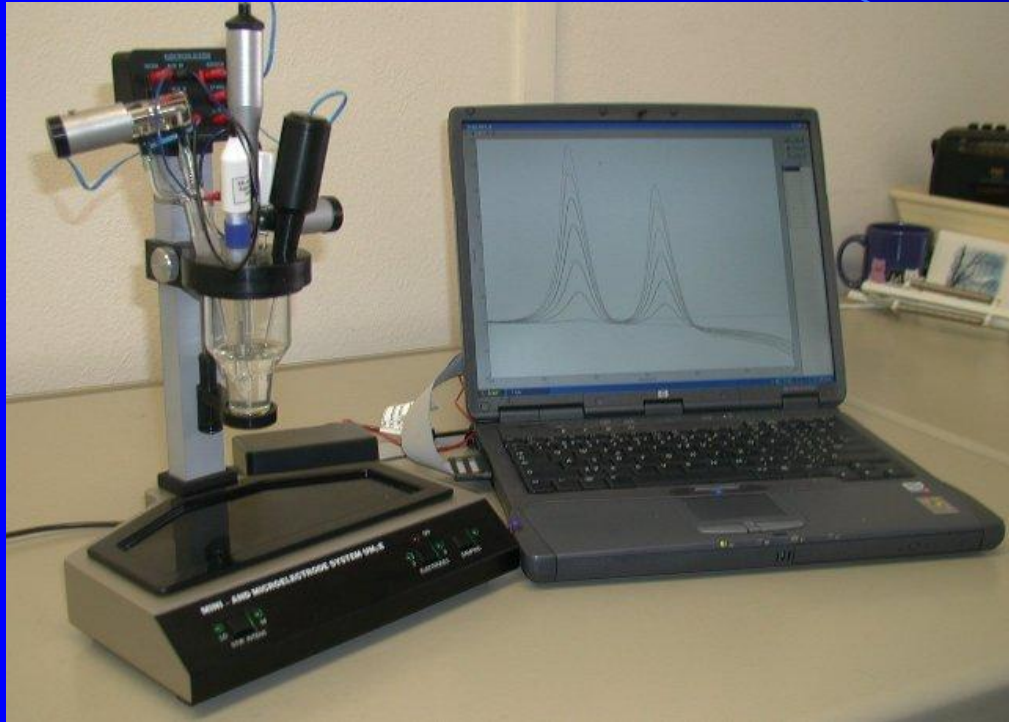


- (A) dvouelektrodivé uspořádaní
 - (B) tříelektrodivé uspořádaní realizace voltametrické nádoby pro měření v
 - (C) moderní tříelektrodivé uspořádaní
- a – pomocná elektroda,
r – referenční elektroda,
w – pracovní elektroda
(v daném případě rotující disková elektroda)

První registrační analytický přístroj



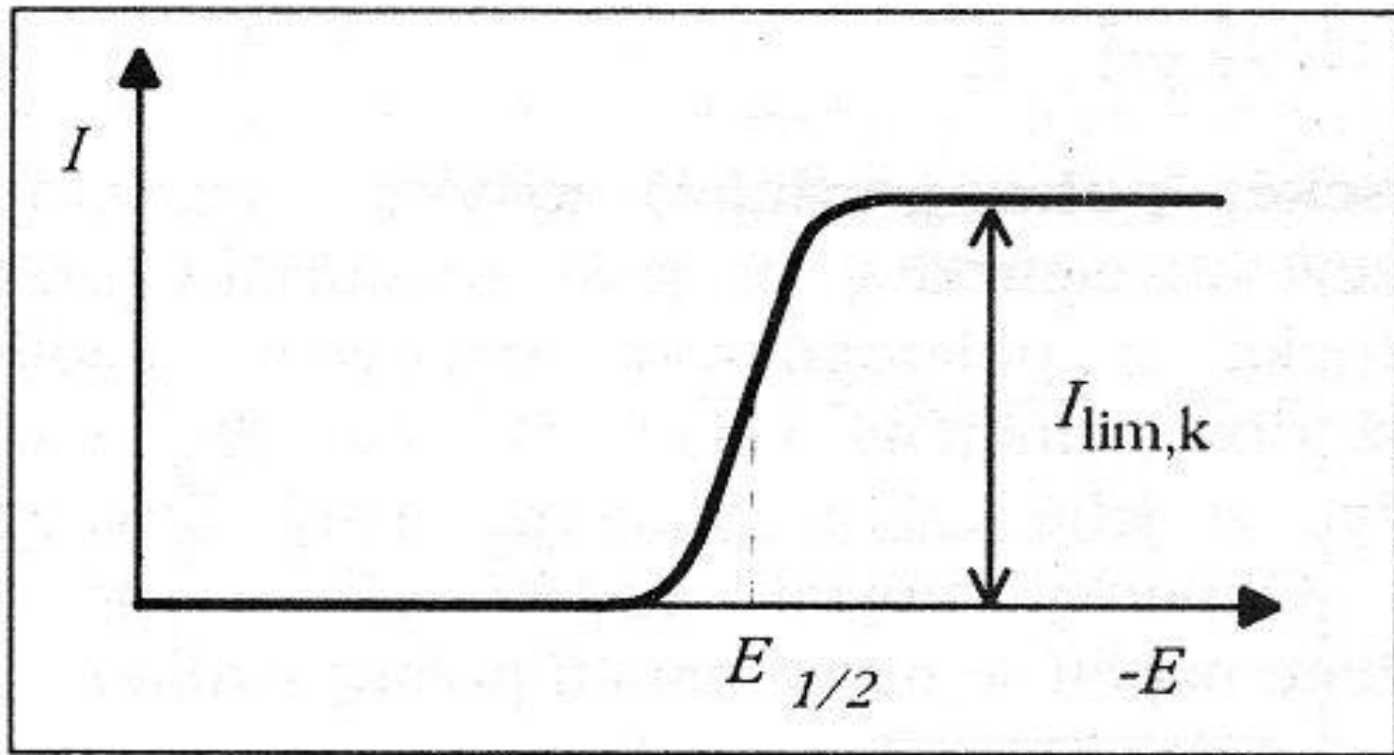
Dnes



Nejvýznamnější výrobci

Amel	http://amelsrl.com amel@amelsrl.com
Bioanalytical Systems	http://www.bioanalytical.com bas@bioanalytical.com
CH Instruments	http://www.chinstruments.com info@chinstruments.com
ECO Chemie	http://www.ecochemie.nl autolab@ecochemie.nl
ESA	http://www.esainc.com info@esainc.com
Metrohm	http://www.metrohm.ch info@metrohm.ch
PAR (Perkin-Elmer)	http://instruments.perkinelmer.com info@perkin-elmer.com
Polaro-Sensors (Eco-Trend Plus)	Polarsen@seznam.cz
Radiometer	http://www.radiometer-analytical.com radiometer@nalytical.com

Polarografická vlna

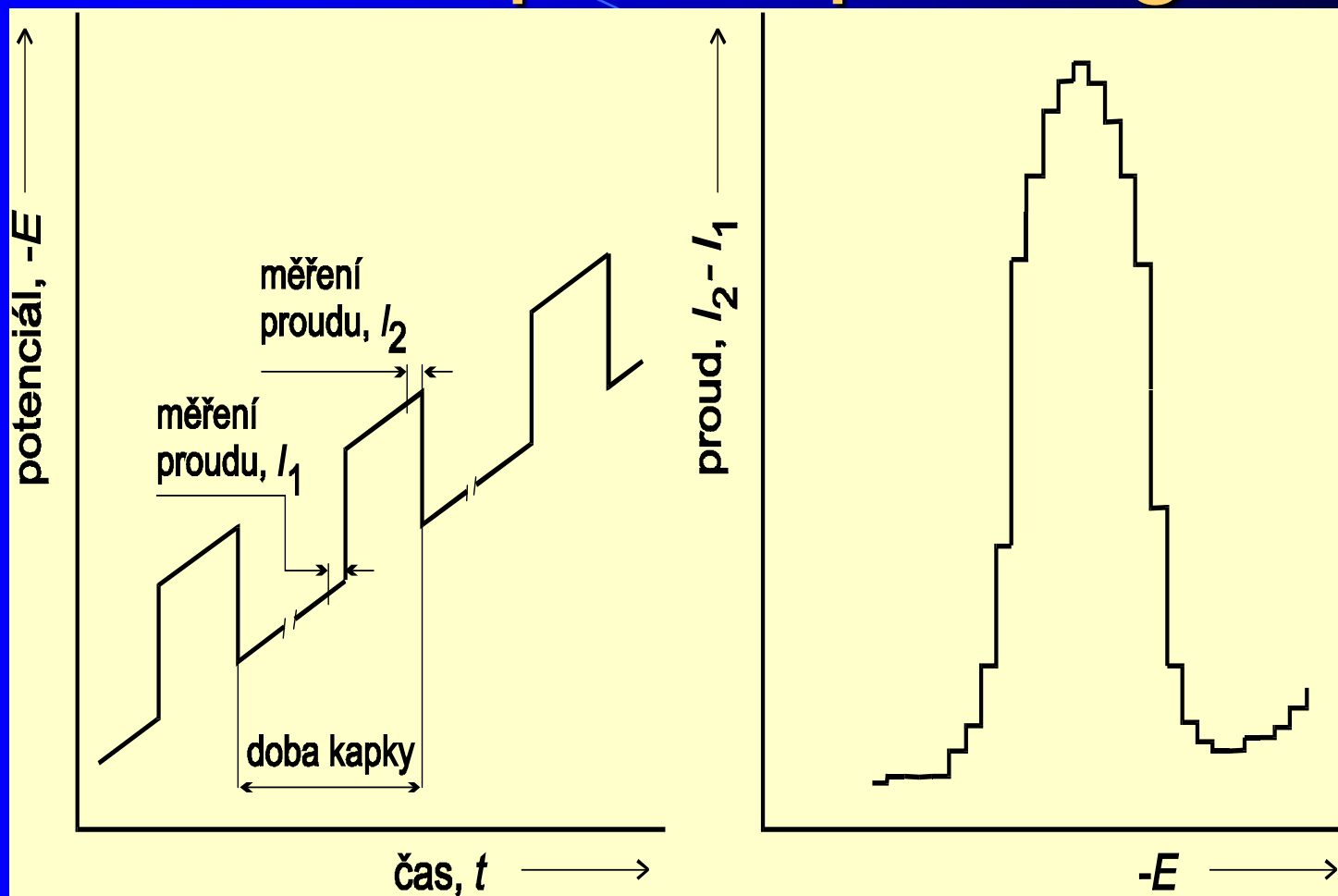


Obr.114 Katodická polarizační křivka

Heyrovského - Ilkovičova rovnice
katodická vlna - reverzibilní děj

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{\bar{i}}{\bar{i}_d - \bar{i}} \sqrt{\frac{D}{D'}}$$

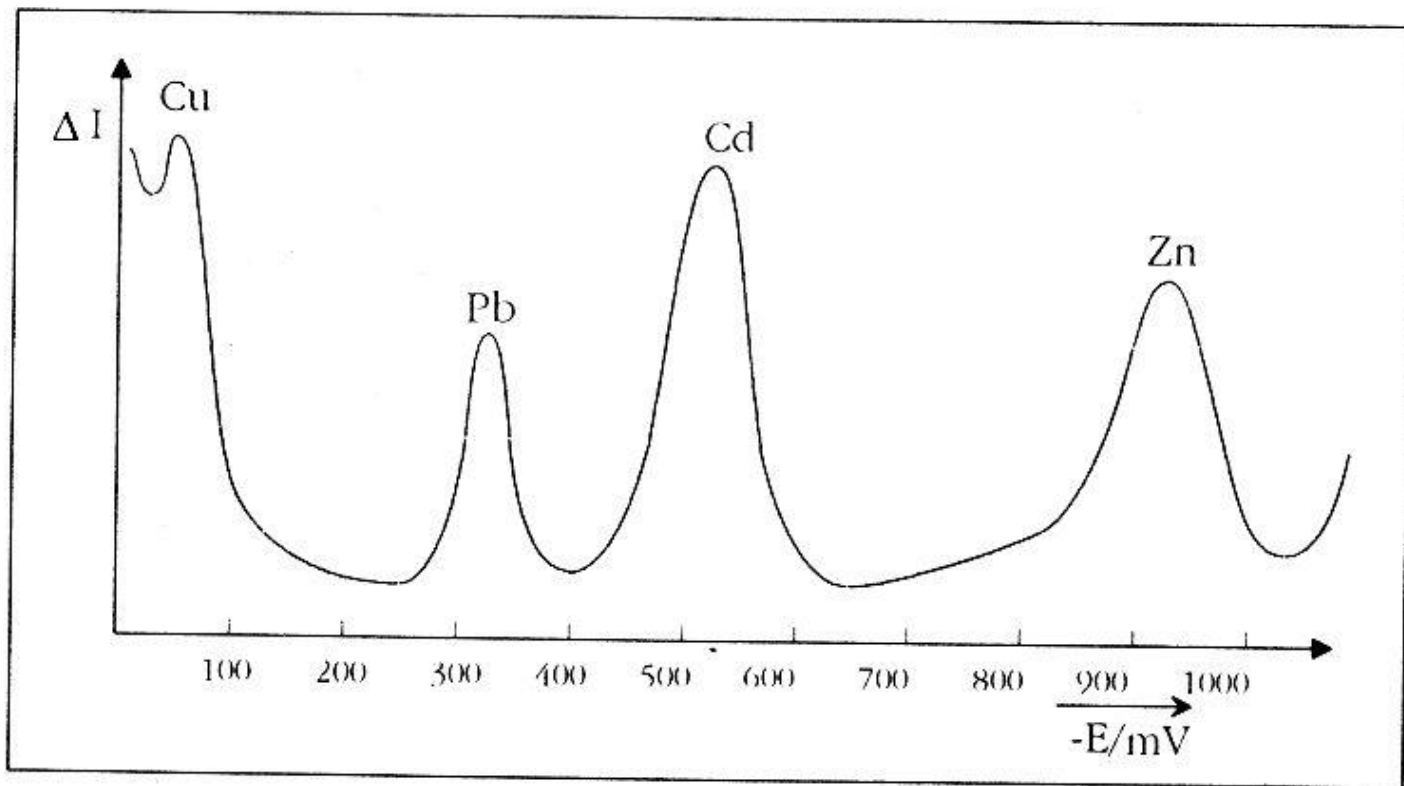
Diferenční pulsní polarografie



Potenciálový program

Proudová odezva

Diferenční pulsní voltametrie



Stanovení Cu, Pb, Cd a Zn metodou diferenční pulzní rozpouštěcí voltametrie

Rtuťová fontána (Španělsko) – Barcelona, Foundation Miró

Doly Almaden



12. září 2006 11:33,

Na gymnáziu V. Hlavatého v Lounech byla dopoledne přerušena výuka. **Zásahová jednotka** likvidovala v několika učebnách a v šatnách kuličky rtuti. Podle hasičů jí bylo půl decilitru. Jedovatou látku přinesl do školy jeden ze studentů tercie.

Studenti gymnázia byli evakuováni na školní hřiště. Krátce **po 11. hodině** ředitel znovu zahájil výuku. "Kromě tříd, ve kterých byla rtuť přímo nalezena, už se všude učí. V těchto místnostech ještě preventivně větráme," řekl iDNES.cz ředitel školy Milan Rieger. "Všichni studenti jsou v pořádku," dodal.

"Jeden student přinesl rtuť do školy. Chtěl se asi pochlubit spolužákům ve třídě. Došlo k úniku malého množství této látky v několika učebnách," řekl ředitel.

Chlapec nosil jedovatou látku v batohu, vzal ji prý doma rodičům. "Už jsme zjistili, o koho jde. Mluvil jsem s rodiči tohoto studenta, vzhledem k tomu, že je nezletilý, vyvodíme z toho nějaké konkrétní kázeňské řešení podle našeho školního řádu," tvrdí ředitel. S podobnou záležitostí se prý za svou kariéru setkává poprvé.

Rtuť byla i v šatnách

"Do školy v Poděbradské ulici v Lounech byla přivolána naše zásahová jednotka. **Hasiči vysávali speciálním vysavačem kousky rtuti ve dvou třídách, v šatnách a ve skříňkách,**" potvrdil iDNES.cz mluvčí ústeckých hasičů Lukáš Marvan. Případ nyní vyšetřuje policie.

"Mohu potvrdit, že záležitost nyní vyšetřují kriminalisté z Loun. Látku bude také podrobena expertíze," sdělila iDNES.cz mluvčí policie Jaromíra Střelcová.



Rtuť ve vestibulu uzavřela stanici metra

Zásah ve stanici metra I.P. Pavlova kvůli rtuťi (Autor:) 1. května 2006 10:41,

Podezřelá chemikálie uzavřela metro na I.P. Pavlova. Vlaky stanicí dvě hodiny jen projížděly. Hasiči zjistili, že šlo o rtuť.

Policie dostala hlášení o neznámé chemické látce sedm minut před půl desátou. Látka byla na schodech do metra a ve vestibulu stanice.

"Místo jsme zajistili a po domluvě s dopravním podnikem začaly soupravy stanicí jen projíždět," řekl iDNES policejní mluvčí Ladislav Bernášek.

Kromě policistů dorazili na místo i hasiči - pražská protichemická jednotka a také zásahový oddíl pražského dopravního podniku.

"Zjistili, že podezřelou látkou je rtuť," sdělil iDNES mluvčí hasičů Vít Pernica.

Hasiči rtuť pokrývající plochu zhruba třiceti metrech čtverečných vysáli speciální vývěvou na chemické látky a poté prostor metra dočišťovali.

Policie vyšetřuje, odkud se rtuť vzala a kdo a z jakého důvodu ji do metra dal.



Formy výskytu Hg:

Mocenství: 0, +I, +II

- 1) Kovová rtuť (elektrody HMDE, DME, obecně ME apod.)
- 2) Páry rtuti
- 3) Amalgámy rtuti
- 4) Anorganické sloučeniny rtuti (rozpuštěné soli-chloridy, dusičnany, jodidy)
- 5) Organické sloučeniny rtuti (RHgX nebo RHgR' , kde R a R' představují uhlovodíkové zbytky (nejčastěji CH_3^- , C_2H_5^-) a X anion halogenid, dusičnan, sulfid nebo síran).

„RTUŤ SE NESMÍ UVÁDĚT NA TRH:

- a) v teploměrech na určování tělesné teploty
- b) v dalších měřících zařízeních určených k prodeji široké veřejnosti (např. v tlakoměrech, barometrech, sfygmomanometrech, teploměrech jiných než na určování tělesné teploty)“

*Nařízení komise ES č. 552/2009 (o REACH),
příloha XVI ze dne 22. června 2009
(český text Úřední věstník EU L 164, 26.6.2009, str. 7)*

čl. 4 odst. 1

„ČLENSKÉ STÁTY EU ZAJISTÍ, ŽE OD 1. ČERVENCE 2006 NEBUDOU NOVÁ ELEKTRICKÁ A ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ UVÁDĚNÁ NA TRH OBSAHOVAT RTUŤ“

Příloha

POUŽITÍ RTUTI, KTERÁ JSOU VYJMUTA Z POŽADAVKŮ čl.4 odst.1

1. Rtuť v kompaktních zářivkách, jejíž obsah nepřevyšuje 5 mg na zářivku
2. Rtuť v trubicových zářivkách pro obecné účely, jejíž obsah nepřevyšuje:
 - u halofosfátových zářivek 10 mg
 - u trifosfátových zářivek s běžnou dobou životnosti 5 mg
3. Rtuť v trubicových zářivkách pro zvláštní účely
4. Rtuť v jiných svítidlech konkrétně neuvedených v příloze.“

*Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 95 ze dne 27. ledna 2003
(český text Úřední věstník EU L 37, 13.2.2003, str. 127)*

Porovnání vyprodukované rtuti při výrobě elektrické energie a zářivky

100W žárovky a ekvivalentu 23W zářivky

provoz 10 000 hod

	Vyprodukované množství Hg při výrobě el. energie	Obsah Hg ve zdroji	Celkem
100W žárovka	23,4 mg rtuti	0	23,5 mg rtuti
23W úsporná	5,32 mg rtuti	5-10 mg rtuti	15,3 mg rtuti

Ekologická likvidace zářivek je pouze 10%!!!

Předpoklad: pro výrobu 1 kWh je vyprodukováno 0,0234 mg Hg, nebo-li pro výrobu 1971 miliard kWh vyprodukováno 50,7 tun rtuti.

Testovací podmínky:

V uzavřené místnosti byla mechanicky rozbita zářivka. Po šesti minutách byly střepy odstraněny a místnost byla vyvětrána pomocí otevření dveří a okna. Koncentrace rtuti byla pak průběžně měřena.

Typ zářivky: L58W / 640

Teplota v místnosti: 22 °C

Velikost místnosti: 35 m²

Umístění senzoru: 0,5 m nad rozbitou zářivkou

Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK):

průměrná: 50 µg.m⁻³

nárazová: 150 µg.m⁻³

- Prudký vrůst Hg na koncentraci až 25 µg /m³.
- Po 3,5 minutách po odstranění zlomků zářivky a po vyvětrání místnosti klesla koncentrace rtuti v místnosti téměř na nulu.
- 1. Otevřít okno a větrat minimálně 15 min., zavřít všechny dveře do ostatních částí domu.
- 2. Místnost by měly opustit především těhotné ženy a děti
- 3. Vypnout centrální nucené-vytápění/klimatizaci (způsobuje víření kontaminovaného prachu)
- 4. Odstranit rozbitou zářivku, vyhledat kapky Hg.

Koncentrační hladiny par rtuti po nehodě s lékařským teploměrem

(hmotnost rtuti v teploměrech v EU 0,5 – 1,5g)

Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK): průměrná: $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
nárazová: $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Pokoj s kontaminovaným podlahovým konvektorem (depositum uloženo u prosklené stěny)

prostor kolem středu ve výši asi 50 cm:
30 – 60 ng/m^3

prostor těsně nad odkrytým konvektorem:
(nad levým okrajem vany)
140 – 400 ng/m^3

prostor uvnitř vany konvektoru
(pod výparníky)
1 400 – 4 000 ng/m^3

Kancelář s kontaminovaným lepeným kobercem (depositum uloženo u stěny pod oknem)

prostor kolem středu ve výši asi 110 cm:
20 – 40 ng/m^3

prostor těsně nad opotřebeným kobercem:
(pod pracovním křeslem)
50 – 100 ng/m^3

prostor těsně nad kobercem
(pod levou stranou pracovního stolu)
800 – 15 000 ng/m^3

Měrné elektrody

- **Rtuť** (kapající, visící)
- **Měď** (aminokyseliny)
- **Zlato** (Arsen, rtuť)
- **Stříbro** (chloridy)
- **Uhlík (grafit)** (pozitivní oblast potenciálů)
- **Diamant**
- **Platina**
- **Kompozitní elektrody (kov+epoxid)** (arsen)
- **Pastové elektrody**
- **Filmové elektrody**
- **Amalgámové elektrody** (např. MeSAE – leštěná, menisková, pastová, filmová)
- **modifikované**
- ... aj.

Referentní

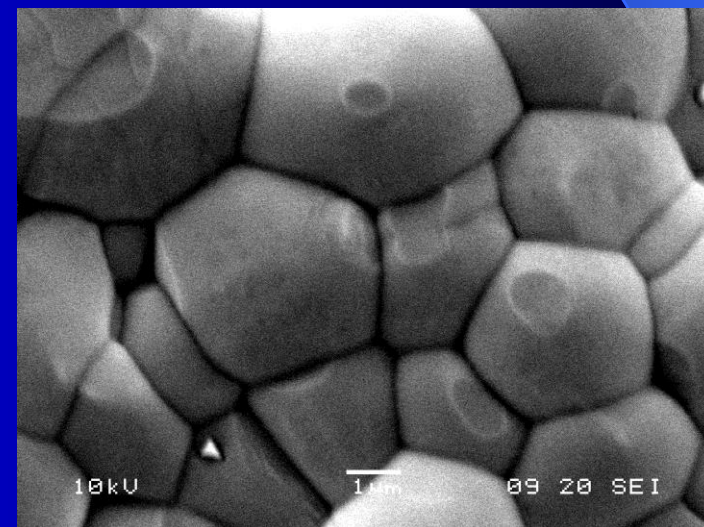
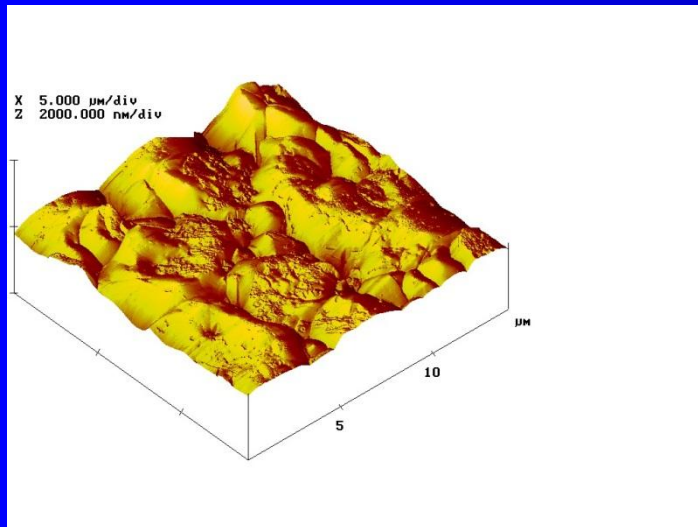
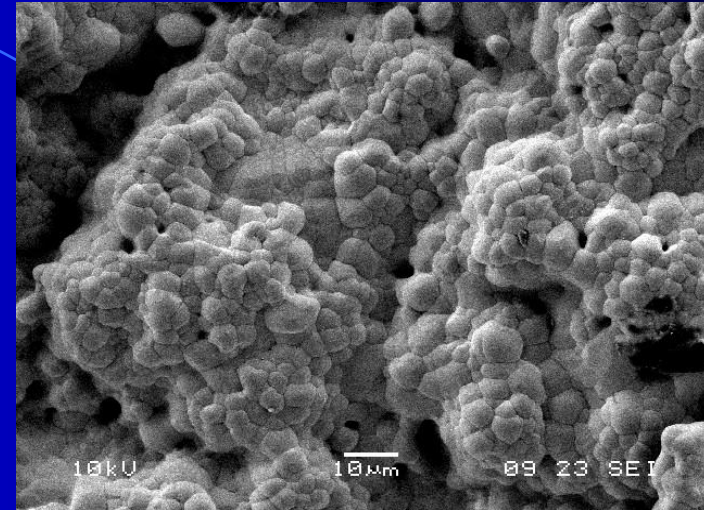
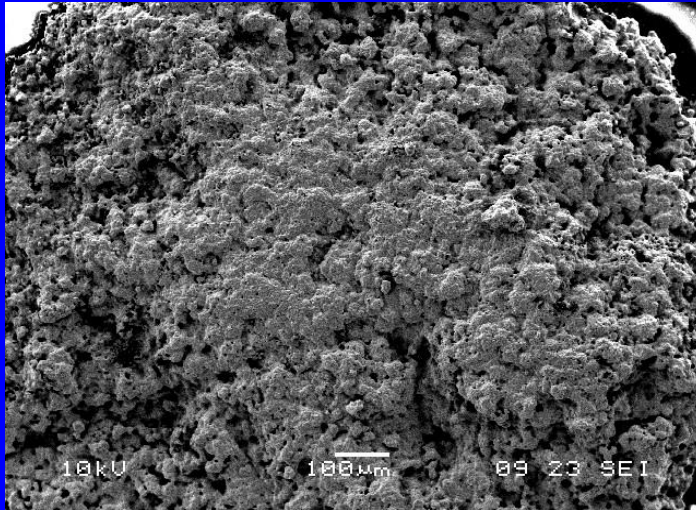
- **(Rtuťové dno), Argentochloridové, merkurosulfátové**

Pomocné

- **Platinová**

Amalgám Ag_2Hg_3

Atomic forces microscopy (AFM) + scanning electron microscopy (SEM)



Čížková P., Navrátil T., Šestáková I., Yosypchuk B.: Verification of Applicability of Mercury Meniscus Modified Solid Amalgam Electrode for Determination of Heavy Metals in Plant Matrice. *Electroanalysis*. 19 (2007) 161-171.

Analyzovaný materiál

- **Vojtěška** - laboratorní referenční materiál IPE 978
 - referenční hodnoty stanoveny v rámci mezilaboratorního porovnání IPE 2000 - 1/4
- **Lilek** - laboratorní referenční materiál IPE 949
 - referenční hodnoty stanoveny v rámci mezilaboratorního porovnání IPE 2003 - 2/4
- **Zelí** - certifikovaný referenční materiál BCR 679
 - producent IRMM (Geel, Belgie)
 - komerčně dostupný: 15 g materiálu
- **Jílek** - certifikovaný referenční materiál BCR 281
 - producent IRMM (Geel, Belgie)
 - komerčně dostupný: 20 g materiálu



Vývoj analytických metod

- Desetitisíce pracovních postupů
- Desítky monografií, tabulek, kompendií
- Řada databází

Počet polarografických prací			
2000	289	1999	310
1998	305	1997	333
1996	305	1995	297

Meze detekce

- Cd ~0,01 $\mu\text{g/L}$
- Pb ~0,01 $\mu\text{g/L}$
- Tl ~0,01 $\mu\text{g/L}$
- Cu ~1 $\mu\text{g/L}$
- As ~1 $\mu\text{g/L}$
- Kyselina fenylglyoxylová ~0.1 mg/L
- Kyselina thiodiglykolová ~1 mg/L

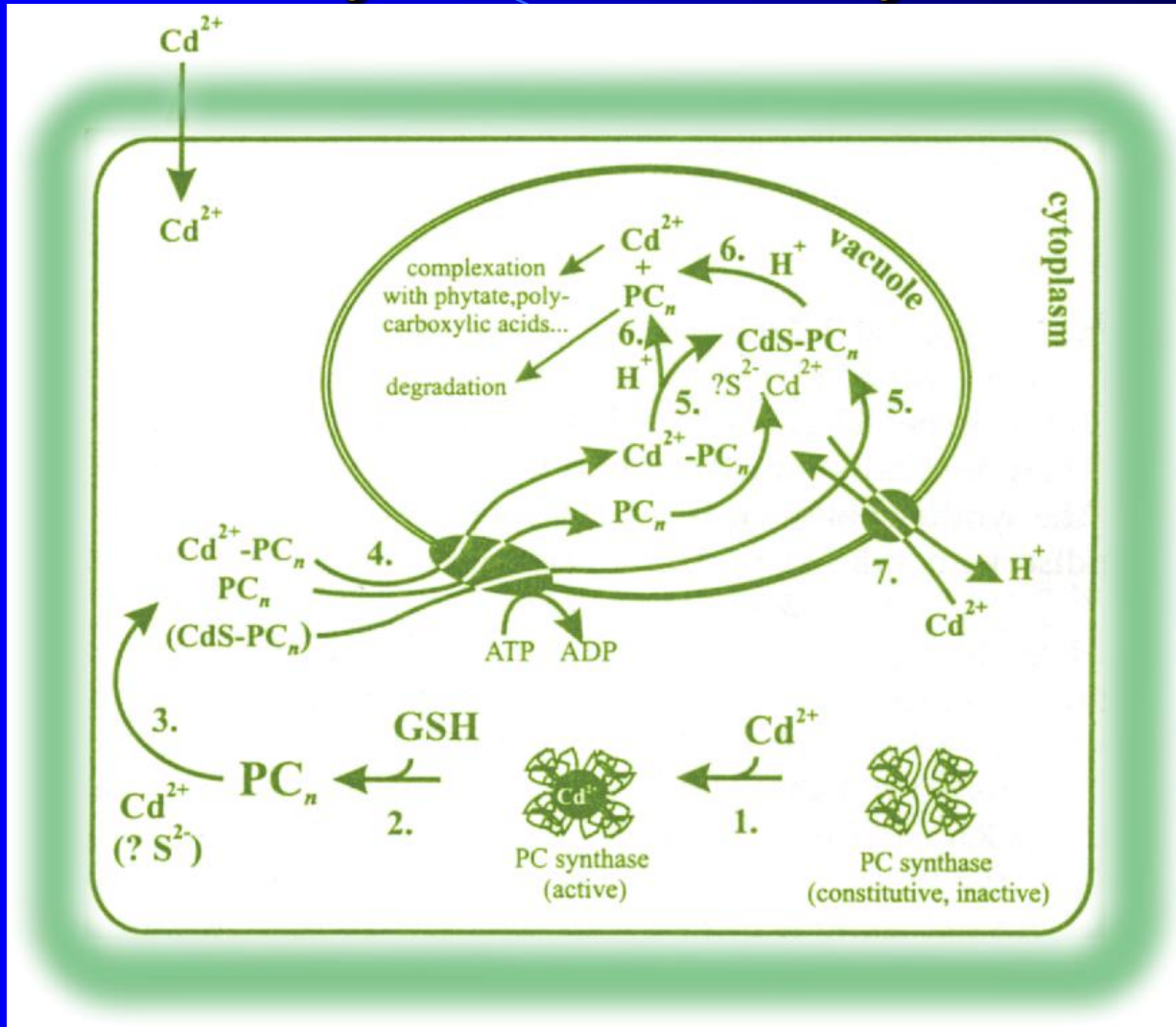
Aplikace

- **Kovy (kationty):** Cd, Cu, Zn, Pb, Sn, Tl, Mo, Cr, Ni, Ag, V, Hg, ... **Speciace (různá mocenství!!!)**
- **Anionty:** Chloridy, bromidy, jodidy, jodičnany, sírany, forsforečnany, dusičnany, dusitany
- **Organické látky:**
- **Aminokyseliny** (cystein, cystin,...)
- **Glutathion, metalothioneiny**
- **Nukleové kyseliny** (adenin, guanin, thymin, cytosin, uracil)
- **Nitrolátky** (TNT, nitrobenzen)
- **Thiodiglykolová kyselina**
- **Fenylglyoxylová kyselina**
- **Karcinogeny, toxické látky, léky, pesticidy ...**

Oblasti aplikací

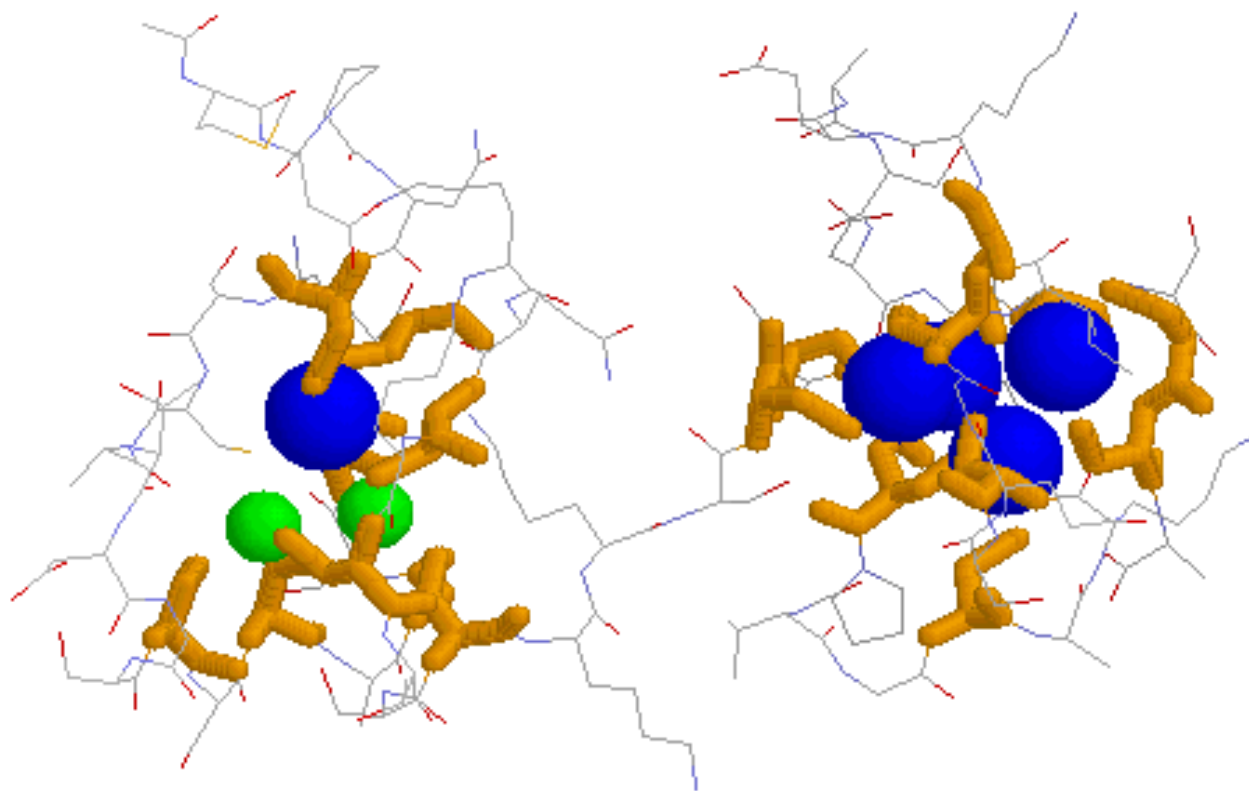
- Hygienické stanice
- Školství (SŠ, VŠ)
- Zdravotnictví (toxikologické laboratoře, nemocnice)
- Vědecká a výzkumná pracoviště (Akademie věd, VŠ)
- Čistírny odpadních vod
- Spalovny
- Průmyslové závody (Chemičky, automobilky, výrobci elektroniky, elektrárny)
- Policie, Civilní ochrana, Hasiči

Fytochelatin

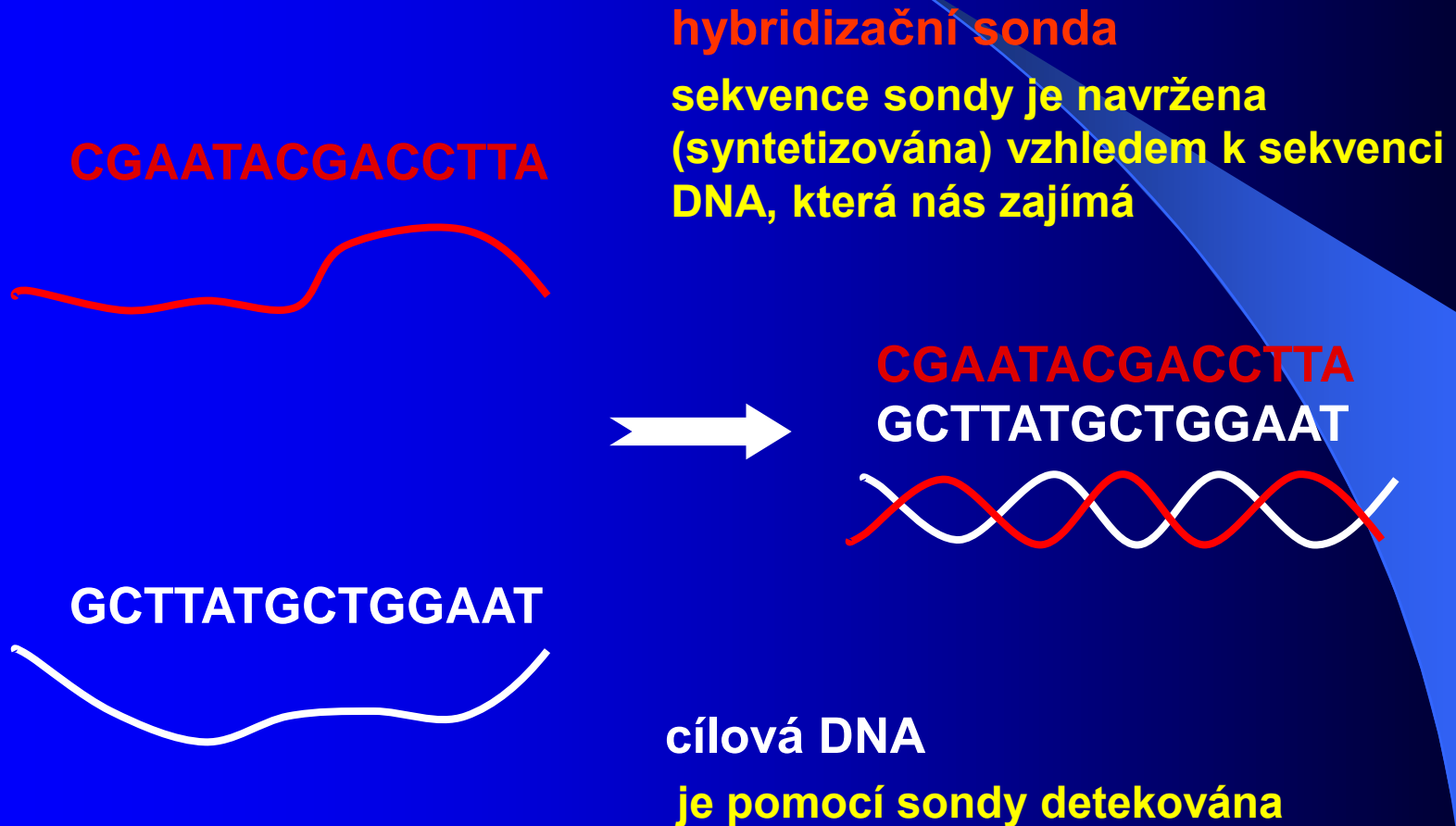


$\text{Cd}_5\text{Zn}_2\text{MT}$

(izolovaný z králičích jater)

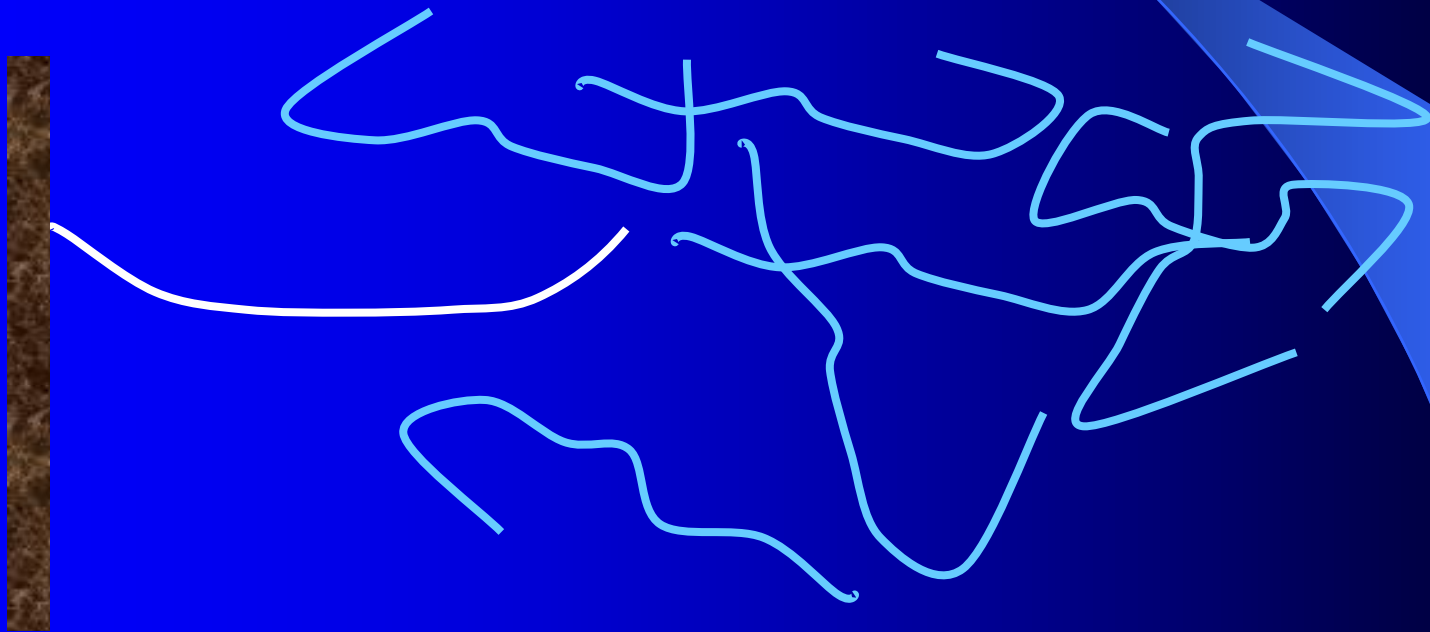


Hybridizace DNA (RNA) je založena na principu tvorby dvoušroubovice ze dvou komplementárních řetězců



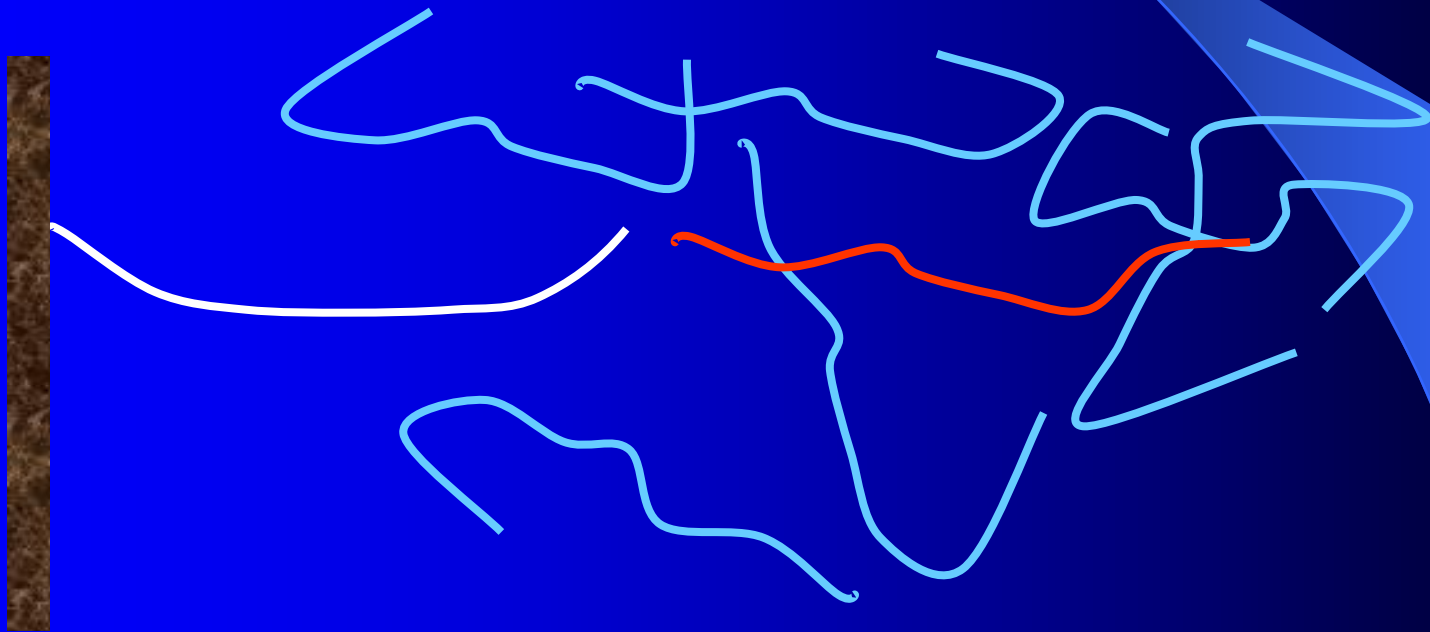
Z praktických důvodů je výhodné zakotvit jeden z řetězců („sondu“) na povrchu

imobilizovaná sonda je vystavena analyzovanému vzorku DNA (RNA)



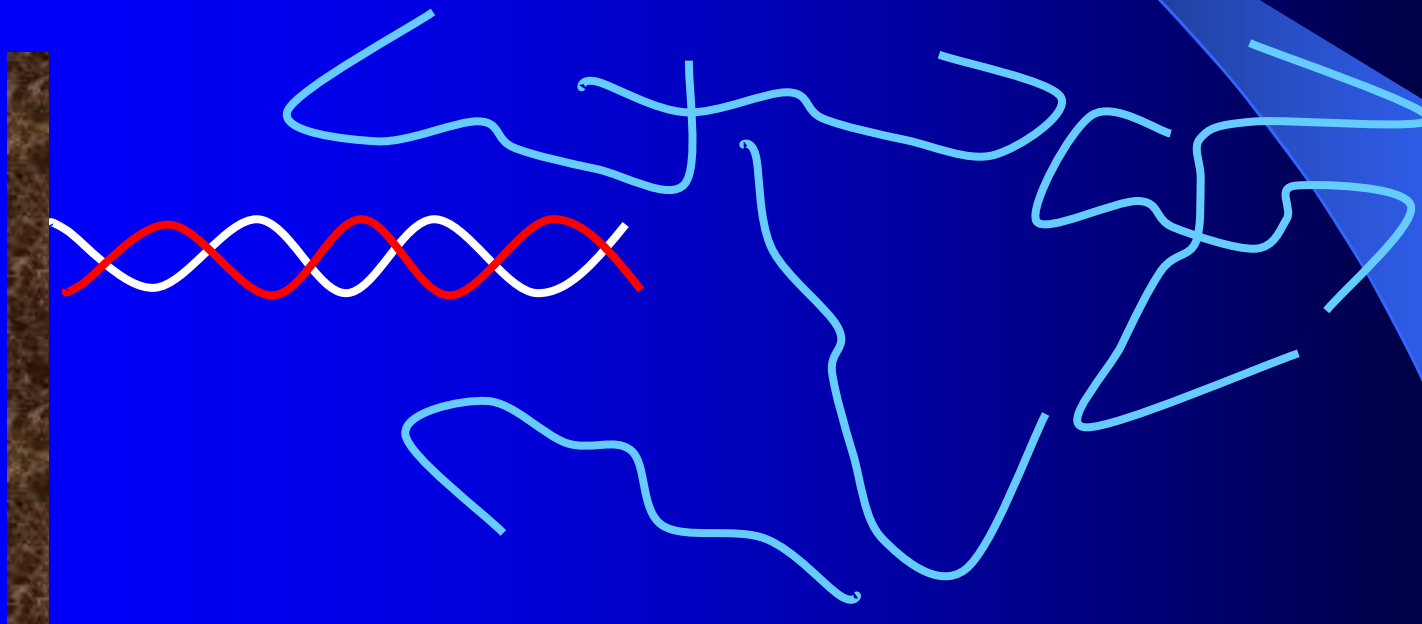
pokud vzorek obsahuje vlákno DNA (RNA) o sekvenci komplementární k sondě („cílovou sekvencí“), vytvoří se na povrchu dvoušroubovice („duplex“, „hybrid“)

Z praktických důvodů je výhodné zakotvit jeden z řetězců („sondu“) na povrchu



pokud vzorek obsahuje vlákno DNA (RNA) o sekvenci komplementární k sondě („cílovou sekvencí“), vytvoří se na povrchu dvoušroubovice („duplex“, „hybrid“)

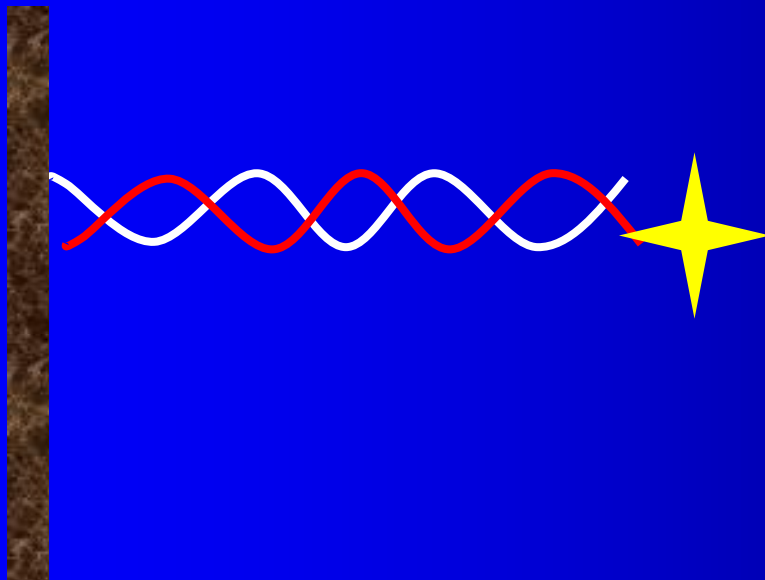
nespecifické molekuly DNA jsou poté odstraněny (odmyty)



pokud vzorek obsahuje vlákno DNA (RNA) o sekvenci komplementární k sondě („cílovou sekvencí“), vytvoří se na povrchu dvoušroubovice („duplex“, „hybrid“)

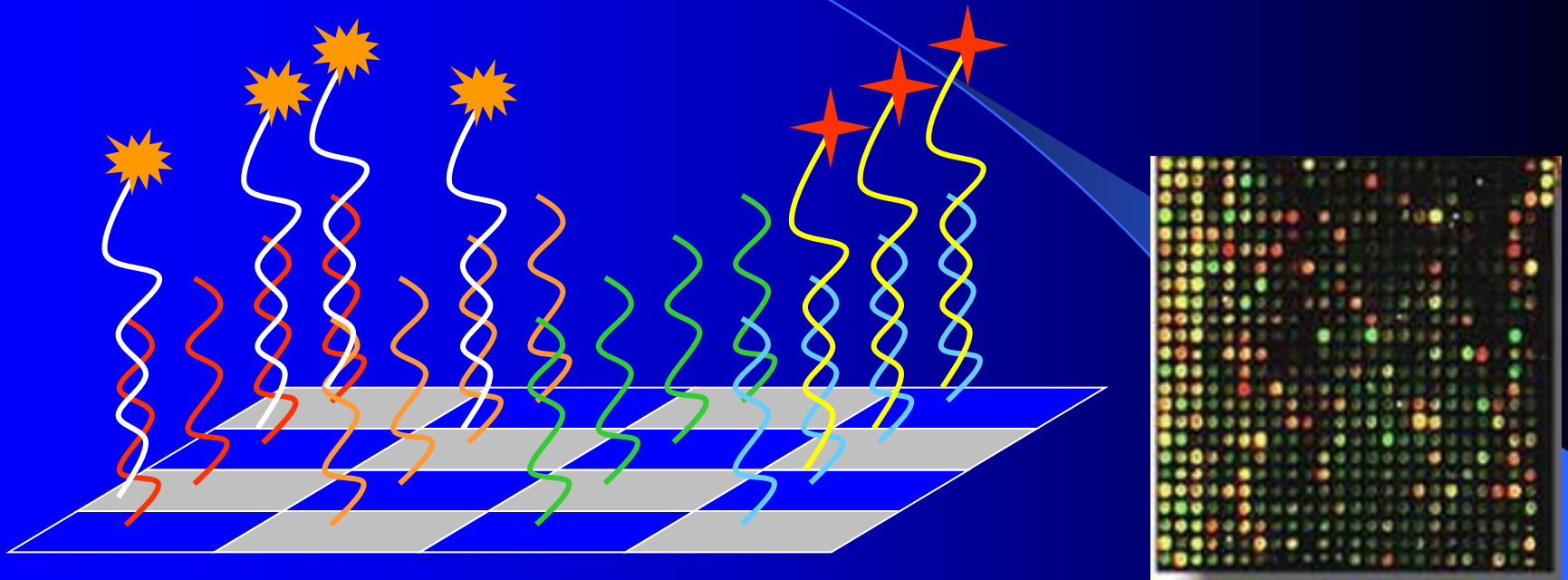
nespecifické molekuly DNA jsou poté odstraněny (odmyty)

následuje detekční krok, při kterém je zjištěno, zda došlo k hybridizaci



výhodné je cílovou DNA označit dobře detekovatelnou značkou (radionuklidem, fluoroforem...)

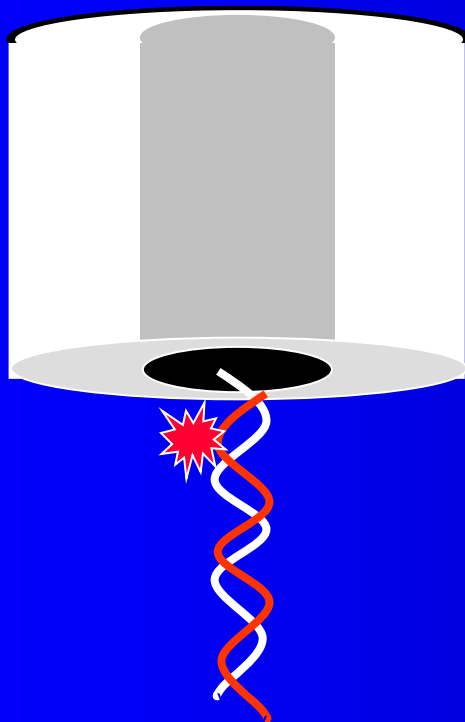
DNA „čipy“ („arrays“):



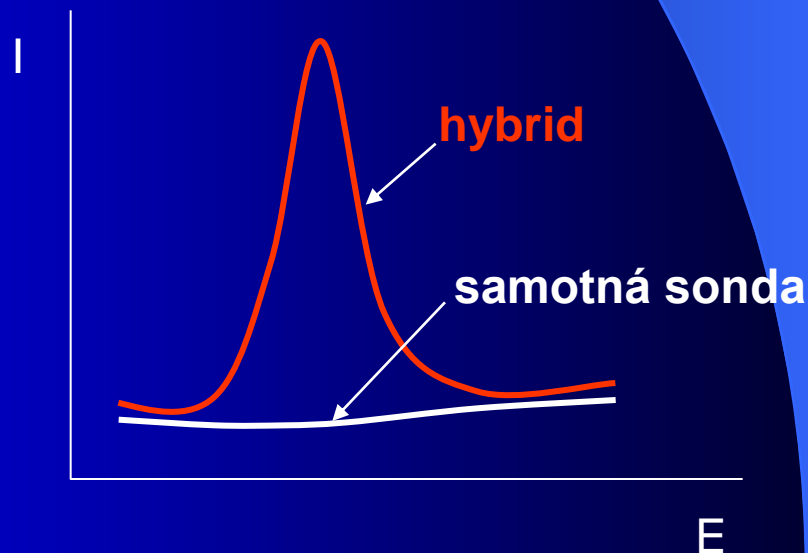
- aplikace mnoha sond současně
- aplikace různých (různě“barevných“) fluorescenčních značek – vysoce paralelní analýza
- komerčně dostupné přístroje (Affymetrix...)

Elektrochemický senzor pro hybridizaci DNA:

elektroda se zakotvenou hybridizační sondou na povrchu

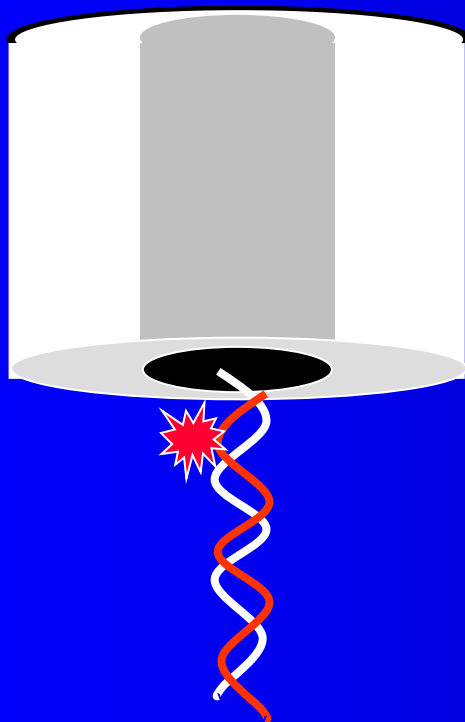


- hybridizace s cílovou DNA se provede stejně jako v případě optických senzorů
- odezvou na hybridizační událost je **elektrochemický (proudový) signál**



Elektrochemický senzor pro hybridizaci DNA:

elektroda se zakotvenou hybridizační sondou na povrchu



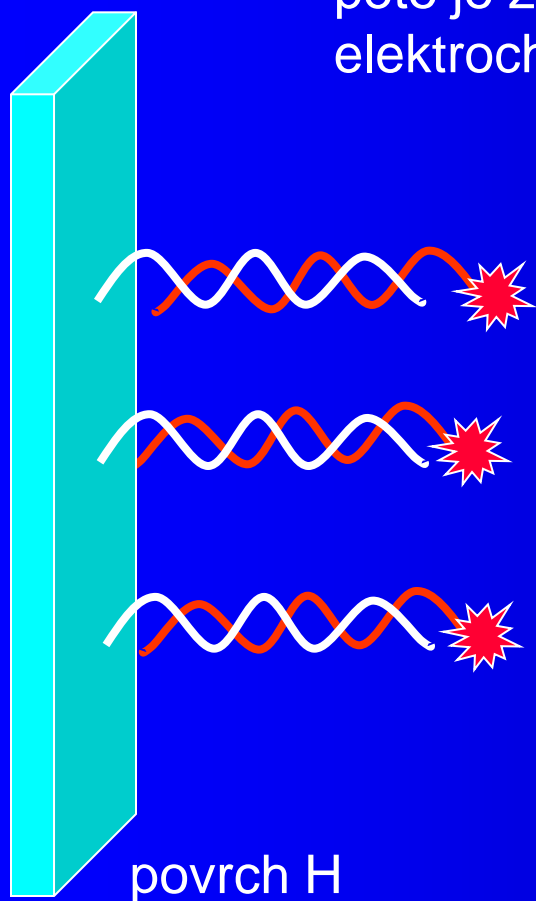
tzv. **jednopovrchová metoda** (hybridizační i detekční krok probíhá na stejném povrchu elektrody)

to vyžaduje hledat takové podmínky, za kterých je pracovní povrch vhodný jak pro hybridizaci DNA, tak pro elektrochemické měření

časté problémy při práci s dlouhými cílovými DNA a při analýze reálných vzorků obsahujících velká množství nespecifických molekul (NA, proteiny...)

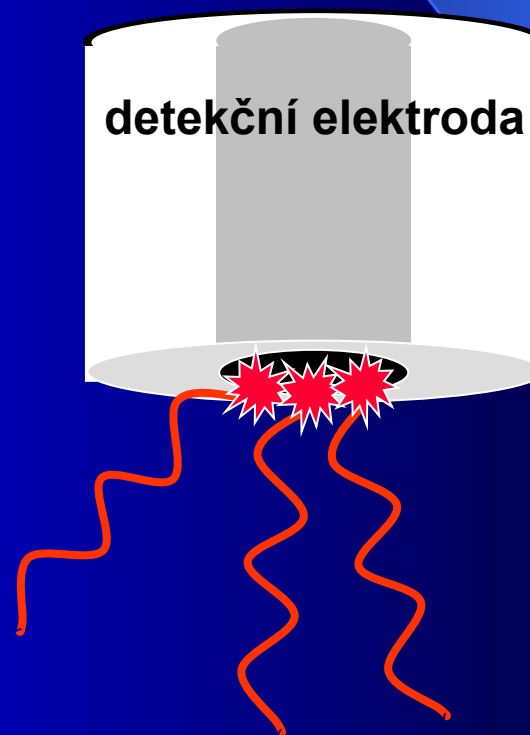
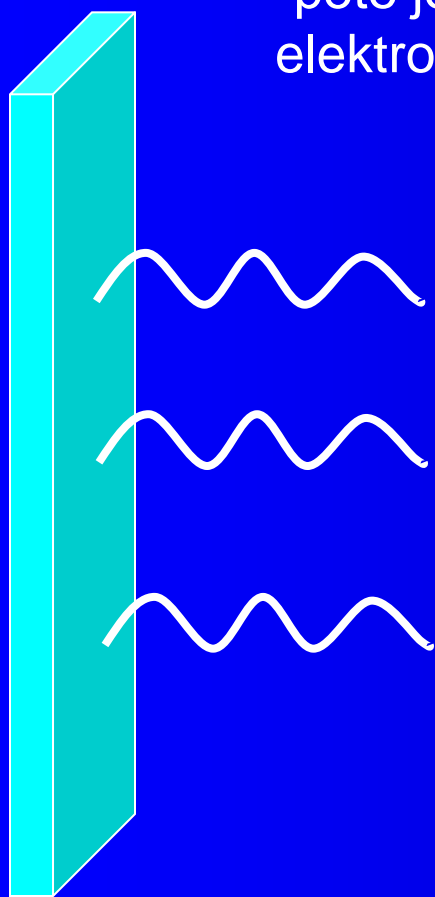
Dvoupovrchová strategie:

- hybridizace se provede na jednom povrchu (H), který pro tento účel optimalizován; nemusí mít vlastnosti elektrody
- účinné zachycení a separace cílové DNA
- poté je zachycená cílová DNA z povrchu H uvolněna a elektrochemicky stanovena



Dvoupovrchová strategie:

- hybridizace se provede na jednom povrchu (H), který pro tento účel optimalizován; nemusí mít vlastnosti elektrody
- účinné zachycení a separace cílové DNA
- poté je zachycená cílová DNA z povrchu H uvolněna a elektrochemicky stanovena



Výhody a nevýhody polarografických a voltametrických metod

- Koncentrační rozsah
- Rozsah analytů
- Pořizovací a provozní náklady
- Rychlost
- Automatizovatelnost
- Molekula analytu přímo zdrojem signálu
- Nezávislá alternativa
- ↓ Selektivita
- ↓ Personální požadavky

Poděkování

za podporu

- GA AV CR (projekt č. IAA400400806),
- GA CR (projekt č. P206/11/1638 a projekt č. P208/12/1645)
- Ing. Květoslavě Stejskalové, CSc.

a

všem přítomným za pozornost

