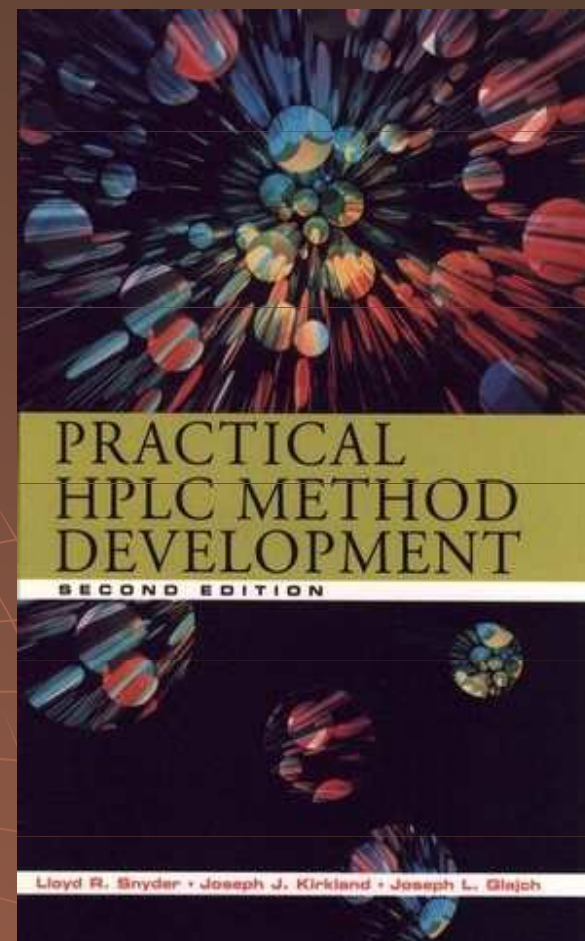
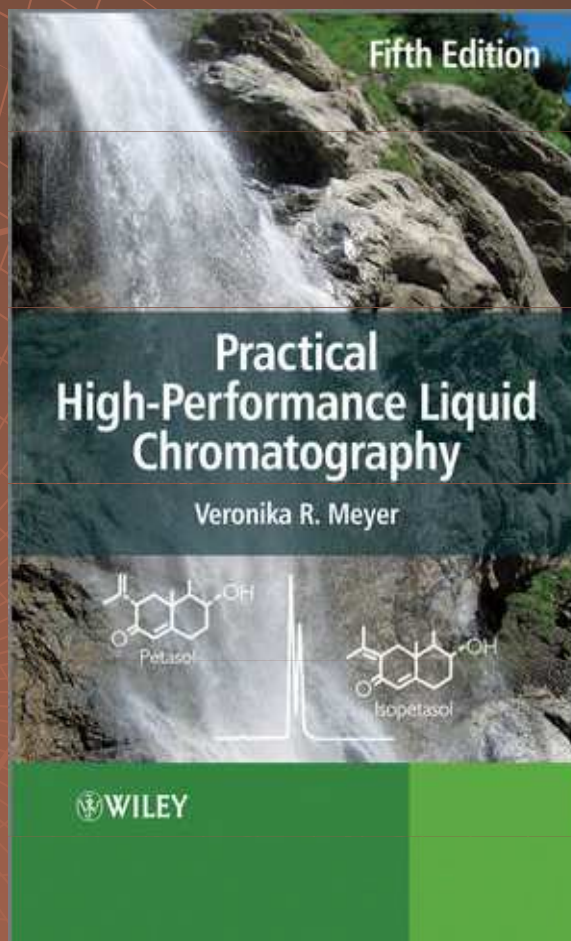
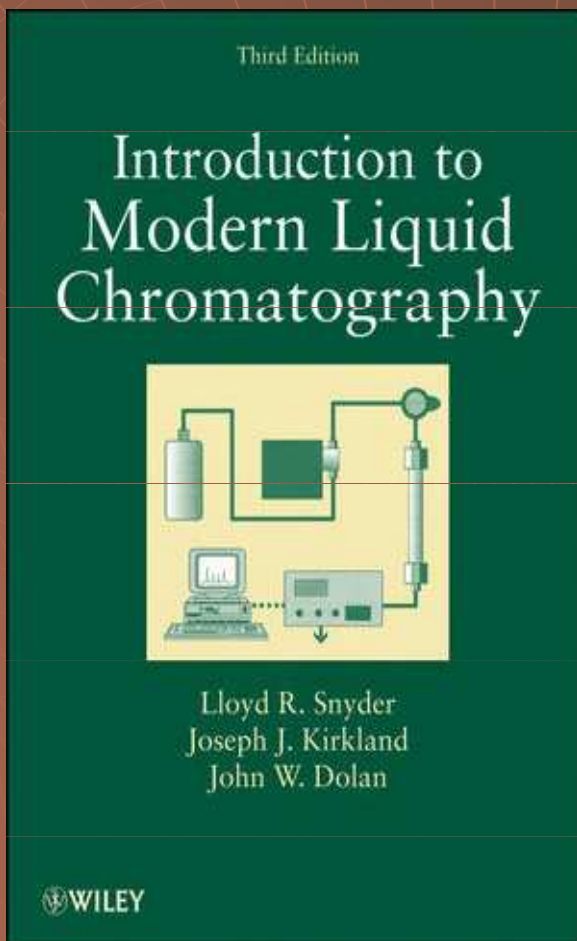


# Chromatografické metody I.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Literatura



# Historie chromatografie

- ◆ 1906 Tswett (Cvět)

Poprvé použit pojem chromatografie, chromatogram z řeckých slov χηρομα (barva) a γραφειν (psáti).

- ◆ 1931 Kuhn a Lederer

znovu objevení chromatografie

- ◆ 1940-49 Martin Syngé

Papírová a tenkovrstvá chromatografie



# Historie chromatografie

- ◆ 1950 Aminokyselinový analyzátor

- ◆ 1950-1960

Sober, Peterson a Gutter zavedli používání médií na bázi celulosy (iontoměniče).

Porath a Flodin poprvé použili média na bázi dextransu pro gelovou filtraci.

Hjerten popsal použití separačních médií na bázi agarosy.



# Historie chromatografie

- ◆ 1970-79 Halasz, Horvath, Kirkland  
HPLC ("High Performance Liquid Chromatography")

## 1980-1989 Pharmacia

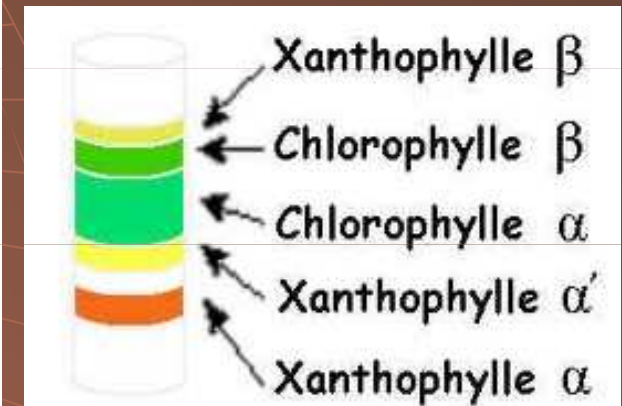
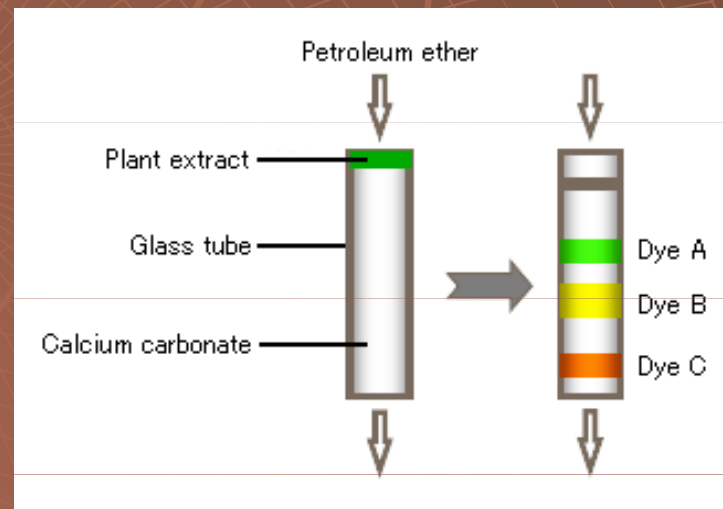
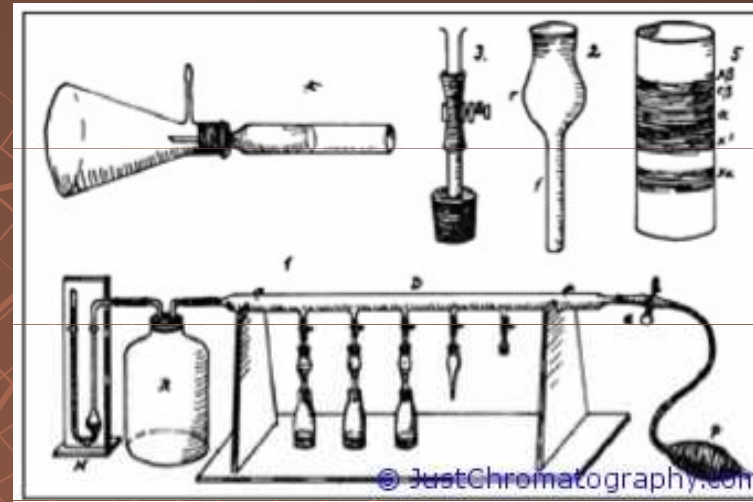
Nová média s vyšší mechanickou odolností ( CL-agarosa, "cross-linked") umožňují použití vyšších tlaků pro separaci; nový střednětlaký systém "Fast Protein Liquid Chromatography" (FPLC)

- ◆ 2004 Waters

UPLC ("Ultra Performance Liquid Chromatography")

# Mikhail Semyonovich Tsvet

## Chromatographia 1906

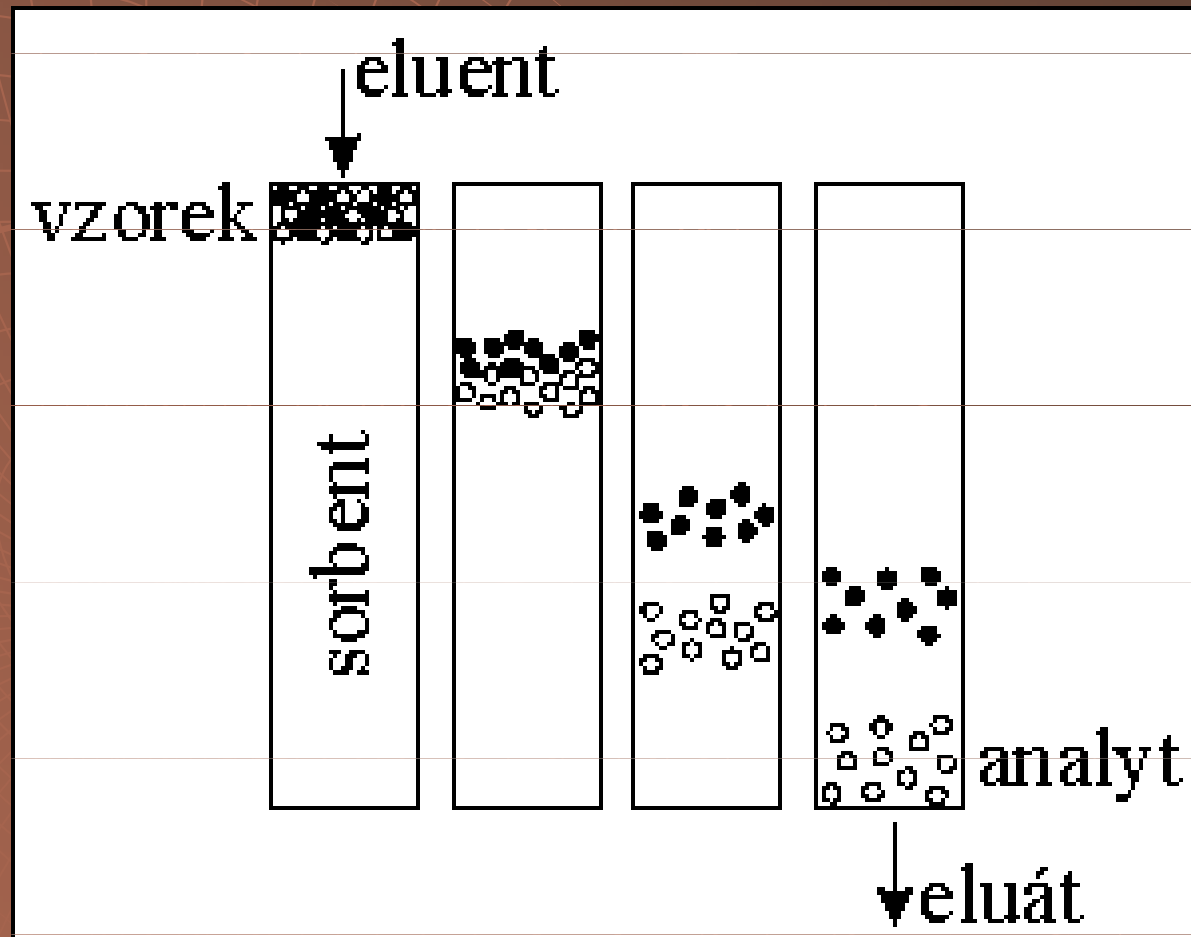


# Podstata

*„Při chromatografii dochází k neustálému vytváření rovnovážných stavů separované látky mezi dvě fáze – stacionární a mobilní.“*



# Chromatografie



# Chromatografie

- ◆ Mobilní fáze - kapalina – LC  
plyn – GC
- ◆ Eluce - Izokratická – stejná eluční síla  
Gradientová – rostoucí eluční síla
- ◆ Použití - analytická  
preparativní

# Kapalinová chromatografie LC

- ◆ Mobilní fáze - kapalina
- ◆ Stacionární fáze - pevná fáze,  
kapalina



# Provedení LC

- ◆ Papírová PC
- ◆ Tenkovrstvá TLC
- ◆ Kolonová CC

The background features a light brown grid pattern on a darker brown background, resembling a chromatogram. A hand-drawn path in a slightly darker shade of brown starts from the bottom left and moves towards the top right. A pen nib is positioned at the end of this path, as if it has just finished drawing it.

# Teoretické aspekty chromatografie

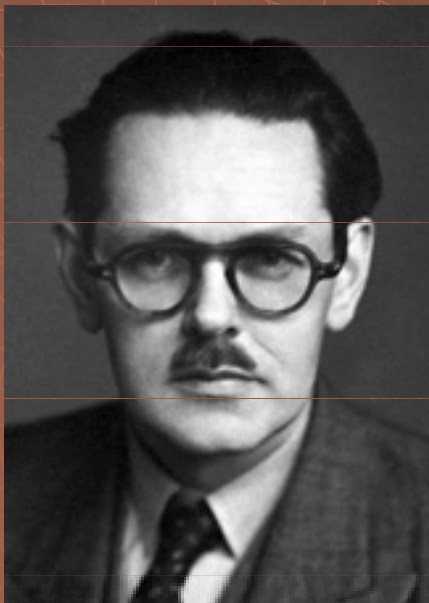


Teorie  
„Ideální lineární chromatografie“

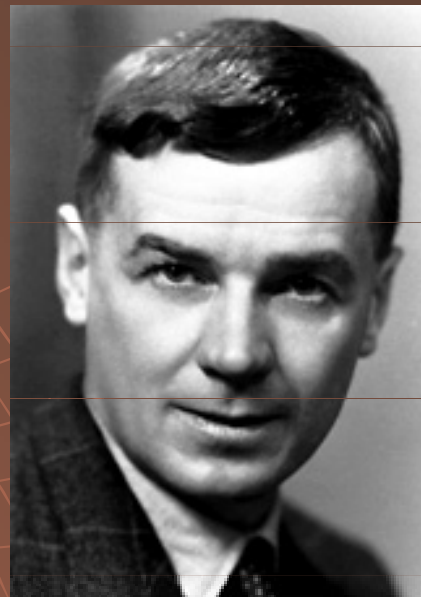
Martin, Synge



Martin



Synge



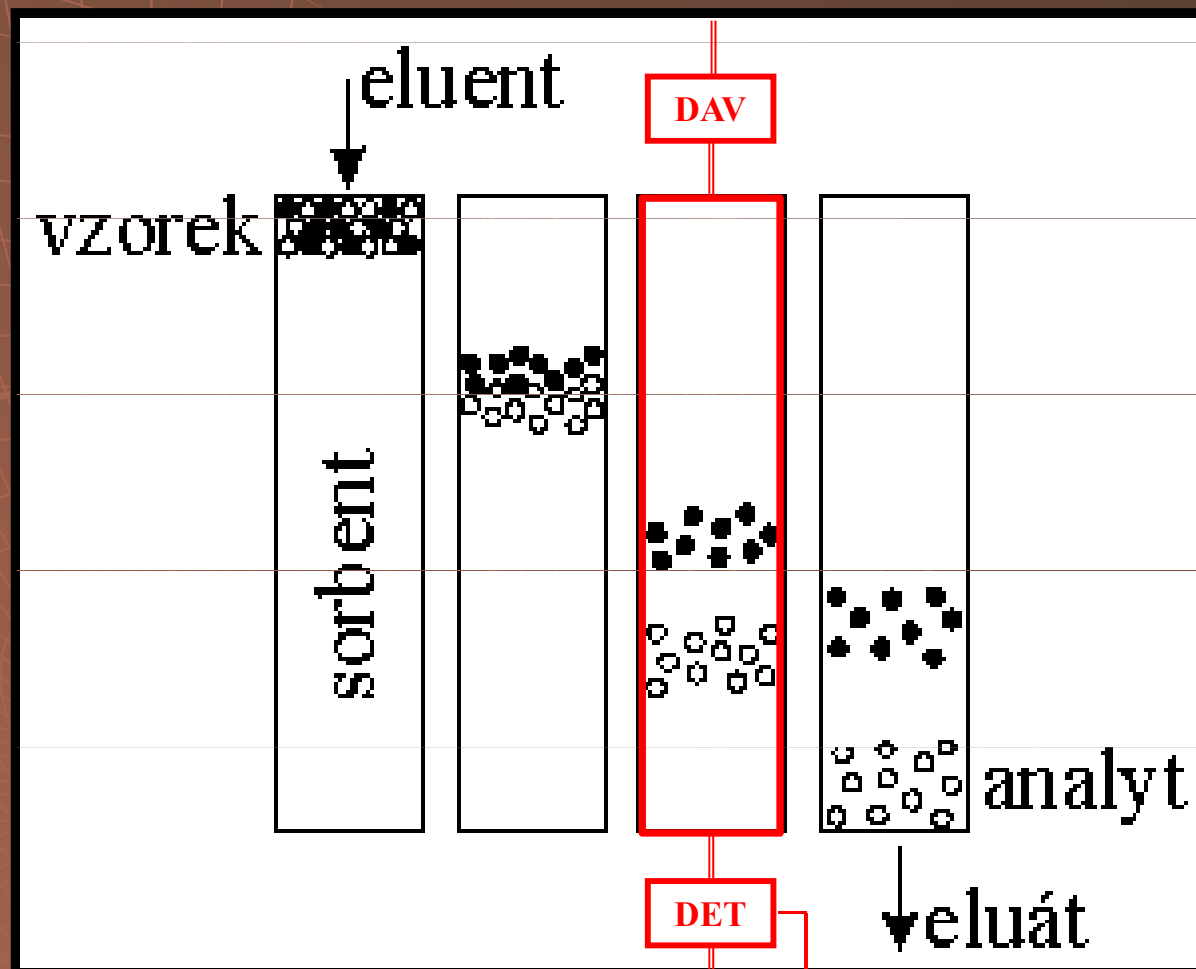
Nobelova cena za chemii  
1952

# Teorie

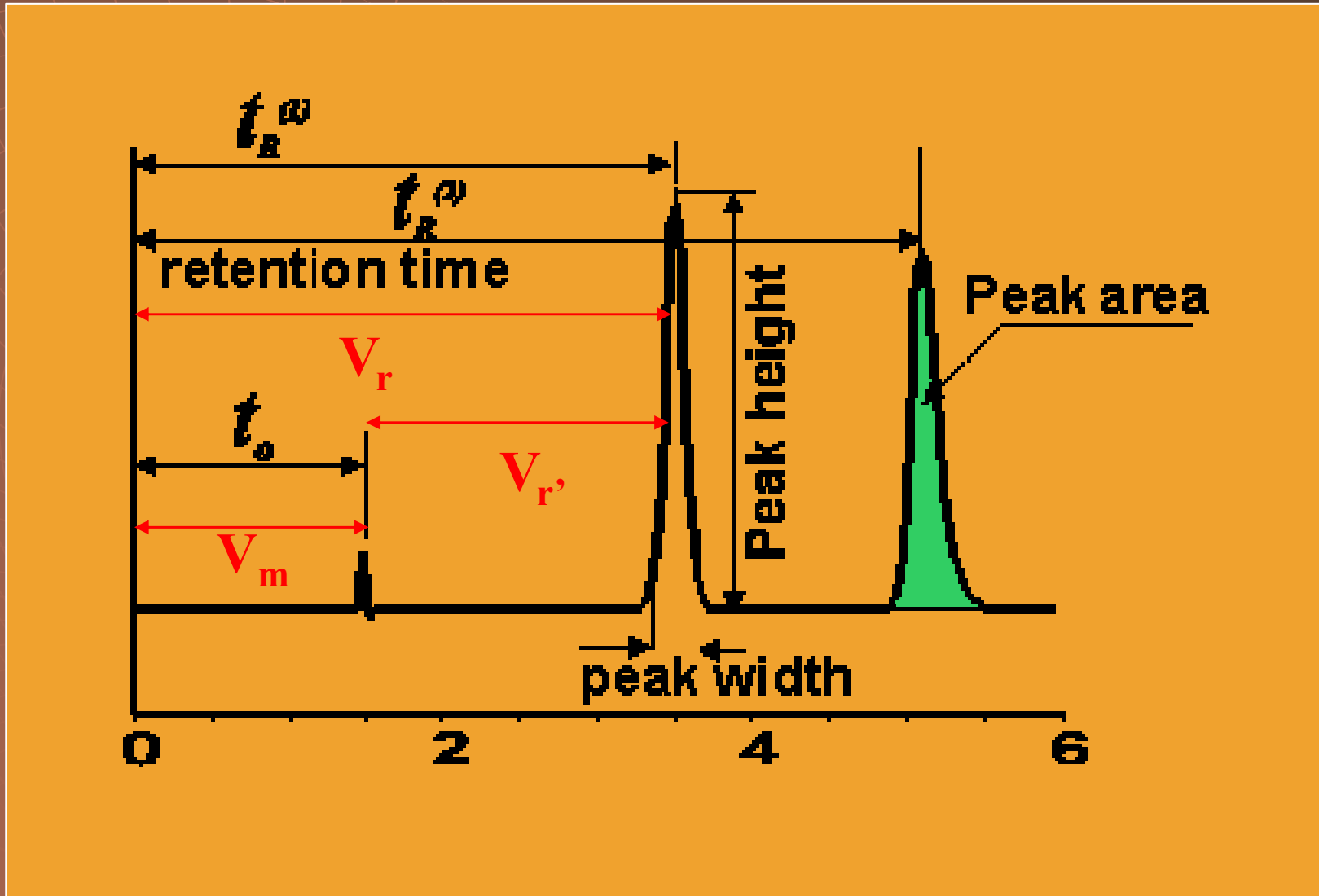
## „Ideální lineární chromatografie“

1. Nekonečně rychlé ustavení rovnováh
2. Pístový tok mobilní fáze
3. Nulová difuze
4. Lineární sorpční isoterma

# Chromatografie



# Chromatogram





# Retenční – eluční čas $t_r$

- ◆ Doba od nástřiku vzorku po dosažení maxima eluční křivky

# Retenční – eluční objem $V_r$

- Objem mobilní fáze proteklý od nástřiku vzorku po dosažení maxima eluční křivky

$$V_r = t_r \cdot F_m$$

$F_m$  – objemová rychlost mobilní fáze

# Mrtvý objem

$$V_r = V_m + V_{r'}$$

$V_r$  – zdánlivý retenční objem

$V_{r'}$  – redukovaný (skutečný) retenční objem

$V_m$  – mrtvý objem – mimokolonové příspěvky  
+ mimočasticový objem kolony

# Kapacitní faktor $k'$

$$k' = \frac{V_r - V_m}{V_m} = \frac{V_{r'}}{V_m} = K_D \cdot \frac{V_S}{V_M}$$

$$k' = 1 - 10$$

$V_s$  – objem stacionární fáze

$V_M$  – objem mobilní fáze

Distribuční koeficient

$$K_D = \frac{c_s}{c_M}$$

$c_s$  – rovnovážná koncentrace látky ve stacionární fázi

$c_M$  – rovnovážná koncentrace látky ve mobilní fázi

# Selektivita

## Retenční faktor $\alpha$

$$\alpha = \frac{V_{r2}}{V_{r1}} = \frac{k'_2}{k'_1}$$

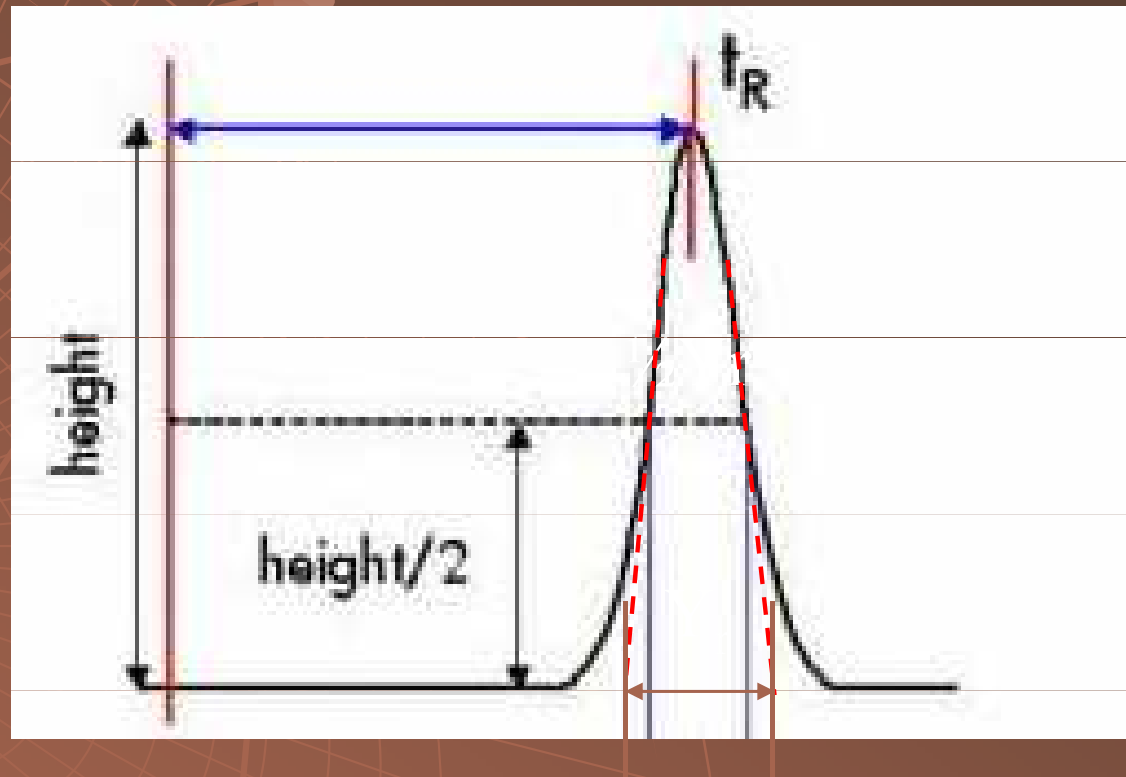


# Účinnost kolony (izokratická eluce)

počet teoretických pater N

$$N = 16 \cdot \left( \frac{t_r}{Y_r} \right)^2$$

$$N = 5.545 \cdot \left( \frac{t_r}{1/2 Y_r} \right)^2$$

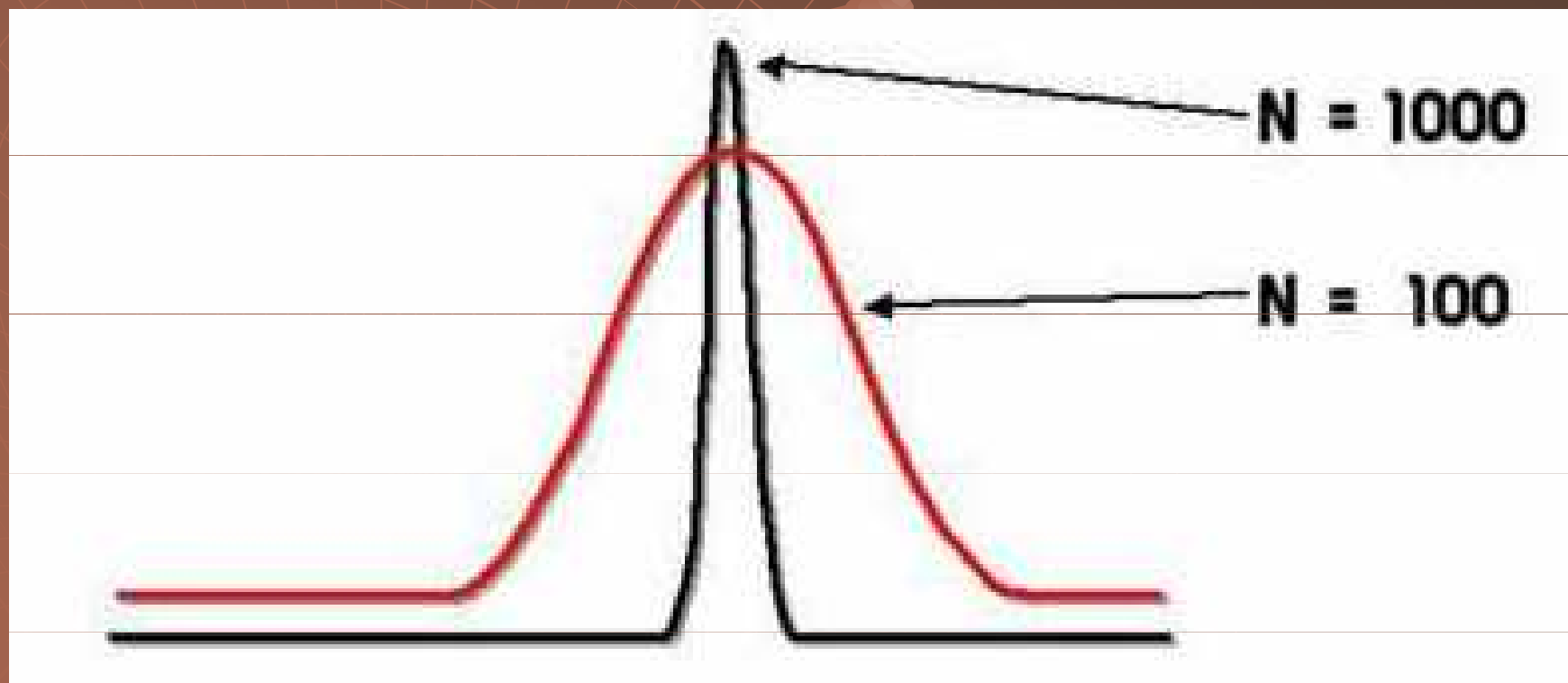


# Účinnost kolony (izokratická eluce) výškový ekvivalent teoretického patra $H$

$$H = \frac{l}{N}$$

$l$  – délka kolony

# Účinnost kolony



# Účinnost kolony (gradientová eluce)

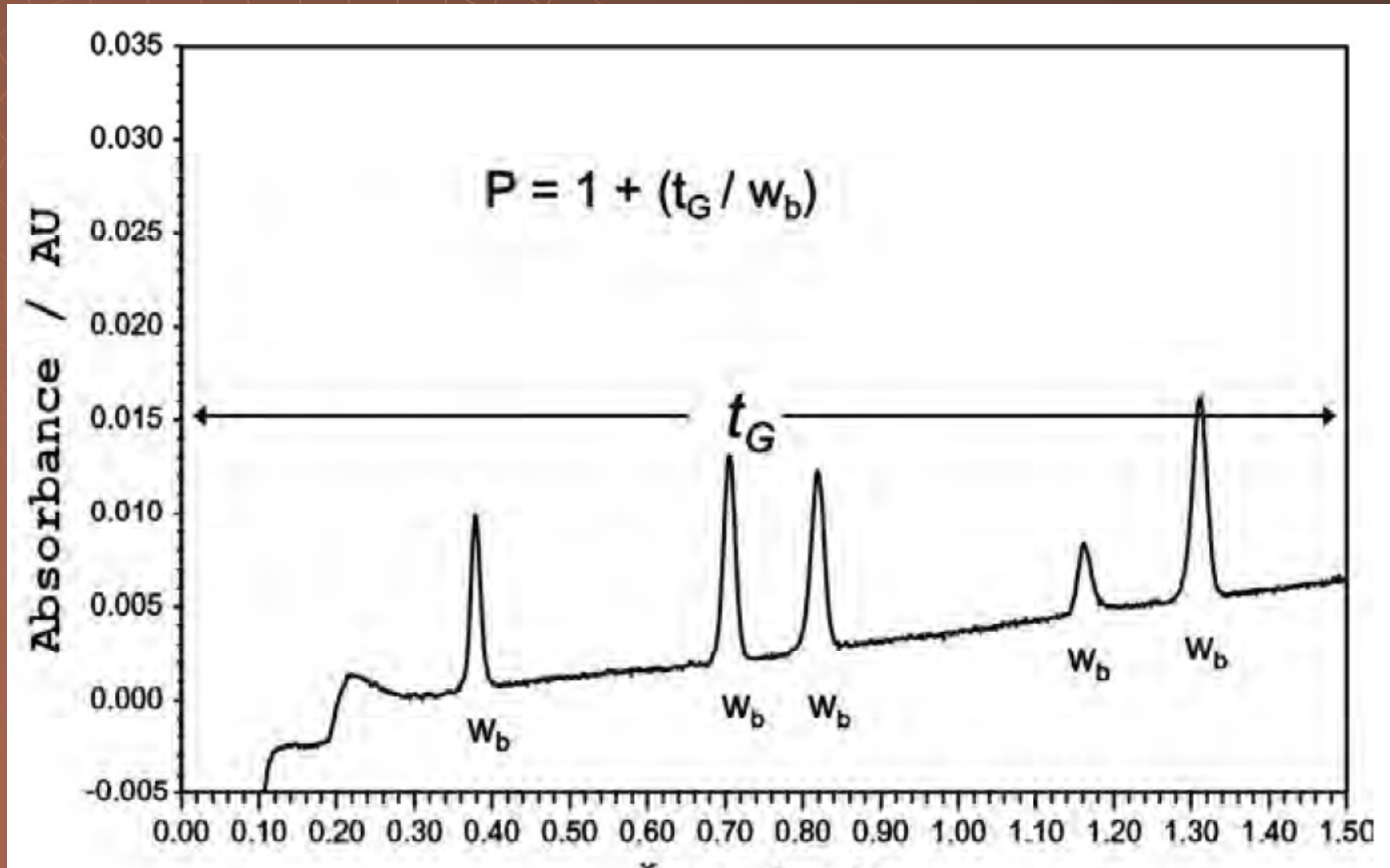
kapacita píku P

$$P = 1 + \frac{t_g}{(1/n) \sum_1^n w_b}$$

$t_g$  – celková doba gradientu



# Účinnost kolony (gradientová eluce) kapacita píku P

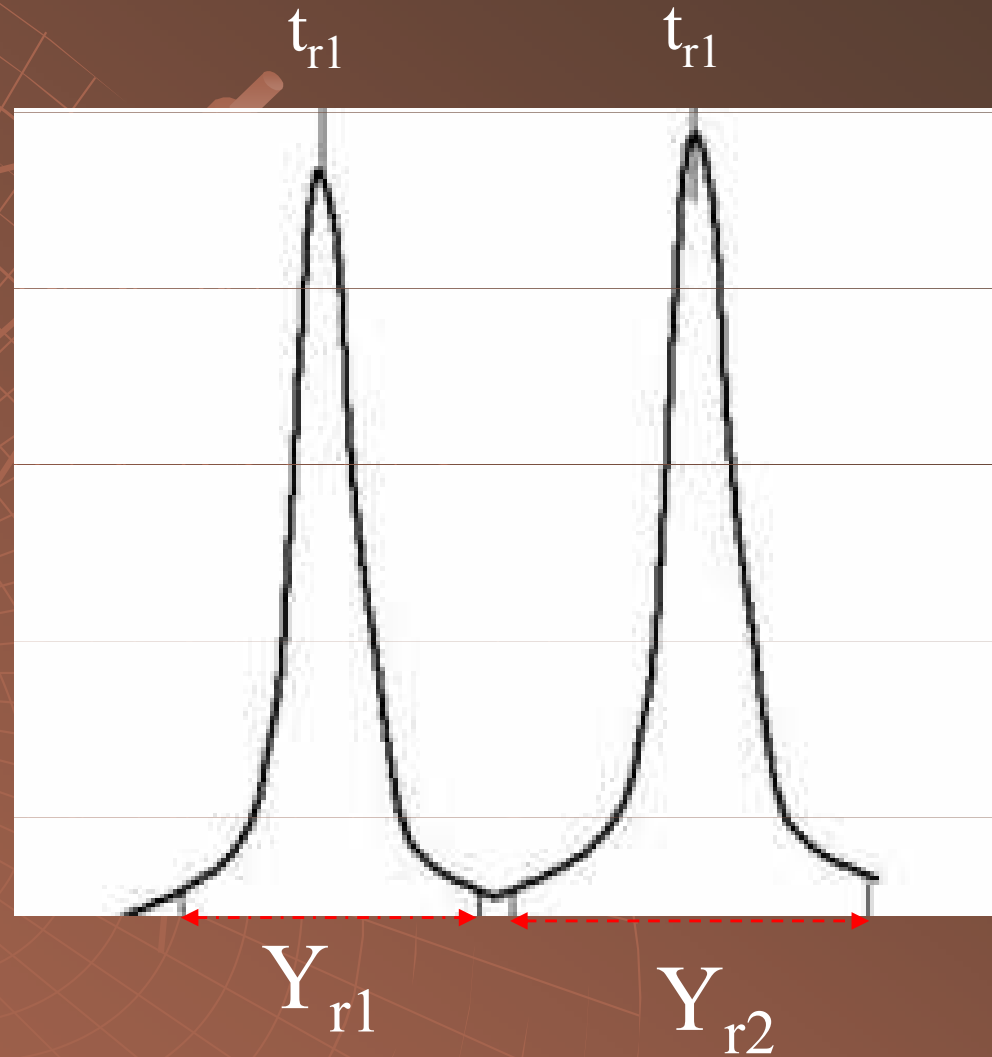


# Rozlišení

$$R_{12} = \frac{2(t_{r2} - t_{r1})}{Y_{r1} + Y_{r2}}$$

$R_{12}=1.5$  – nulové překrytí

$R_{12}=1.0$  – překrytí 2 %



# Rozlišení

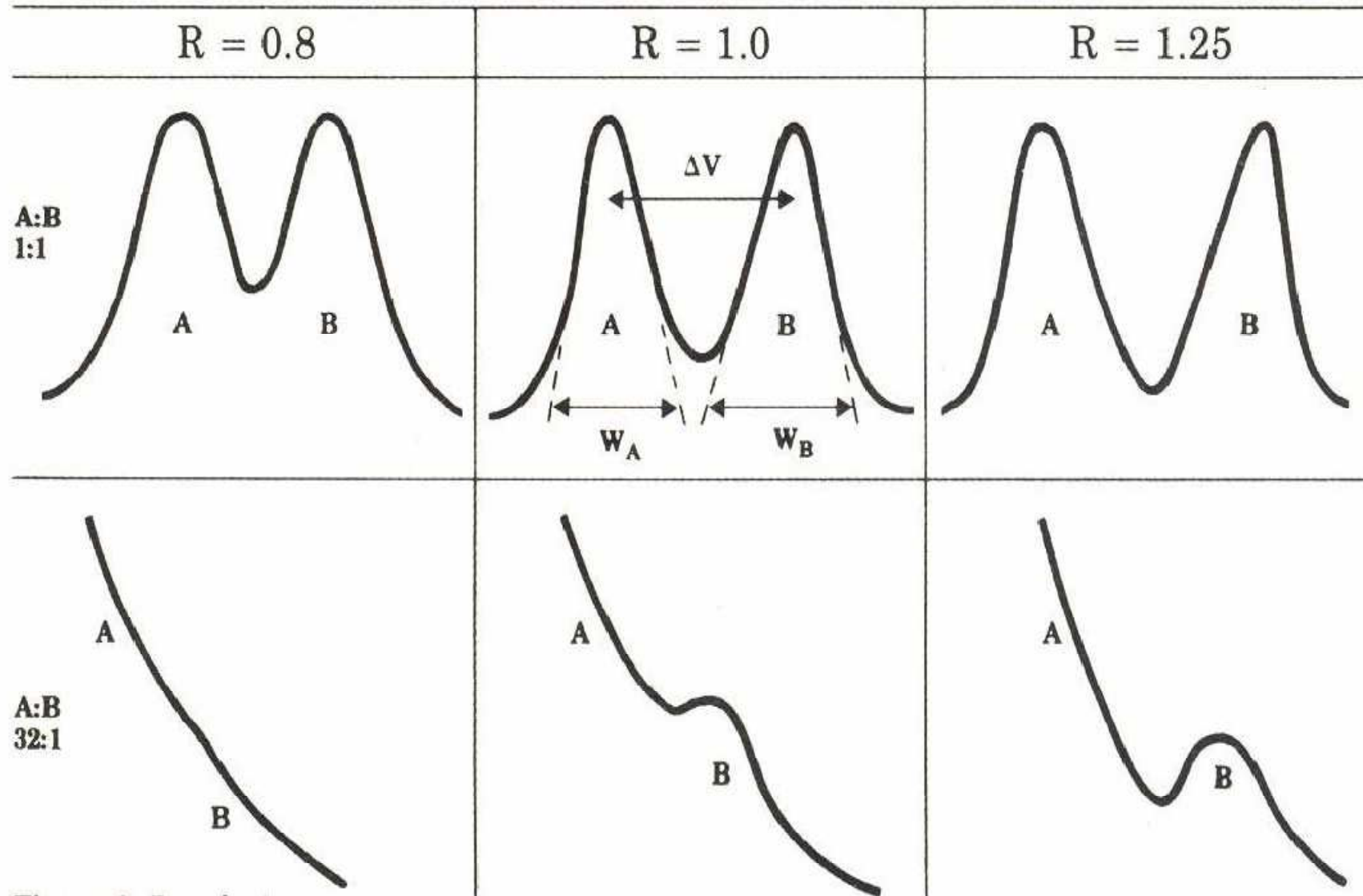


Figure 3. Resolution.

# Vliv jednotlivých faktorů na rozlišení

$$R_{12} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\alpha - 1}{\alpha} \cdot \frac{k'}{1 + k'} \cdot \sqrt{N}$$

Selektivita

Kapacita

Účinnost



# Síly a efekty využívané při separaci

## ◆ Iontové síly

Silné elektrostatické interakce mezi stacionární fází a analyzovanou látkou – **ionexová chromatografie**

## ◆ Polární síly

interakce dipólů a protondonorní, resp. protonakceptorní vlastnosti (tvorba vodíkových můstků) separovaných látek, mobilní a stacionární fáze – **adsorpční chromatografie**

# Síly a efekty využívané při separaci

- ◆ **Nepolární síly (disperzní, van der Waalsovy)**

Nejslabší, tyto interakce se vyskytují u látek, které nejsou permanentní dipóly – **adsorpční, reverzně fázové a hydrofobní chromatografie**

- ◆ **Efekt velikosti molekul**

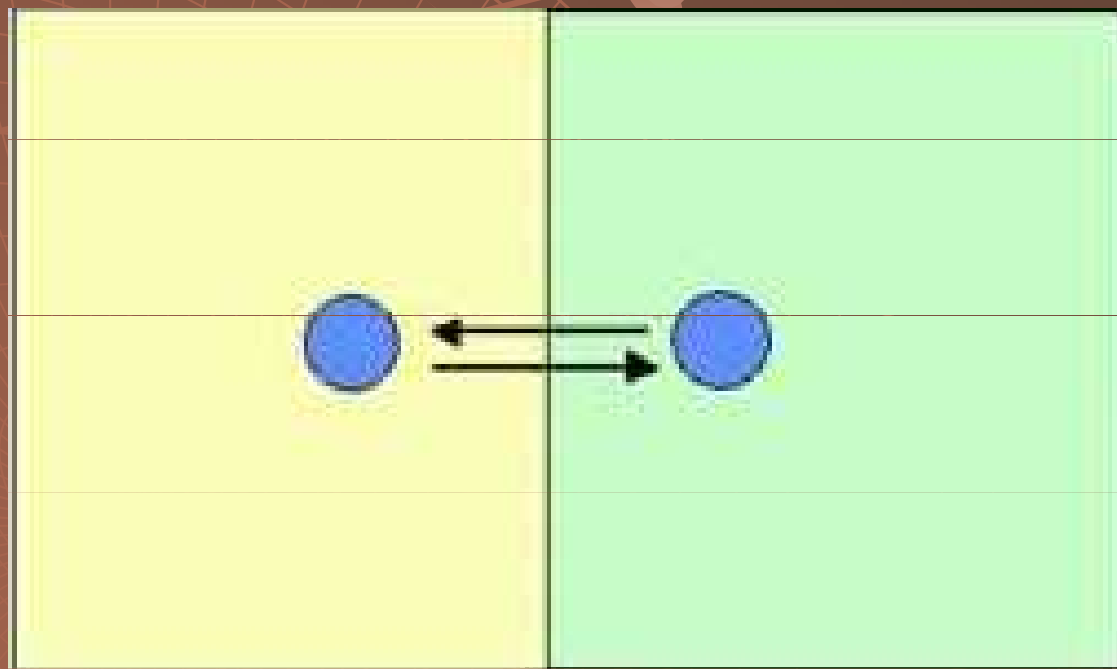
Rozdíly ve velikosti a tvaru molekul – **gelová permeační chromatografie**

# Síly a efekty využívané při separaci

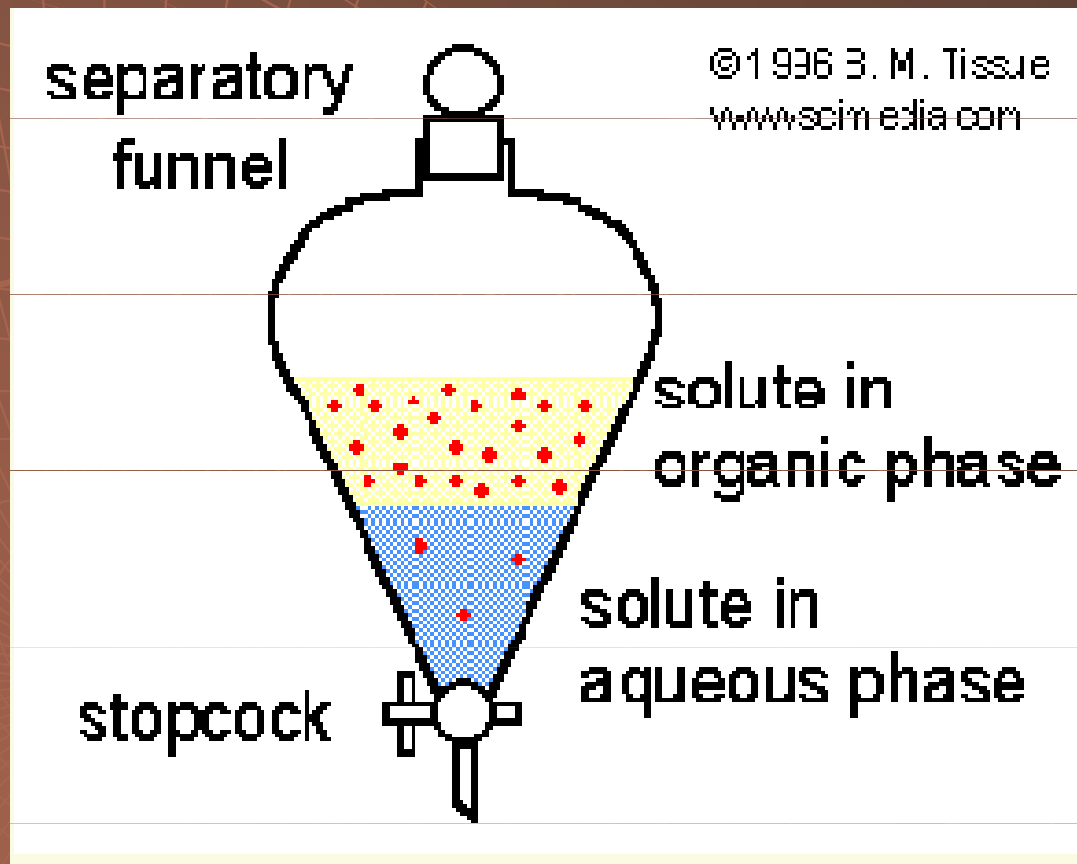
- ◆ Sterické interakce

Komplexní specifická interakce ligand biomakromolekula kombinující všechny výše uvedené interakce a efekty – **afinitní chromatografie**

# Rozdělovací chromatografie

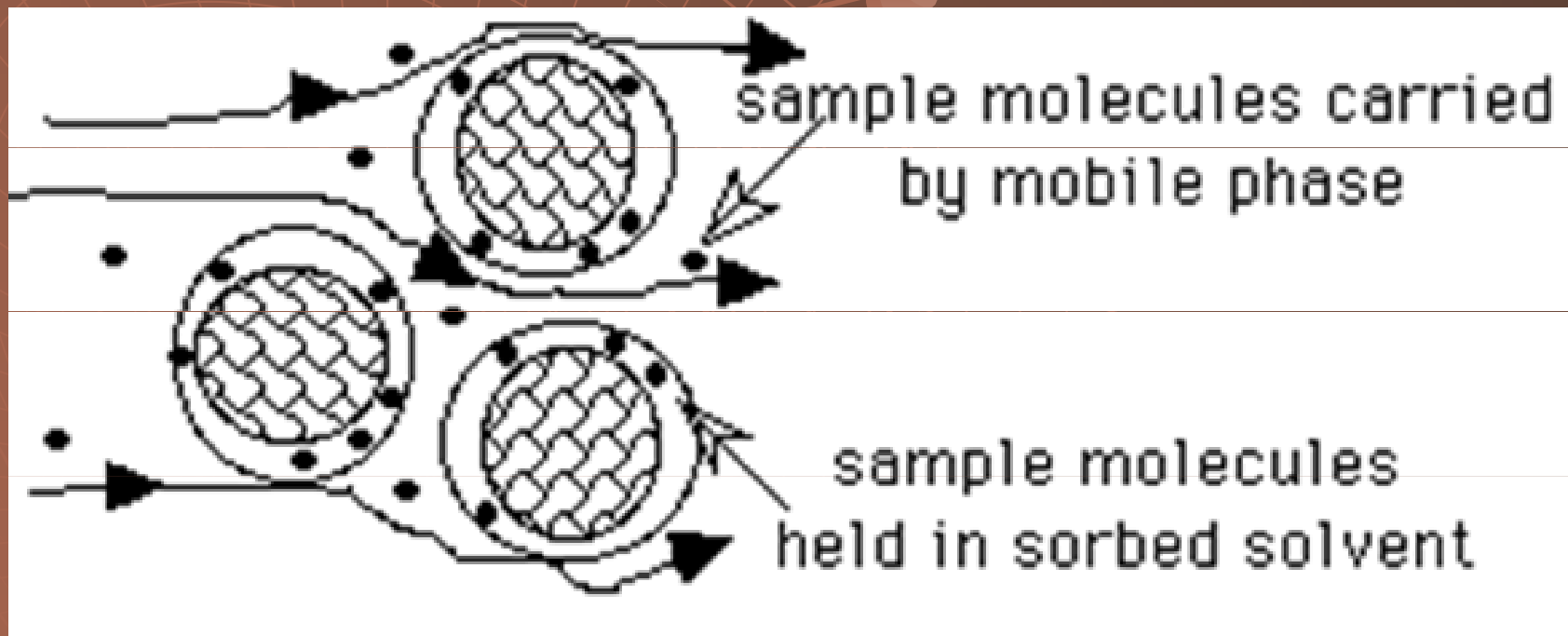


# Rozdělovací chromatografie

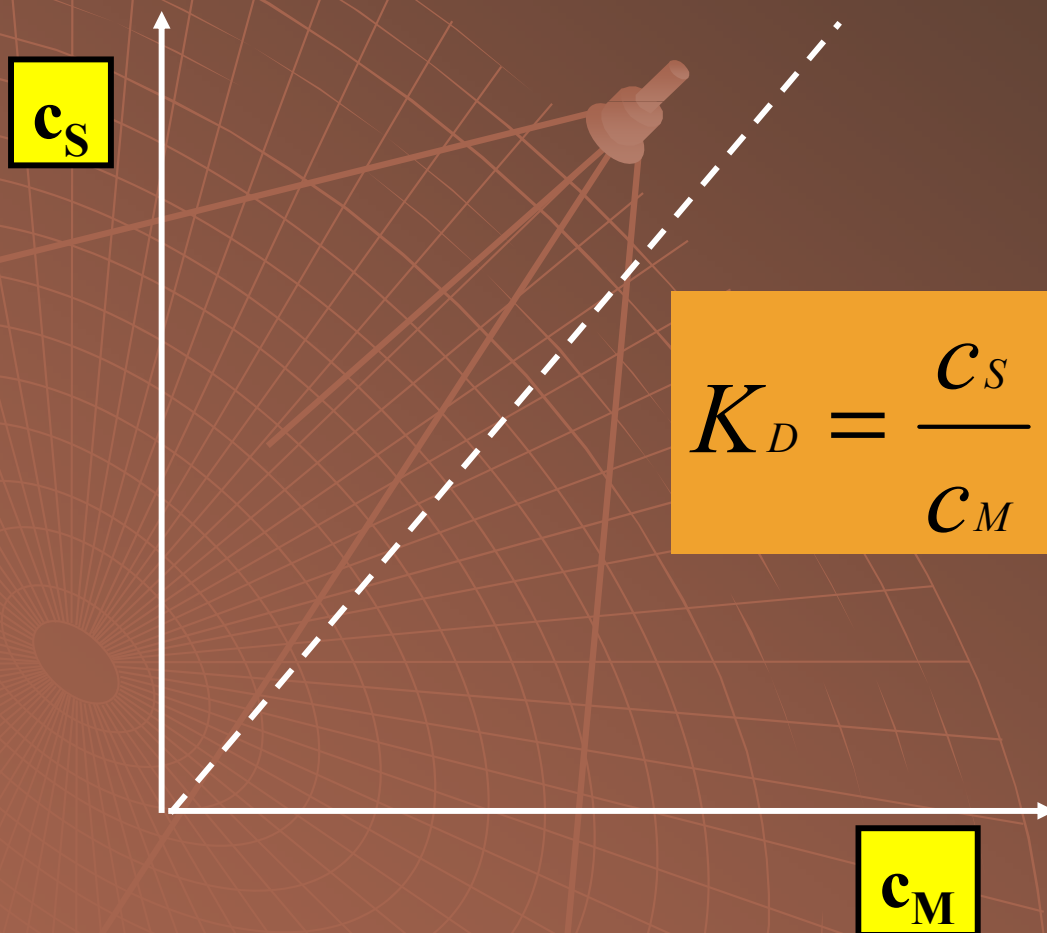




# Rozdělovací chromatografie

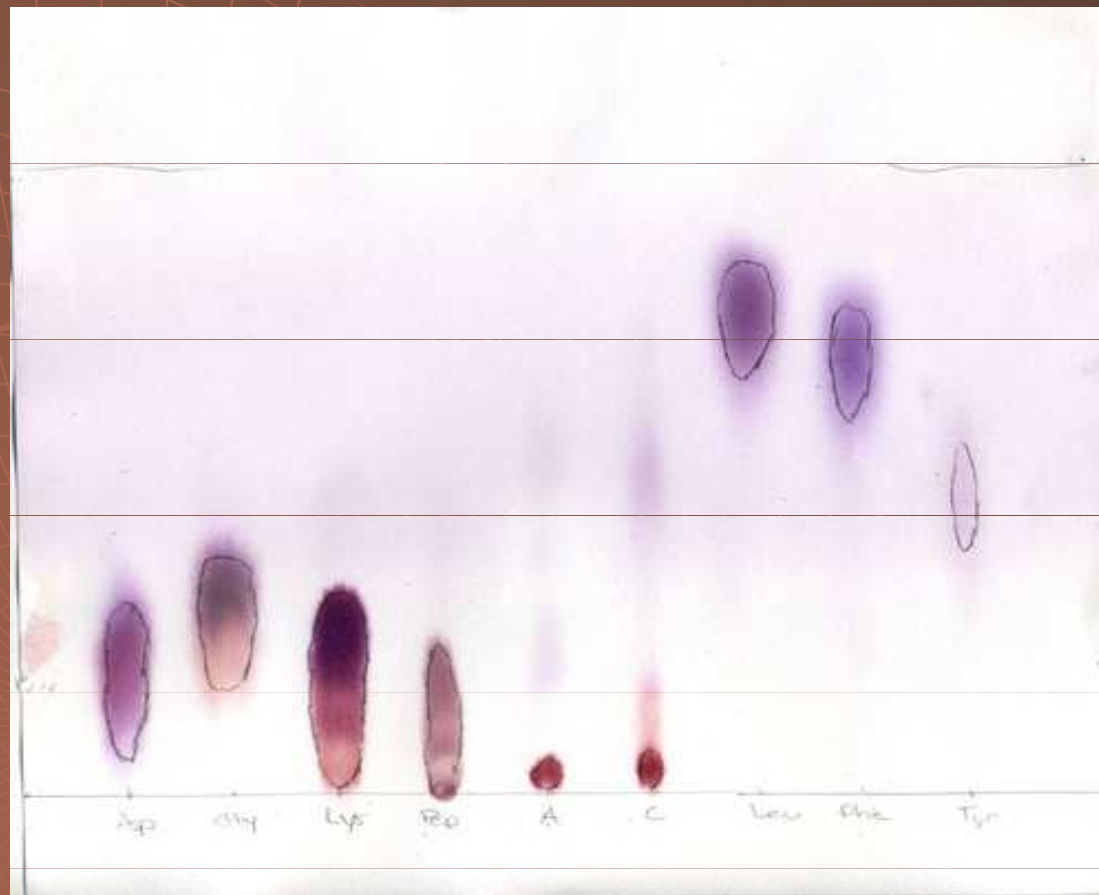


# Rozdělovací chromatografie



Použití – analytická PC, TLC

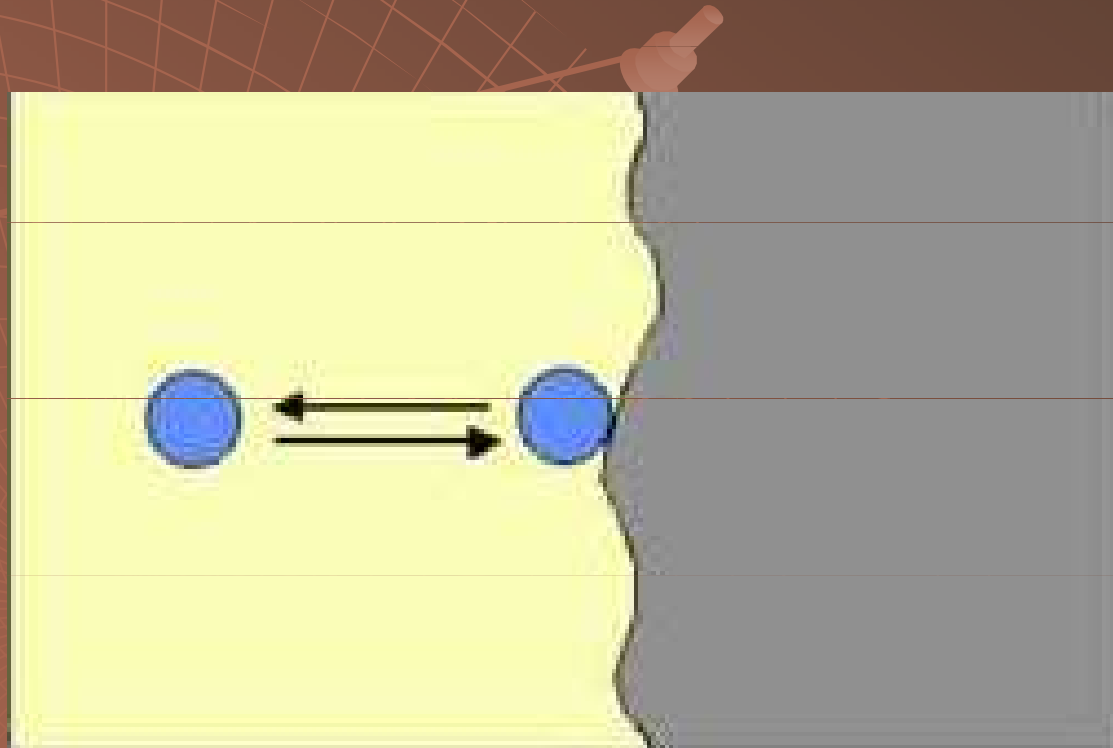
# Papírová chromatografie AMK



- stacionární fáze: voda
- mobilní fáze: butanol-kyselina octová-voda (12:3:5)

# Adsorpční chromatografie

## chromatografie s normálními fázemi



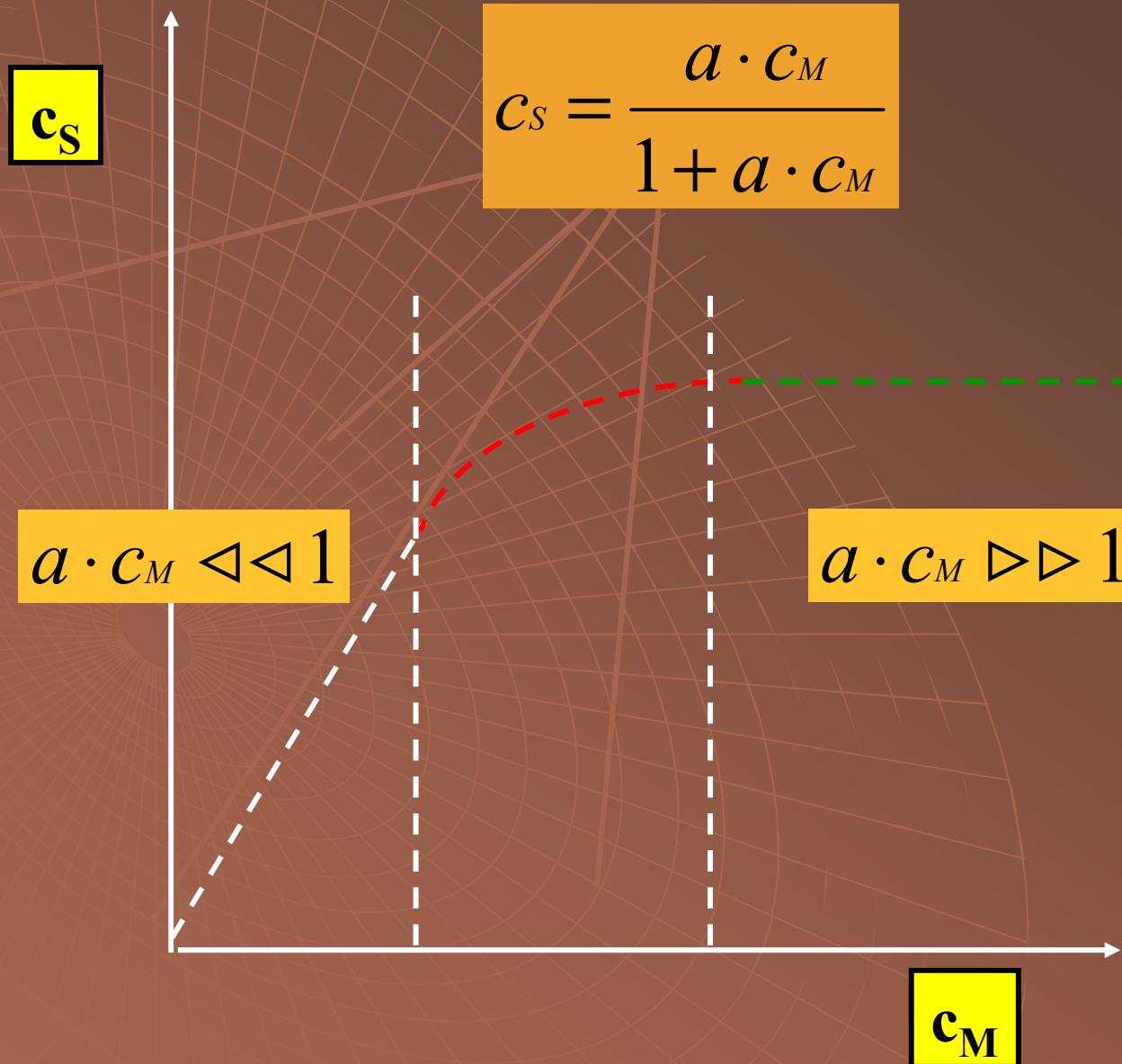
# Adsorpční chromatografie

- ◆ Stacionární fáze – polární

nese aktivní centra, jejich počet, rozložení a schopnost poutat molekuly rozdělované směsi závisí na charakteru adsorbentu, velikosti povrchu a na vlastnostech separovaných látek



# Adsorpční chromatografie



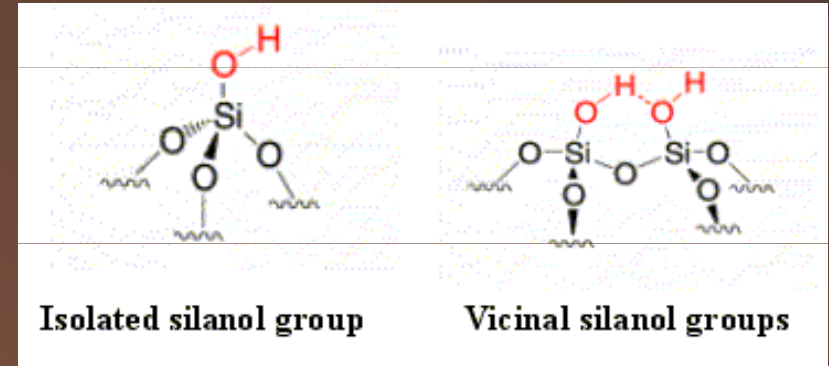
# Adsorpční chromatografie

## ◆ Stacionární fáze

Silikagel  $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

Vysoký specifický povrch a relativně velký objem pórů. Hlavní součástí aktivních center jsou **hydroxylové (silanolové) skupiny**, na něž je vodíkovou vazbou adsorbována voda. Zahřátím na  $150^\circ\text{C}$  dojde k odstranění vody → “aktivace silikagelu”. Labilní nad pH 8.  $> 200^\circ\text{C}$  rozklad.

Adsorpce: interakce se silanolovými skupinami; povrch silikagelu je slabě kyselý (má protodonorní vlastnosti). Lépe jsou zadržovány bazické látky.



# Adsorpční chromatografie

## ◆ Stacionární fáze

Oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,

Obdobné vlastnosti jako u silikagelu (povrch, póry).

Vyskytuje se v řadě modifikací, dle množství vázané vody, krystalické struktury. “Aktivace” vysušením [ $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{AlO}(\text{OH}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ ].

Při vysokém obsahu vody (15%) se projevují rozdělovací efekty. Vedle protondonorních hydroxylů se na povrchu vyskytují i centra s protonakceptorními vlastnostmi.

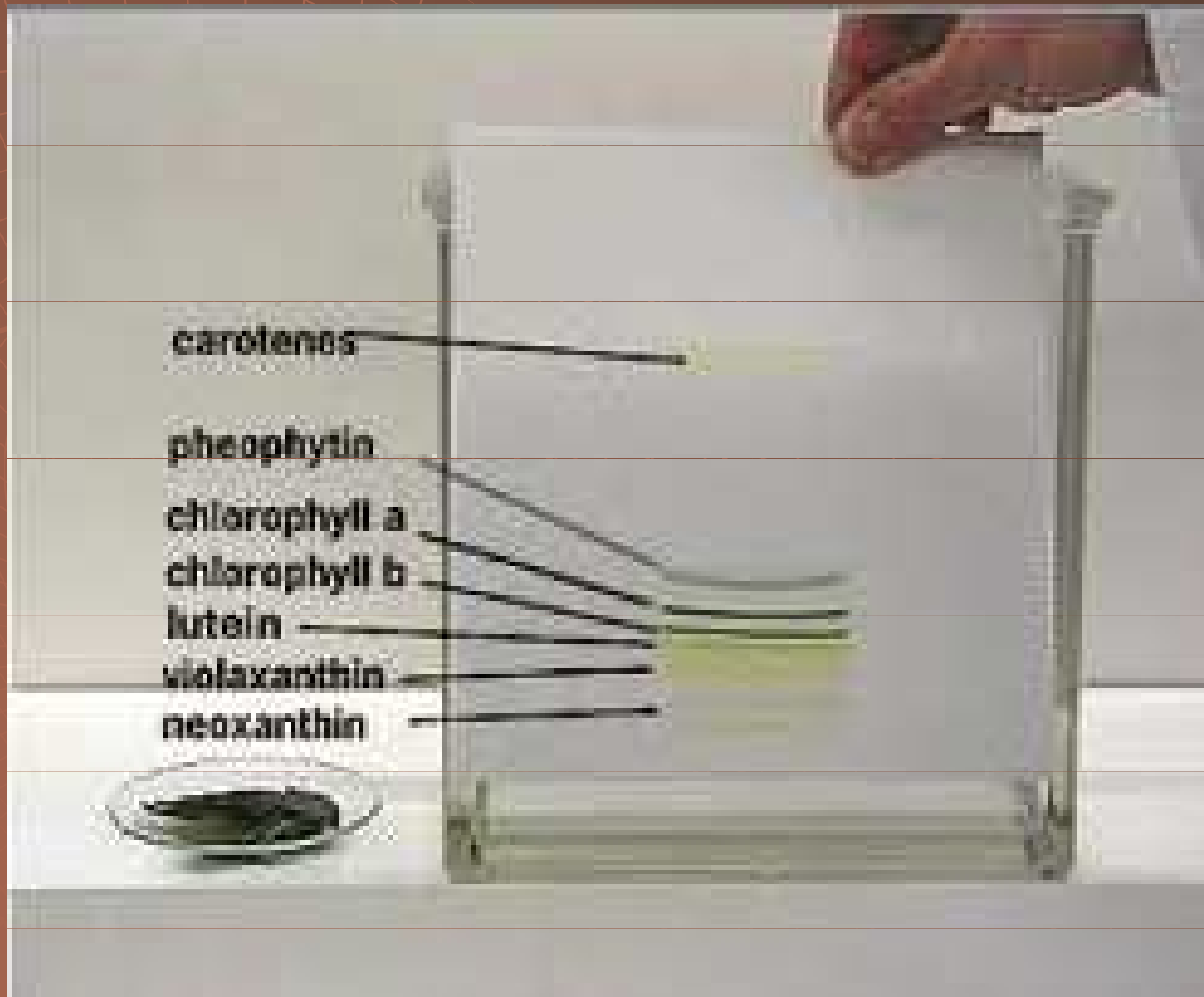
# Adsorpční chromatografie

- ◆ Mobilní fáze – nepolární
- ◆ Eluce - zvyšováním polariry mobilní fáze

Eluotropická řada:

uhlovodíky < subst.uhlovodíky < ketony <  
aldehydy < alkoholy < voda

# Adsorpční chromatografie chlorofylů





# Adsorpční chromatografie

## ◆ Stacionární fáze

Hydroxyapatit  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}]$

připravuje se z  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .  
Jemná sraženina fosfátu vápenatého se vaří s 1%  
NaOH při 96-98°C.

Při interakci polární až iontové síly. Karboxylové skupiny bílkovin či fosfátové skupiny nukleových kyselin reagují s  $\text{Ca}^{2+}$  na povrchu adsorbentu. Eluce se provádí gradientem iontové síly - rostoucí koncentrací fosfátu.

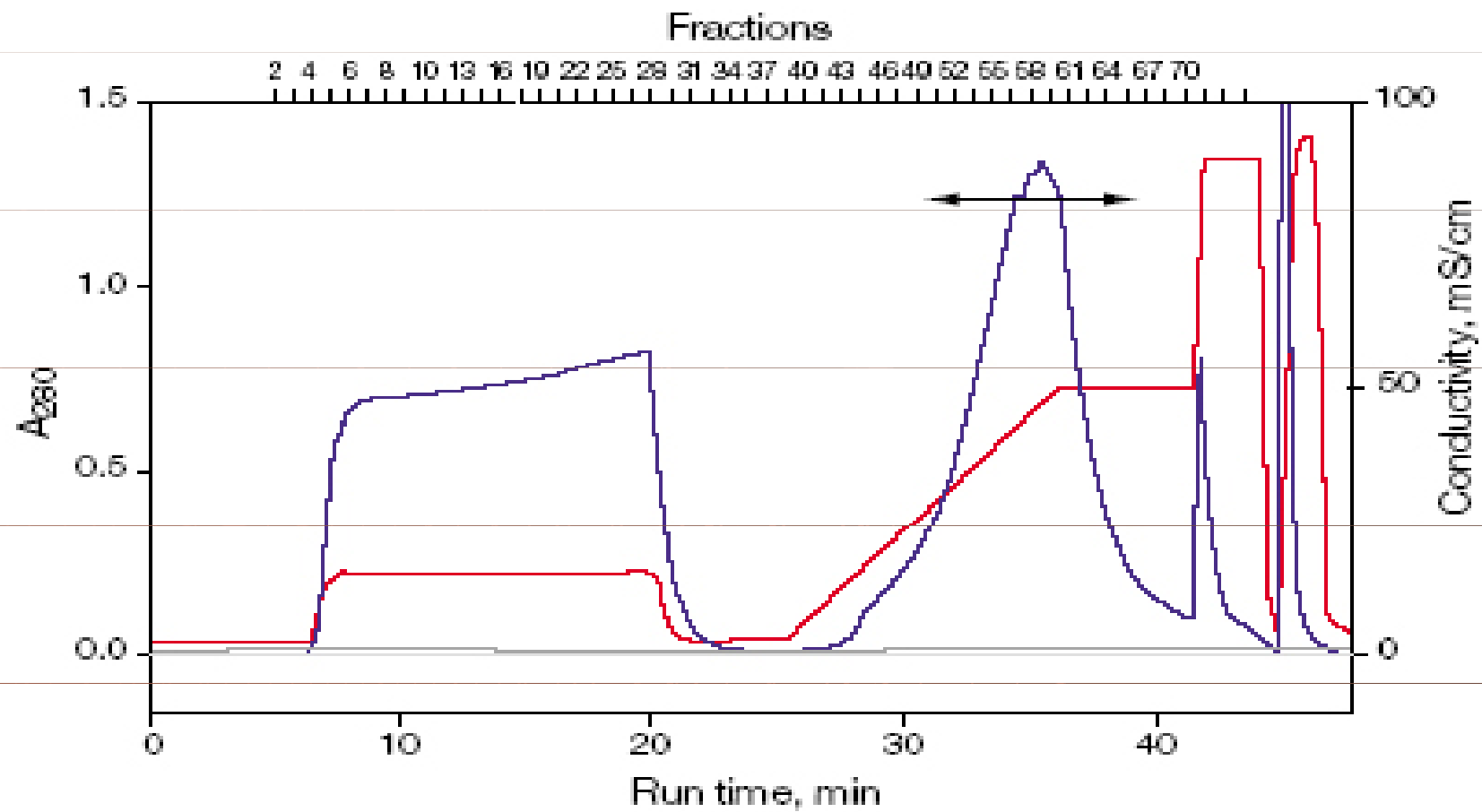
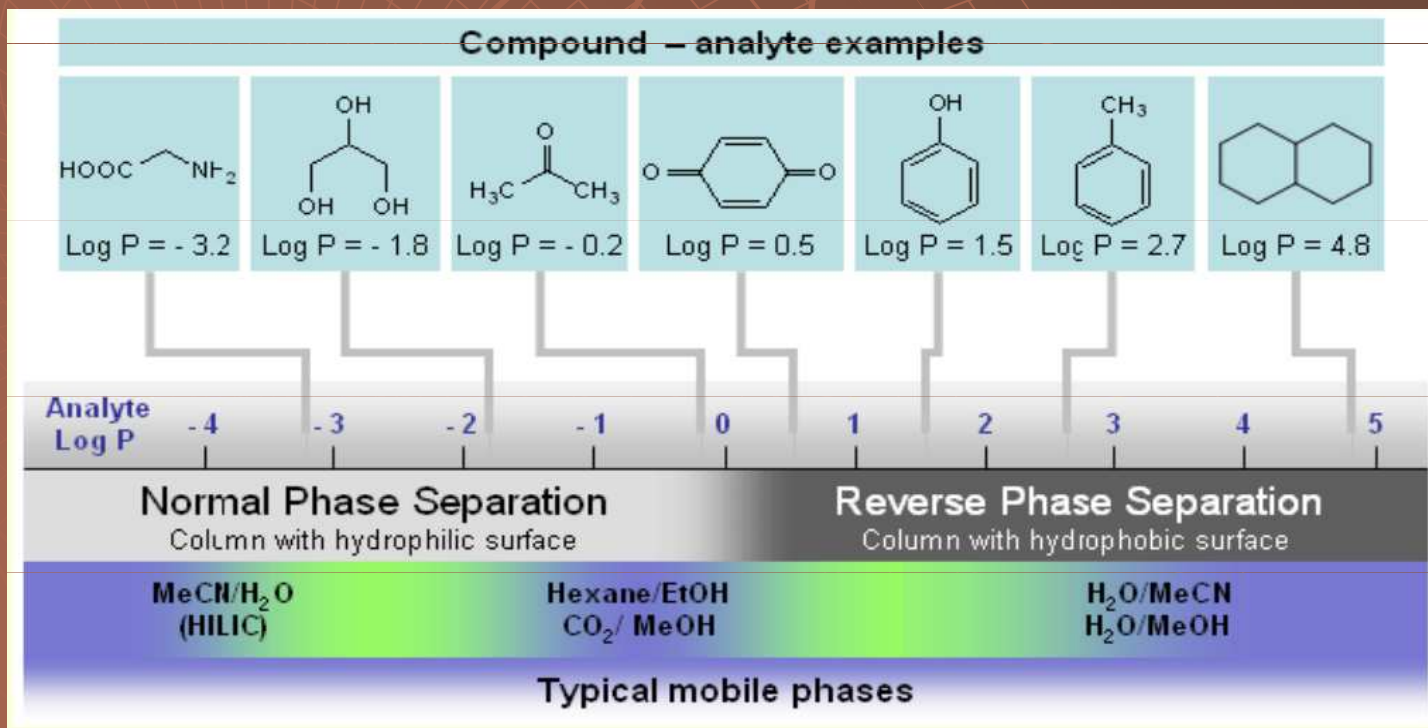


Fig. 1. Chromatogram of murine IgG<sub>1</sub> purification on the UNOsphere S column during small-scale process development. Diluted cell culture (20 ml) was loaded onto an UNOsphere S 0.7 x 5 cm column at a flow rate of 600 cm/hr in 20 mM phosphate-citrate buffer, pH 4.0. The sample was eluted in 10 column volumes (CV) of a 0–0.5 M NaCl gradient, followed by 5 CV of 1 M NaCl in the same buffer. The column was then cleaned in 1 M NaOH. The double-headed arrow indicates the fractions (1 ml each) containing IgG<sub>1</sub> (see Figure 2). Blue trace, A<sub>280</sub>; red trace, conductivity profile.

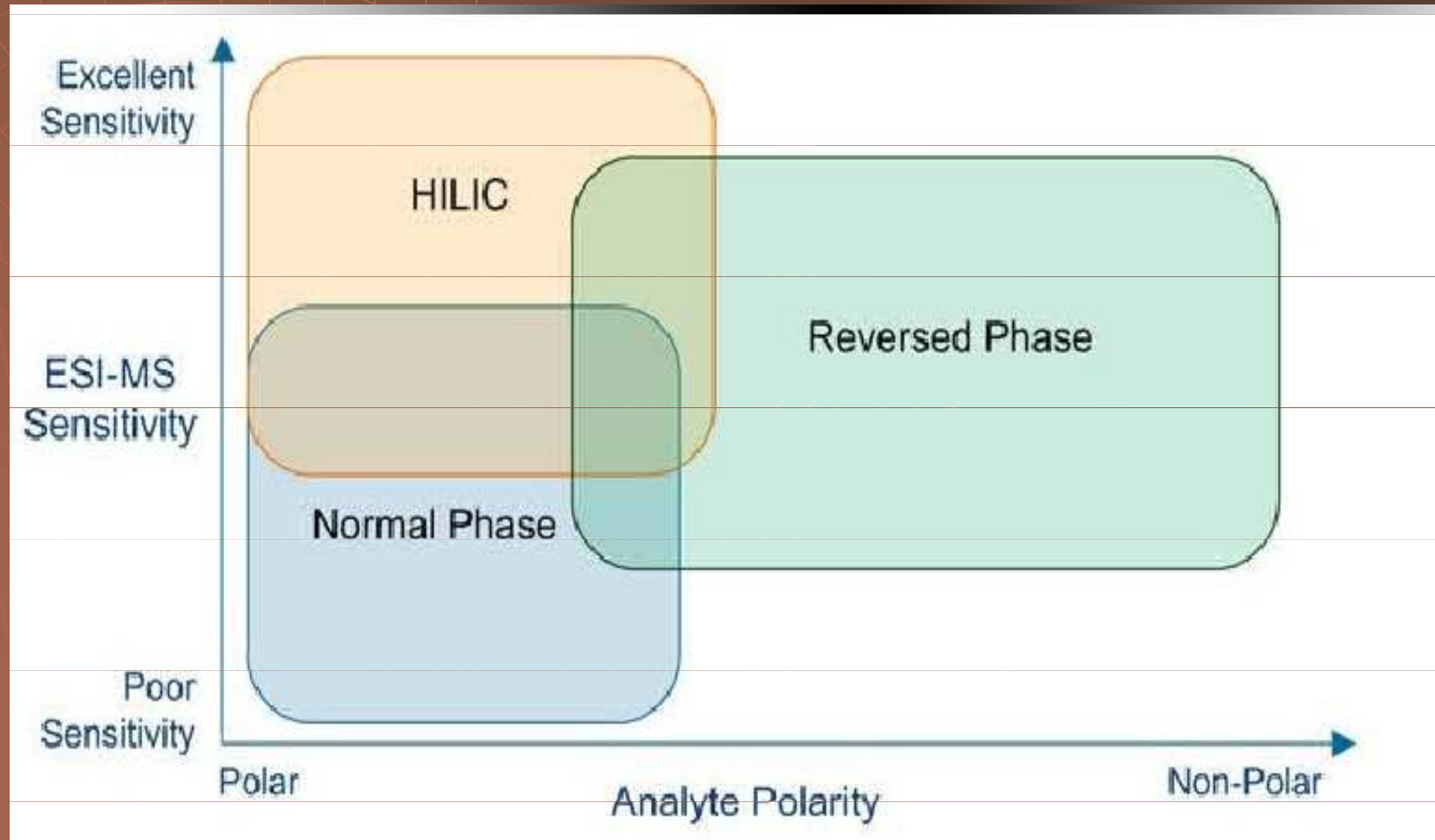
# HILIC chromatografie

## ◆ HILIC

Hydrophilic Interaction Chromatography (1990)  
*varianta* chromatografie s normálními fázemi  
nepoužívající rozpouštědla nemísitelná s vodou



# HILIC chromatografie



# HILIC chromatografie

## ◆ Stacionární fáze

polární - silikagel,  
kyano, amino, diol,  
zwitterionty etc.

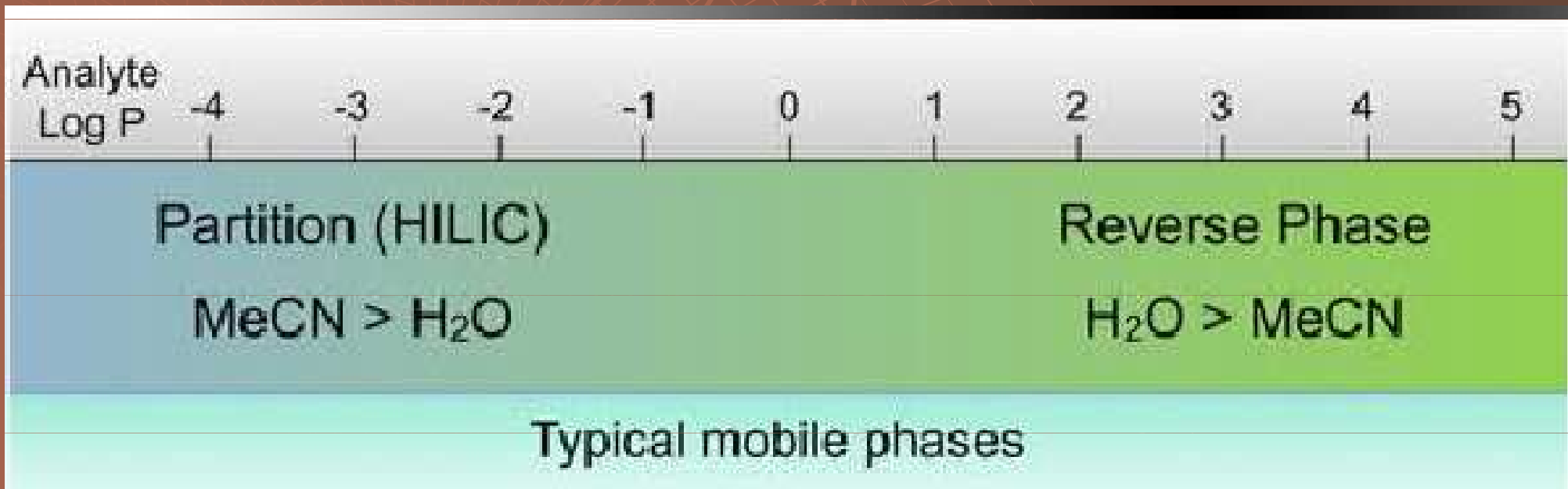
stacionární fáze	chemická struktura
<b>a.</b>	
silikagel	$-\text{OH}$
kyanopropyl	$-(\text{CH}_2)_3-\text{CN}$
aminopropyl	$-(\text{CH}_2)_3-\text{NH}_2$
diol	$-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{OH}$
<b>b.</b>	
PAC	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{C}=\text{O}}{\underset{\text{OH}}{\text{CH}}})_n$
<b>c.</b>	
ZIC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{N}^{\oplus}}}-(\text{CH}_2)_3-\text{SO}_3^{\ominus}$



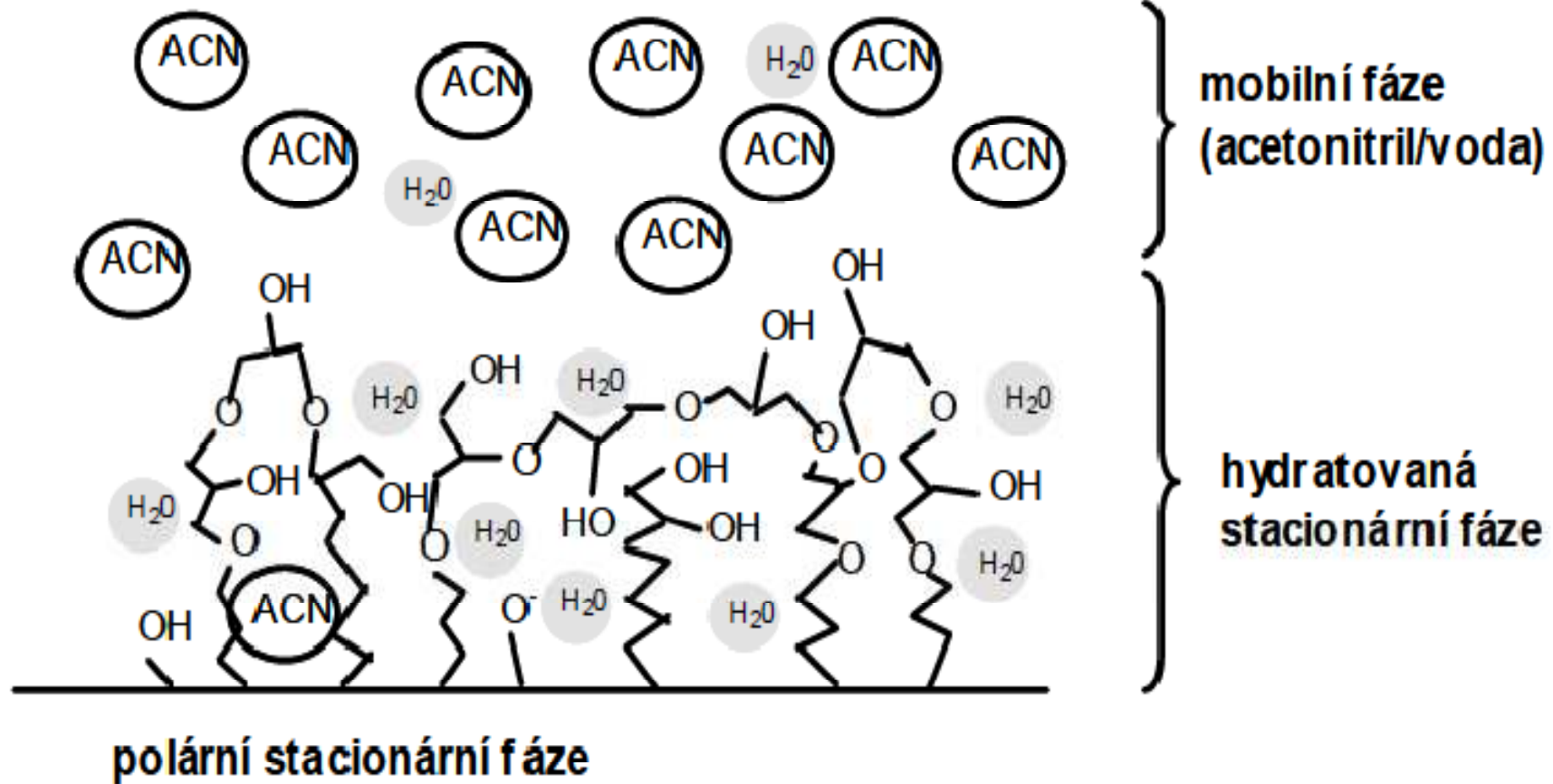
# HILIC chromatografie

- ◆ Mobilní fáze

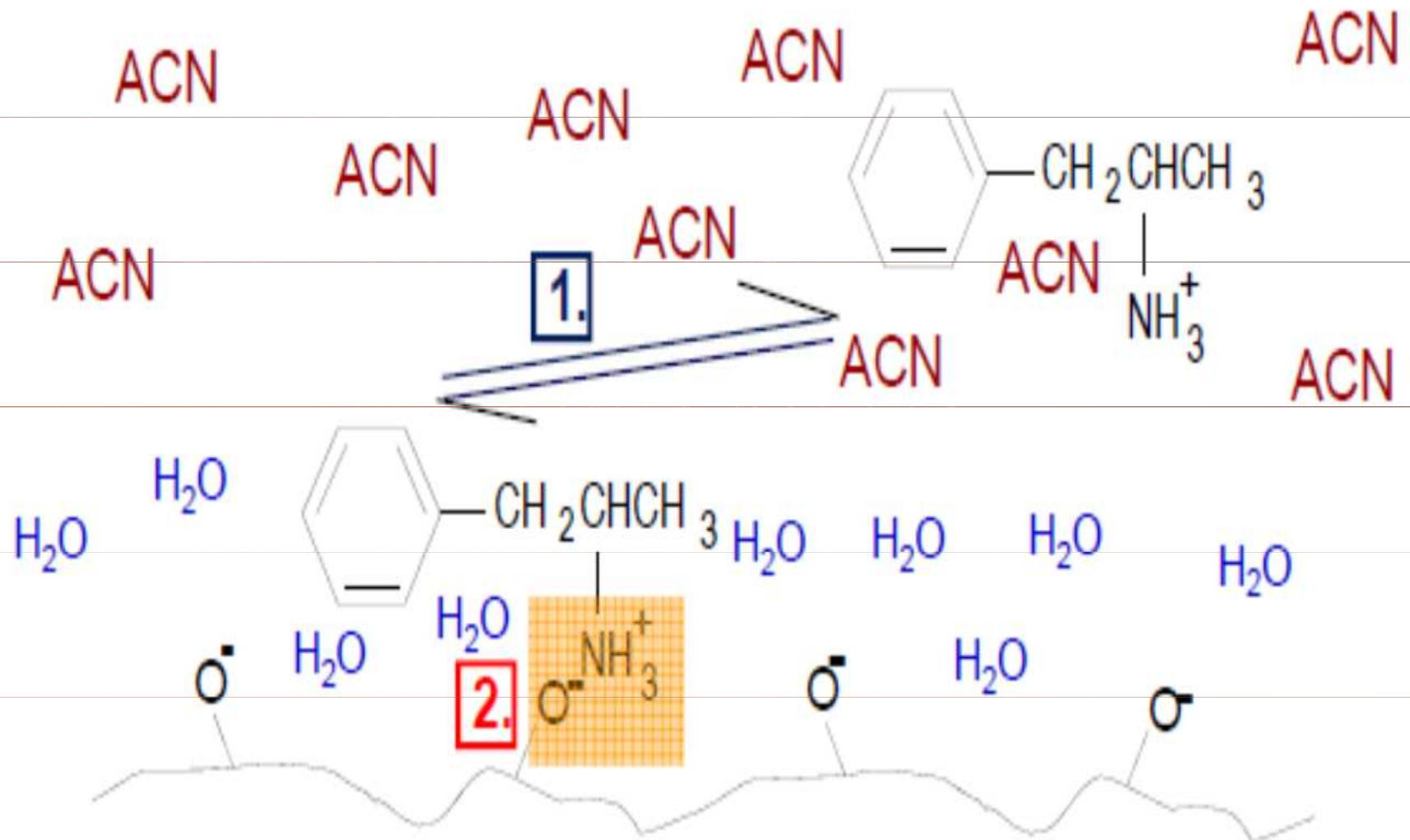
Velký obsah organického rozpouštědla ACN (> 80%) s malým množstvím vody nebo jiného polárního rozpouštědla



# HILIC chromatografie

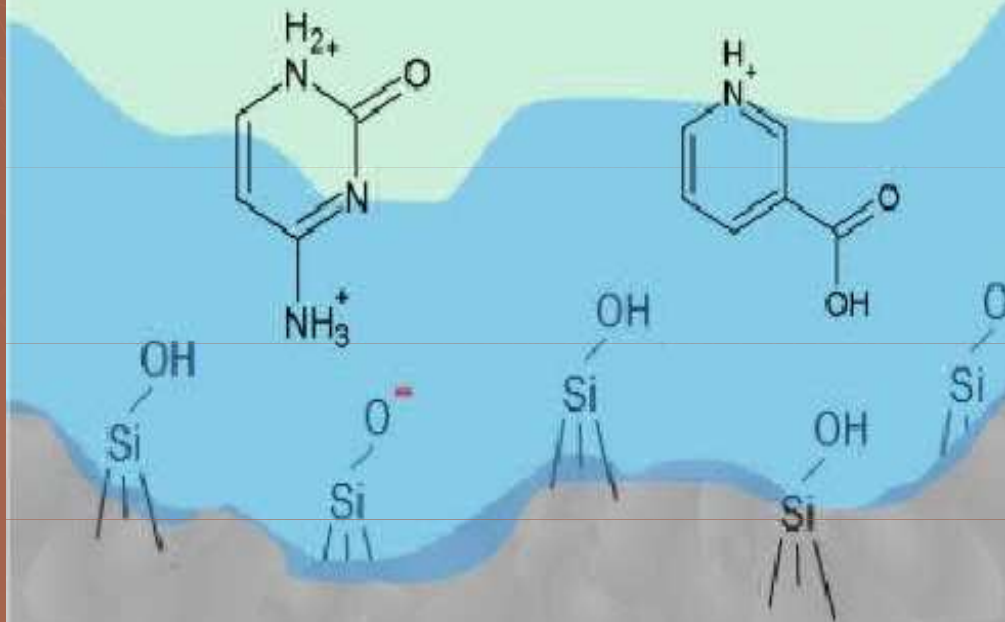
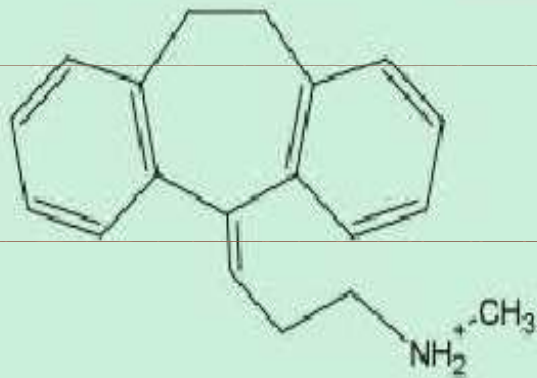
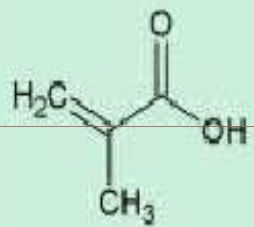


# HILIC chromatografie

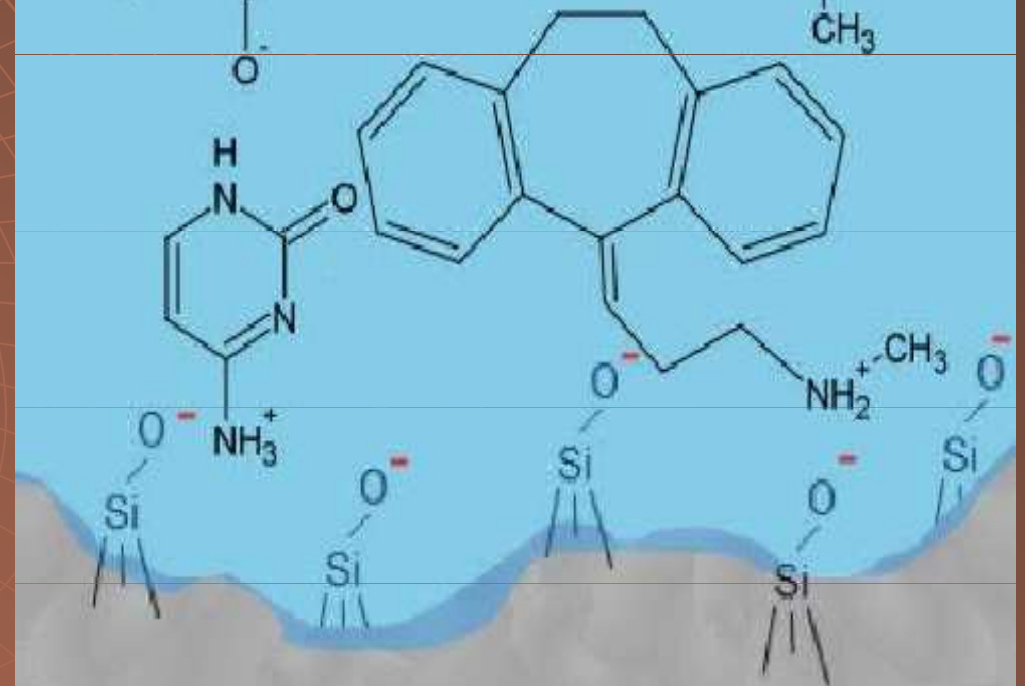
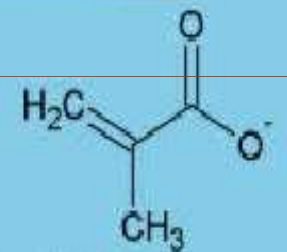
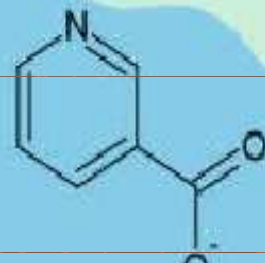


# HILIC chromatografie

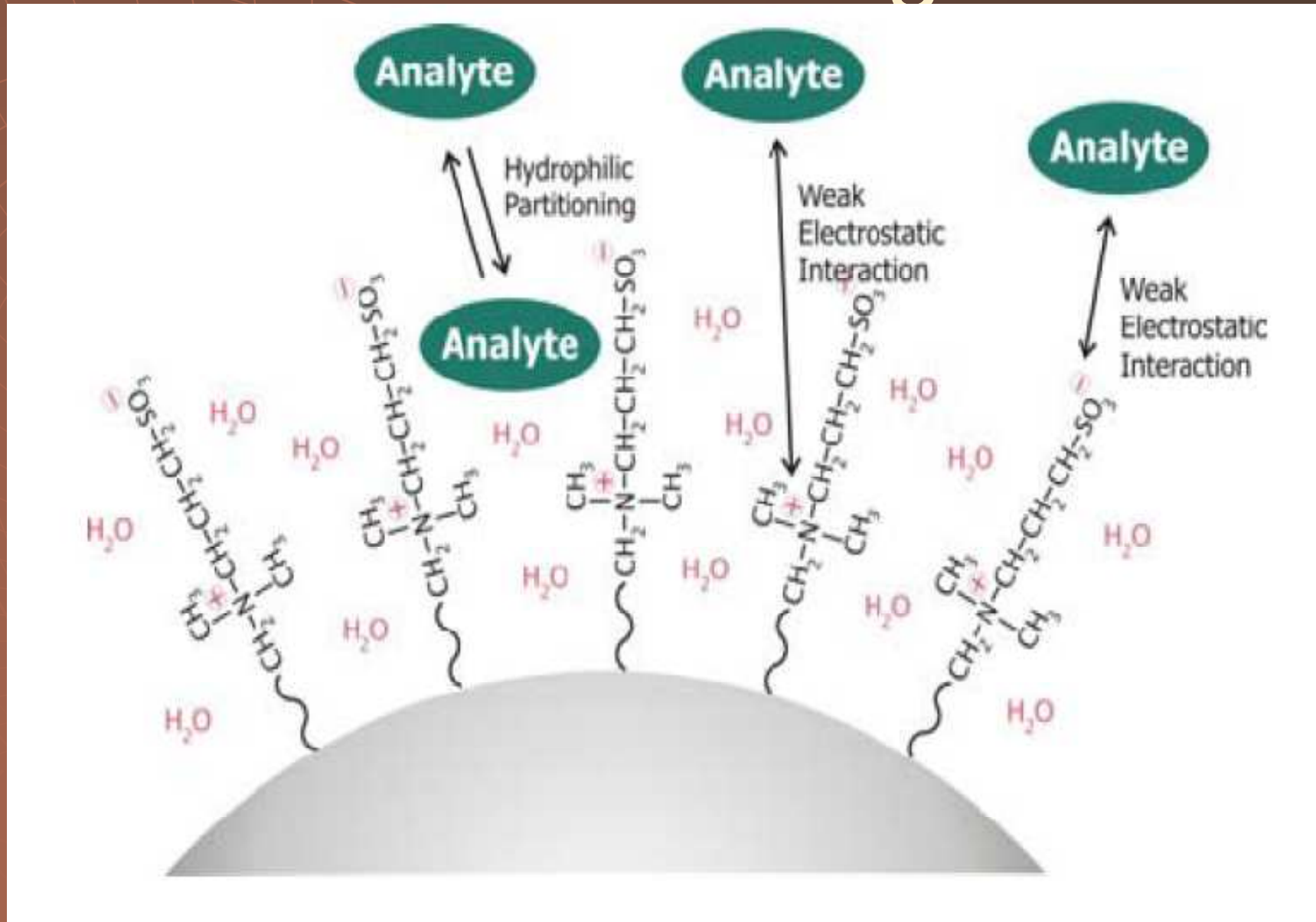
pH -3



pH -9



# HILIC chromatografie





# HILIC chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – vzorek rozpuštěn v mobilní fázi
- ◆ Eluce – zvyšováním polaritý mobilní fáze

Dioxan > Aceton > ACN > THF > IPOH > EtOH > MetOH > H<sub>2</sub>O

Použití : analýza polárních látek

# HILIC chromatografie

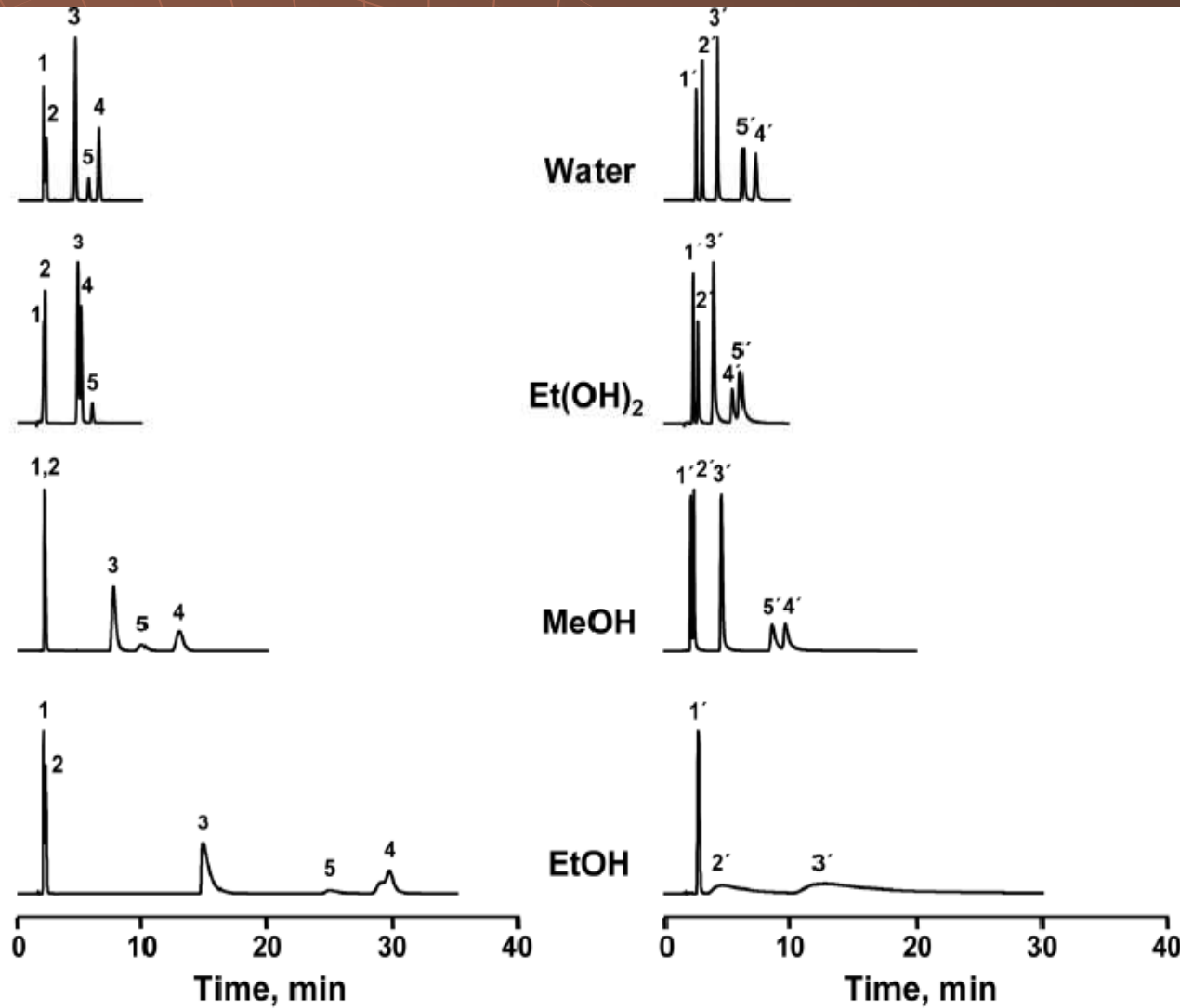
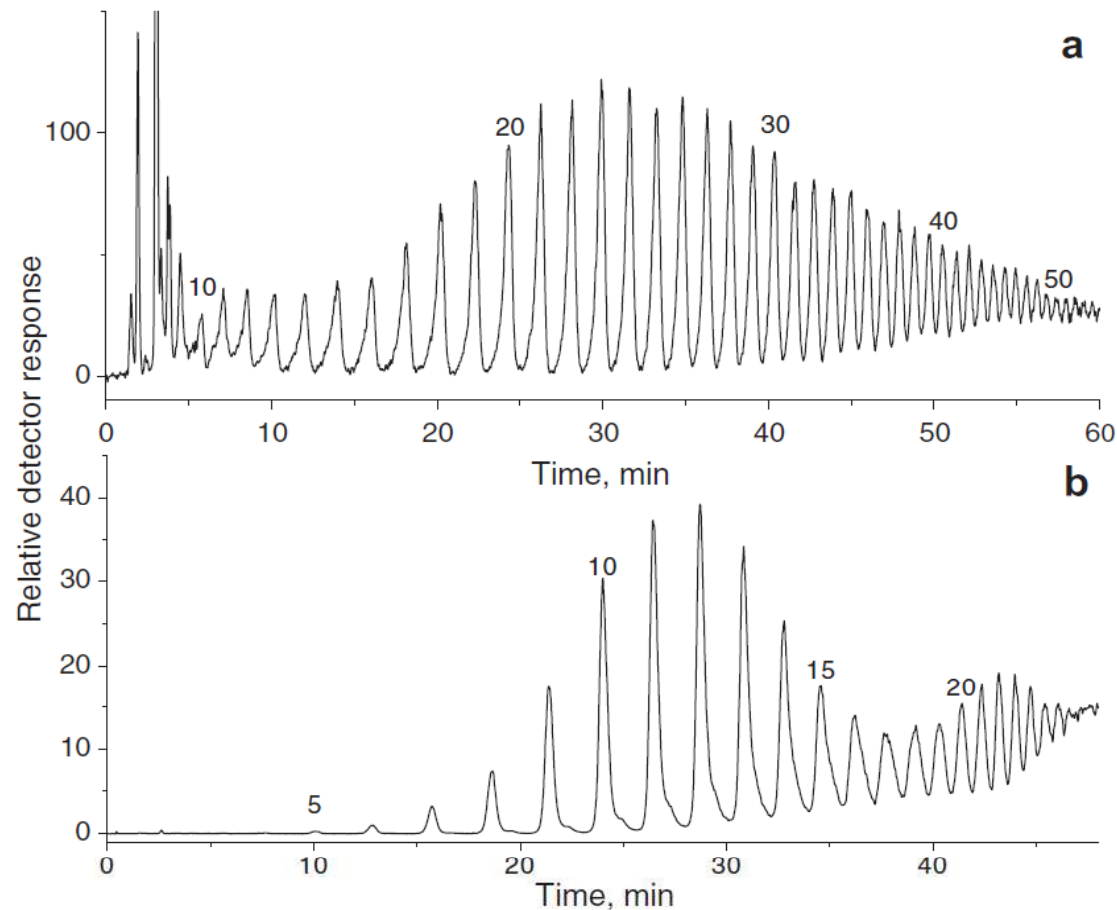


Figure 5. Separation of the sets of nucleobases and nucleosides on (a) the TG, (b) the TGO and (c) the bare silica (Daisogel) packing in AQ-HILIC (water as modifier) and NA-HILIC (Et(OH)<sub>2</sub>, MeOH, EtOH as modifiers) elution mode. Mobile phase: 5 mM ammonium acetate in ACN/modifier (90:10 v/v). Further chromatographic details are given in Section 2. Analytes: (1) thymine, (2) uracil, (3) adenine, (4) cytosine, (5) guanine; (1') thymidine, (2') uridine, (3') adenosine, (4') cytidine and (5') guanosine.

# HILIC chromatografie

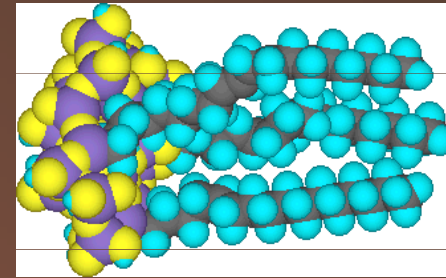


**Figure 3.** The chromatograms for the separation of (a) higher molecular weight fructooligosaccharides and (b) chitooligosaccharides on an analytical 'click' maltose column ( $100 \times 4.6$  mm id) with gradients 1 and 2, respectively. The numbers on the peaks are the DPs of the oligosaccharides. Gradient 1: 0–60 min, water–acetonitrile: 30:70 (v/v)→50:50 (v/v). Gradient 2: 0–60 min, acetonitrile–ammonium formate buffer (100 mM, pH 3.0): 65:35 (v/v)→55:45 (v/v). Flow rate: 1.0 mL/min. Column temperature: 30 °C. ELS detector: gas pressure 30 psi, tube temperature 85 °C, gain 100.

# Reverzně fázová chromatografie

- ◆ Stacionární fáze – nepolární

$C_8, C_{18}$



- ◆ Mobilní fáze – polární – vodné roztoky  
pH → potlačit disociaci

- ◆ Eluce – snižováním polarity mobilní fáze  
ACN, MetOH,

# Reverzně fázová chromatografie



## Silikagel

- poresní silika gel – zvýšení efektivního povrchu
- inertní materiál
- stabilní v pH 2-7,5

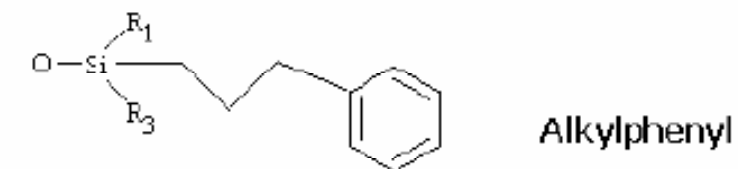
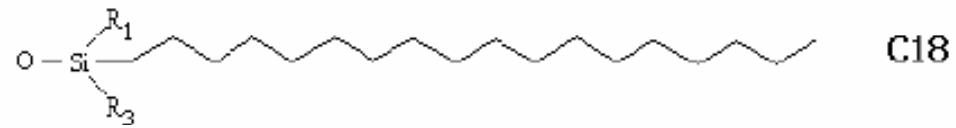


## Polymerní nosič

- poresní polymer – zvýšení efektivního povrchu
- nepolární
- stabilní v pH 2-11



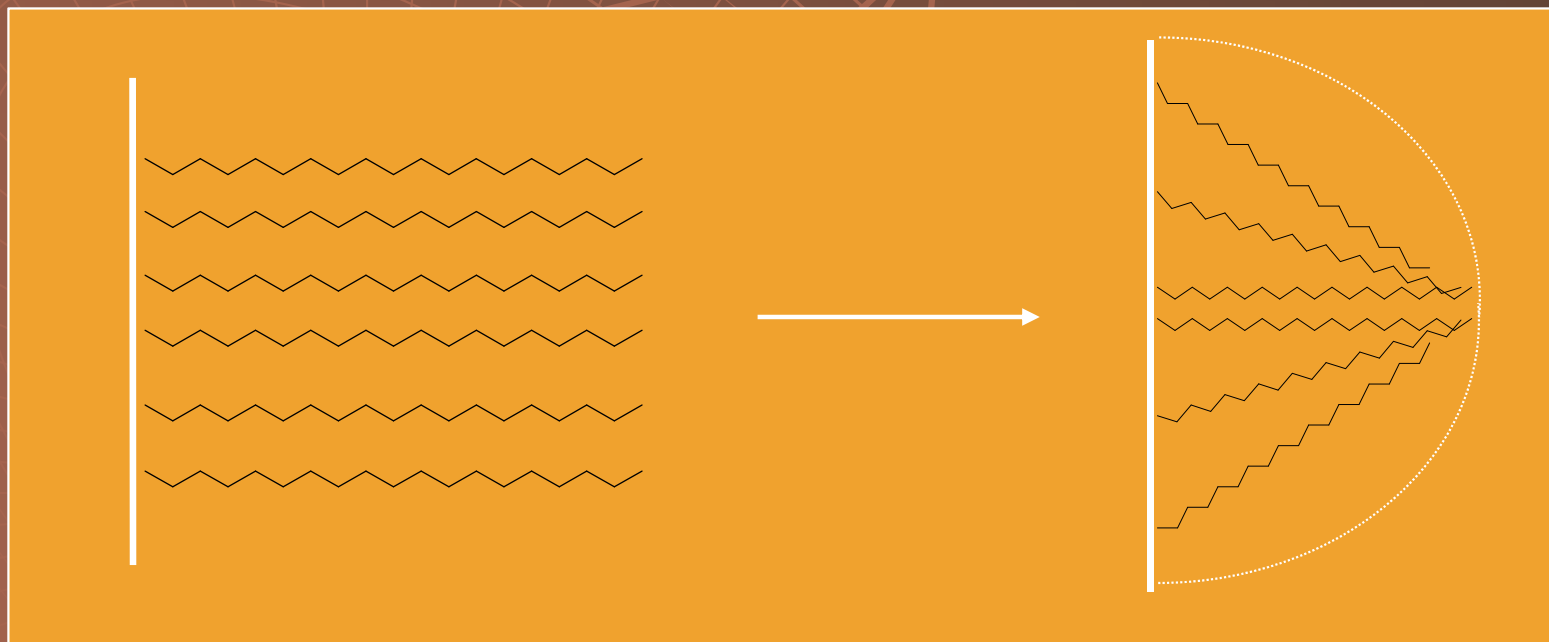
# Reverzně fázová chromatografie



# Reverzně fázová chromatografie

Kartáčový typ stacionární fáze

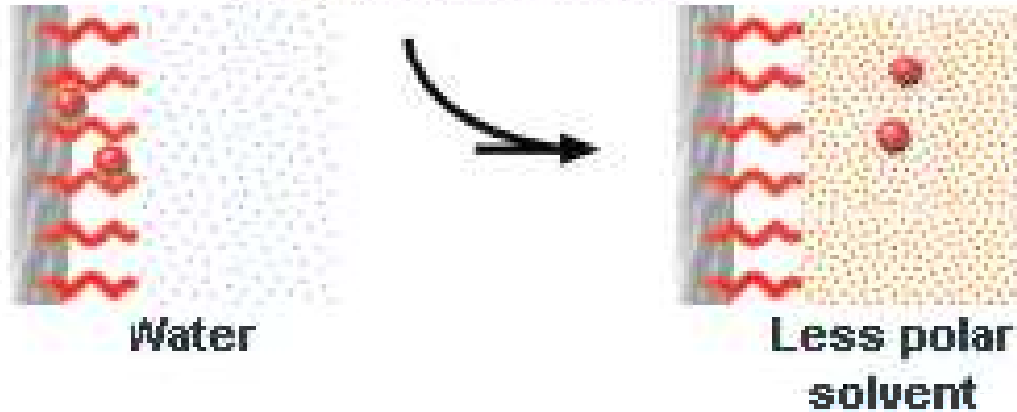
H<sub>2</sub>O



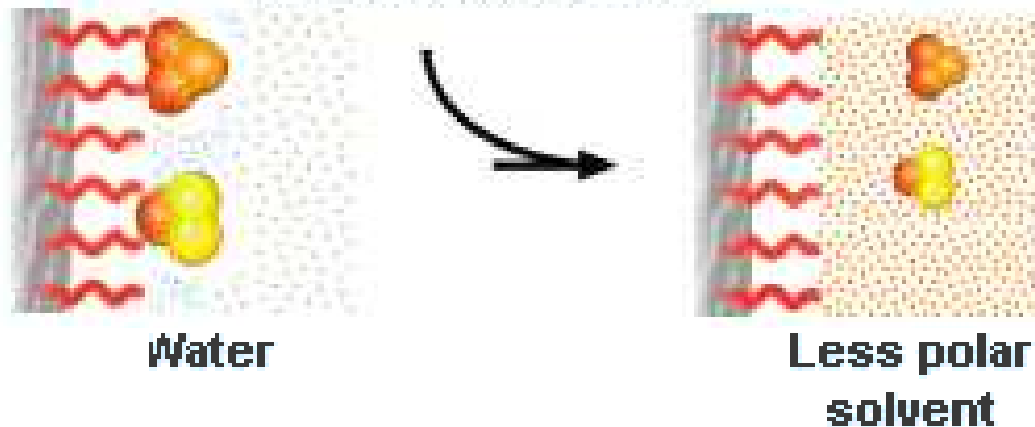
Použití : analytické – až 90 % analýz

# Reverzně fázová chromatografie

Decrease polar properties of eluent



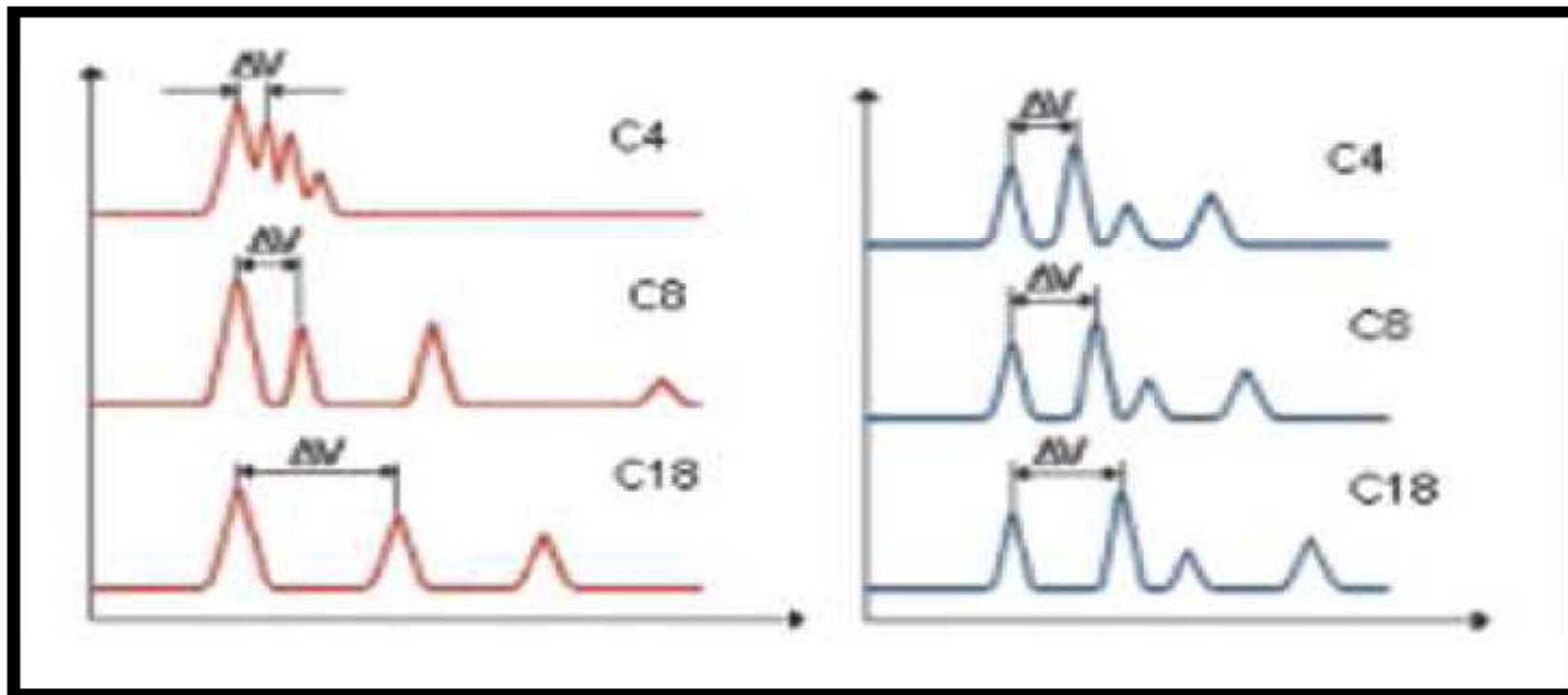
Decrease polar properties of eluent



# Reverzně fázová chromatografie

## Vliv délky řetězce na rozlišení

hydrofobní  
organické látky      peptidy, proteiny



# Reverzně fázová chromatografie

<b>Organické rozpouštědlo</b>	<b>Vhodné pro:</b>	<b>Viskosita</b>	<b>Poznámka</b>
Methanol	•Org. molekuly	Střední-nízká	možná destabilizace struktury
Ethanol	•Org. molekuly	Střední-nízká	možná destabilizace struktury
Isopropanol	•Proteiny •Peptidy	Vysoká	nejmenší efekt na strukturu
Acetonitril (ACN)	•Org. molekuly •Proteiny •Peptidy	Nízká	nízký efekt na strukturu



# Reverzně fázová chromatografie

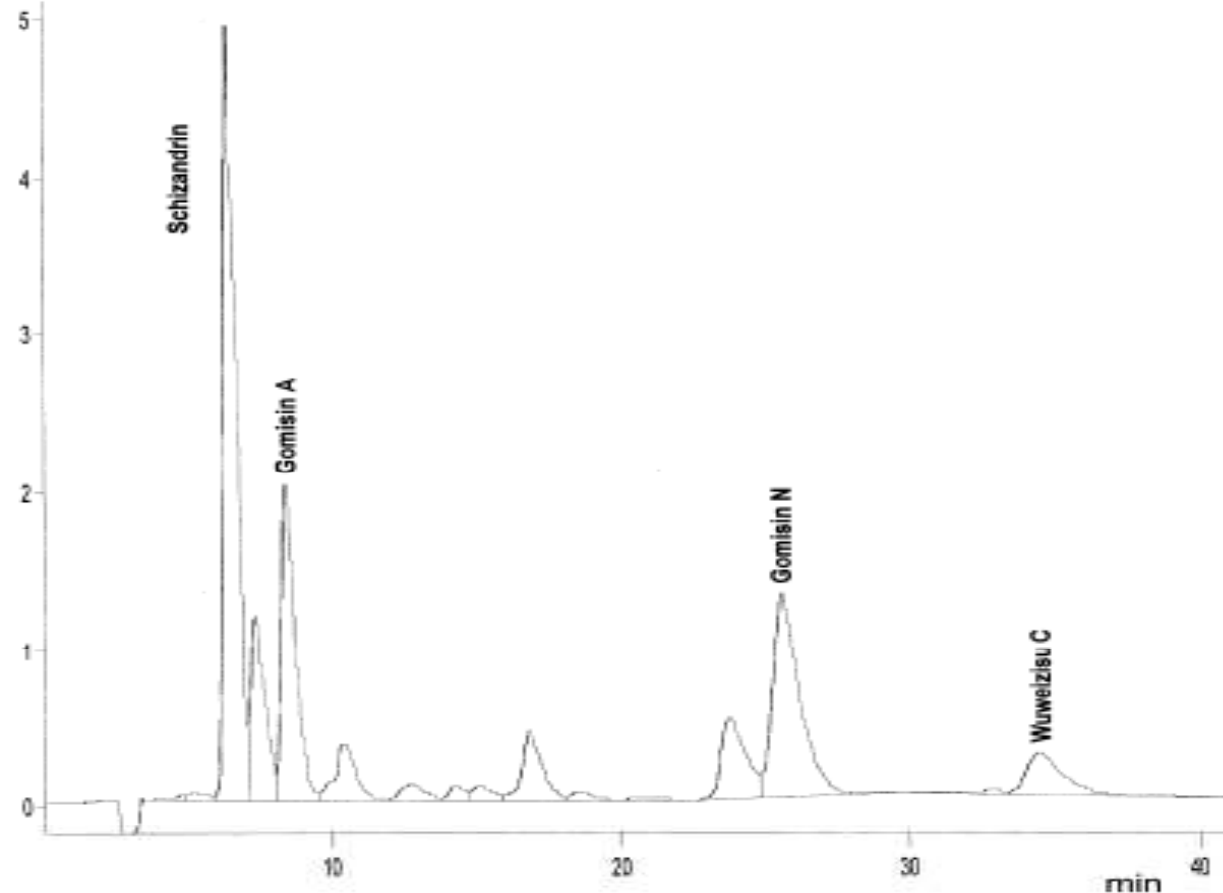
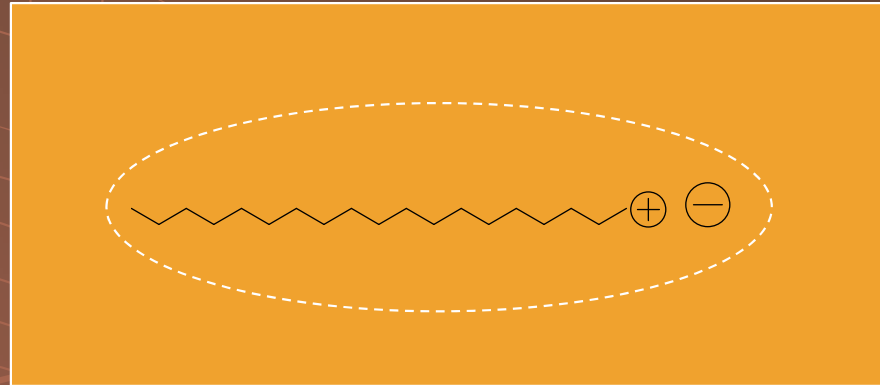


Fig. 5. HPLC analysis of *Schisandra* extract. Experimental conditions: column, Separon SGX C<sub>18</sub> 5  $\mu$ m, 150  $\times$  3 mm I.D.; mobile phase, methanol–deionised water (75:25); flow-rate, 0.3 ml/min; detection at 254 nm. Twenty  $\mu$ l of *Schisandra* extract were loaded on the column.

# Iontově párová chromatografie



iontově párující činidlo

analyt

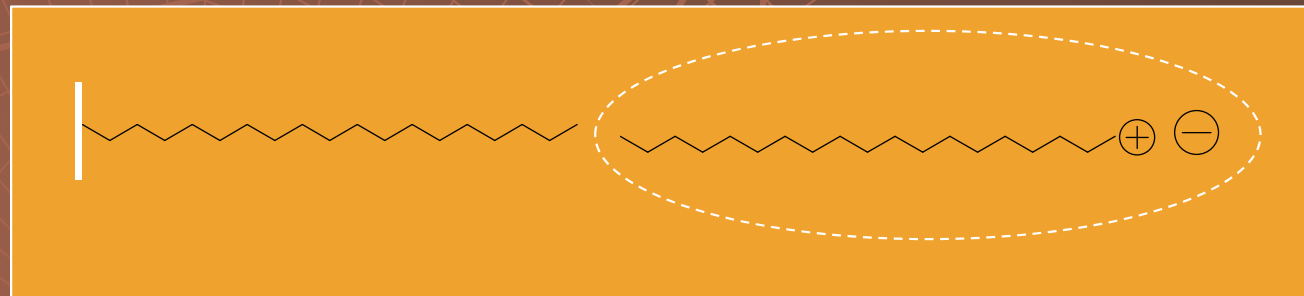
+ - SDS,  $\text{HClO}_4$

- - tetrabutylamonium

# Iontově párová chromatografie

sorbent C<sub>18</sub>

iontový pár



Stacionární, mobilní faze, eluce – RPC

pH → plná ionizace analytu

# Iontově párová chromatografie

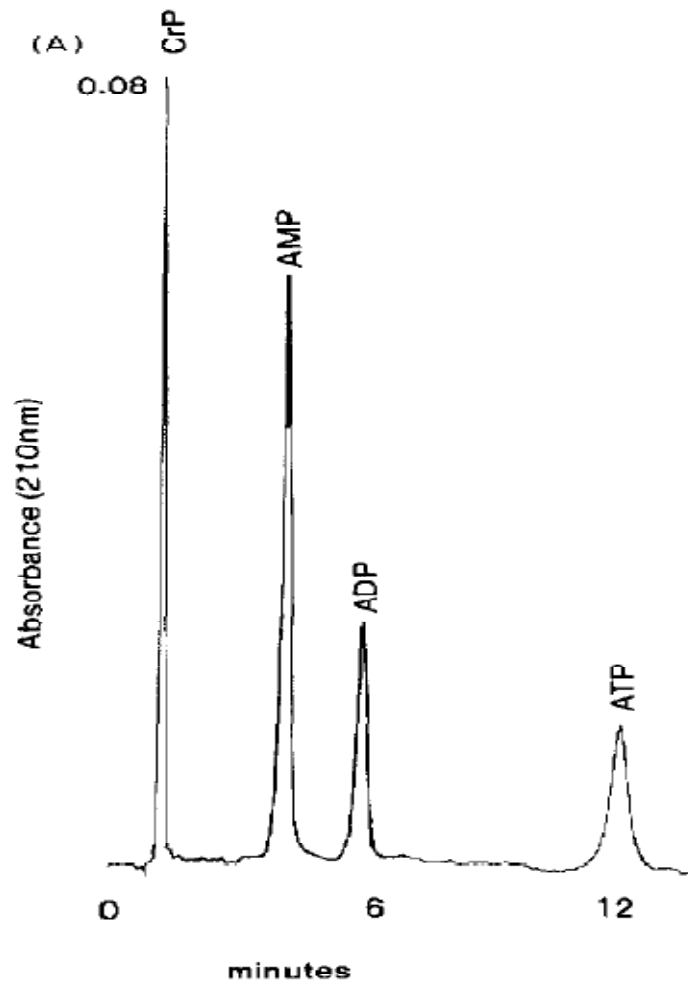


Fig. 1. Chromatogram of standards. Separation of standard containing  $76.4 \mu\text{M}$  CrP,  $72 \mu\text{M}$  AMP,  $58.53 \mu\text{M}$  ADP and  $45.35 \mu\text{M}$  ATP. Injection volume:  $10 \mu\text{l}$ . Flow-rate:  $2 \text{ ml/min}$ . Buffer:  $0.52 \mu\text{M}$  potassium dihydrogen phosphate,  $0.04\%$  TBAP and  $1.25\%$  methanol, pH 4.0. Column: Supelcosil LC-18,  $5 \mu\text{m}$  ( $25 \text{ cm} \times 0.46 \text{ cm}$ ). Detection: UV 210 nm.

# Hydrofobní chromatografie

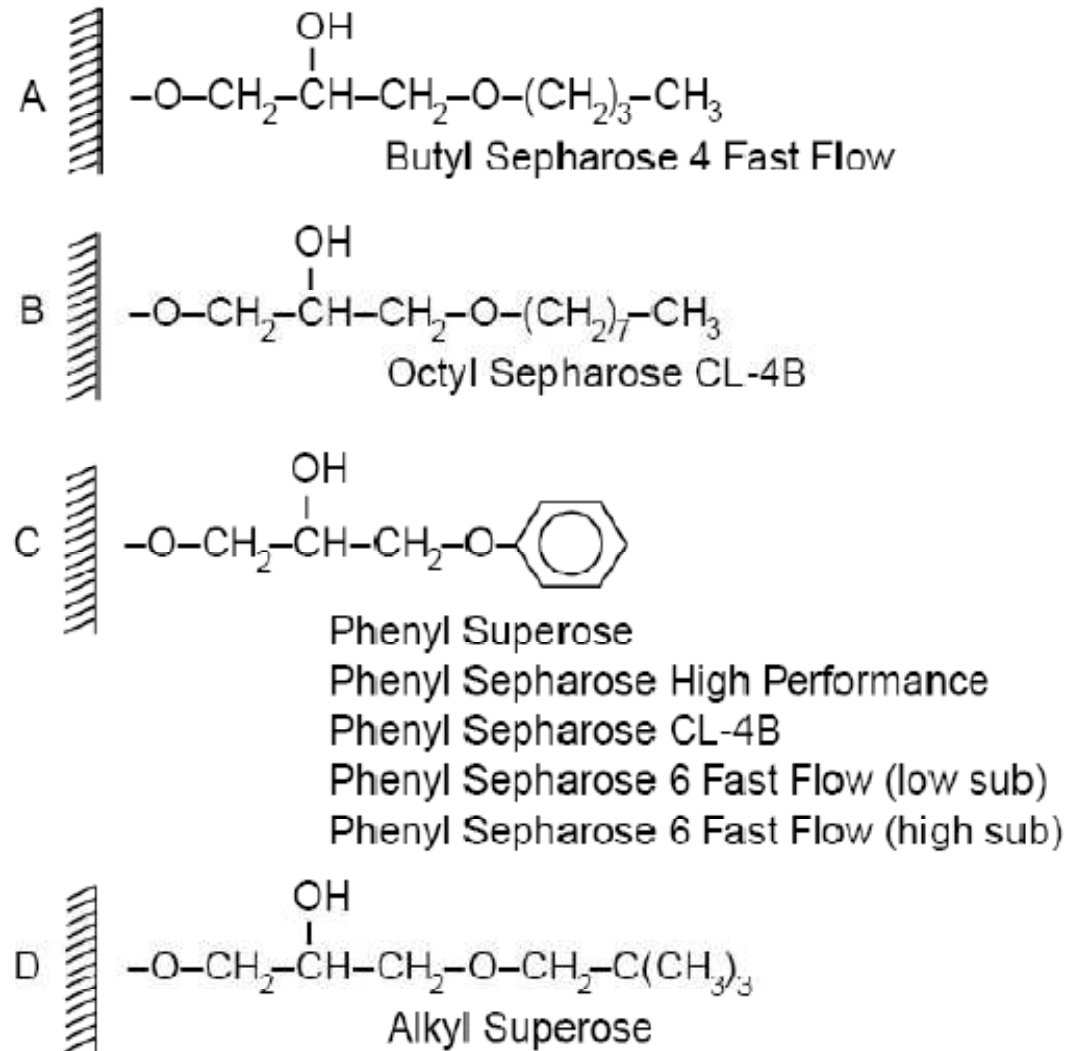
- ◆ Stacionární fáze – – C<sub>8</sub>, -fenyl
- ◆ Mobilní fáze – vodné roztoky (pufry)  
1.7 M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- ◆ Eluce – snižováním iontové síly

Použití : purifikace bílkovin



# Hydrofobní chromatografie

## ◆ Stacionární fáze –



Isopropyl < Butyl < Octyl < Phenyl

# Hydrofobní chromatografie

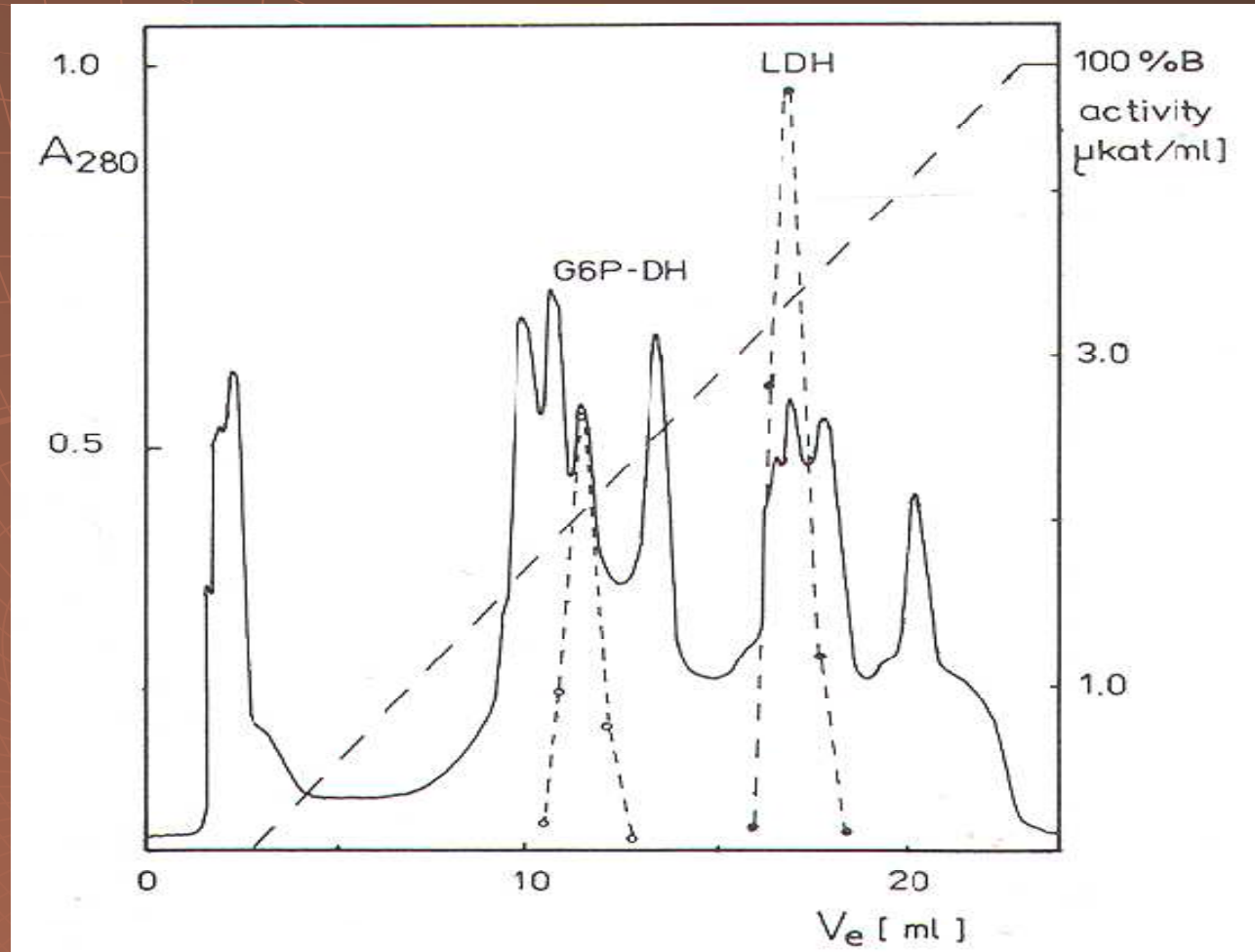


Fig. 1. Chromatography of crude enzyme preparation on a Phenyl-Superose column. Buffers: (A) 0.05 M sodium phosphate (pH 7.4) with 1.7 M sodium sulphate and 1 mM EDTA; (B) 0.05 M sodium phosphate (pH 7.4); flow-rate, 0.5 ml/min.  $V_e$ , elution volume; solid line, absorbance at 280 nm ( $A_{280}$ ); dashed lines, gradient; (○) G6P-DH activity; (●) LDH activity. Approximately 10 mg of protein were applied to the column.

# Hydrofobní chromatografie

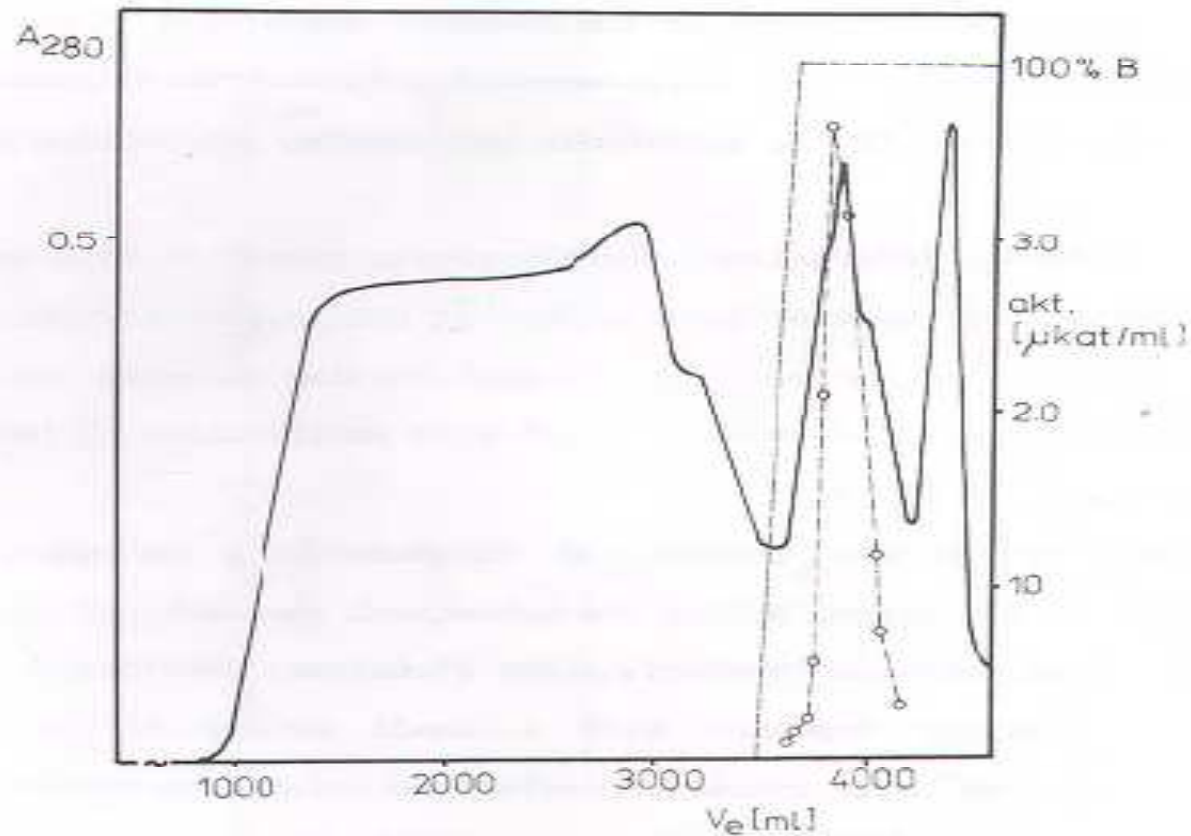
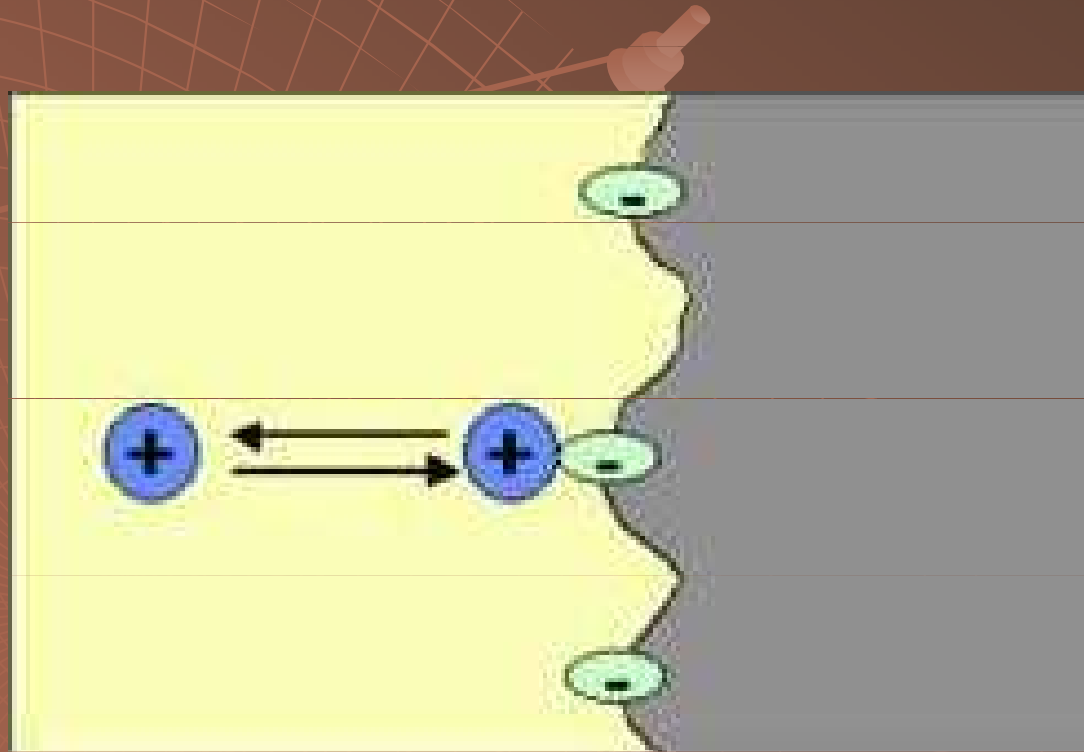


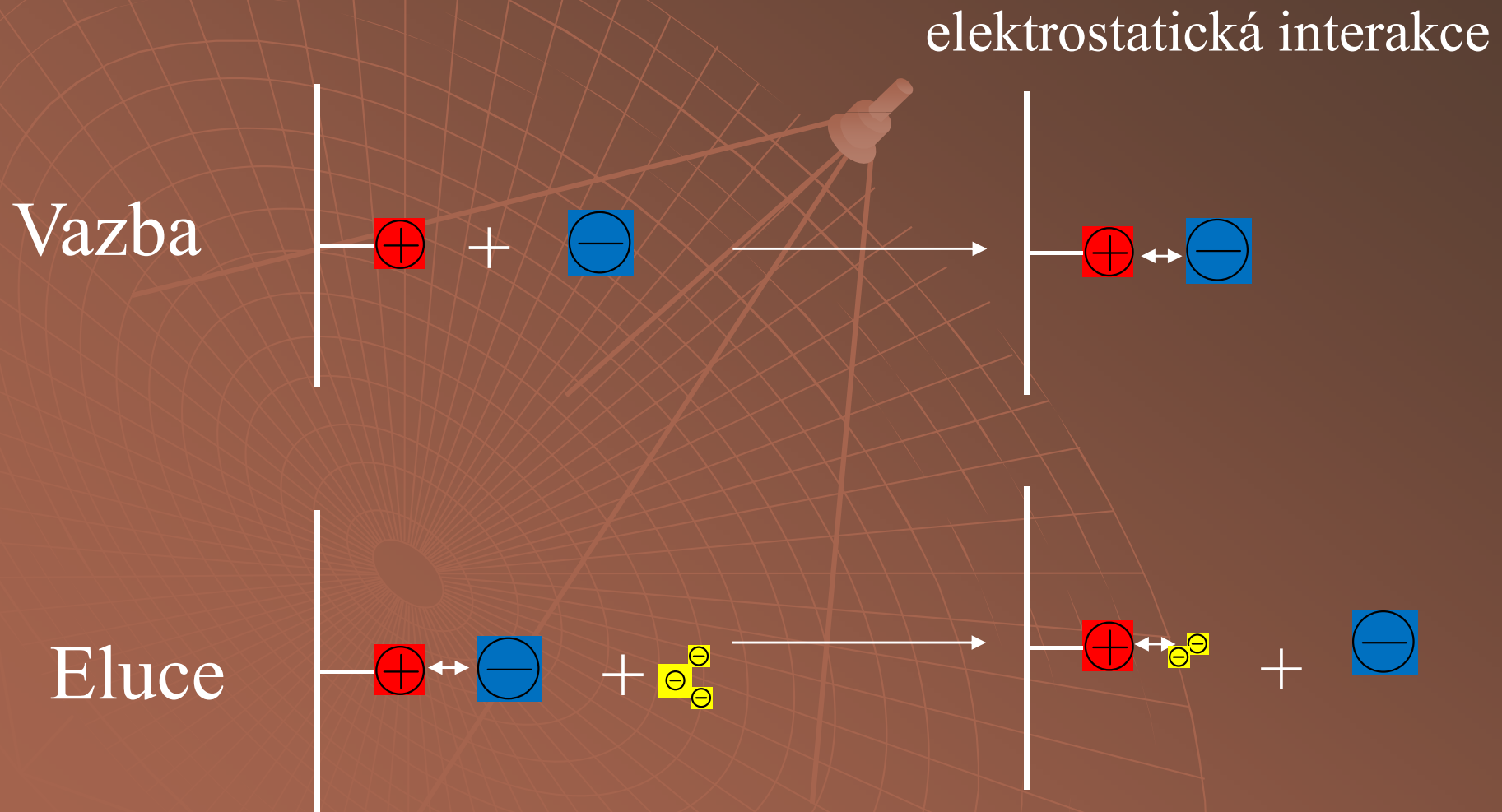
Figure 1

Chromatography of the crude enzyme preparation on a Spheron 1000 column. Buffers : A, 0.05 M potassium phosphate (pH 6.0) with 1.3 M ammonium sulphate and 1  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ ; B, 0.05 M potassium phosphate (pH 6.0) with 1  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ ; flow-rate 4.5 ml/min; V<sub>e</sub> - elution volume; — absorbance at 280 nm (A<sub>280</sub>); - - - gradient; - - - o - - - DAO activity ( $\mu\text{kat}\cdot\text{ml}^{-1}$ ). Approximately 30 g of protein were applied to the column.

# Ionexová chromatografie



# Ionexová chromatografie





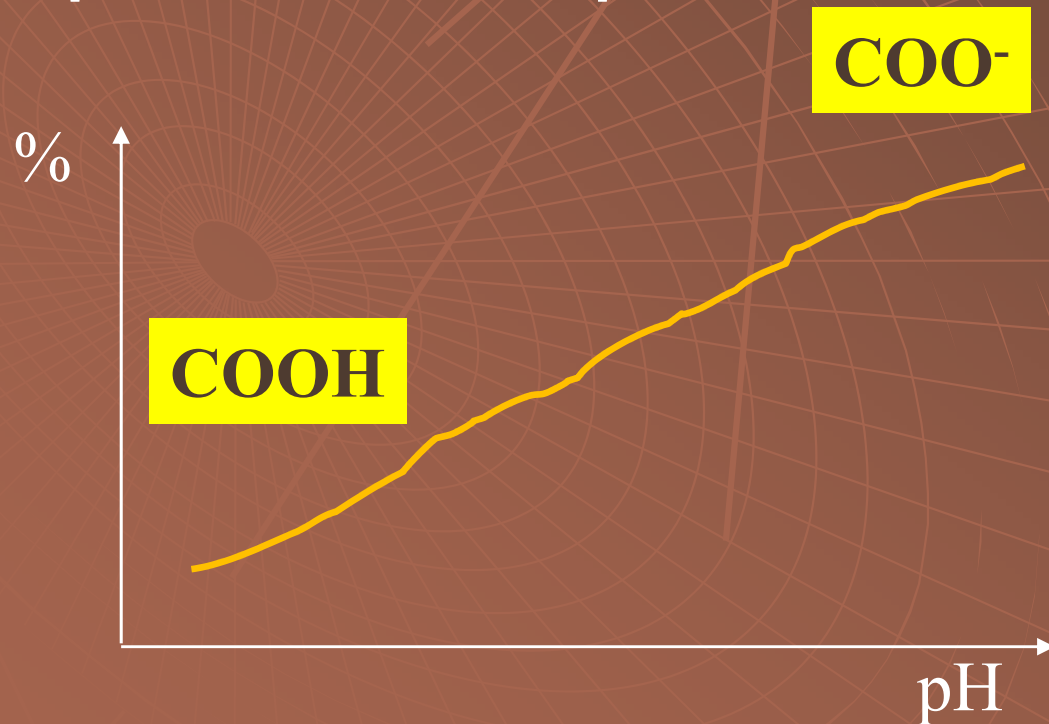
# Ionexy

- ◆ **Katexy** - - vazba kationtů
  - silné - sulfo(S), sulfopropyl(SP)  **$\text{OSO}_3^-$**
  - slabé - karboxy(C), karboxymetyl(CM)  
 **$\text{COO}^-$**
- ◆ **Anexy** - + vazba aniontů
  - slabé - **diethylaminoetyl(DEAE)**
  - silné - **triethylaminoetyl(TEAE)**

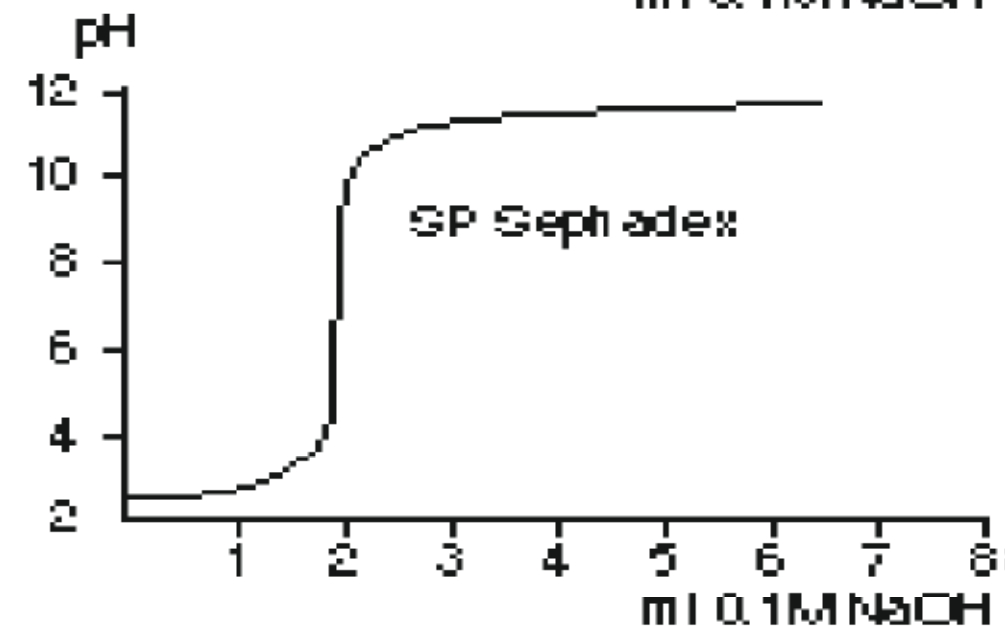
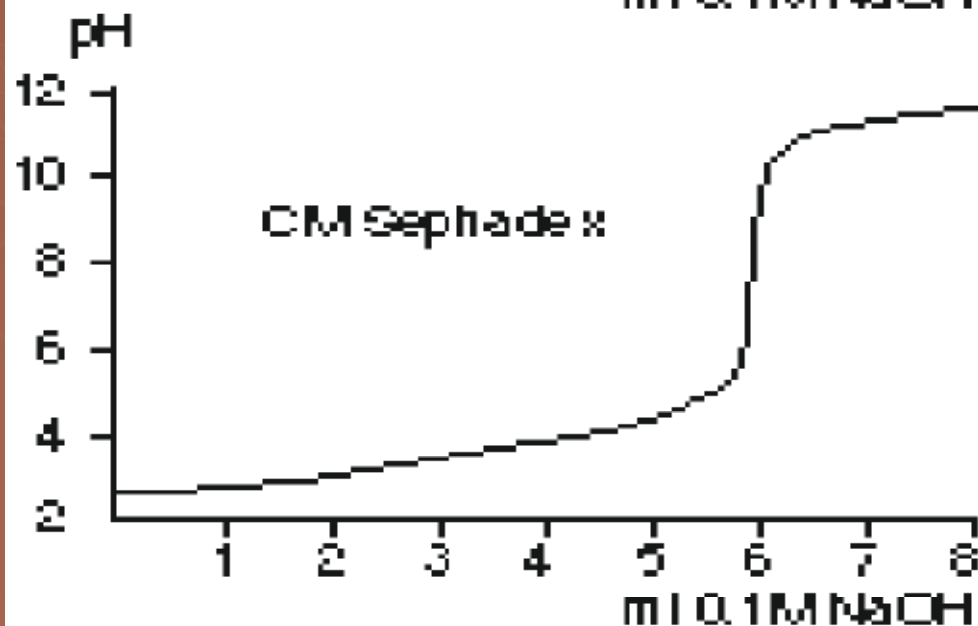
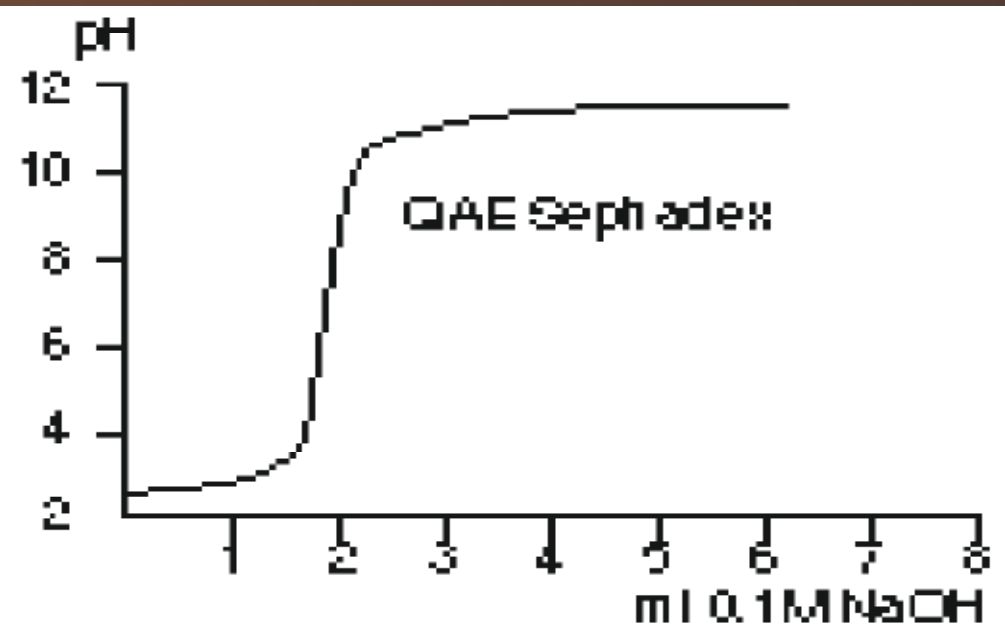
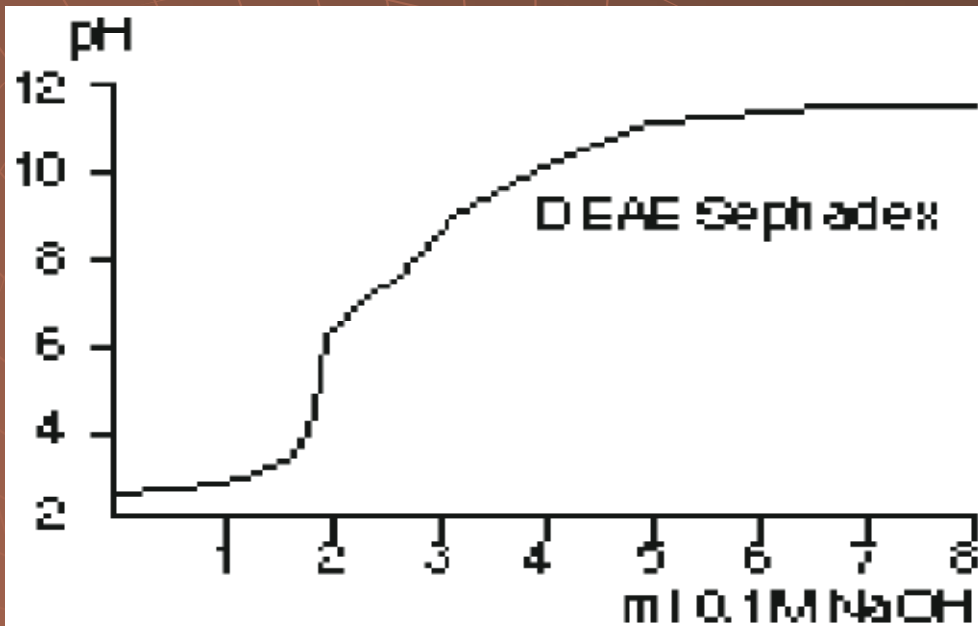


# Slabý ionex

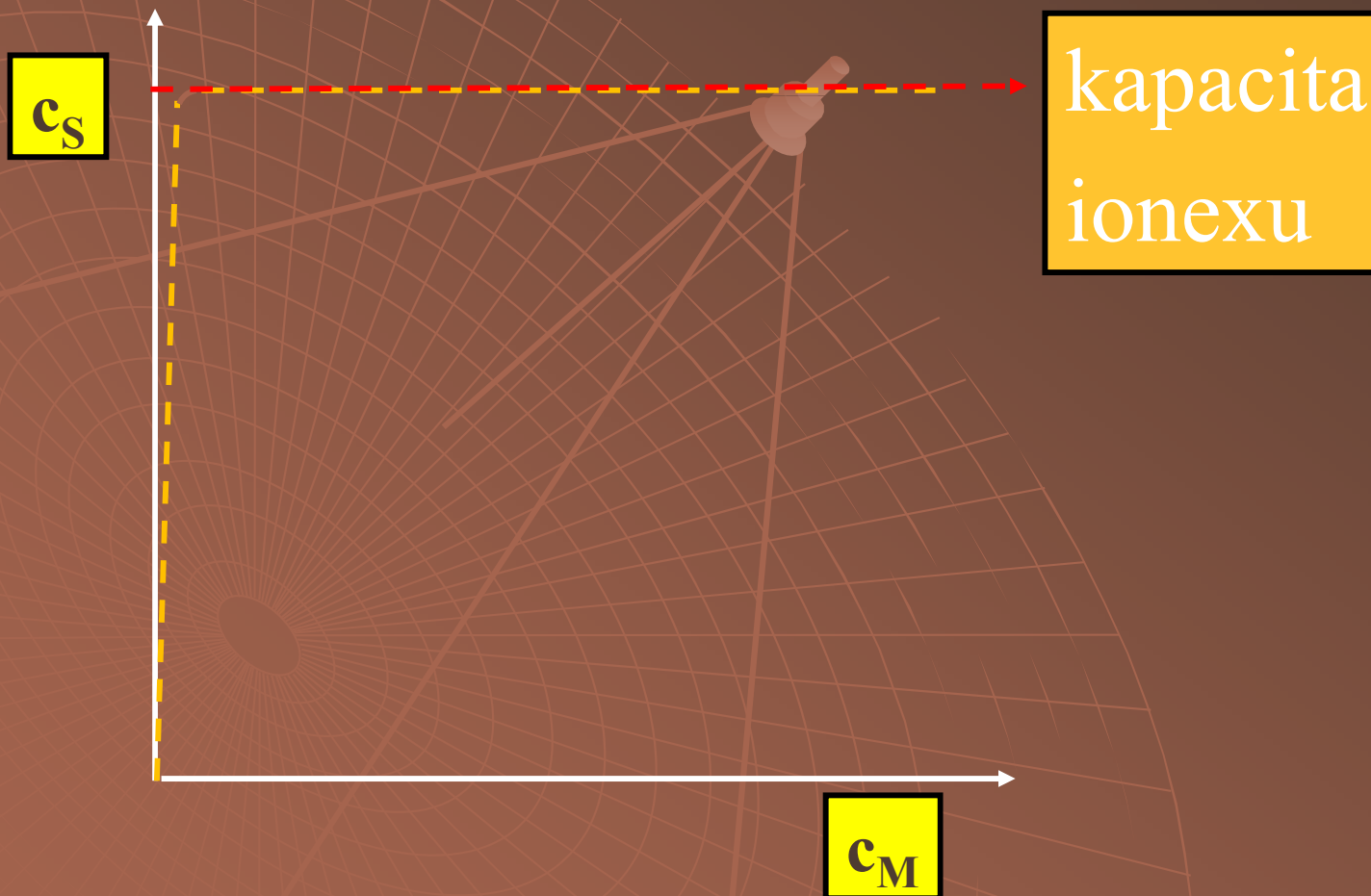
- ◆ Vykazuje změny vazebné kapacity v závislosti na pH
- ◆ Má pufrační kapacitu



# Slabý versus silný ionex

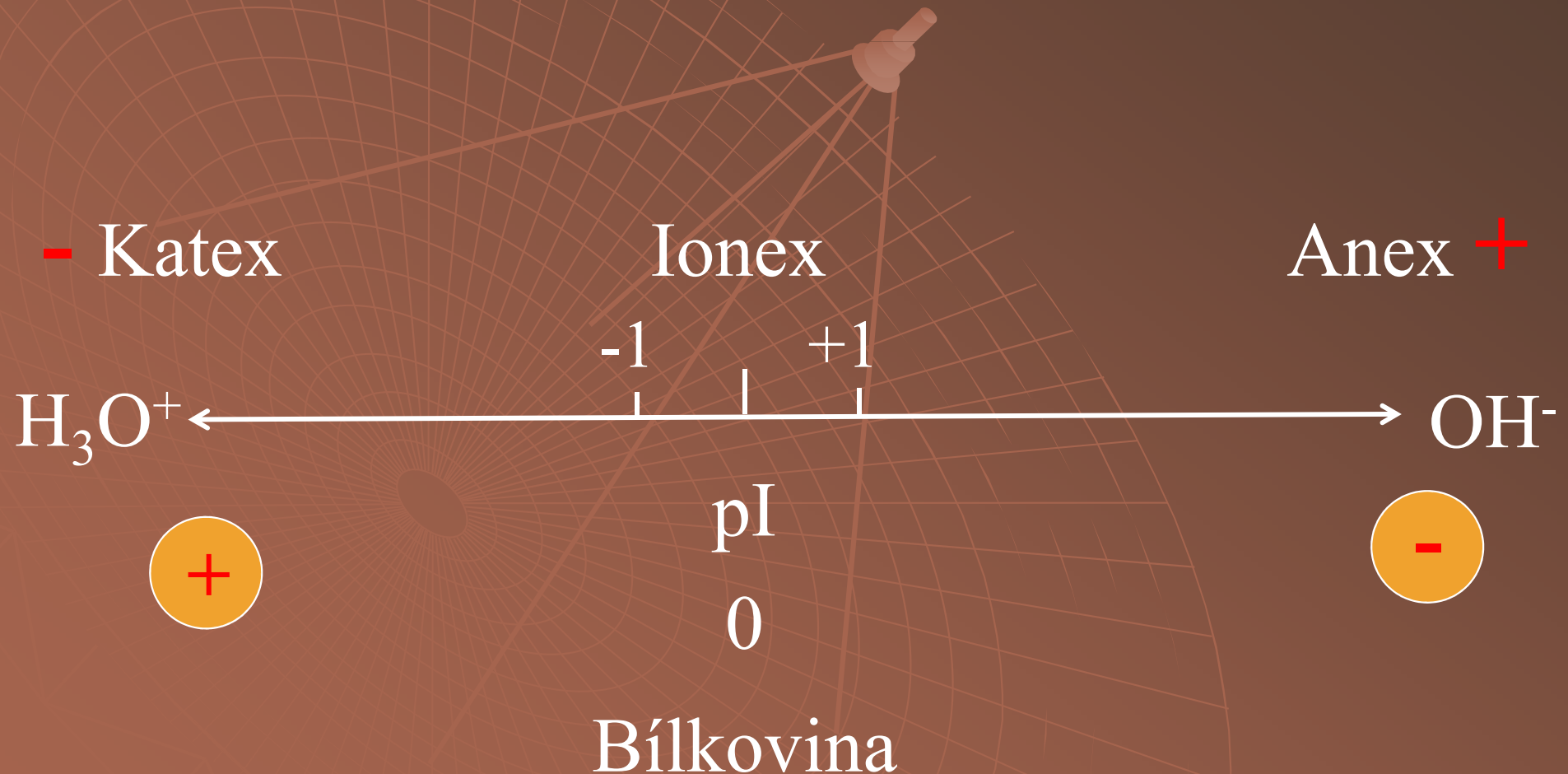


# Ionexová chromatografie

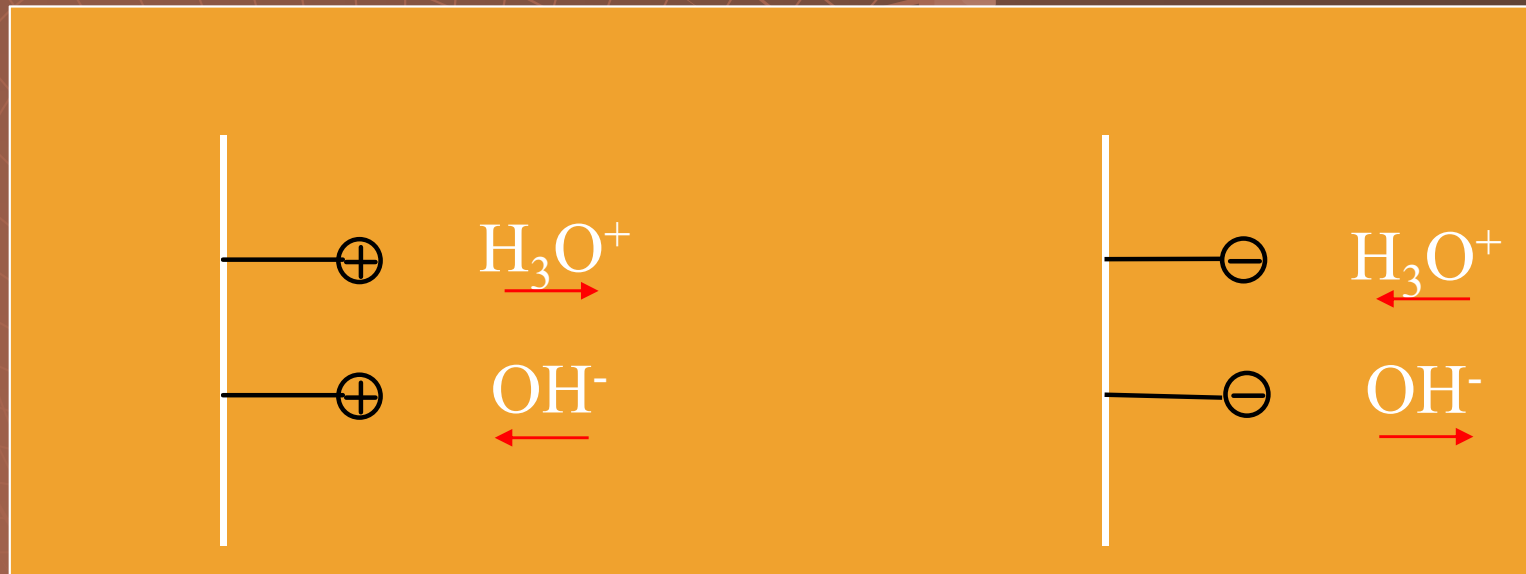


# Volba podmínek – pH + typ ionexu

pI bílkoviny je znám



# Donanův efekt



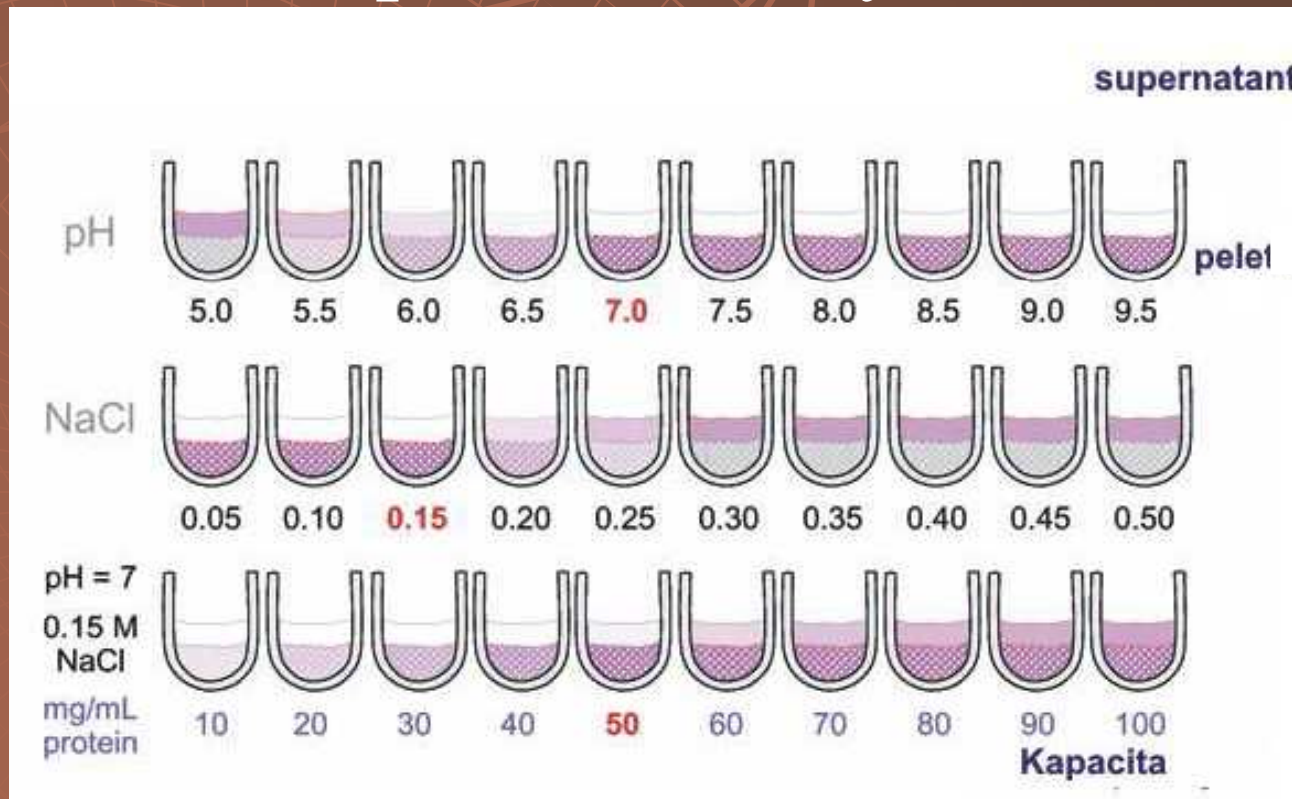
zvyšování pH

snižování pH

# Volba podmínek – pH + typ ionexu

pI bílkoviny není znám

- Metoda pokusů a omylů



- Metoda titračních křivek



# Ionexová chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – nízká iontová síla
- ◆ Eluce – gradientová
  - ◆ Zvyšováním iontové síly
  - ◆ Změnou pH
  - ◆ Afinitní eluce

Použití – purifikace, zakoncentrování,  
výměna pufru

# Ionexová chromatografie

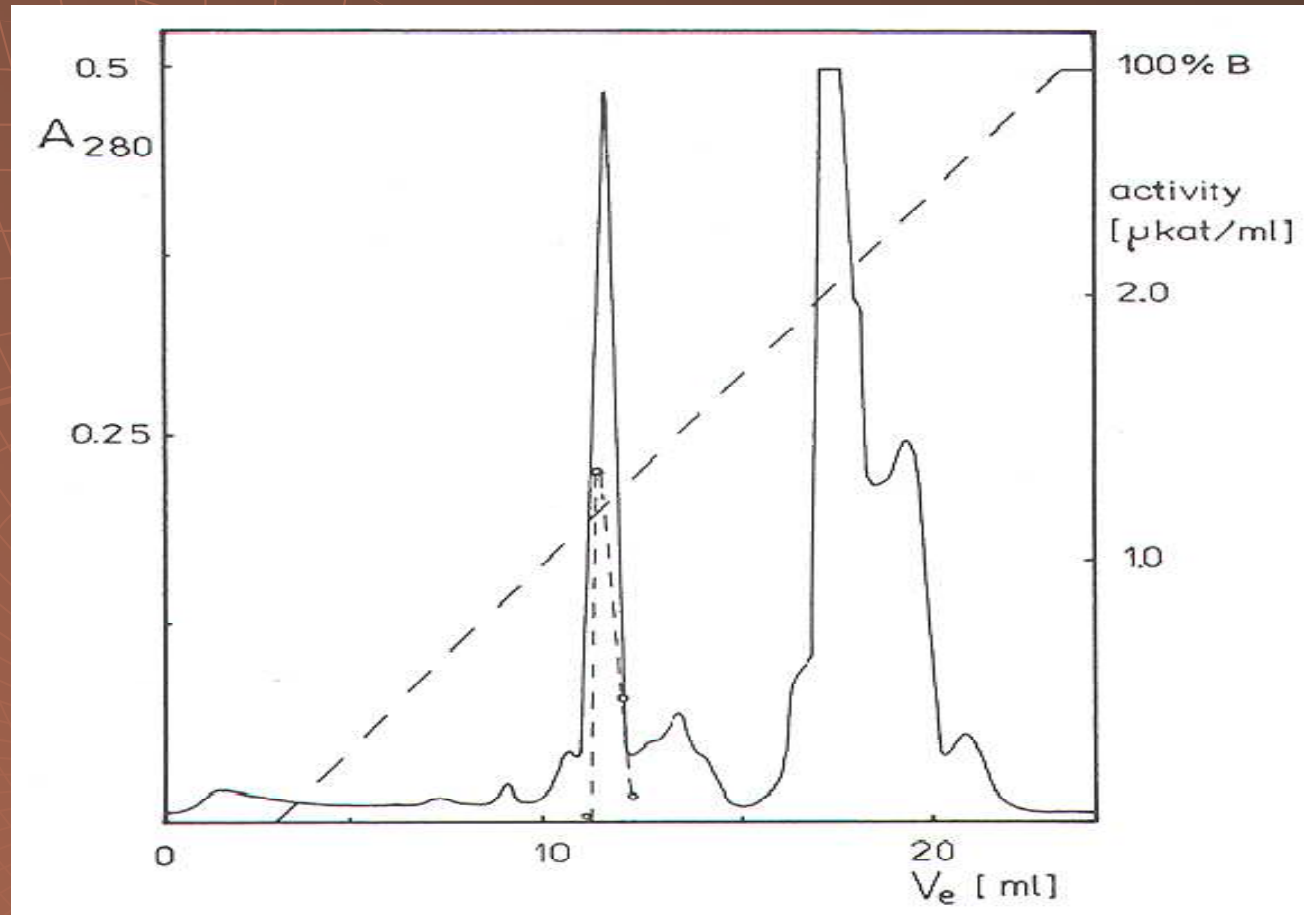


Fig. 2. Chromatography of partially purified G6P-DH on a Mono Q column. Buffers: (A) 0.05 M sodium phosphate (pH 7.4); (B) same as A but with 1 M sodium chloride; flow-rate, 1 ml/min. Lines symbol as in Fig. 1. Approximately 10 mg of protein were applied to the column.

# Ionexová chromatografie

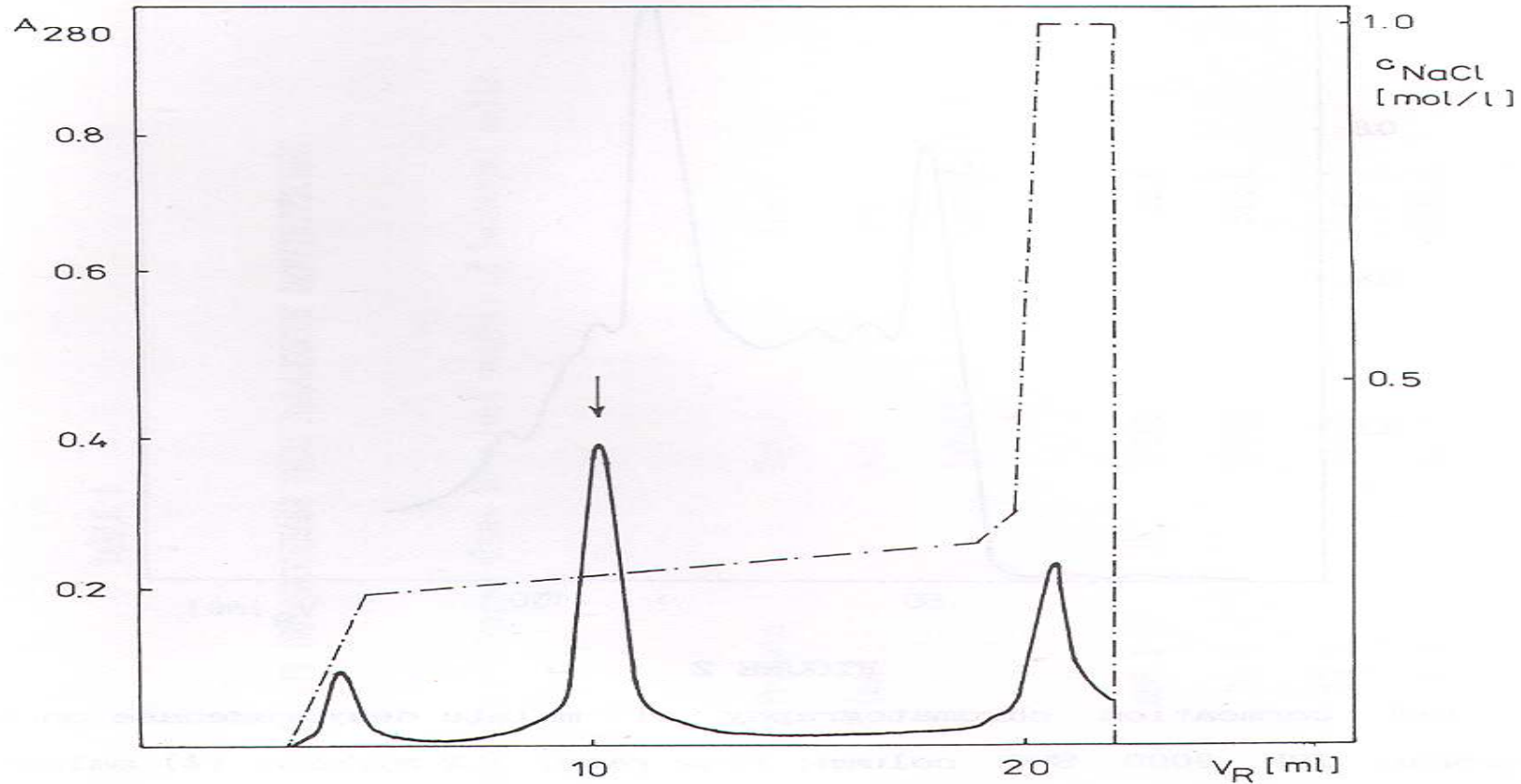
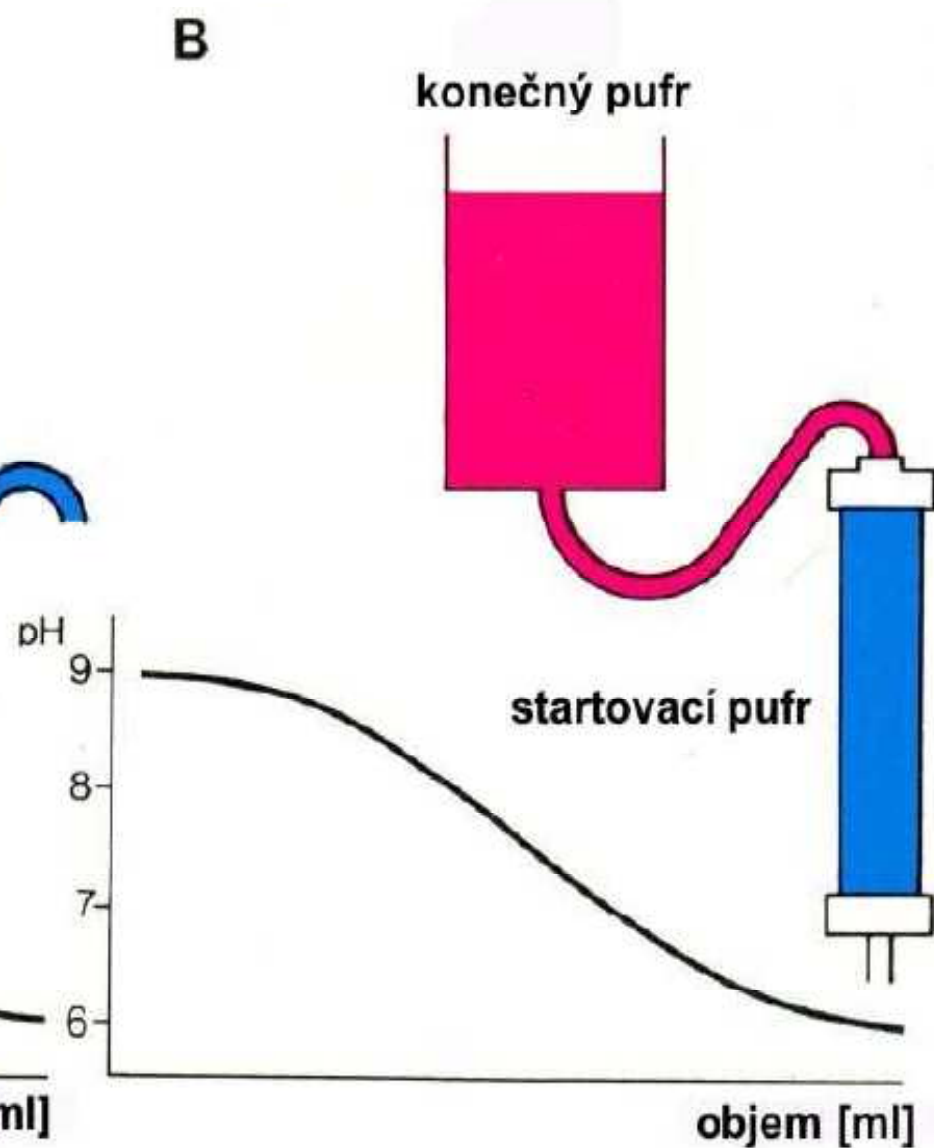
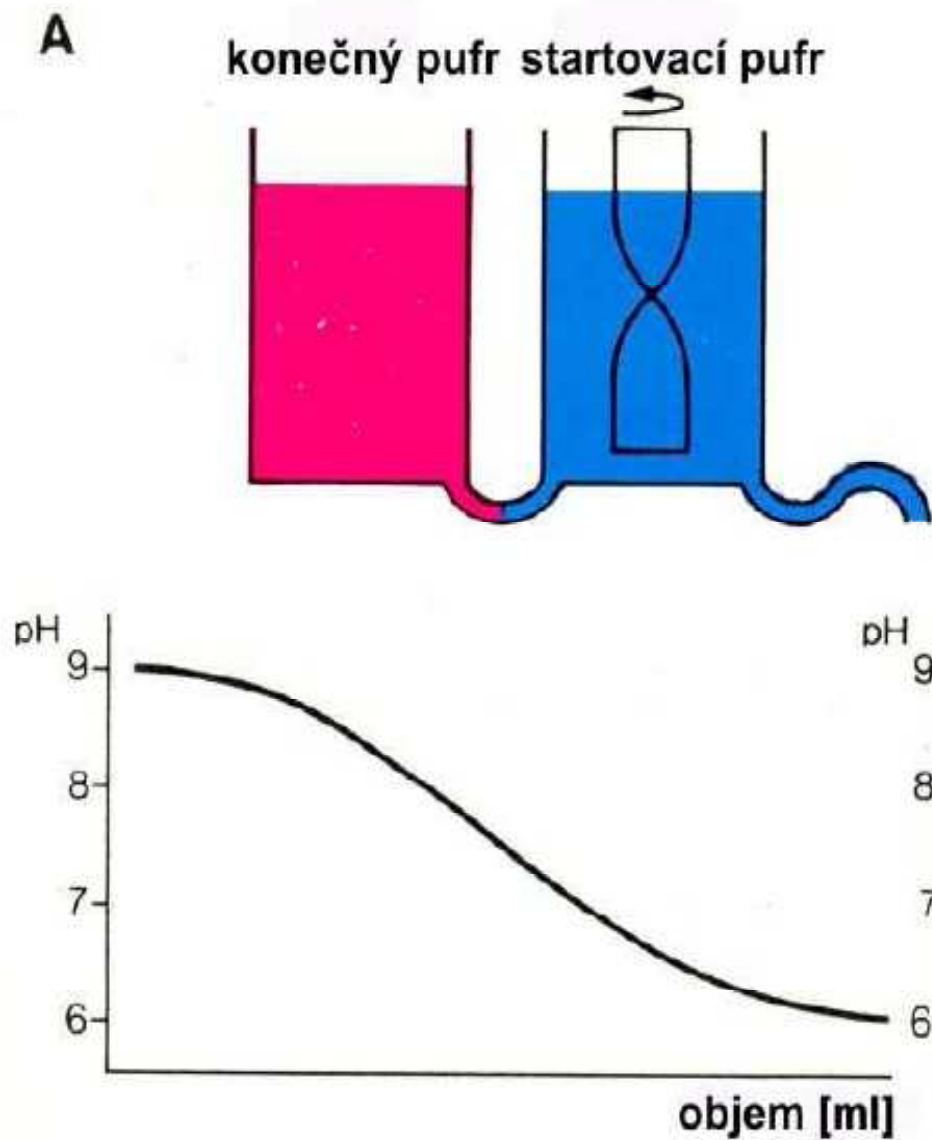


FIGURE 3

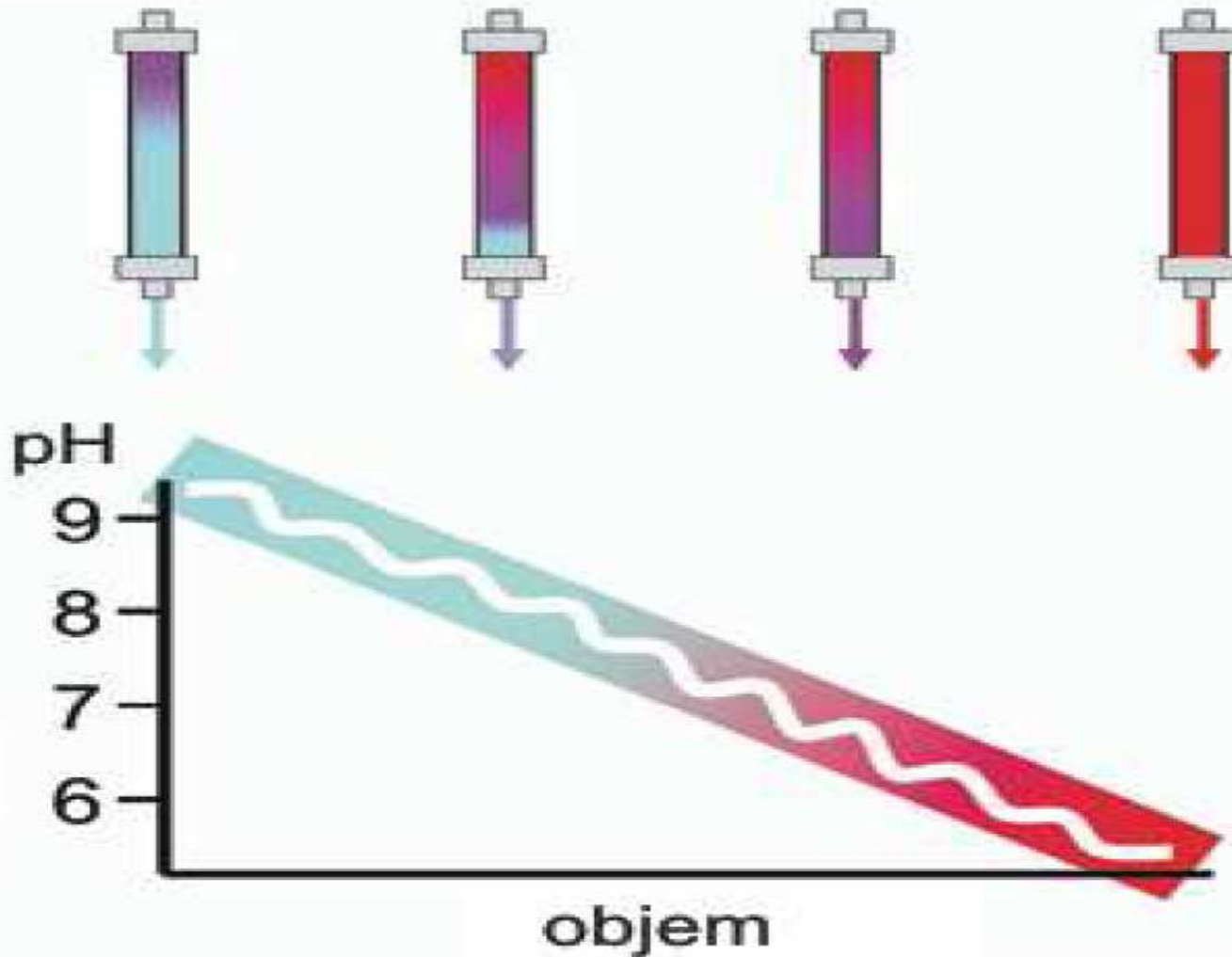
Ionex chromatography of malate dehydrogenase on a Mono Q column.  $V_e$ , elution volume; —, absorbance at 280 nm ( $A_{280}$ ); ( $\downarrow$ ) malate dehydrogenase activity; ----, NaCl gradient (buffer A, 0.02 mol/l sodium phosphate (pH 6.0); buffer B, the same as buffer A but with 1.0 mol/l NaCl); flow rate, approx. 1.2 ml/min.

# Chromatofokusace



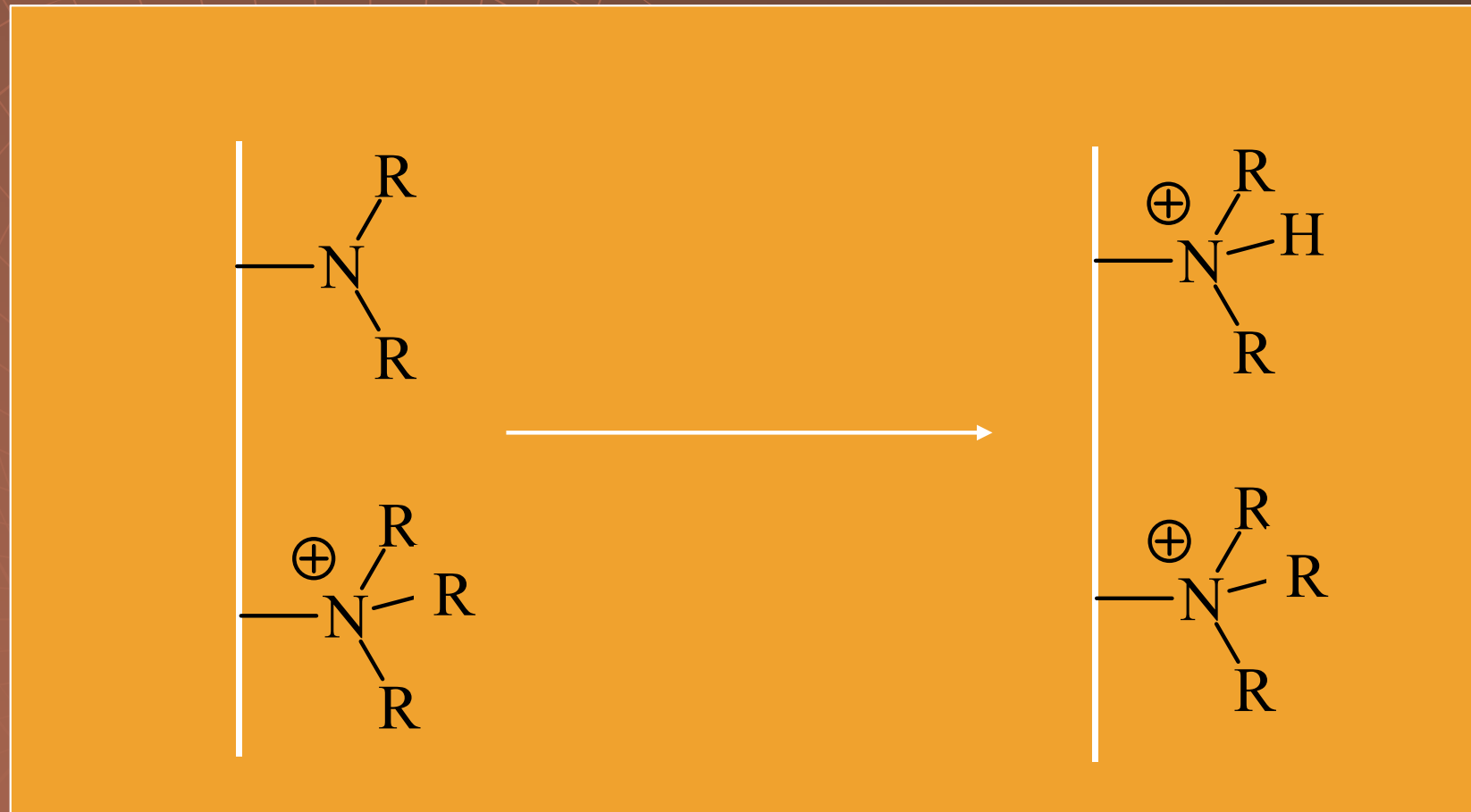
# Chromatofokusace

- Polybuffer (pulypufr) obsahuje ampholyty - směs látek majících různé pKa





# Chromatofokusace děj na koloně



**pH = 9**

**pH = 4**

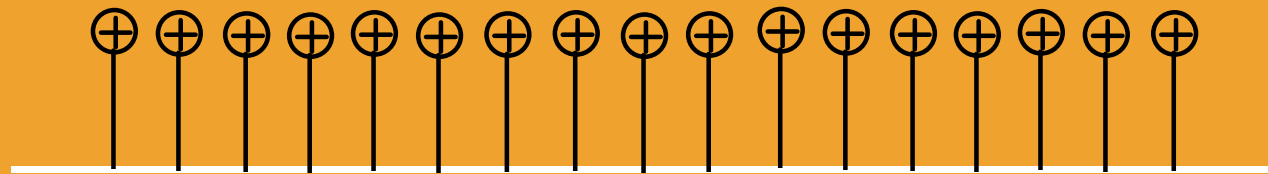


# Chromatofokusace chování vzorku

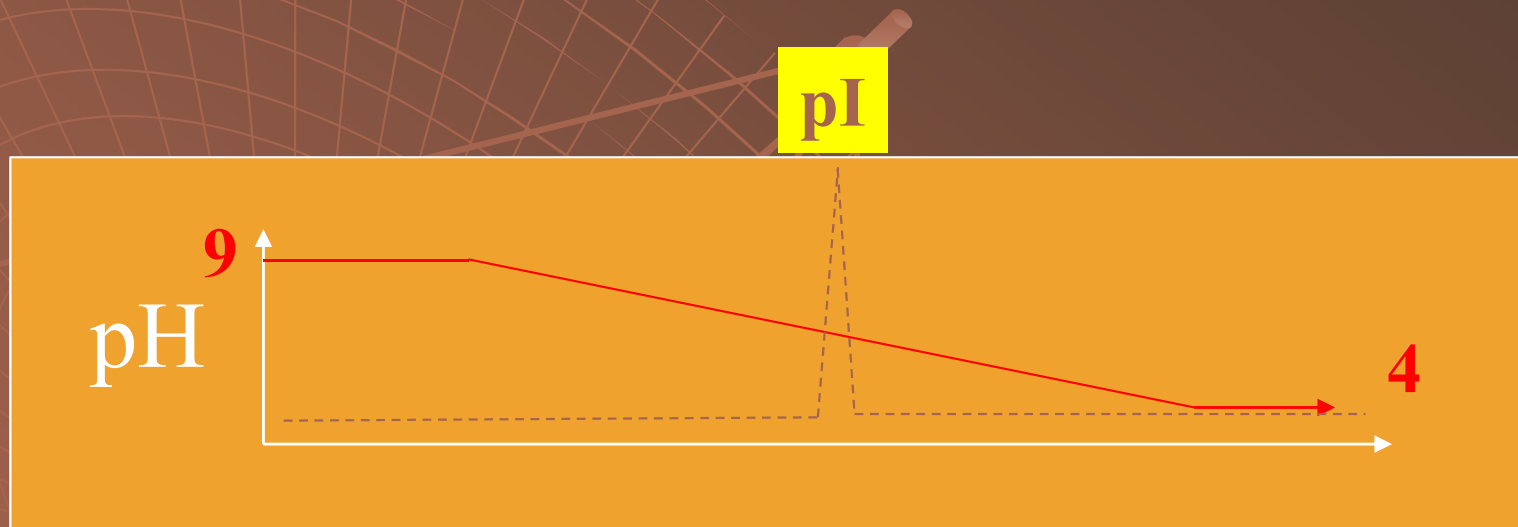
$pH \triangleleft pI$

$pH = pI$

$pH \triangleright pI$



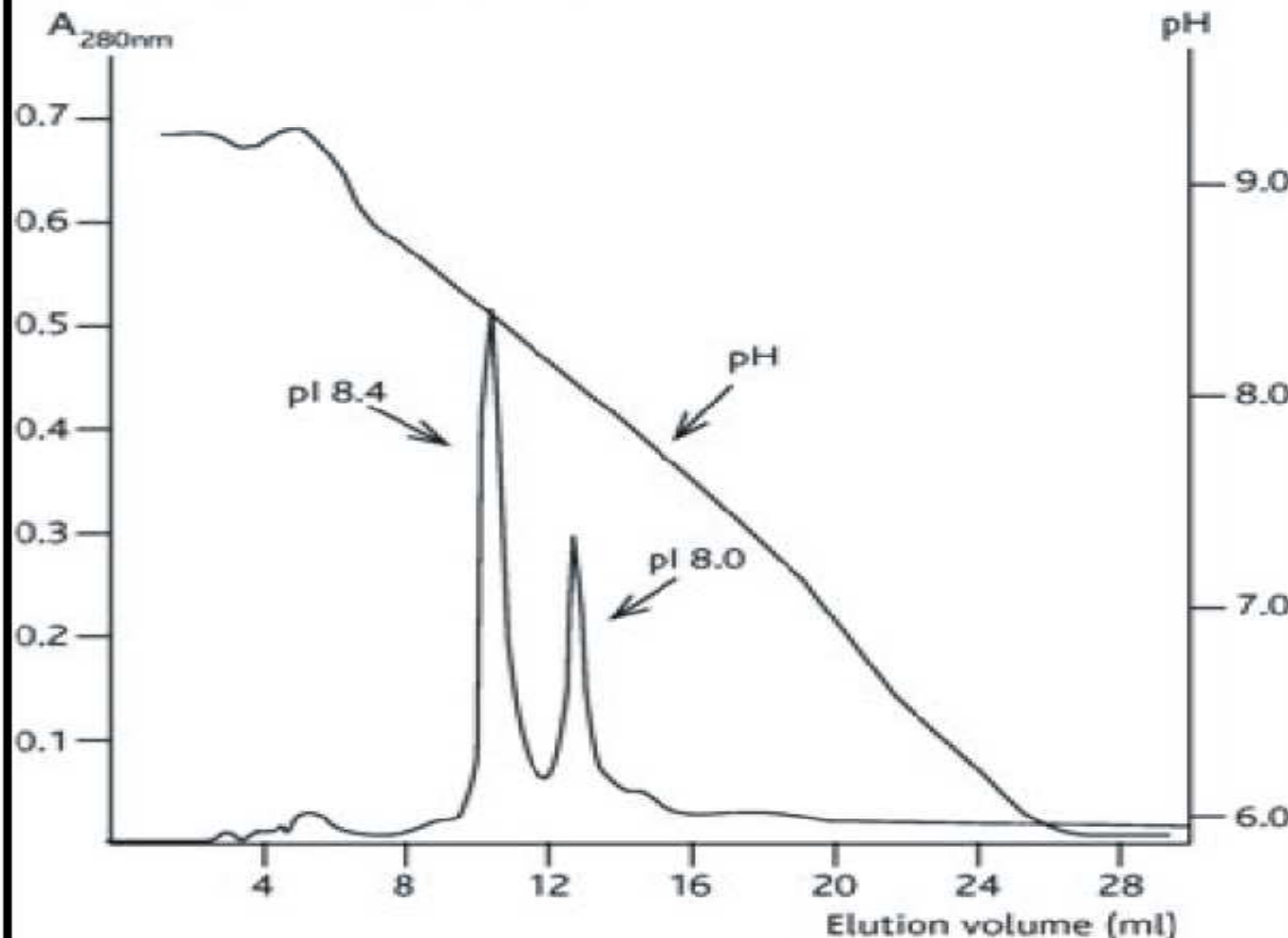
# Chromatofokusace chování vzorku



Použití : analytické – stanovení pI  
preparativní – purifikace bílkovin

# Chromatofokusace

Column: Mono P high performance column,  
5 × 200 mm (i.d. × bed height)  
Sample: Partially purified HIV-1 reverse transcriptase  
Start buffer: 25 mM ethanolamine, 10% glycerol, pH 9.4  
Elution buffer: Polybuffer 96 (diluted 1:10), pH 6  
Flow rate: 1 ml/min



# Chromatofokusace

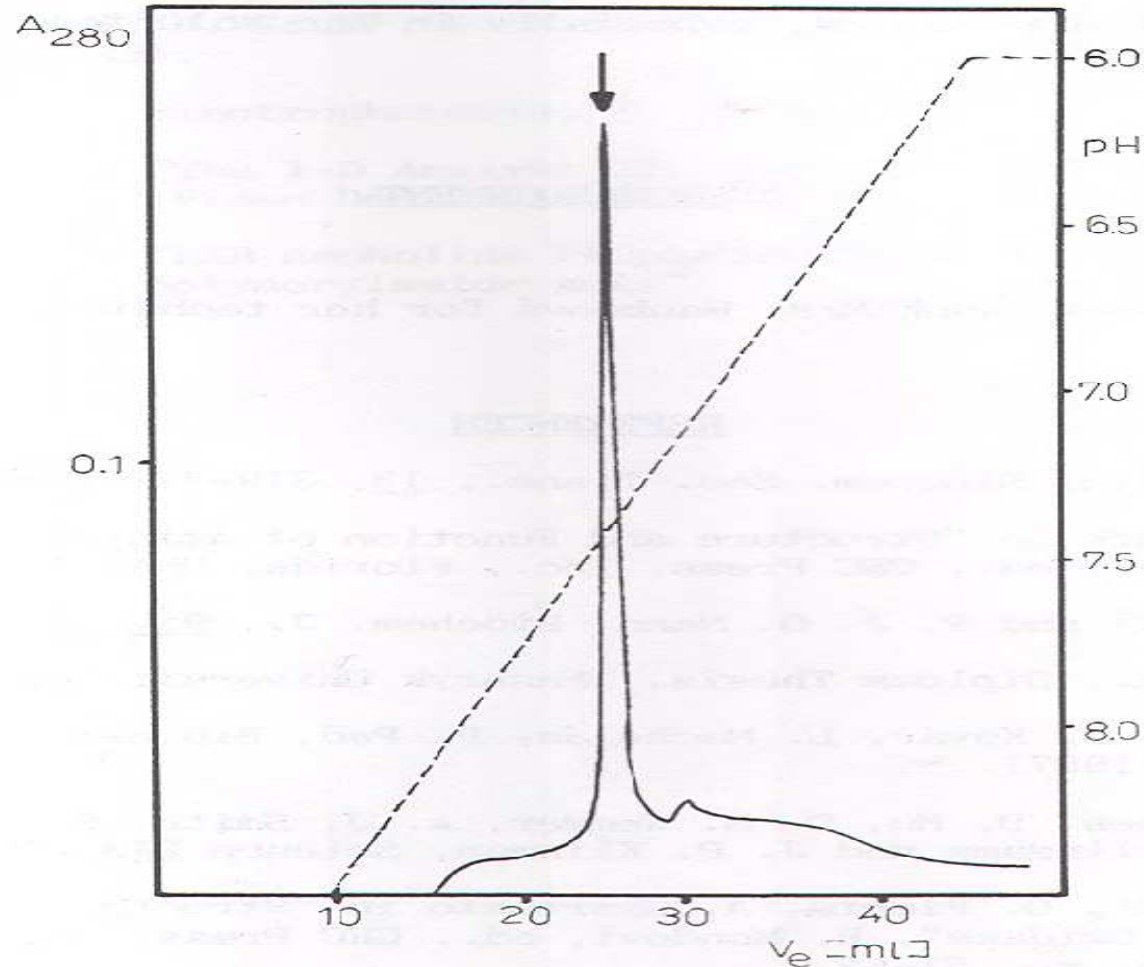
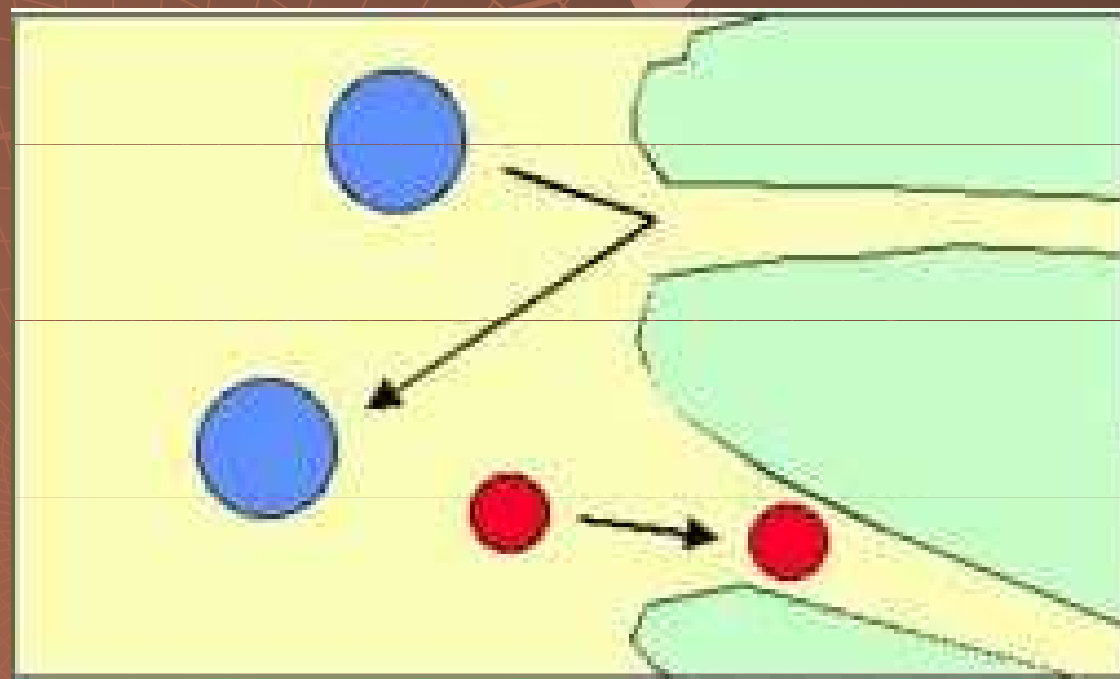


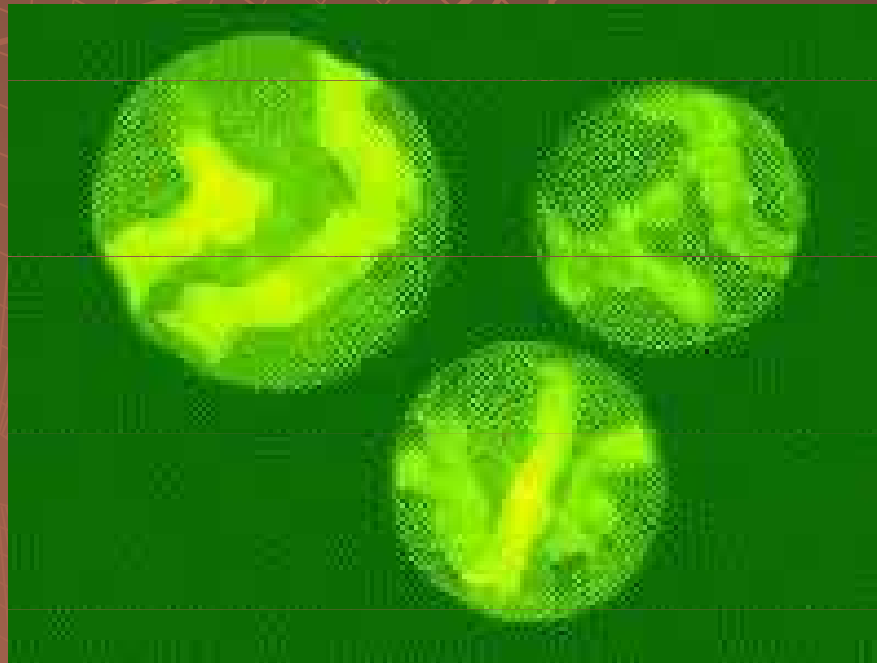
Figure 6

Chromatofocusing of the homogeneous DAO on Mono P column; ---- pH value of the eluate, flow-rate 0.7 ml/min, the other symbols as in Fig. 1. DAO activity is indicated by an arrow.

# Gelová permeační chromatografie



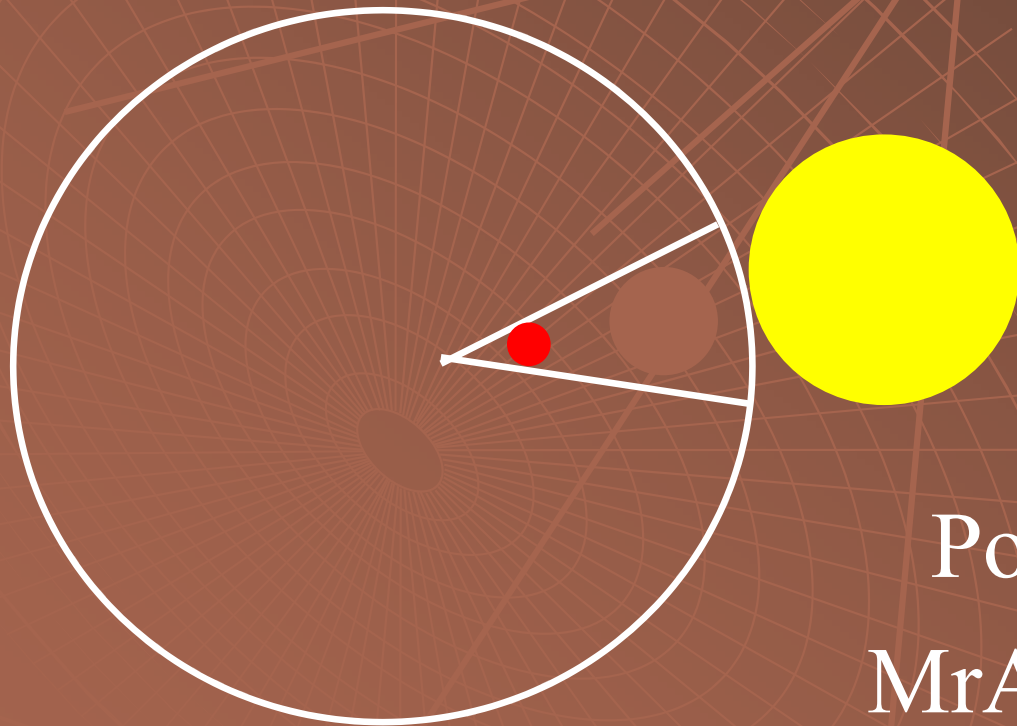
# Gelová permeační chromatografie





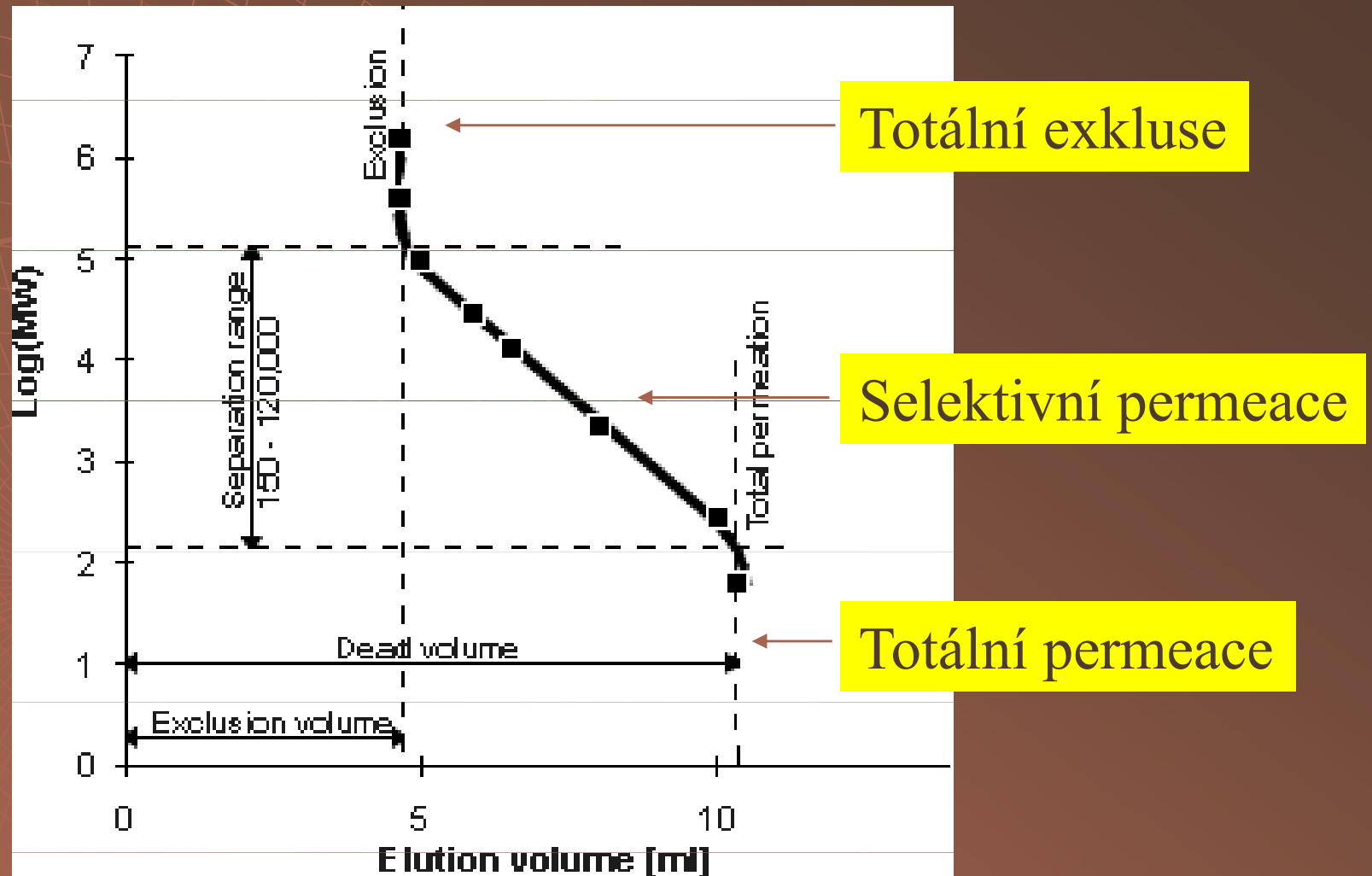
# Gelová permeační chromatografie

Princip - stérická exkluze  
- omezená difuze



Pořadí eluce :  
 $MrA > MrB > MrC$

# Gelová permeační chromatografie



# Gelová permeační chromatografie

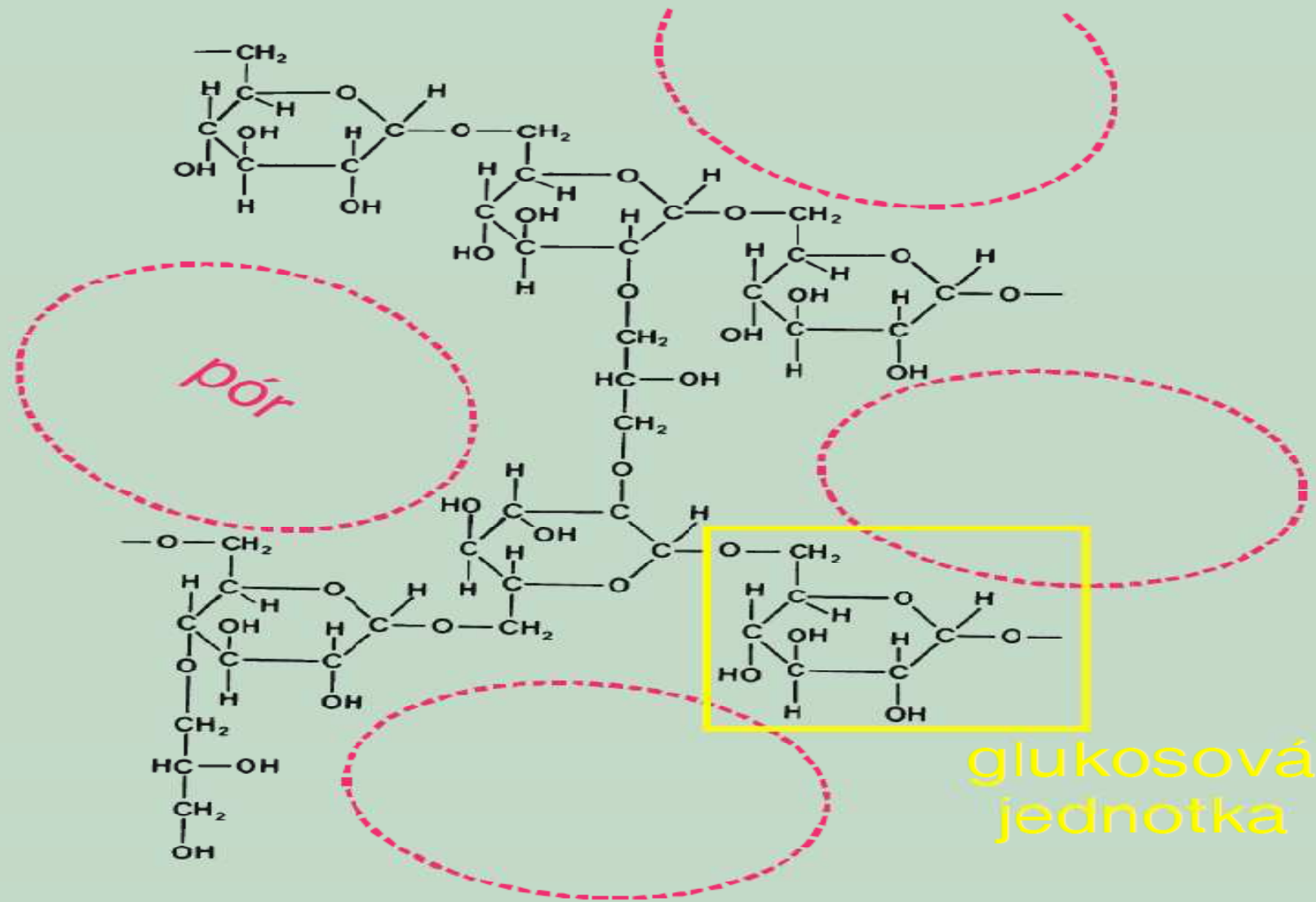
## Pharmacia LPC

- Sephadex dextran
- Sepharose agarosa
- Sephacryl glukosa + akryamid
- Sephacel cellulosa

## Pharmacia FPLC

- Superose garosa
- Superdex síťovaná agarosa a dextran

# Sephadex

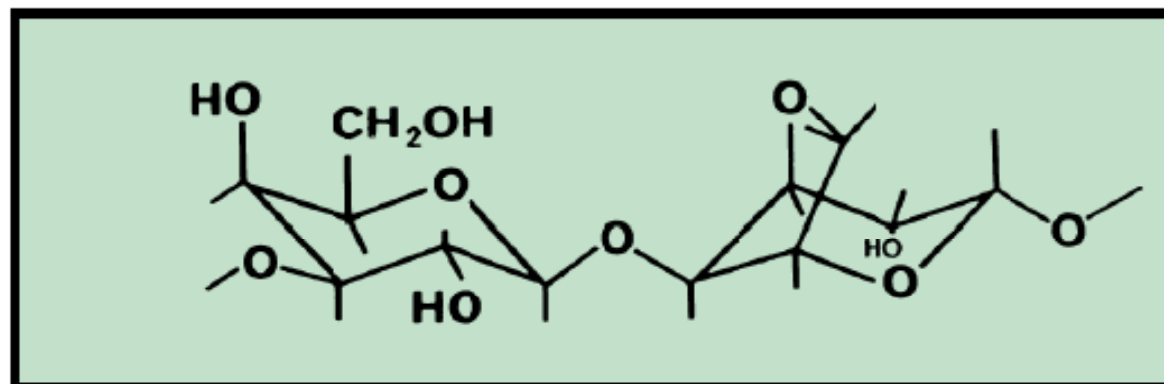
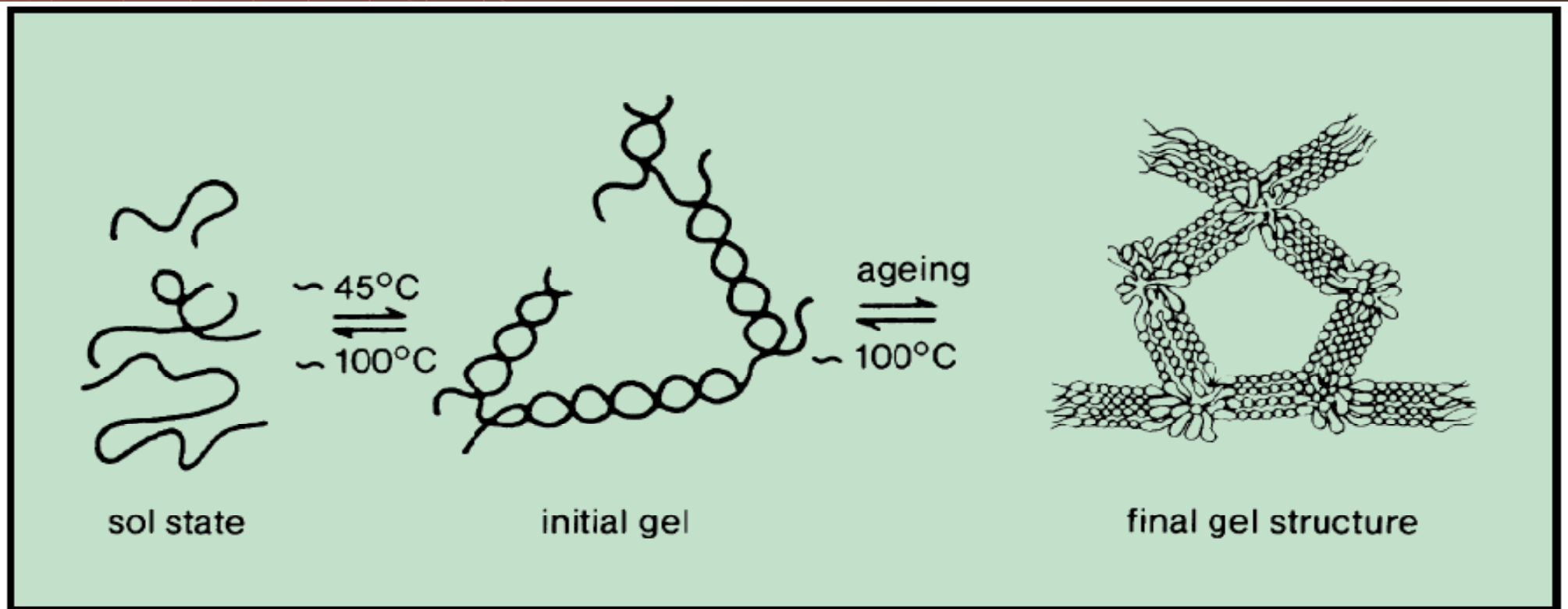


# Sephadex

Gel type	Dry bead size µm	Fractionation range		Fractionation range		Swelling factor ml/g
		Globular proteins		Dextrans		
Sephadex G-10	40 – 120	–	700	–	700	2 – 3
Sephadex G-15	40 – 120	–	1 500	–	1 500	2.5 – 3.5
Sephadex G-25 Coarse	100 – 300	1 000 –	5 000	100 –	5 000	4 – 6
Sephadex G-25 Medium	50 – 150	1 000 –	5 000	100 –	5 000	4 – 6
Sephadex G-25 Fine	20 – 80	1 000 –	5 000	100 –	5 000	4 – 6
Sephadex G-25 Superfine	10 – 40	1 000 –	5 000	100 –	5 000	4 – 6
Sephadex G-50 Coarse	100 – 300	1 500 –	30 000	500 –	10 000	9 – 11
Sephadex G-50 Medium	50 – 150	1 500 –	30 000	500 –	10 000	9 – 11
Sephadex G-50 Fine	20 – 80	1 500 –	30 000	500 –	10 000	9 – 11
Sephadex G-50 Superfine	10 – 40	1 500 –	30 000	500 –	10 000	9 – 11
Sephadex G-75	40 – 120	3 000 –	80 000	1 000 –	50 000	12 – 15
Sephadex G-75 Superfine	10 – 40	3 000 –	70 000	1 000 –	50 000	12 – 15
Sephadex G-100	40 – 120	4 000 –	150 000	1 000 –	100 000	15 – 20
Sephadex G-100 Superfine	10 – 40	4 000 –	100 000	1 000 –	100 000	15 – 20
Sephadex G-150	40 – 120	5 000 –	300 000	1 000 –	150 000	20 – 30
Sephadex G-150 Superfine	10 – 40	5 000 –	150 000	1 000 –	150 000	18 – 22
Sephadex G-200	40 – 120	5 000 –	600 000	1 000 –	200 000	30 – 40
Sephadex G-200 Superfine	10 – 40	5 000 –	250 000	1 000 –	150 000	20 – 25



# Sepharosa





# Sepharosa

Gel type	Approx. % agarose	Bead size $\mu\text{m}$	Fractionation range Globular proteins.	Fractionation range Dextrans
Sepharose 6B	6	45 – 165	10 000 – 4 000 000	10 000 – 1 000 000
Sepharose 4B	4	45 – 165	60 000 – 20 000 000	30 000 – 5 000 000
Sepharose 2B	2	60 – 200	70 000 – 40 000 000	100 000 – 20 000 000

Gel type	Bead size $\mu\text{m}$	Fractionation range Globular proteins	Fractionation range Dextrans
Superose 12 prep grade	20 – 40	1 000 – 300 000	ND
Superose 12	8 – 12	1 000 – 300 000	ND
Superose 6 prep grade	20 – 40	5 000 – 5 000 000	ND
Superose 6	11 – 15	5 000 – 5 000 000	ND

# Gelová permeační chromatografie

## Bio-Rad

- BioGel P
- BioGel A

akrylamid  
agarosa

## Tosoh Bioscience

- Toyopearl a TSKgel
- hydroxylovaný methacrylát

# BioGel P

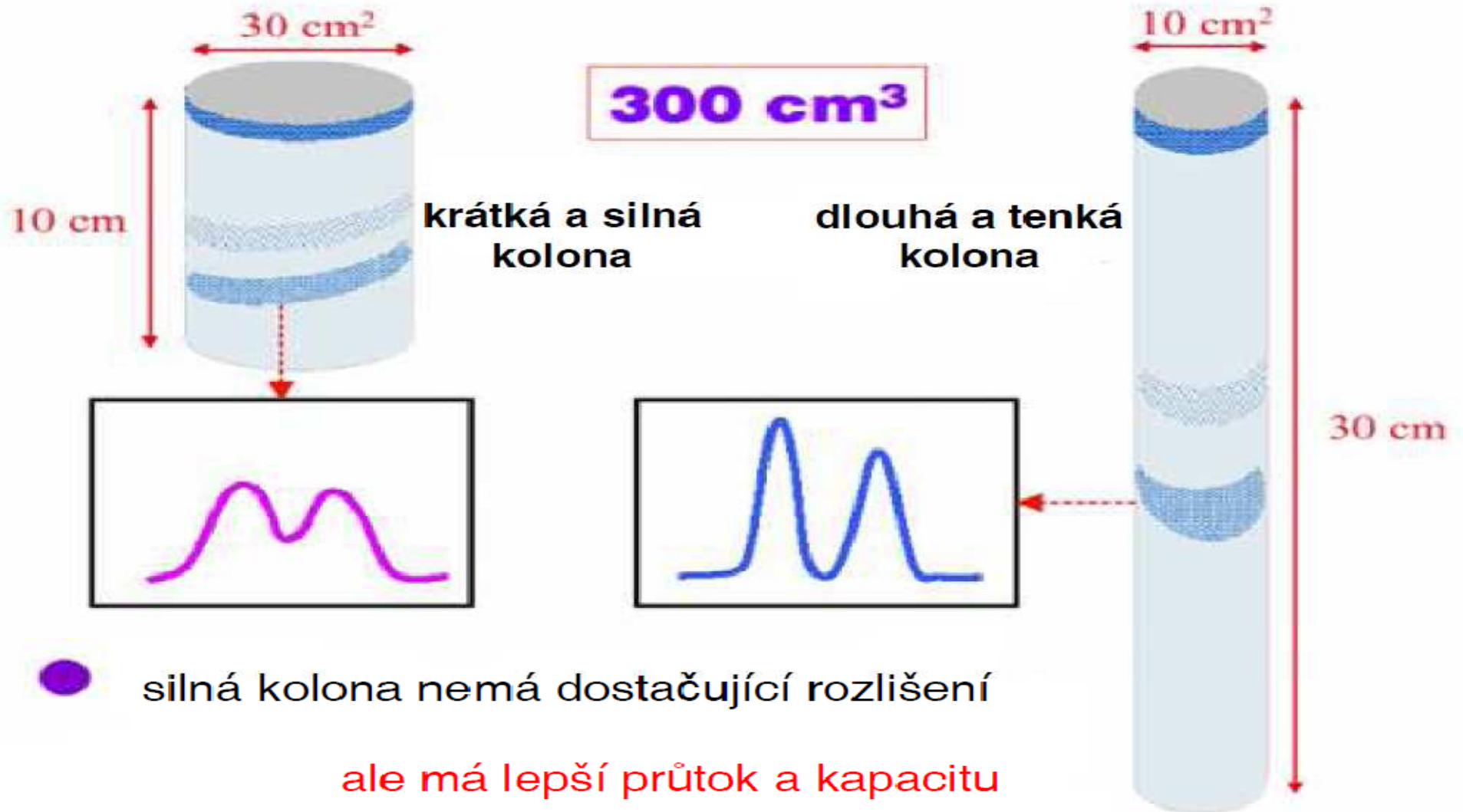
<b>Gel</b>	<b>Particle Size Range, Hydrated Beads (<math>\mu\text{M}</math>)</b>	<b>Typical Hydrated Bed Volume, ml/g of Dry Gel</b>	<b>Typical Flow Rates (cm/hr)*</b>	<b>Typical Fractionation Range/Nominal Exclusion Limit (Daltons)**, †</b>
Bio-Gel P-2 Gel, Fine	45-90	3	5.0-10	100-1,800
Bio-Gel P-2 Gel, Extra Fine	< 45		<10	100-1,800
Bio-Gel P-4 Gel, Medium	90-180	4	15-20	800-4,000
Bio-Gel P-4 Gel, Fine	45-90		10.0-15	800-4,000
Bio-Gel P-4 Gel, Extra Fine	< 45		<10	800-4,000
Bio-Gel P-6 Gel, Medium	90-180	6.5	15-20	1,000-6,000
Bio-Gel P-6 Gel, Fine	45-90		10.0-15	1,000-6,000
Bio-Gel P-6 Gel, Extra Fine	< 45		<10	1,000-6,000
Bio-Gel P-6DG Gel	90-180	6.5	15-20	1,000-6,000
Bio-Gel P-10 Gel, Medium	90-180	7.5	15-20	1,500-20,000
Bio-Gel P-10 Gel, Fine	45-90		10.0-15	1,500-20,000
Bio-Gel P-30 Gel, Medium	90-180	9	7.0-13	2,500-40,000
Bio-Gel P-30 Gel, Fine	45-90		6.0-11	2,500-40,000
Bio-Gel P-60 Gel, Medium	90-180	11	4.0-6	3,000-60,000
Bio-Gel P-60 Gel, Fine	45-90		3.0-5	3,000-60,000
Bio-Gel P-100 Gel, Medium	90-180	12	4.0-6	5,000-100,000
Bio-Gel P-100 Gel, Fire	45-90		3.0-5	5,000-100,000

# Gelová permeační chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – objem vzorku < 2% objemu kolony
- ◆ Eluce – izokratická

Použití : stanovení Mr, odsolování, purifikace

# Gelová permeační chromatografie



# Gelová permeační chromatografie

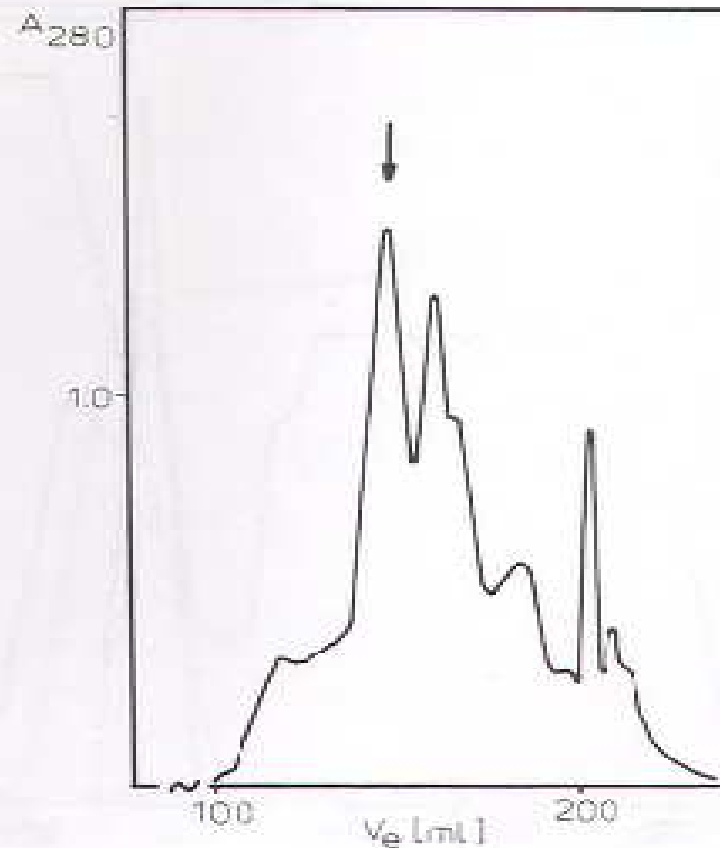
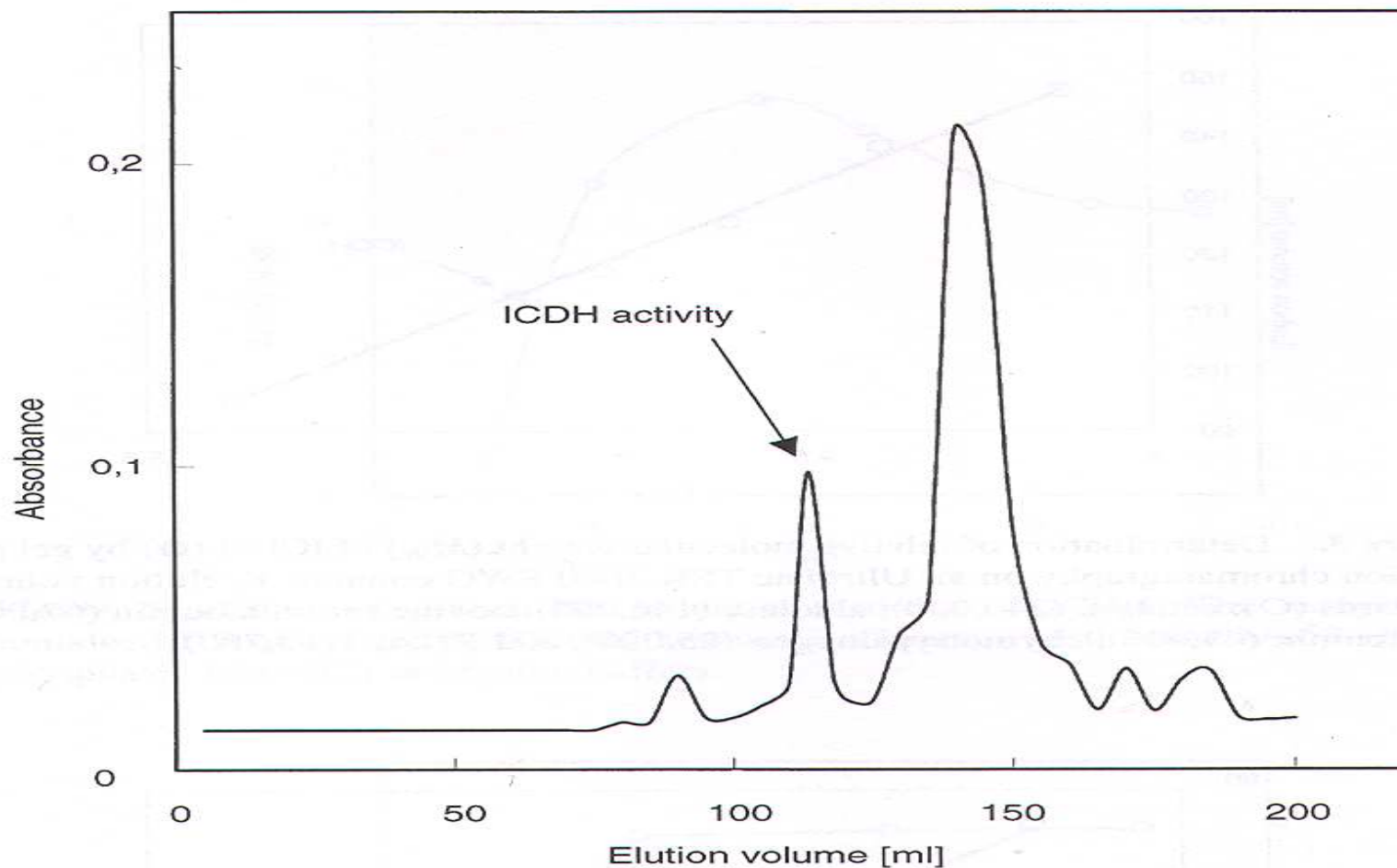


Figure 3

Chromatography of partially purified DAO on TSK 3000 SWC column. Buffer: 0.05 M potassium phosphate (pH 6.5) with 0.15 M sodium chloride; flow rate 5 ml/min. The symbols are as in Fig. 1. DAO activity is indicated by an arrow. Approximately 100 mg of protein were applied to the column.

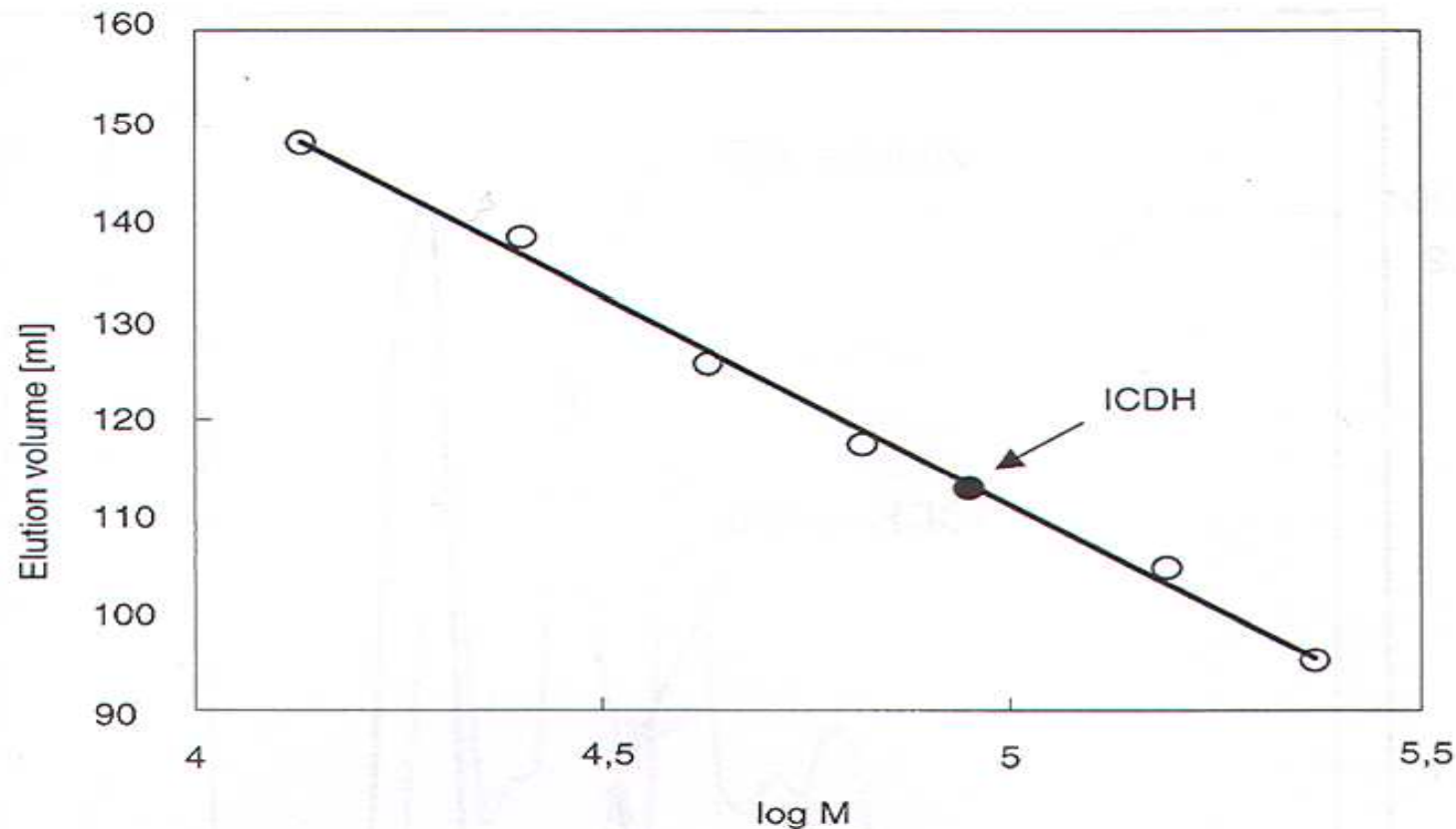


# Gelová permeační chromatografie



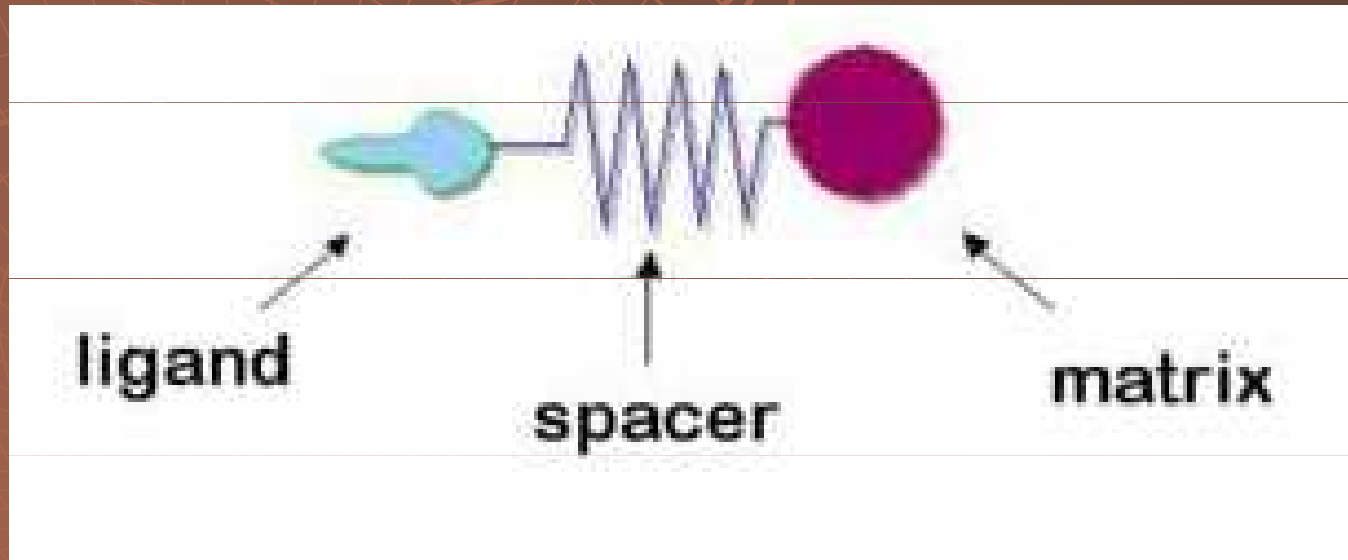
**Figure 2.** Chromatography of partially purified ICDH (after ammonium sulphate fractionation and ion exchange chromatography) on an UltroPac TSK G3000 SWG column. Buffer—20 mM sodium phosphate, pH 6.8; flow-rate 5 mL/min. ( $V_e$ ) elution volume; (—)  $A_{280}$ ; (---) ICDH activity. Approximately 10 mg of protein was loaded onto the column.

# Gelová permeační chromatografie

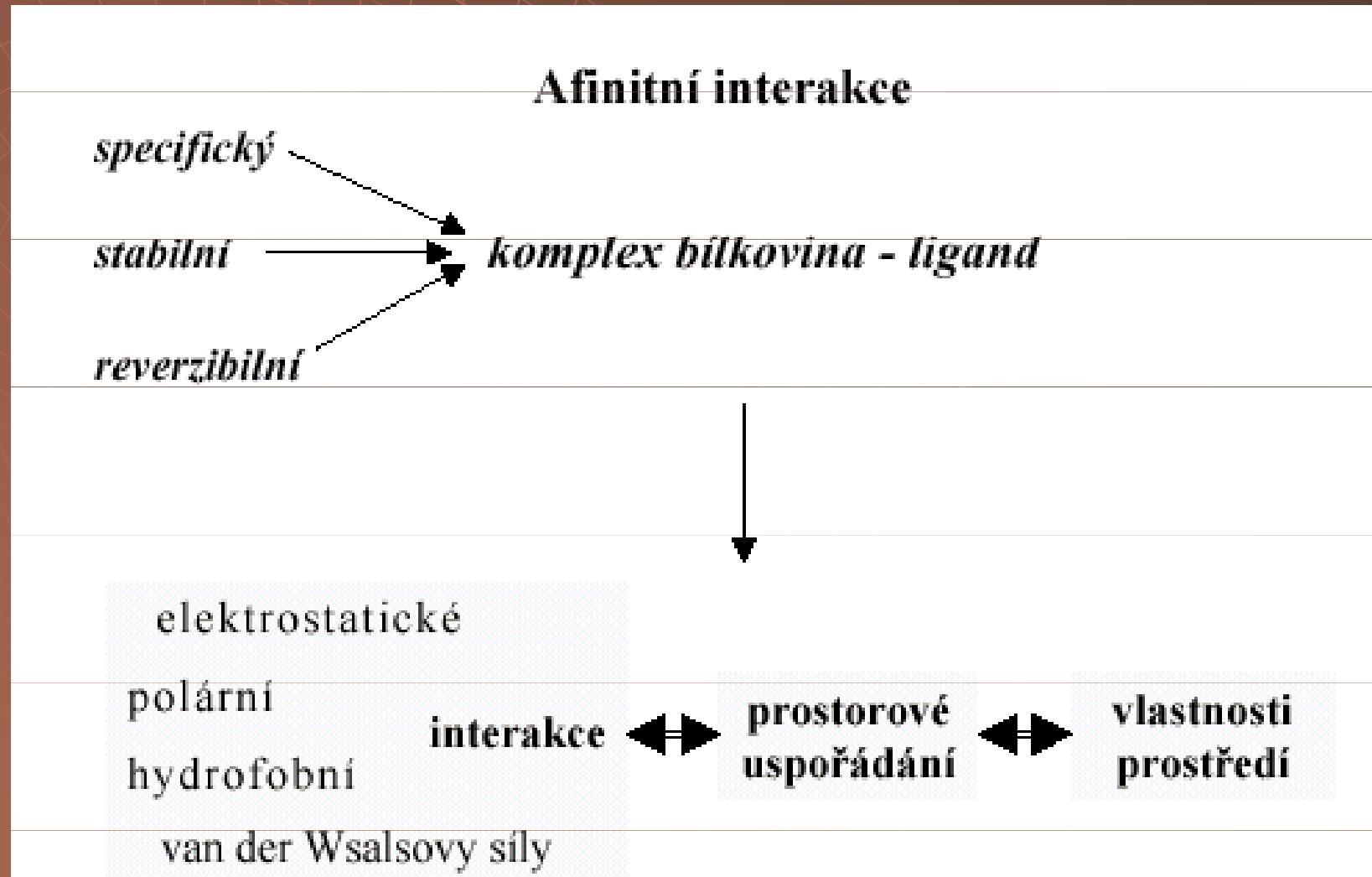


**Figure 3.** Determination of relative molecular weight ( $M_w$ ) of ICDH (●) by gel permeation chromatography on an UltroPac TSK 3000 SWG column.  $V_e$  elution volume; standards (○): catalase (240,000), aldolase (146,000), bovine serum albumin (67,000), ovalbumin (43,000), chymotrypsinogen (25,000), and RNase (13,700).

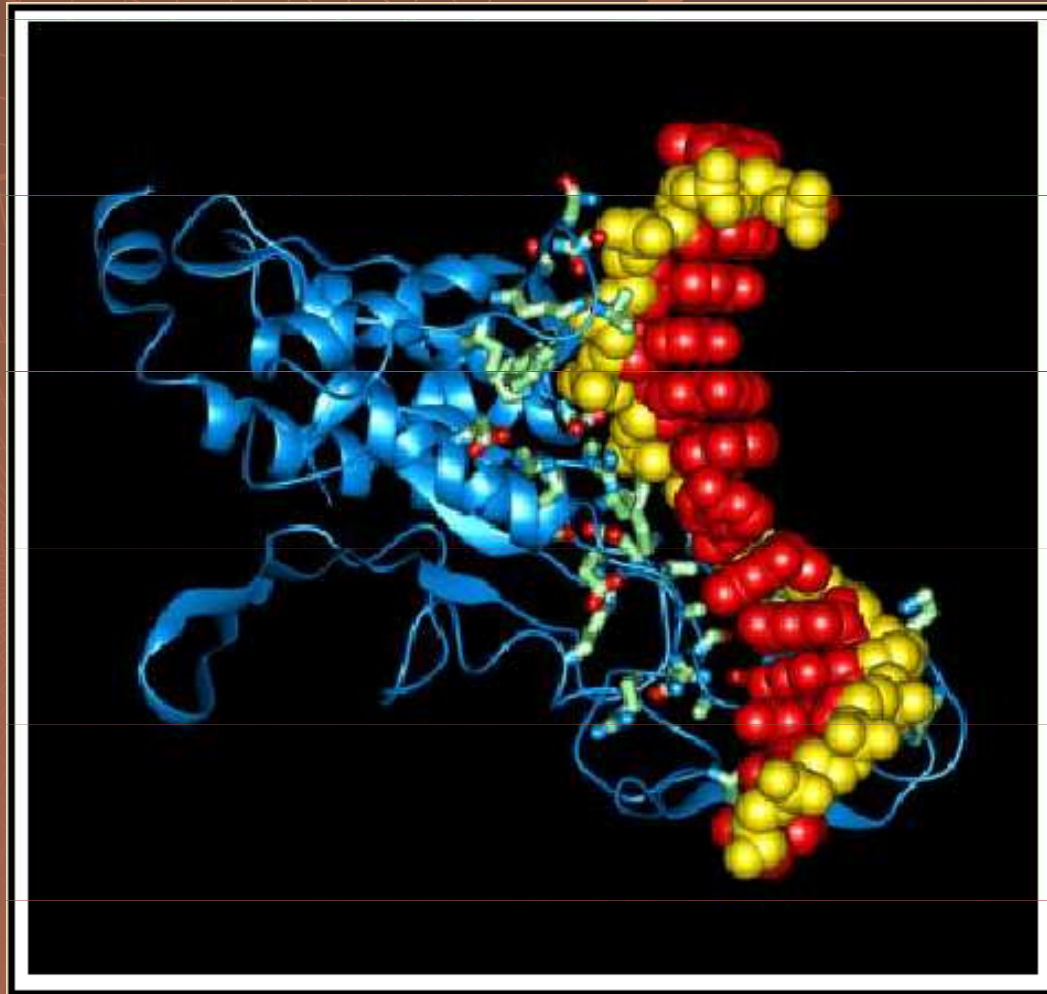
# Afinní chromatografie



# Afinitní interakce



# Interakce mezi DNA a endonukleasou



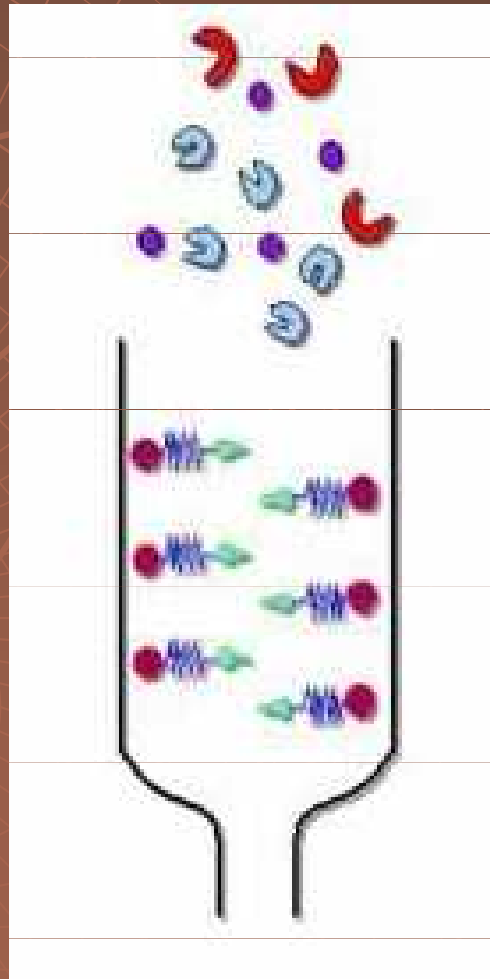
# Afinitní páry

Ligand	Bílkovina	$K_D$ (M)
antigen	polyklonální protilátka	$10^{-8} - 10^{-6}$
antigen	monoklonální protilátka	$10^{-12} - 10^{-8}$
biotin	avidin	$10^{-15}$
sacharid	lektin	$10^{-6} - 10^{-3}$
hormon, toxin	vazebný protein	$10^{-9} - 10^{-12}$
substrát	enzym	$10^{-7} - 10^{-3}$
inhibitor	enzym	$10^{-14} - 10^{-6}$

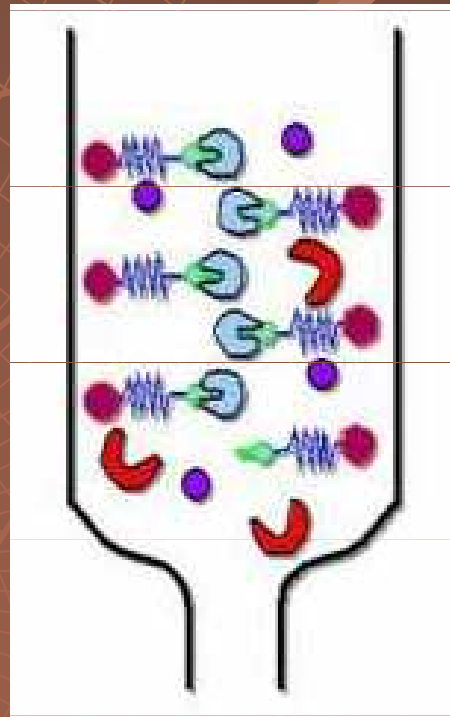
$$K_D = 10^{-8} - 10^{-6} \text{ M}$$



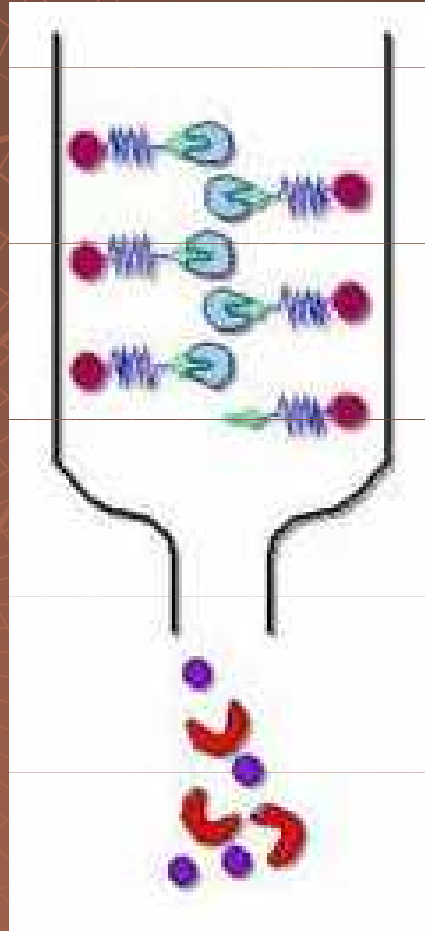
# Afinní chromatografie nanesení vzorku



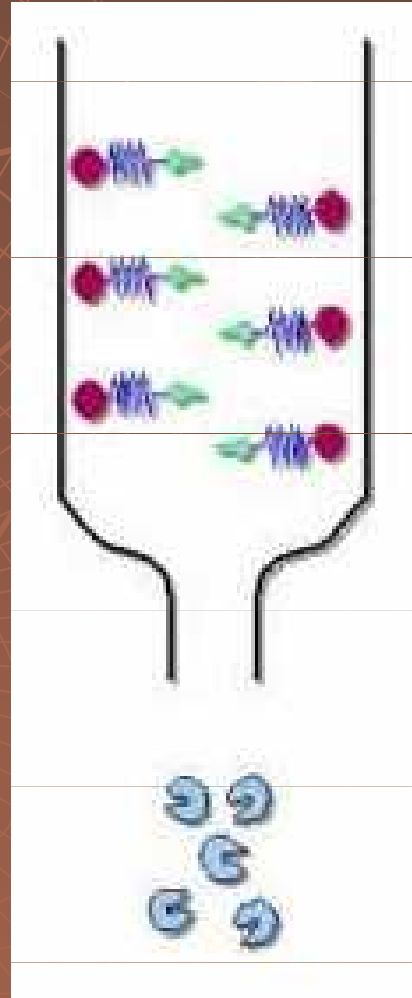
# Afinní chromatografie vznik interakce



# Afinní chromatografie vymytí balastů

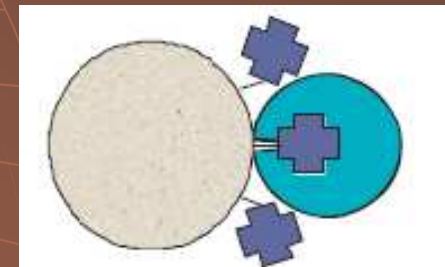
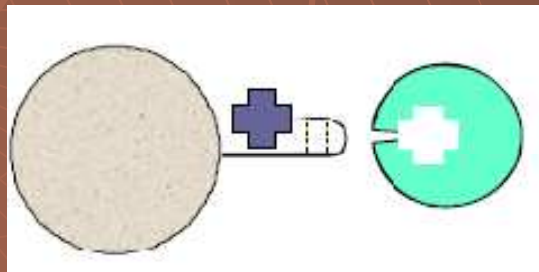
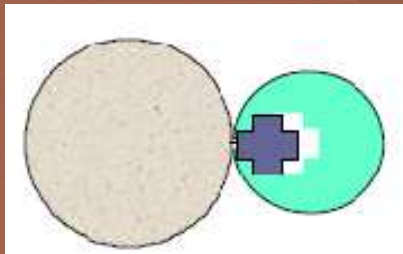
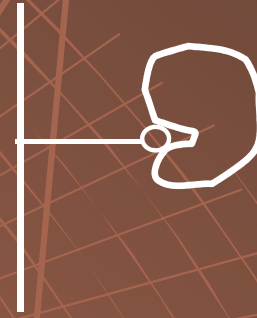


# Afinní chromatografie eluce



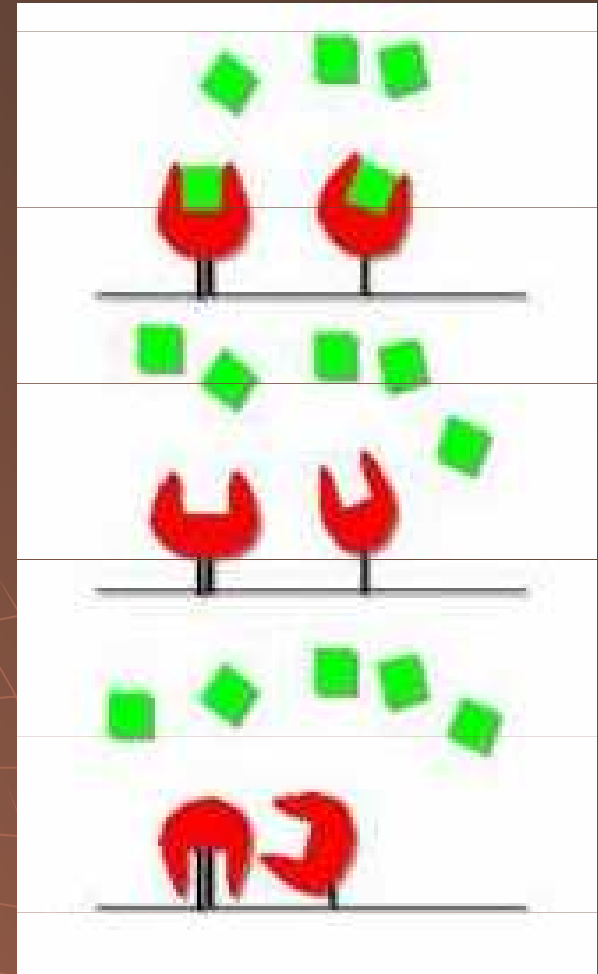
# Předpoklady pro vznik komplexu

- ◆ Sterické – použití raménka (spacer)



# Předpoklady pro vznik komplexu

◆ Konformační →



◆ Vazebné →

◆ Optimální pH, iontová síla



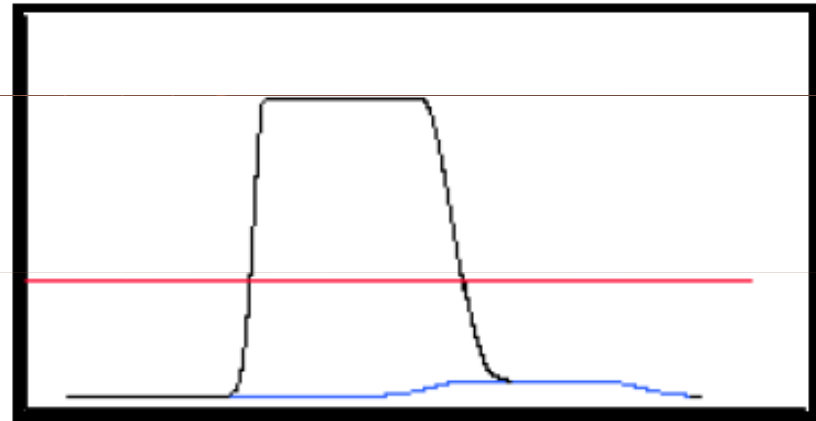
# Stacionární fáze

- velké póry umožňující průnik velkých molekul
- co nejnižší nespecifické adsorpce
- nejčastěji agarosa (Sepharosa)
- ligand kovalentně navázaný přes  $-OH$  skupinu cukerné jednotky nosiče

# Provedení

- ◆ Nanesení vzorku – nízká iontová síla

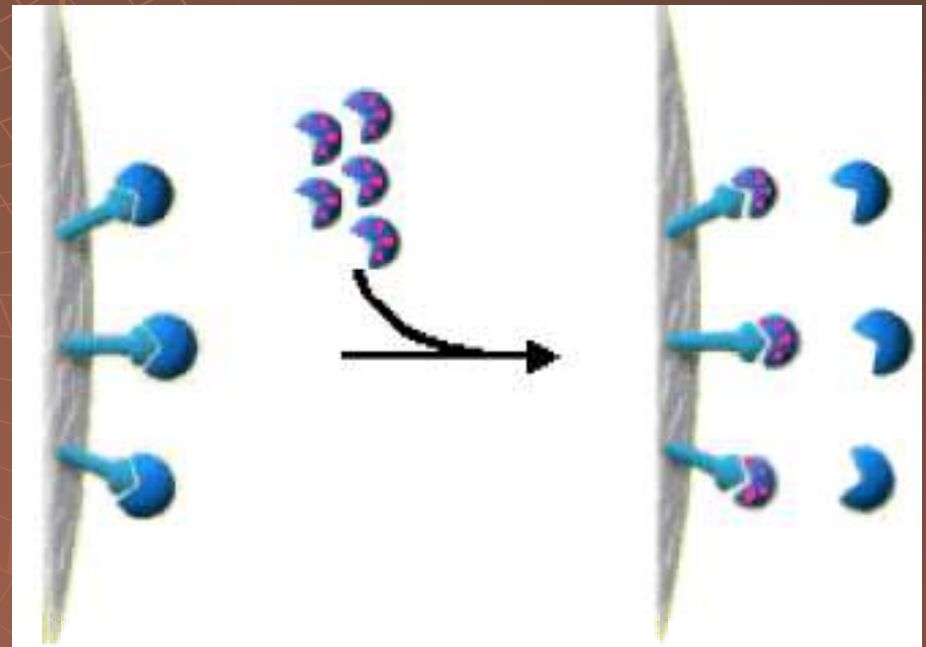
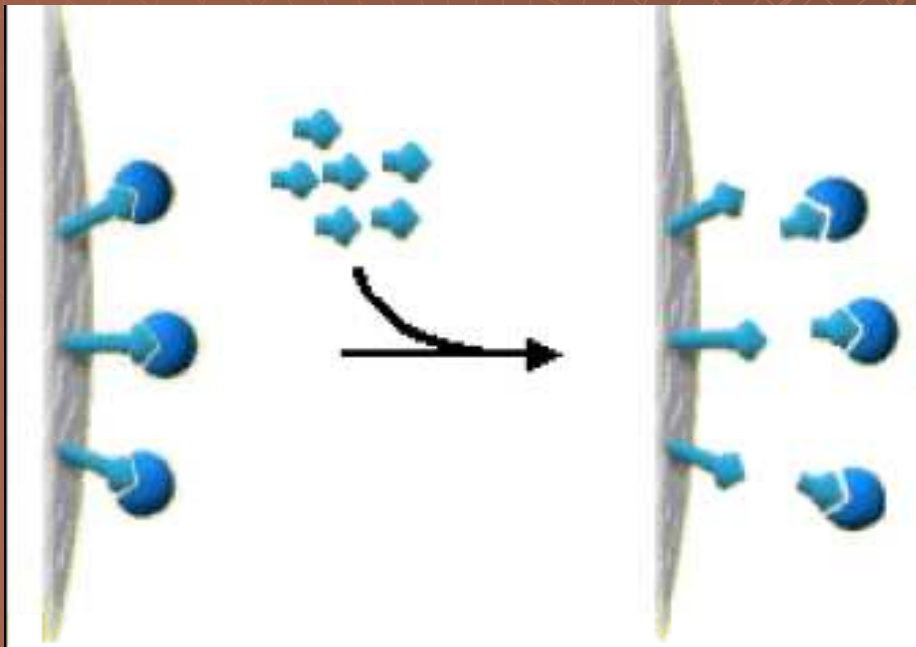
$K_D > 10^{-4} \sim$  slabá interakce



$K_D < 10^{-6} \sim$  silná interakce → obtížná eluce

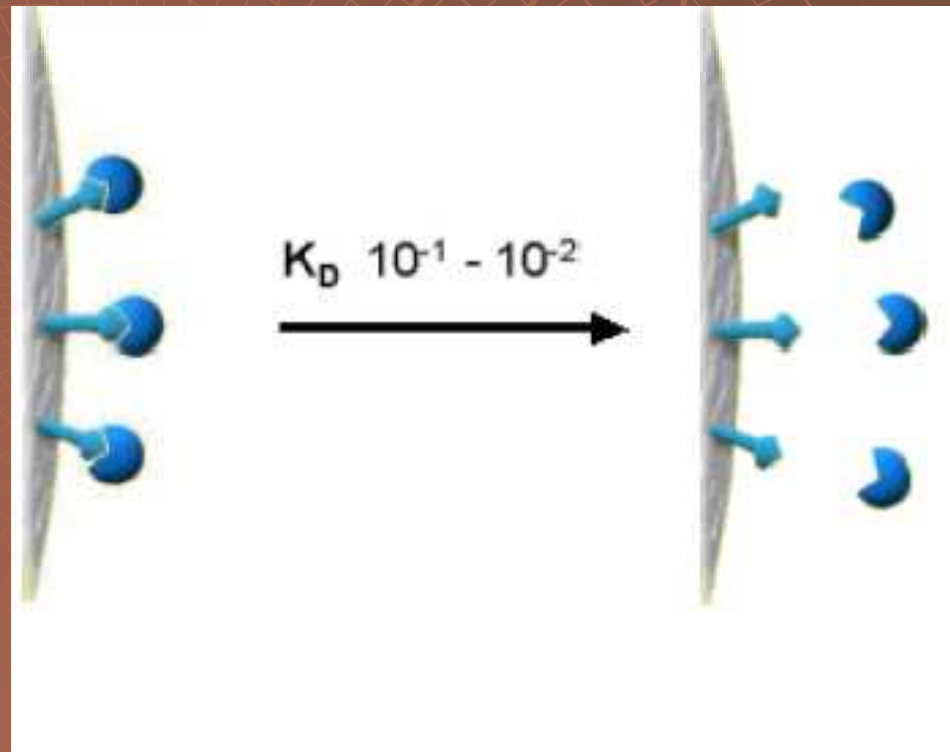
# Eluce

- ◆ Eluce – selektivní - volným ligandem nebo kompetičním činidlem



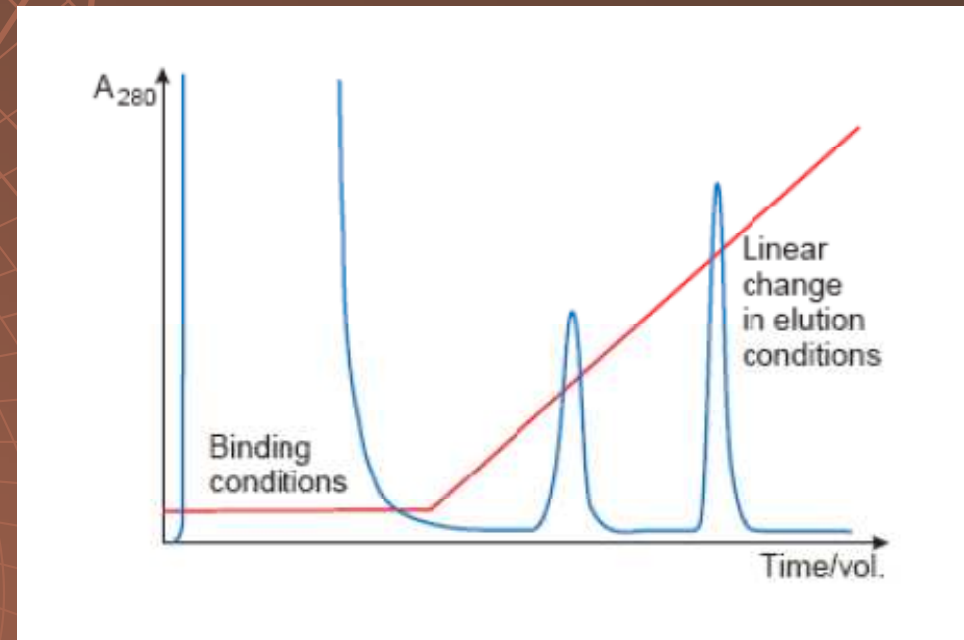
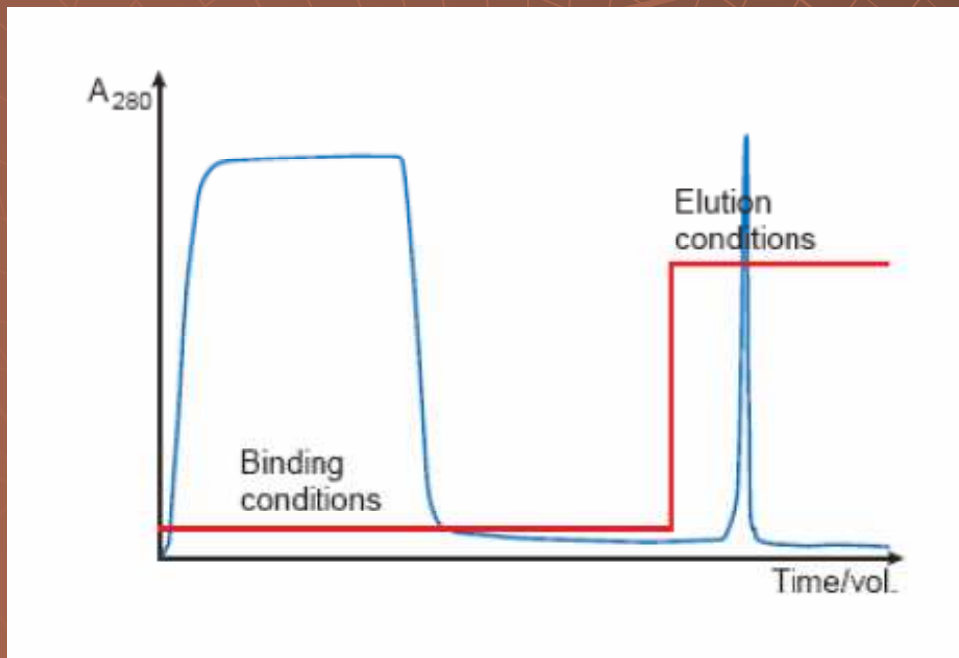
# Eluce

- ◆ Eluce – neselektivní - změna pH, iontové síly, polarity



# Eluce

- ◆ Eluce – pulsní x gradientová



# Ligandy

## Monospecifické

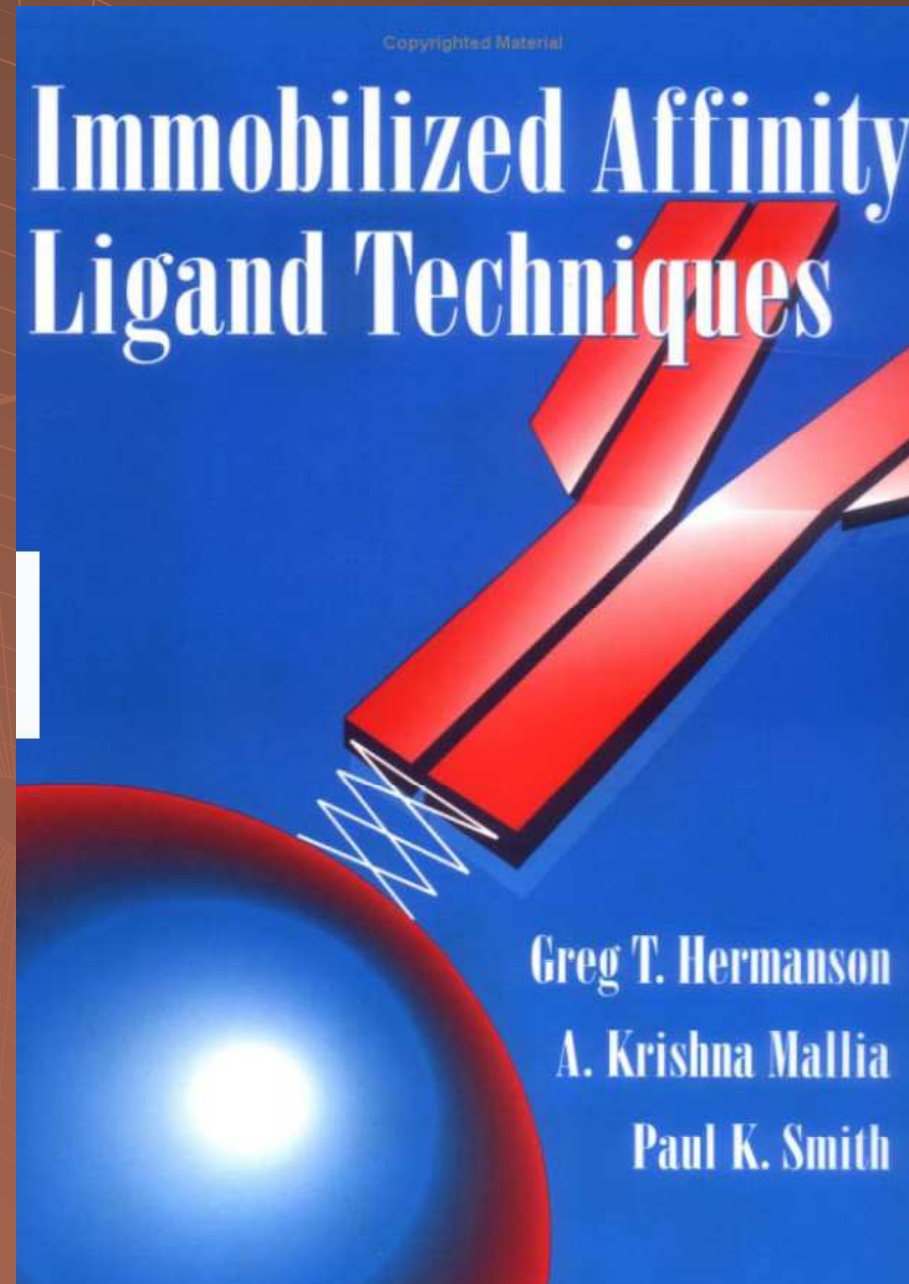
- váží pouze jedinou biomakromolekulu
- nutné si připravovat individuálně

## Skupinově specifické

- váží biomakromolekuly s podobnými vlastnostmi
- komerčně dostupné



# Immobilizace ligandů



# Imobilizace ligandů

N-hydroxysukcinimid (NHS)

-NH<sub>2</sub>

CNBr

-NH<sub>2</sub>

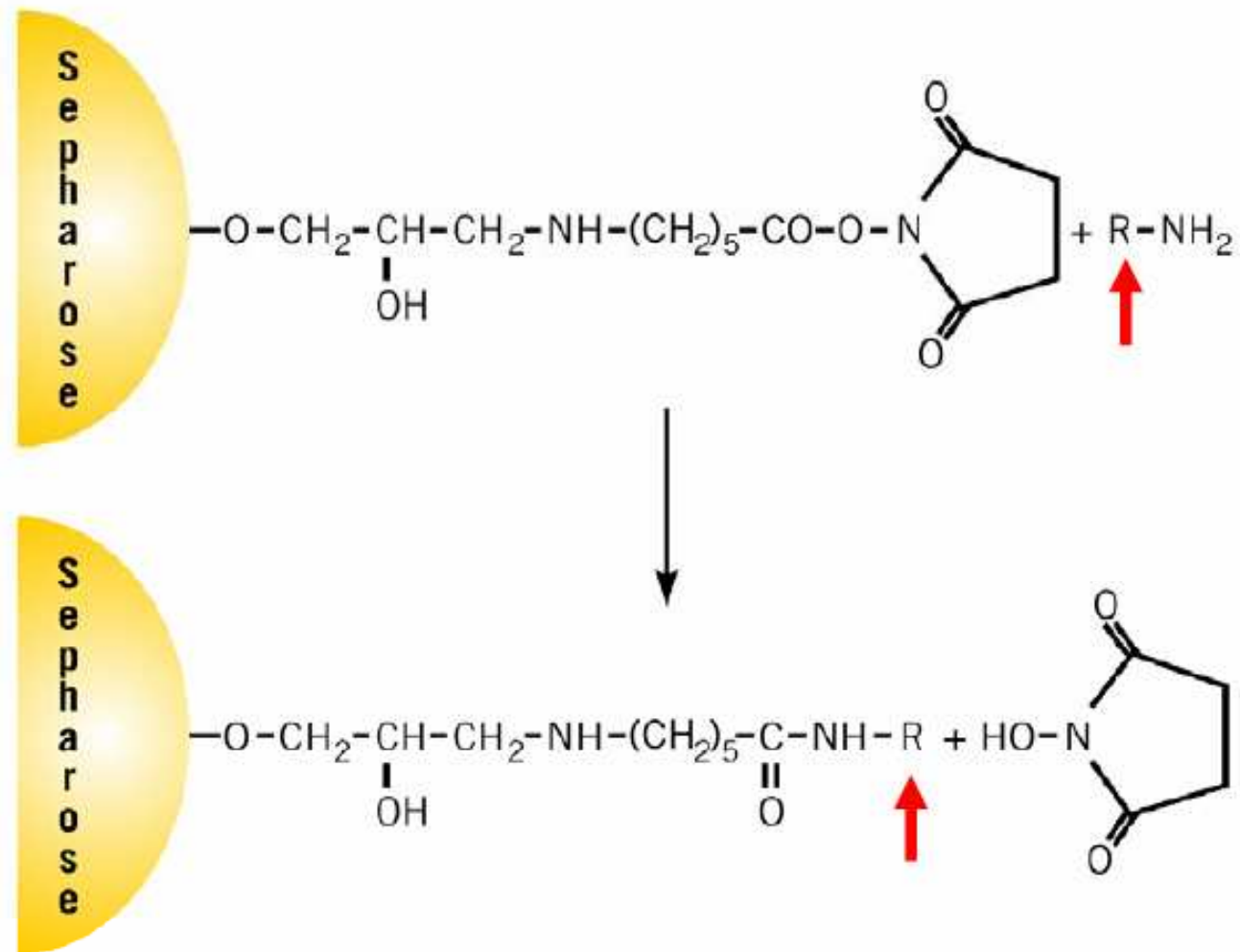
Karbodiimid

-NH<sub>2</sub>, -COOH

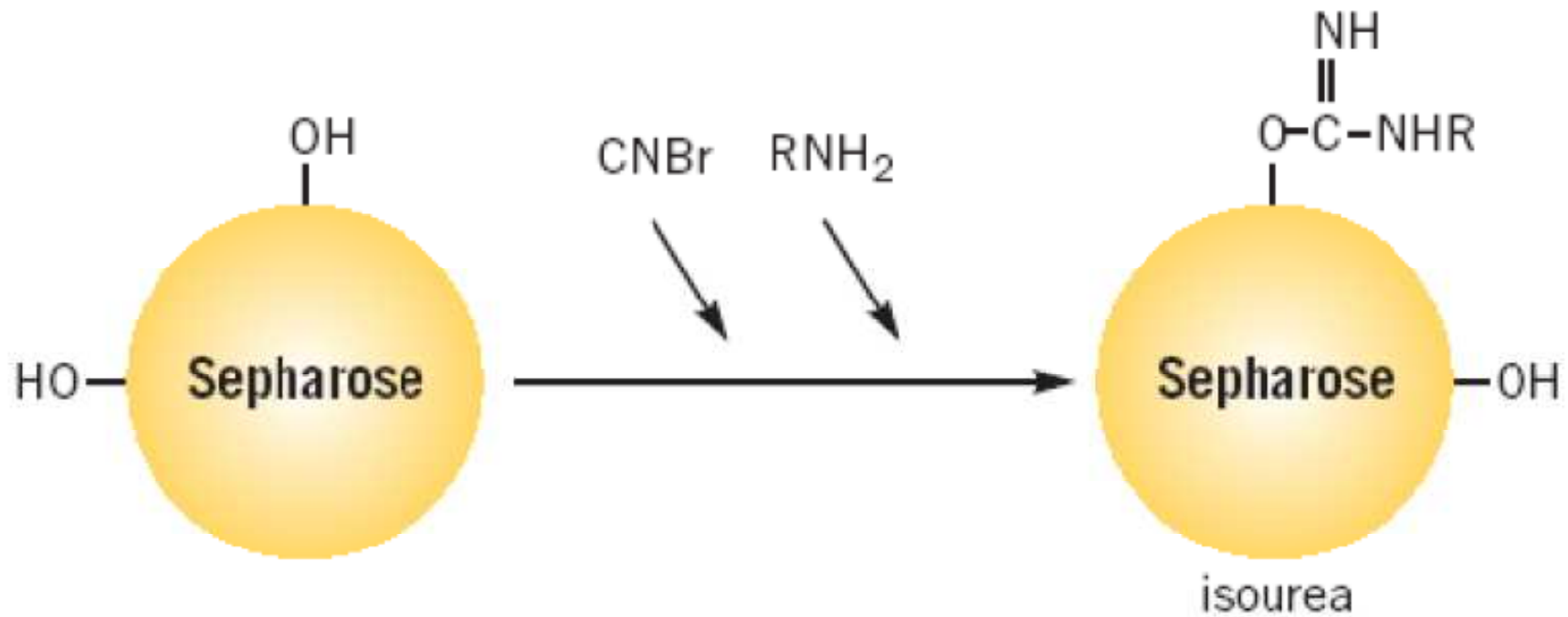
Epoxid

-SH, -NH<sub>2</sub>, -OH

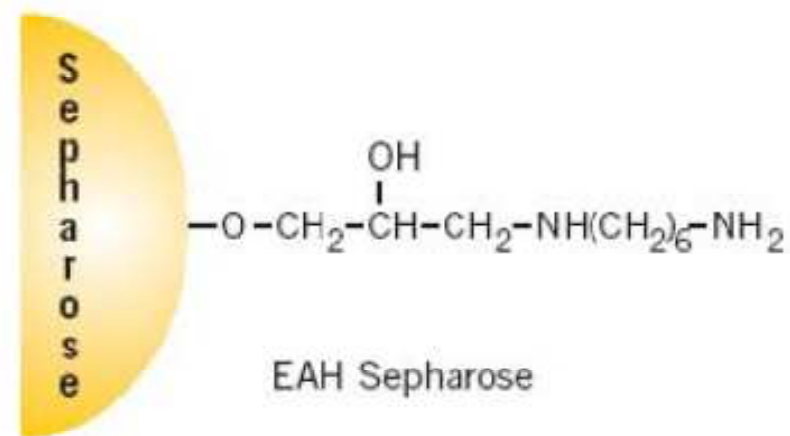
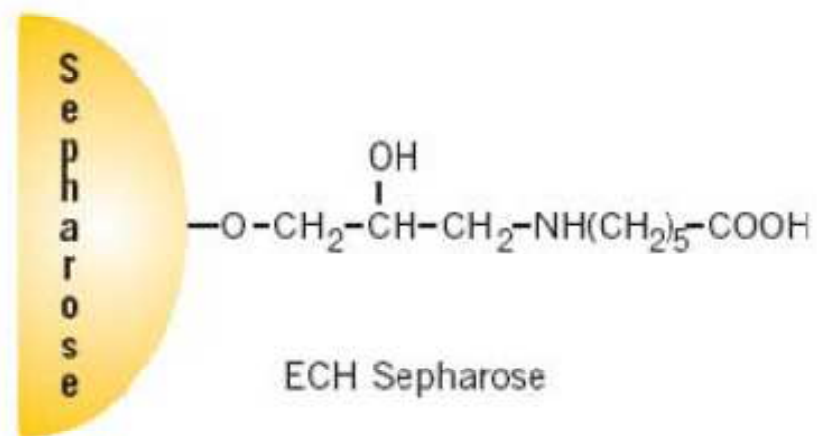
# N-hydroxysukcinimid (NHS-Sepharosa)



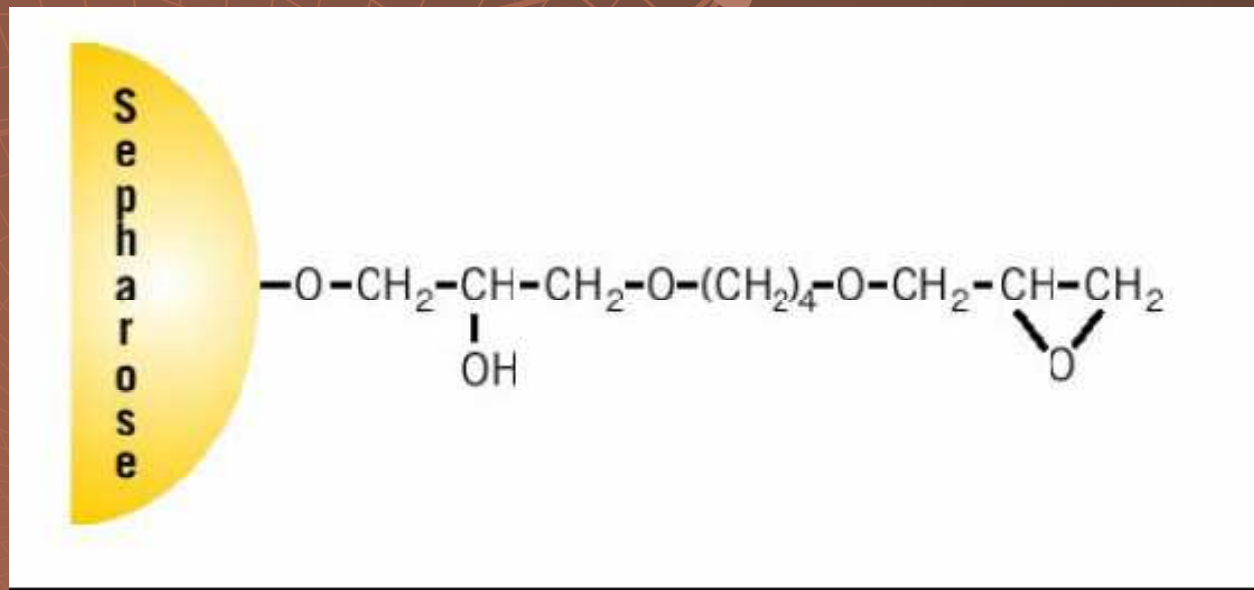
# CNBr (CNBr aktivovaná Sepharosa)



# N, N'-disubstituovaný karbondiimid



# Epoxid (Epoxy-aktivovaná Sepharsa 6B)





# Skupinově specifické ligandy

skupinově specifický ligand	specifita
Protein A	Fc region IgG
Protein G	Fc region IgG
Lektiny	glukopyranosylové a mannopyranosylové skupiny
Cibacron Blue	široká skupina enzymů, NAD <sup>+</sup> dependentní enzymy, sérový albumin
Procion Red	NADP <sup>+</sup>
Lysin	plasminogen, rRNA
Arginin	serinové proteasy
Benzamidin	serinové proteasy
Kalmodulin	proteiny regulované kalmodulinem
Heparin	kolagulační faktory, lipoproteiny, lipasy, hormony, steroidní receptory, nukleové kyseliny vázající enzymy
Streptavidin	Biotin a biotinylované látky
Oligo (dT, dA, ...)	mRNA, nukleasy
Kovové ionty	proteiny a peptidy obsahující dostupný His

# Skupinově specifické ligandy

## Protein A a Protein G

protein A – *Staphylococcus aureus*

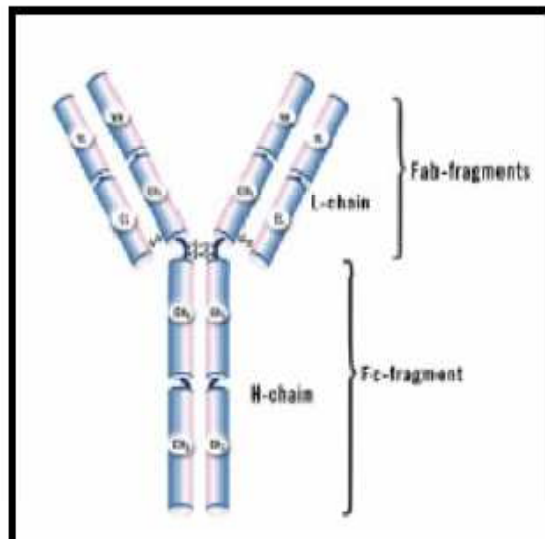
protein G – *Streptococcus*

purifikace:

monoklonální protilátky IgG

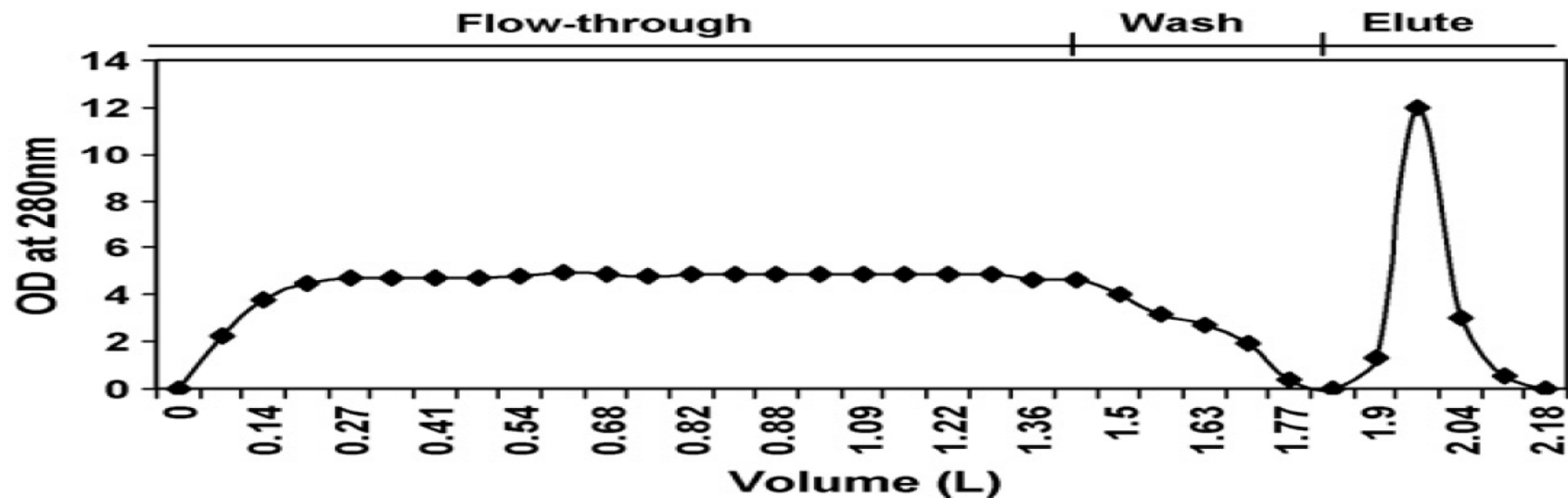
polyklonální protilátky IgG

imunokomplexy

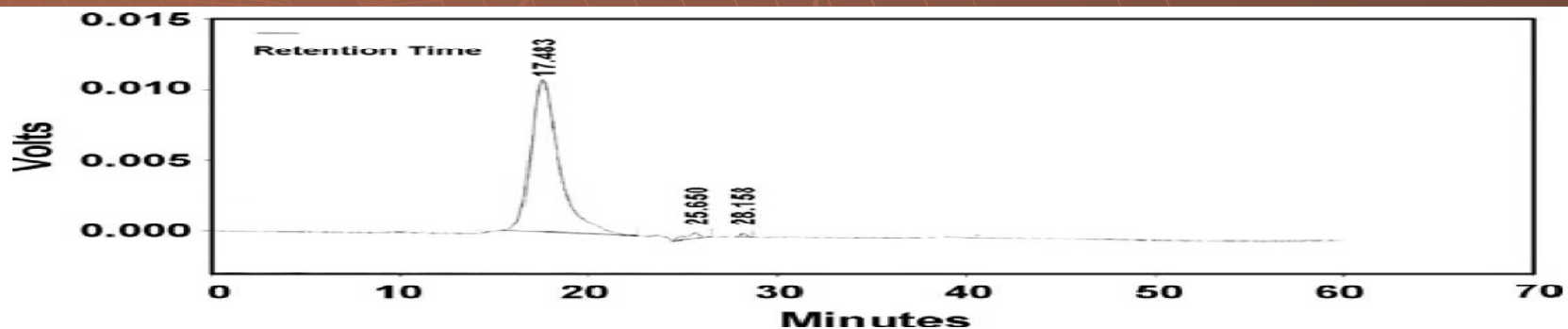


Species	Subclass	Protein A binding	Protein G binding
Human	IgA	variable	-
	IgD	-	-
	IgE	-	-
	IgG <sub>1</sub>	++++	++++
	IgG <sub>2</sub>	++++	++++
	IgG <sub>3</sub>	-	+++
Chicken	IgG <sub>4</sub>	++++	++++
	IgM <sup>A</sup>	variable	-
Avian egg yolk	IgY <sup>B</sup>	-	-
Cow		++	++++
Dog		++	+
Goat		-	++
Guinea pig	IgG <sub>1</sub>	++++	++
	IgG <sub>2</sub>	++++	++
Hamster		+	++
Horse		++	++++
Koala		-	+
Llama		-	+
Monkey (rhesus)		++++	++++
Mouse	IgG <sub>1</sub>	+	++++
	IgG <sub>2a</sub>	++++	++++
	IgG <sub>2b</sub>	+++	+++
	IgG <sub>3</sub>	++	+++
	IgM <sup>A</sup>	variable	-
Pig		+++	+++
Rabbit	no distinction	++++	+++
Rat	IgG <sub>1</sub>	-	+
	IgG <sub>2a</sub>	-	++++
	IgG <sub>2b</sub>	-	++
Sheep	IgG <sub>3</sub>	+	++
		+/-	++

# Skupinově specifické ligandy Protein A a Protein G



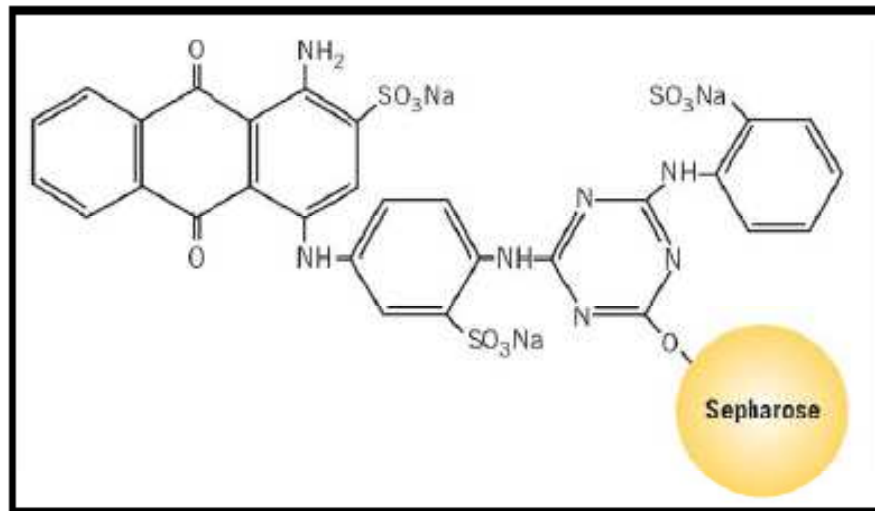
**Fig. 3.** Chromatogram of affinity chromatography using ProSep-vA Ultra. Antibody fragment  $[F(ab)_2]$  did not bind to ProSep-vA Ultra (fraction 0–1.4 l) and majority of the contaminants  $[Fc$  fragment] that bound to the affinity matrix eluted at pH 3.0 (fraction 1.84–2.18 l).



**Fig. 5.** HPLC analysis of purified  $F(ab)_2$ . Elution profile of  $F(ab)_2$  as single homogeneous peak represents >99% purity of the product. Column: SEC, TSK Gel-3000 SWXL (TosoHass). Sample: 20  $\mu$ l of purified  $F(ab)_2$ ; eluent: 20 mM phosphate buffer in 150 mM sodium chloride solution, pH 7.2, Detection at 280 nm; flow-rate: 1 ml  $\text{min}^{-1}$ .

# Skupinově specifické ligandy „dye ligand“

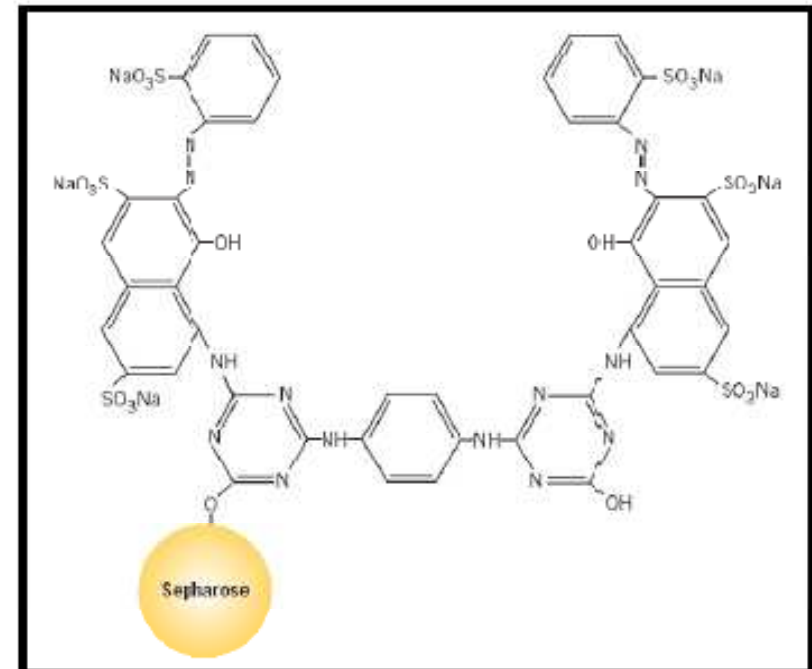
**Cibacron™ Blue F3G-A**  
(Blue Sepharosa)



NAD<sup>+</sup>

Dependentní dehydrogenasy

**Procion™ Red**  
(Red Sepharosa)



NADP<sup>+</sup>

# Skupinově specifické ligandy Cibacron Blue F4G-A

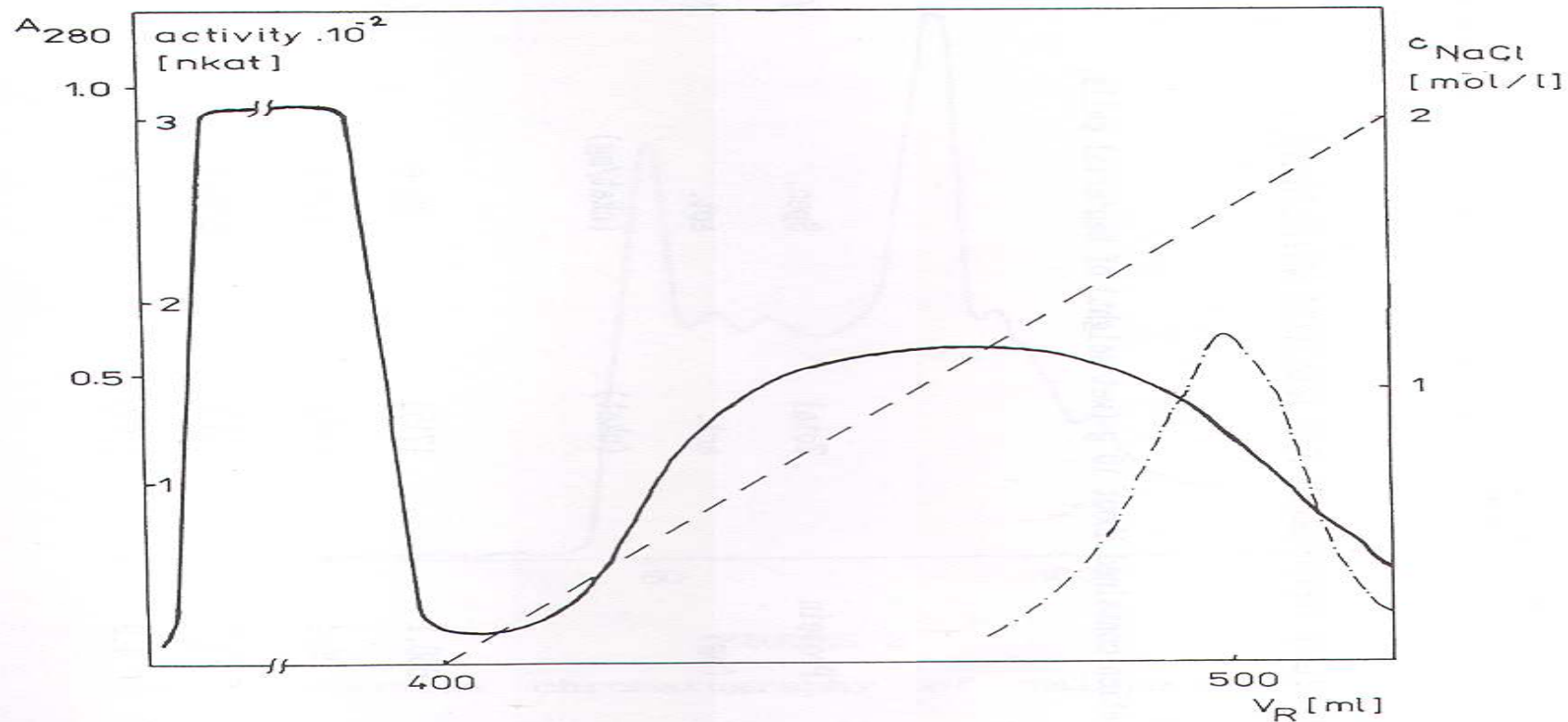


FIGURE 1

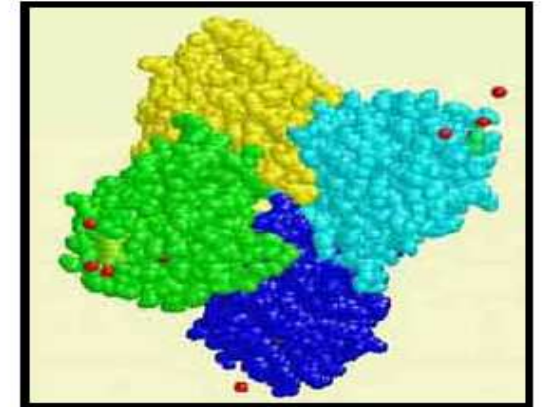
Affinity chromatography of malate dehydrogenase from *P.denitrificans* on Matrex Gel Blue A (step 2).  $V_e$ , elution volume; —, absorbance at 280 nm ( $A_{280}$ ); -•-, enzyme activity; ----, NaCl gradient (buffer A, 0.02 mol/l sodium phosphate (pH 8.0); buffer B, the same as buffer A but with 1.8 mol/l NaCl and 5% ethylene glycol); flow rate, approx. 0.7 ml/min.



# Skupinově specifické ligandy lektiny

## Konkavalin A

- lektin z *Canavalia ensiformis* (jack bean)
- tetramerní metalloprotein
- větvené mannosidy, cukry s terminální mannosou nebo glukosou ( $\alpha\text{Man} > \alpha\text{Glc} > \text{GlcNAc}$ )



- purifikace glycoproteinů, polysacharidů a glykolipidů
- detekce změn ve složení látek obsahujících cukry
- izolace povrchových buněčných glykoproteinů

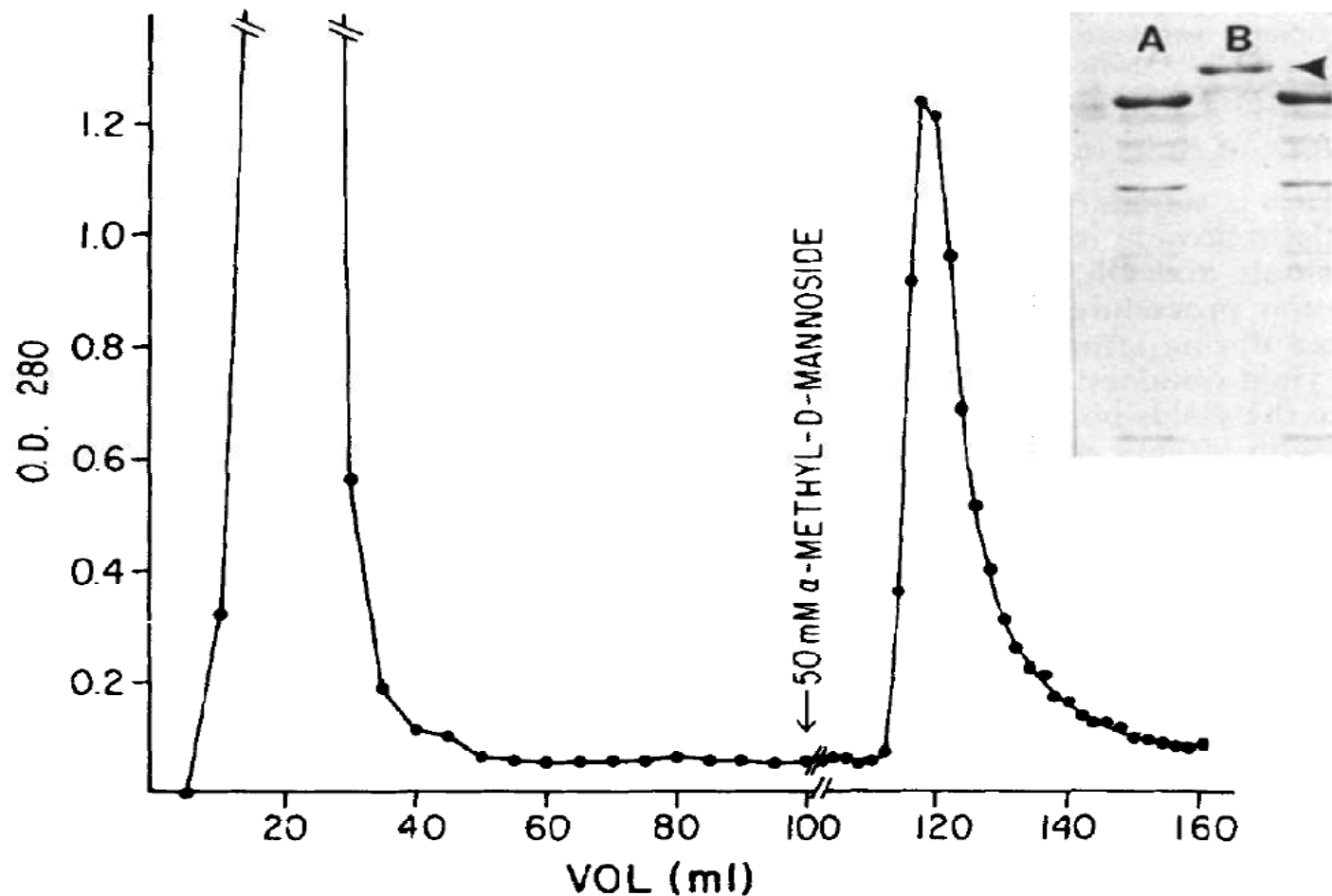
## „Lentil“ lektin

- lektin z *Lens culinaris* (čočka)
- větvené mannosidy obsahující fukosu  $\alpha$ -1,6 vázanou na N-acetylglukosamin ( $\alpha\text{Man} > \alpha\text{Glc} > \text{GlcNAc}$ )
- membranové glykoproteiny, povrchové buněčné antigeny, virální glykoproteiny



# Skupinově specifické ligandy

## Con A



**FIG. 2.** Step-elution profile of sciatic nerve protein from concanavalin A-agarose. Sciatic nerve protein was applied to a  $0.9 \times 20$  cm column of concanavalin A-agarose and eluted with Con A buffer at a flow rate of 10 ml/h. When the  $A_{280}$  of the effluent fell below 0.05, bound glycoproteins were desorbed with 50 mM- $\alpha$ -methylmannoside in Con A buffer. (*Inset*) Lane A: SDS electrophoretic profile of proteins eluted in the wash peak (21  $\mu$ g protein); lane B: SDS electrophoretic profile of glycoproteins eluted by 50 mM- $\alpha$ -methylmannoside (12  $\mu$ g protein). Arrowhead marks position of the sciatin band. Note the absence of this band in the wash peak (lane A).

# Skupinově specifické ligandy

## Con A

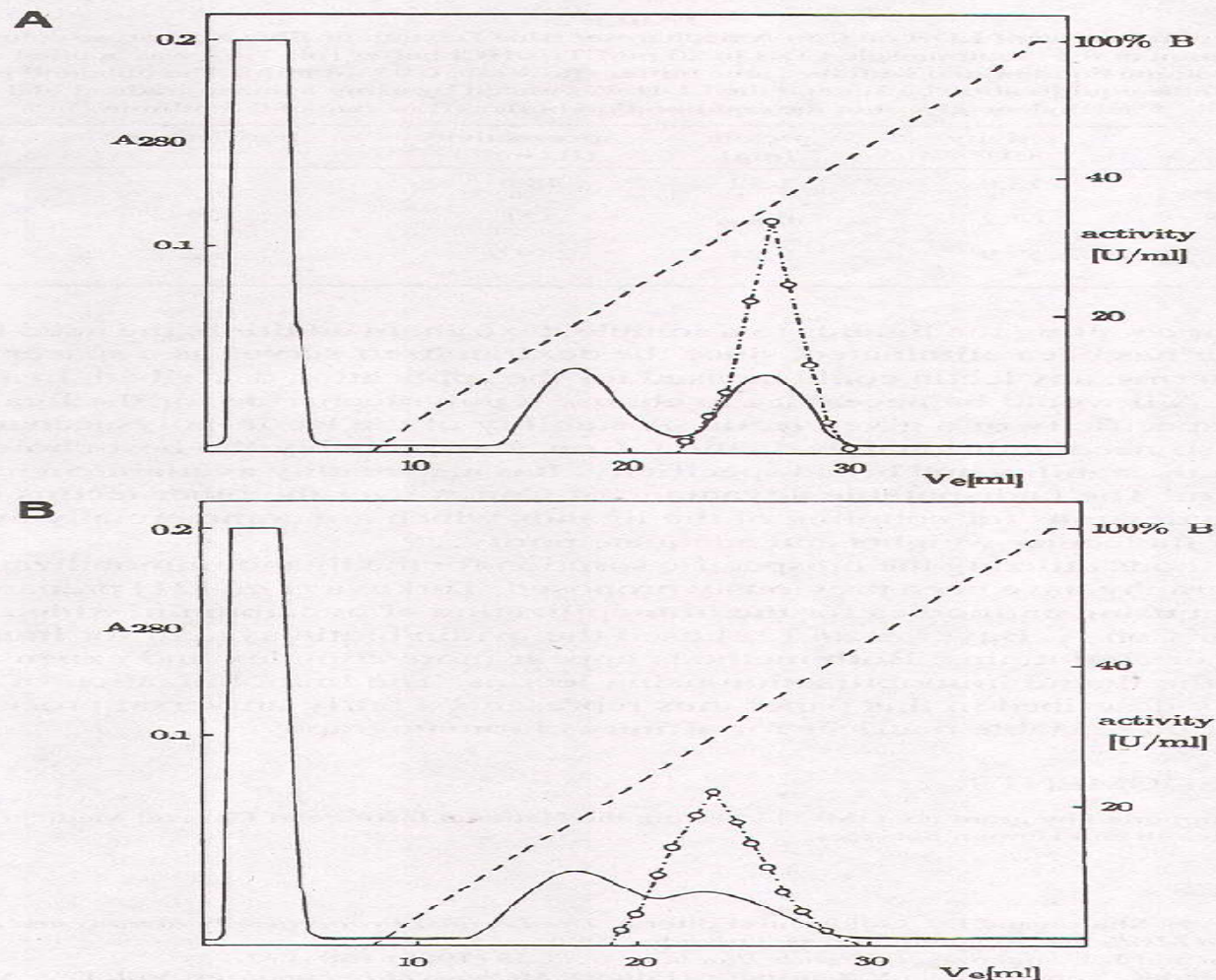
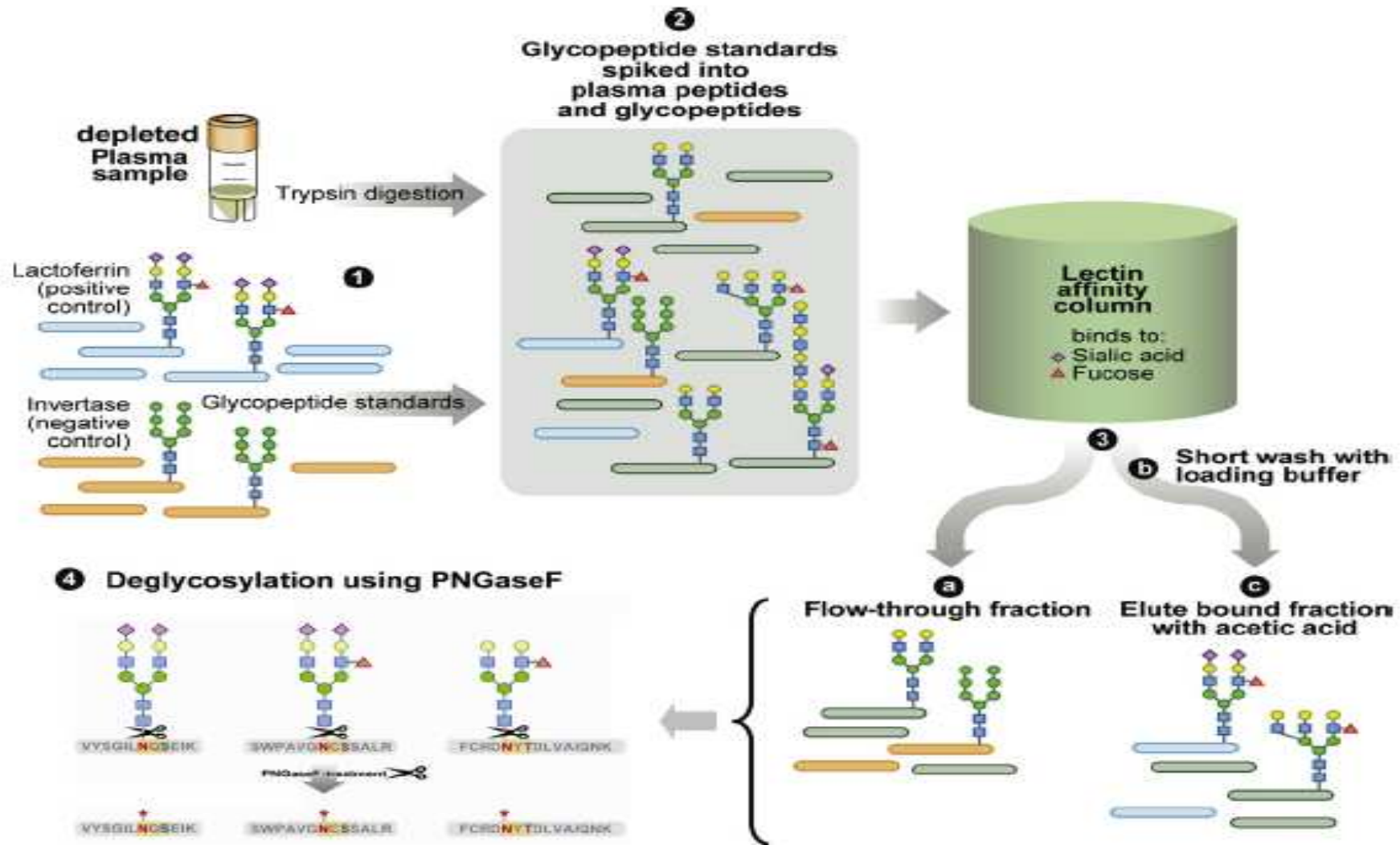


FIGURE 1 Partial purification of the crude preparation of the rabbit muscle LDH on Con A Sepharose/Blue Dextran (Figure 1.A) or Blue Sepharose (Figure 1.B) columns. Approximately 1.5 mg of protein were applied on the column. Buffers: A = 20 mM Tris HCl (pH 7.4) B = 20 mM Tris HCl (pH 7.4) with 1 M NaCl and 5% ethylene glycol flow rate = 0.05 ml/min during the loading of sample 0.5 ml/min during the elution V<sub>e</sub> - elution volume; ----- absorbance at 280 nm; ——— gradient B; --o-- activity of LDH.

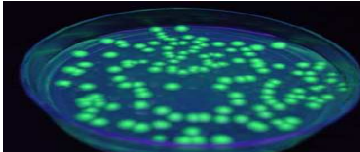
# Skupinově specifické ligandy

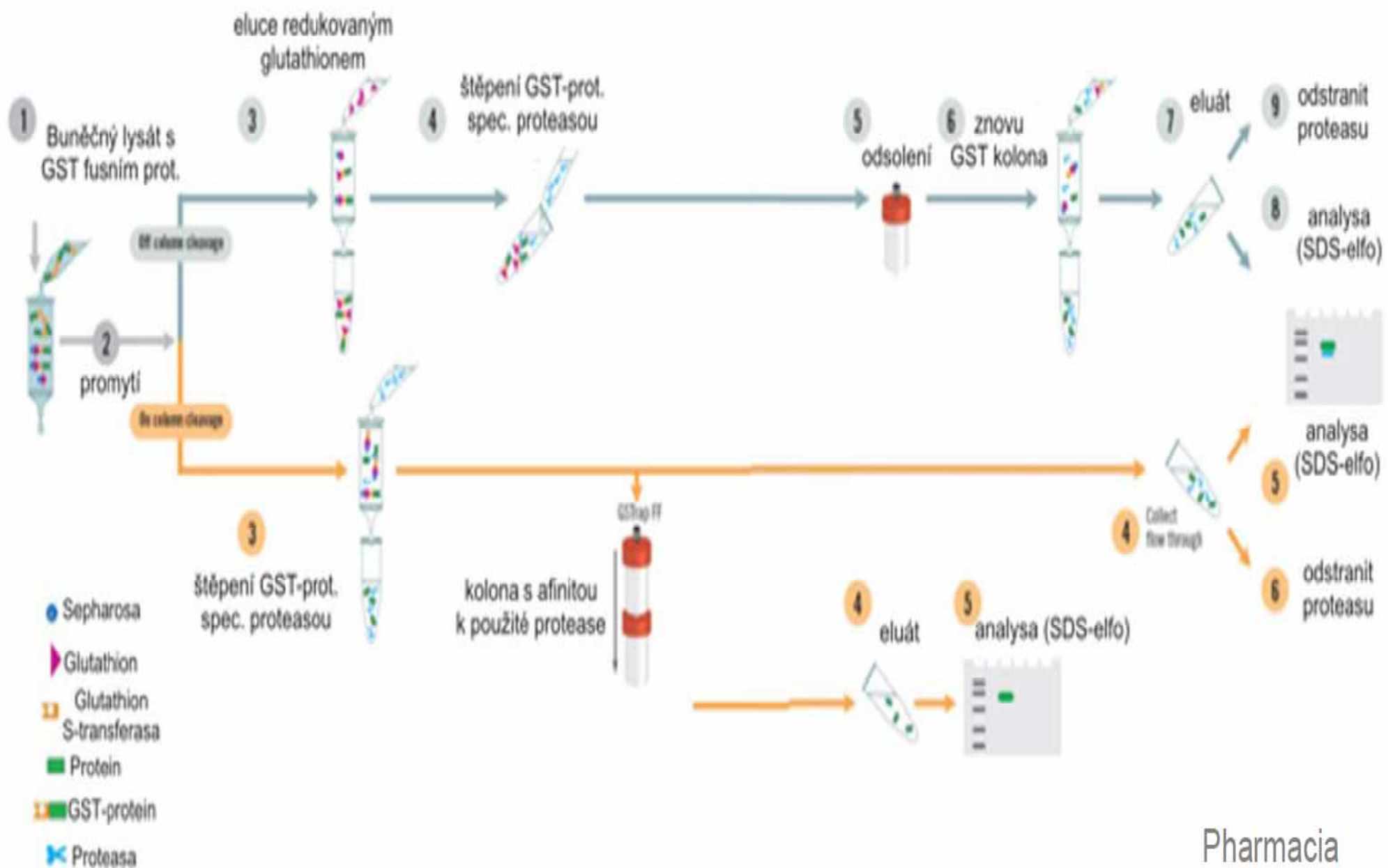
## Con A





# Využití AC pro purifikaci rekombinantních proteinů

řízní kotva	imobilizovaný ligand	podmínky vazby	podmínky eluce
Glutathion S-transferasa <b>GST</b>	redukovaný glutathion	Neutrální pH, nedenaturující prostředí, glutathion musí být redukovaný a GST musí být aktivní	volný redukovaný glutathion
Histidinová kotva <b>His-tag</b>	Chelatovaný nikl nebo kobalt	Neutrální pH bez redukčních a oxidačních látek	>200 mM Imidazol, nízké pH, silné chelatační činidlo
Maltose Binding Protein <b>MBP</b>	Amylosa	Neutrální pH, nedenaturující prostředí; přídavek NaCl k snížení nespecifické sorbce	maltosa
Protein A	IgG	Neutrální pH, nedenaturující prostředí	změna pH, iontové síly
Green Fluorescent Protein <b>GFP</b>	Anti-GFP antibody 	Neutrální pH, nedenaturující prostředí	nízké pH, iontová síla



Pharmacia

# Analytická afinitní chromatografie

## Analýza vazby ligandu na biopolymer

**Určení disociační konstanty komplexu biopolymer - zakotvený ligand ( $K'$ )** má význam zejména pro posouzení vhodnosti nosiče se zakotveným afinantem z hlediska praktické použitelnosti. Hodnota  $K'$  se musí nacházet v intervalu  $(10^{-6}; 5 \cdot 10^{-3})$  v jednotkách  $\text{mol.l}^{-1}$ . Vazba na immobilizovaný ligand bývá zpravidla slabší než na ligand volný.

$$1 / (V_R - V_0) = K' / (V_0 - V_M) \cdot c_L$$

$V_M$  - mrtvý objem kolony

$V_0$  - el. objem nezadržovaného analog. biopolymeru ( $M_r$ )

$V_R$  - eluční objem studovaného biopolymeru

$c_L$  - koncentrace vázaného ligandu



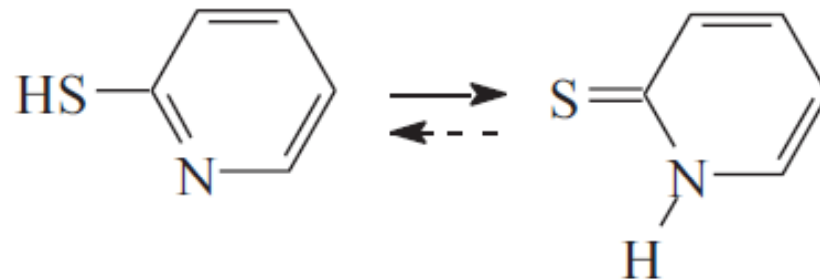
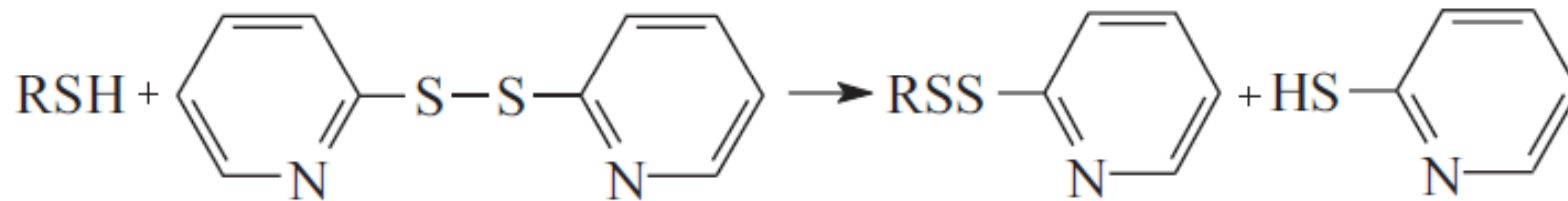
# Analytická afinitní chromatografie

## Analýza vazby ligandu na biopolymer

**Určení disociační konstanty komplexu biopolymer - volný ligand (K)** vychází z předpokladu, že oba ligandy (volný i zakotvený) se vážou na biopolymer kompetitivně (metoda kompetitivní eluce). Na kolonu obsahující nosič s vhodným afinantem nanese se biopolymer, k eluci použijeme určitou koncentraci kompetitivního ligandu ( $c_L'$ ) a změříme eluční objem biopolymeru  $V_R$ . Provedeme sérii pokusů s různými koncentracemi ligandu, získáme různé eluční objemy.

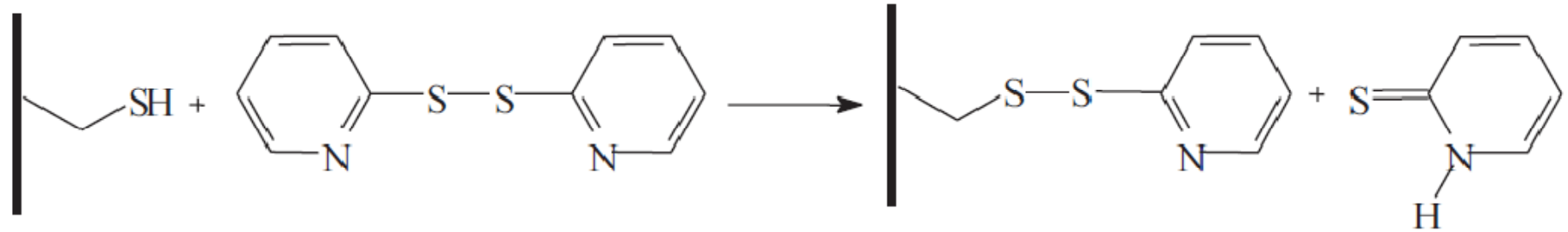
$$\frac{1}{(V_R - V_0)} = \frac{K'}{(V_0 - V_M) \cdot c_L'} + \frac{[K'' \cdot c_L]}{[(V_0 - V_M) \cdot c_L' \cdot K]}$$

# Kovalentní chromatografie tiol .disulfidická výměna

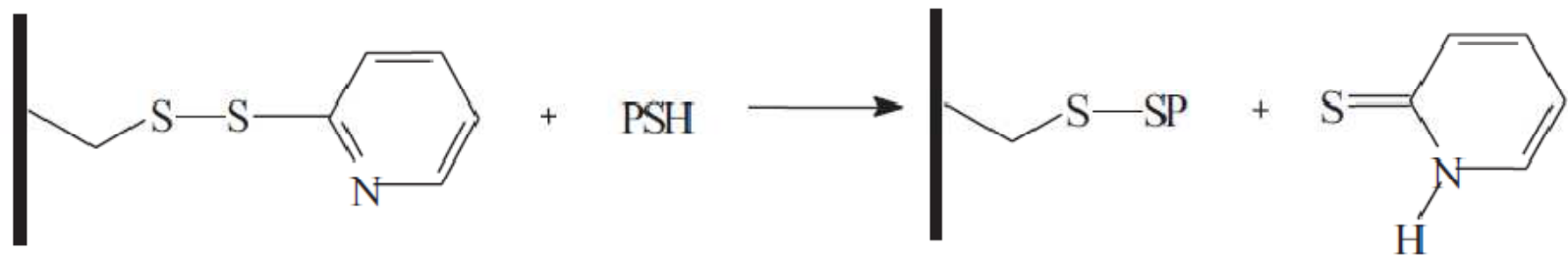


# Kovalentní chromatografie

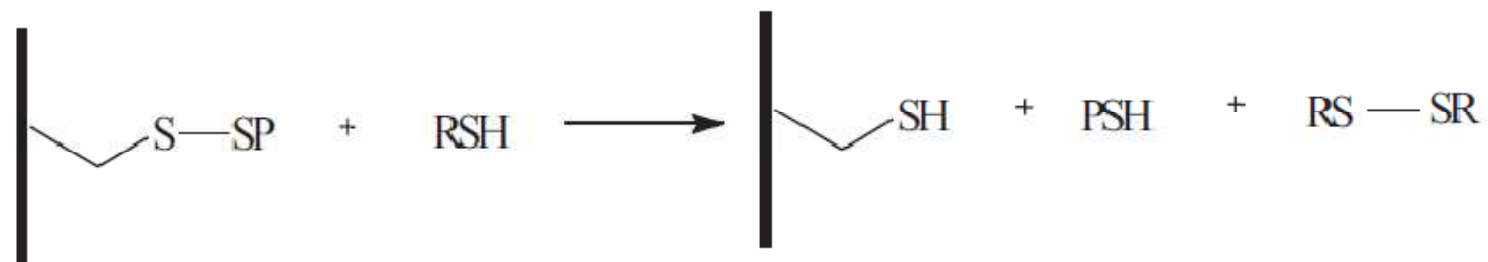
Aktivace



Vazba bílkoviny PSH



Eluce bíkoviny PSH

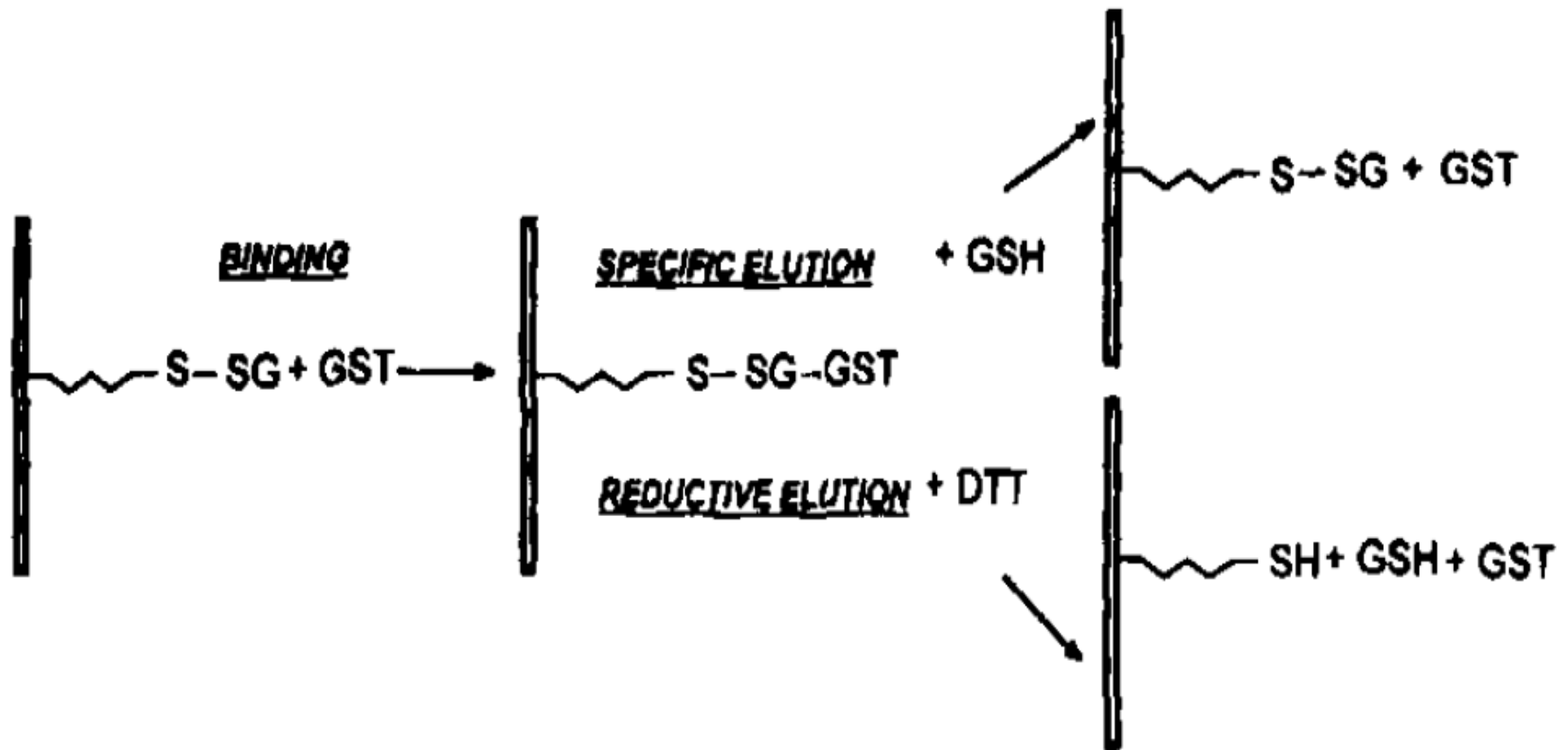


# Kovalentní chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – monitorování při 343 nm
- ◆ Eluce – redukční eluce
  - ◆ 10-25 mM DTT
  - ◆ 25-50 mM  $\beta$ -merkaptoethanol
- ◆ Reaktivace – reakce s reaktivním disulfidem
  - ◆ 20 mM 2,2'-dipyridyldisulfid

Použití : izolace bílkovin a peptidů obsahujících SH skupin

# Kovalentní chromatografie GST





# Kovalentní chromatografie GST

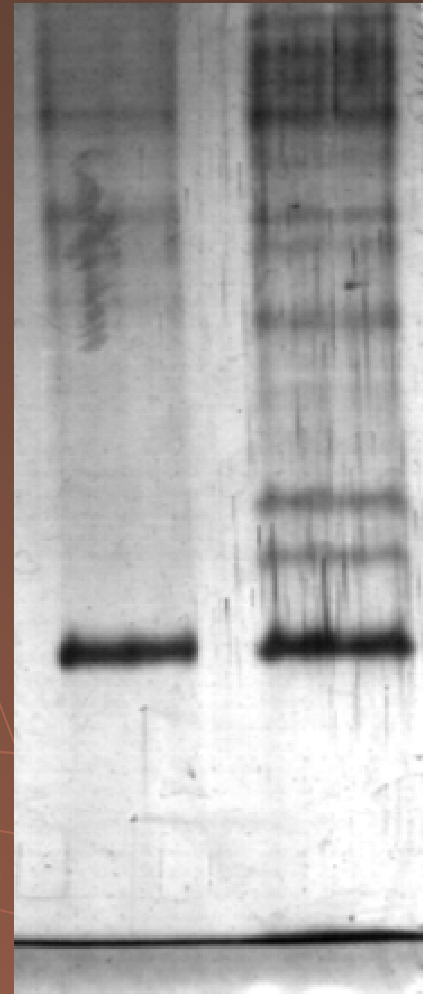
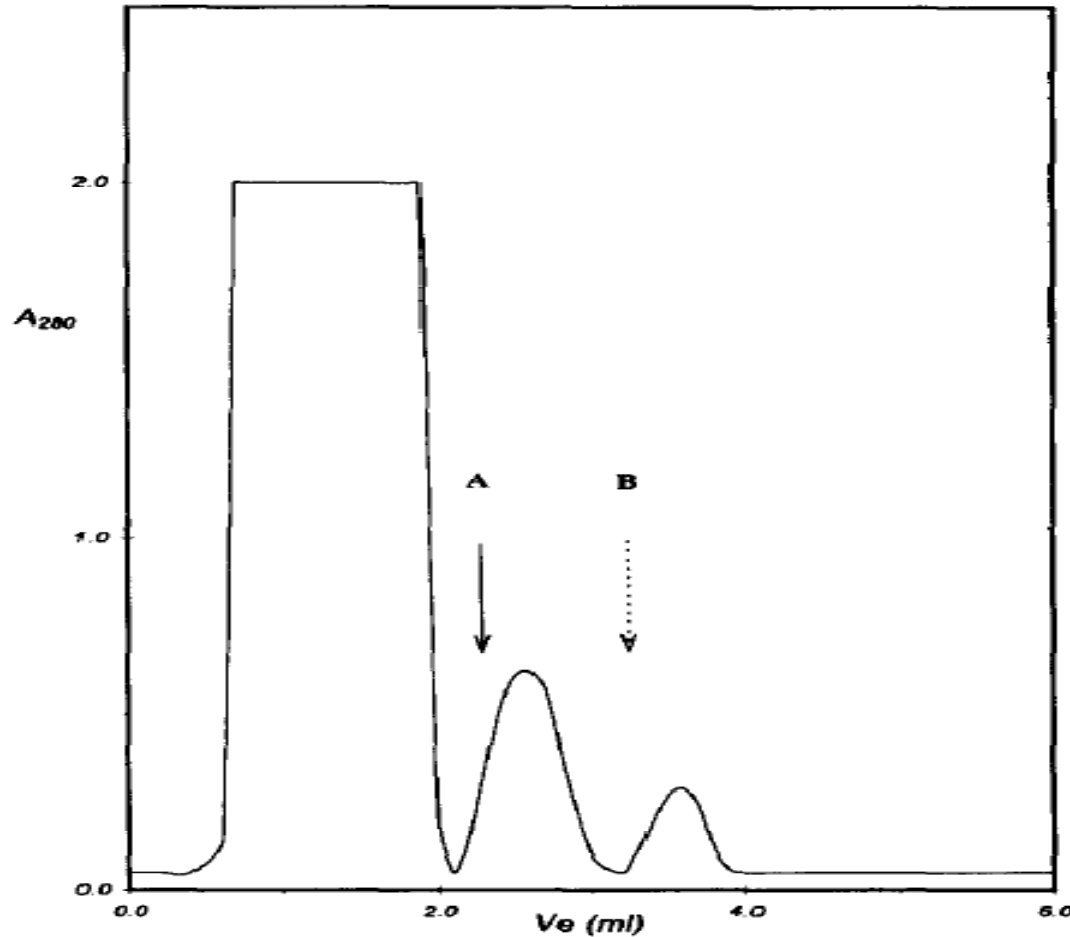
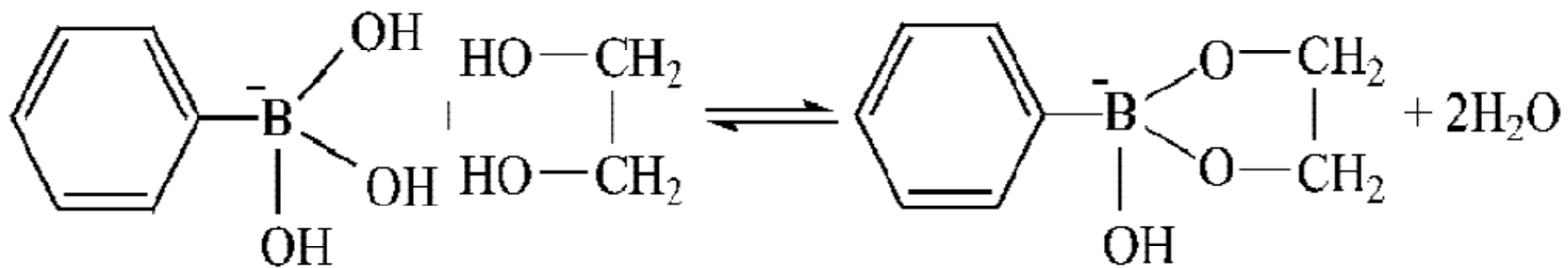
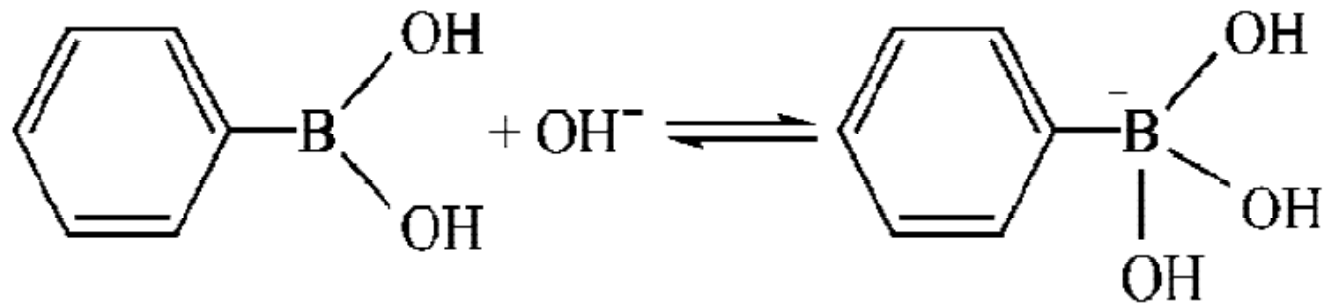
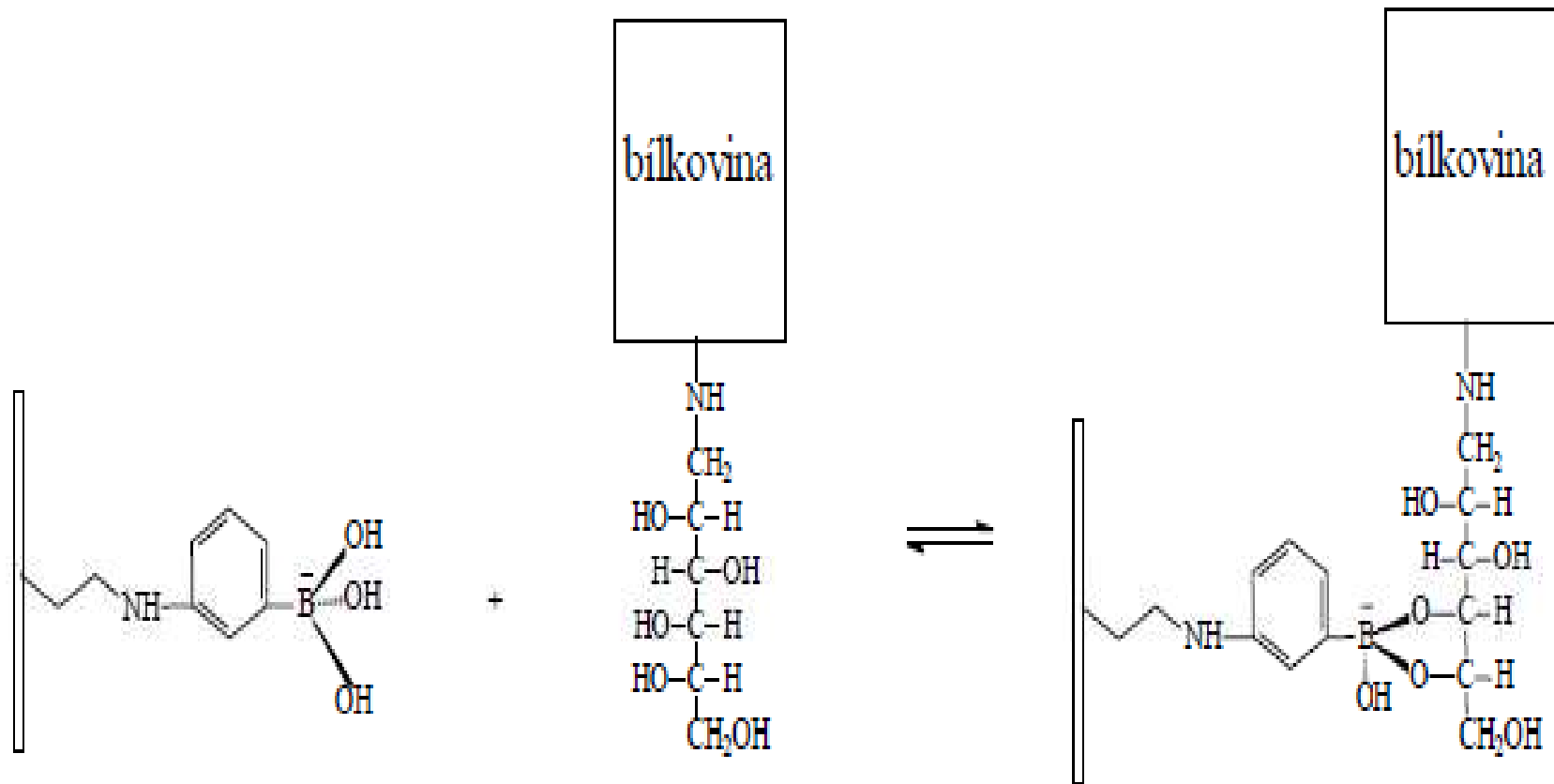


Fig. 2. Partial purification of the crude preparation of pig kidney GST on glutathione-thiopropyl Sepharose column. Approximately 50 mg of protein were applied on the column equilibrated with 50 mM Tris-HCl pH 7.8 containing 1 mM EDTA. After washing the column with equilibrating buffer, the same buffer containing 0.2 M NaCl (A) and 0.2 M NaCl with 10 mM GSH or 20 mM DTT (B) were applied at the positions marked with arrows (A) and (B). The flow-rate was 0.1 ml/min.  $V_E$ =elution volume; solid line: absorbance at 280 nm.

# Boronátová chromatografie



# Boronátová chromatografie



# Boronátová chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – vyšší iontová síla  
(0,2 M pufr)
- ◆ Eluce – polyoly (200 mM sorbitol)

Použití : purifikace glyko- proteinů a peptidů, stanovení GlyHb

# Boronátová chromatografie

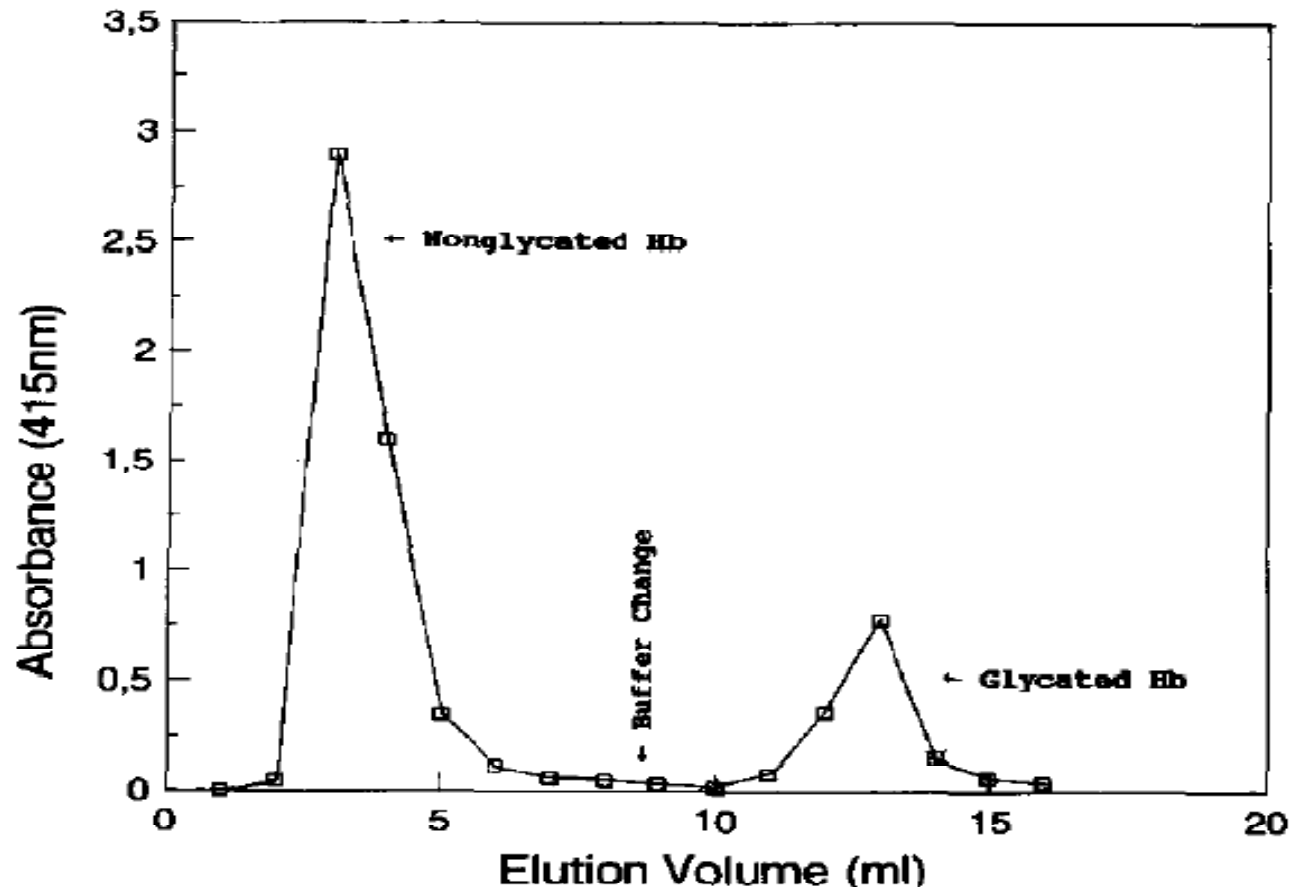


Fig. 3. Separation of glycated Hb and non-glycated Hb on a 3-ml boronate Sephacryl column. Chromatographic conditions were as described in Experimental; 100  $\mu$ l of sample were applied to the column, and 1-ml fractions were collected.



# Thiofilní chromatografie

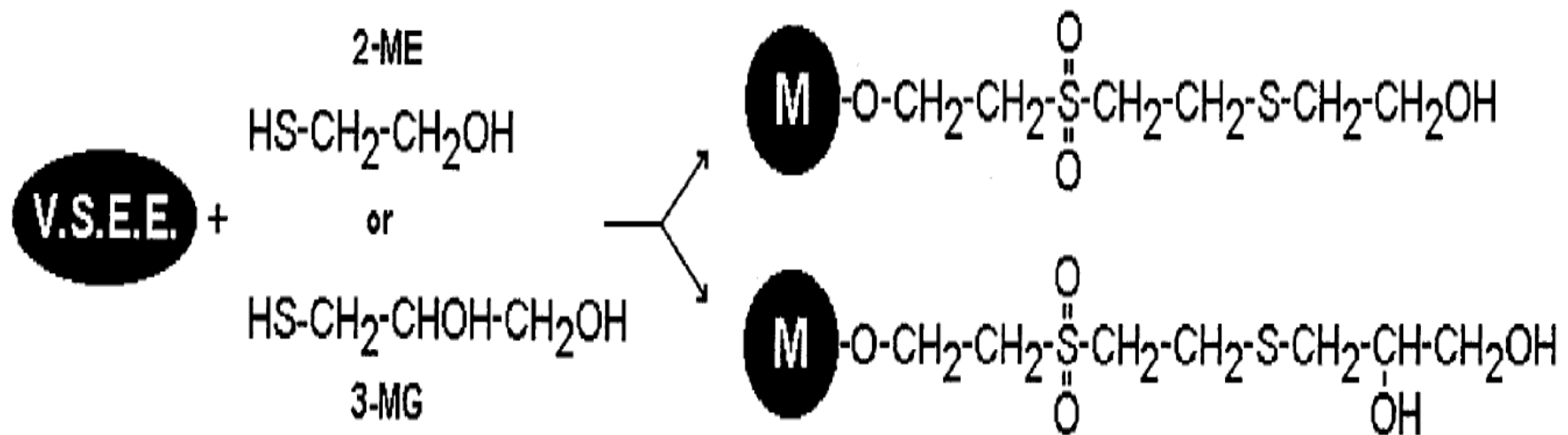
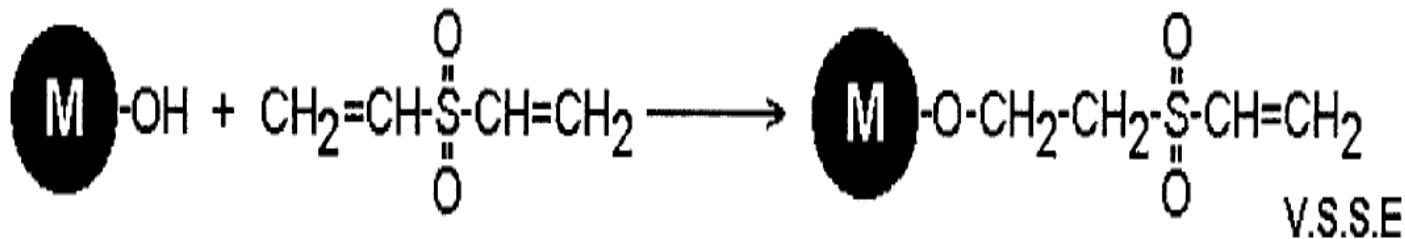


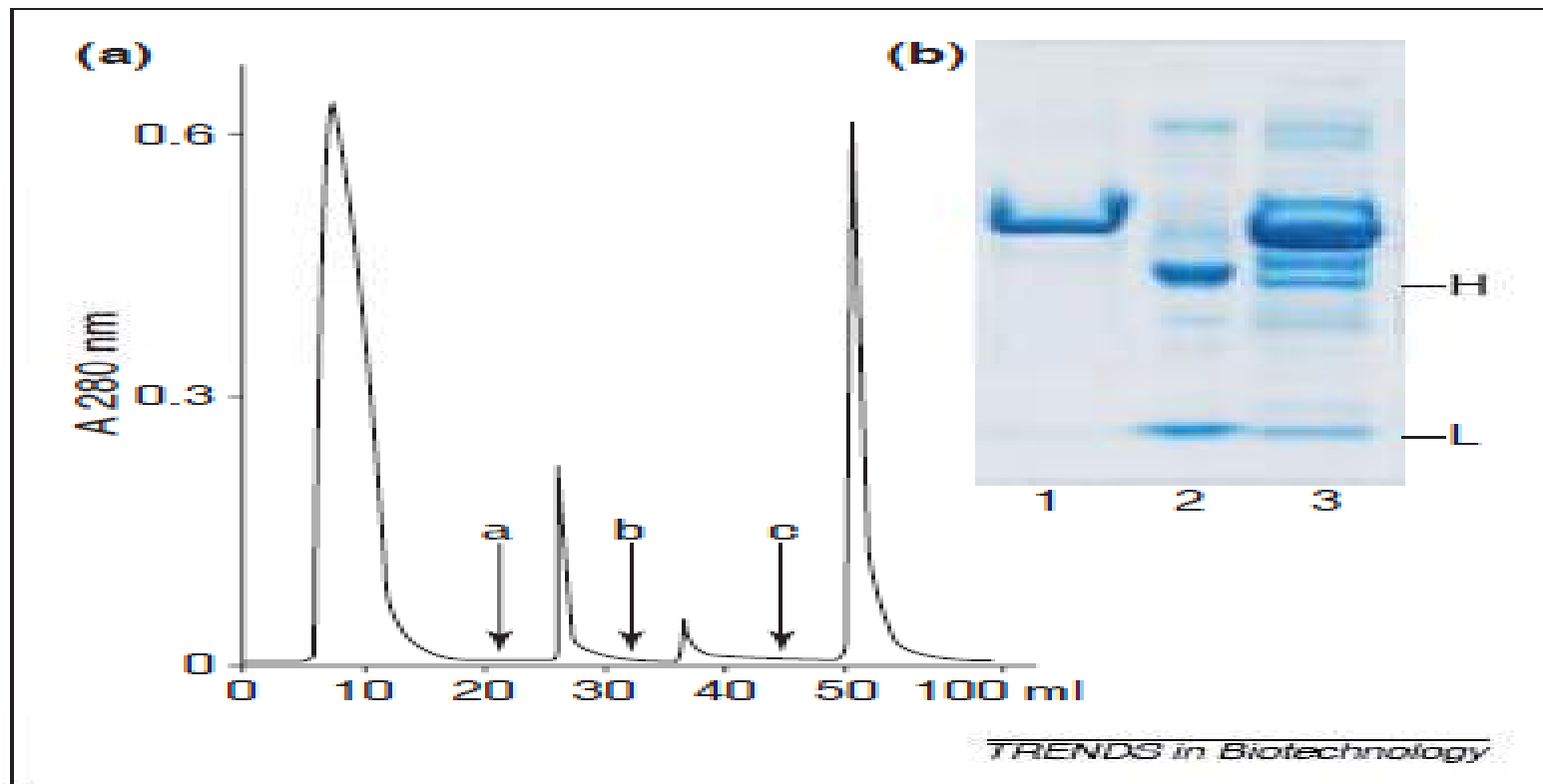
Fig. 1. Preparation of thiophilic "T-gel": chemical reaction schemes and structure. M = matrix (e.g., agarose); V.S.E.E. = vinyl-sulfonyl-ethyl ether; 2-ME = 2-mercapto-ethanol; 3-MG = 3-mercaptoglycerol.

# Thiofilní chromatografie

- ◆ Nanášení vzorku – pufr s vyšší iontovou silou (0,5 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  nebo NaCl)
- ◆ Eluce – snižováním iontové síly, snižováním pH

Použití : izolace poly- a monoklonálních protilátek a jejich fragmentů

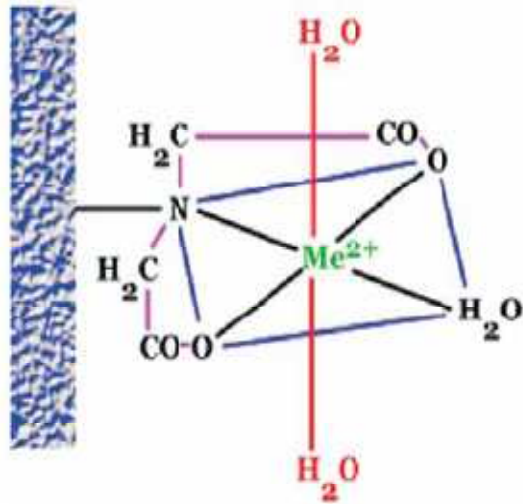
# Thiofilní chromatografie



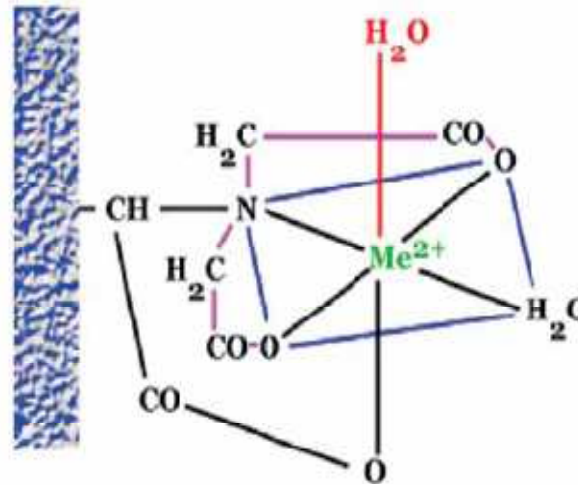
**Fig. 2.** Separation of monoclonal IgG2a (immunoglobulin G) antibodies from an ascites fluid on a column of 4-mercapto-ethyl-pyridine (MEP) resin. After filtration and dilution with a 50 mM Tris-HCl buffer, pH 8.5, ascites fluid was loaded. The column was then washed twice with water (arrow 'a') and 25 mM sodium caprylate in Tris buffer (arrow 'b'), respectively. Finally, IgG2a antibodies were desorbed with a 50 mM acetate buffer, pH 4.0 (arrow 'c'). (Column: 3.0 mm I.D.  $\times$  10 mm height; sample volume: 5 ml of diluted ascites fluid; linear flow rate all along the process for both columns: 85 cm hour<sup>-1</sup>.) Insert: Polyacrylamide gel electrophoresis in reduced conditions of fractions collected from the column (Lane 1: bovine albumin; lane 2: elution at pH 4.0; lane 3: crude ascites fluid; the purity of separated antibody is estimated at ~90%). Abbreviations: H, heavy chain; L, light chain.

# Ch. na imobilizovaných kovových iontech

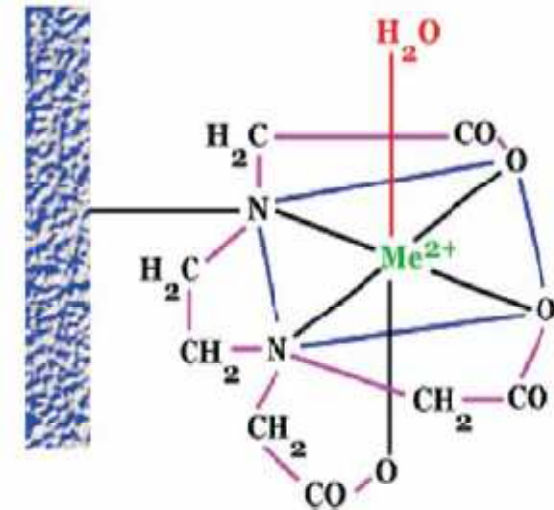
IDA



NTA



TED



iminodiacetic acid (IDA)

nitrilotriacetic acid (NTA)

N, N, N0-tris-carboximethyl ethylene diamine (TED)

# Ch. na imobilizovaných kovových iontech

- ◆ Ekvilibrace – imobilizace kovového iontu (50 mM)
- ◆ Používané ionty - používají se především ionty  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ , preferující dusík jako koordinační ligand

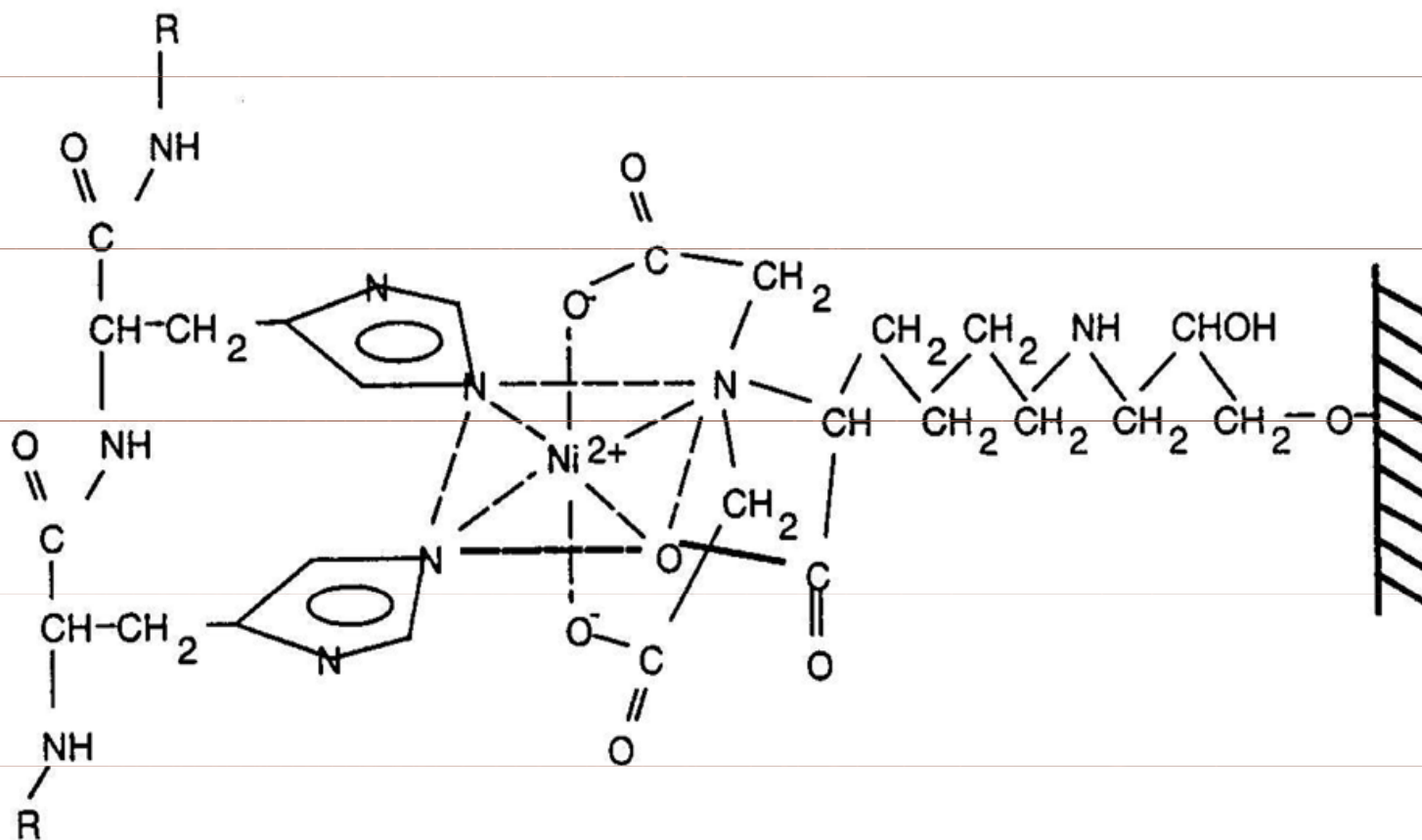


# Ch. na imobilizovaných kovových iontech

Chelating compound	Coordination	Metal-ions
Salicylaldehyde	Bidentate	Cu(II)
8-hydroxyquinoline (im-8-HQ)	Bidentate	Al(III), Ca(II), Fe(III), Yb(III)
N-methacryloyl-(L)-histidine methyl ester (MAH)	Bidentate	Fe(III)
Dipicolylamine (DPA)	Tridentate	Ni(II), Zn(II)
Iminodiacetic acid (IDA)	Tridentate	Cu(II), Ni(II), Zn(II), Ga(III)
O-phosphoserine (im-OPS)	Tridentate	Al(III), Ca(II), Fe(III), Yb(III)
Tris(2-aminoethyl)amine (TREN)	Tridentate	Cu(II)
1,4,7-triazocyclononane (tacn)	Tridentate	Cu(II), Cr(III), Mn(II), Co(II), Zn(II), Ni(II)
Nitrilotriacetic acid (NTA)	Tetradentate	Cu(II), Ni(II), Zn(II)
Carboxymethylated aspartic acid (CM-Asp)	Tetradentate	Ca(II), Co(II)
N-methacryloyl-(L)-cysteine methyl ester (MAC)	—	Fe(III)



# Ch. na imobilizovaných kovových iontech



# Ch. na imobilizovaných kovových iontech

- ◆ Nanášení vzorku – pufr s vyšší iontovou silou (0.5 M NaCl)
- ◆ Eluce – snížení pH (3-4), kompetující látka (histidin, imidazol, glycin, fosfát), EDTA

Použití : purifikace normálních a rekombinantních bílkovin

# Ch. na imobilizovaných kovových iontech

