



# Ionska kromatografija u analizi voda

*Štefica Cerjan Stefanović*  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I  
TEHNOLOGIJE**  
**ZAGREB, Marulićev trg 20**  
**[scerjan@fkit.hr](mailto:scerjan@fkit.hr)**

# Sadržaj

- Uvod
- Opći dio
- Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom
- Karakteristične veličine u kromatografiji
- Ionsko kromatografsko razdvajanje
- Procjena i kalibracija

# Uvod

## ● Ionska kromatografija

- Omogućuje kvalitativno i kvantitativno određivanje aniona, kationa i polarnih molekula
- Primjenom različitih ionsko izmjenjivačkih smola i eluensa, ioni se različito raspoređuju na ionsko izmjenjivačkoj smoli, a separacijskom elucijom dolazi do odvojenog eluiranja ispitivanih iona
- Najčešće konduktometrijskom detekcijom mjerena vodljivost omogućuje i kvantifikaciju pojedinih eluiranih iona
- Promjenom detektora proširuje se uporaba IC

## ● Ionska kromatografija

- donja granica određivanja se kreće i ispod 1 ppm, što ovisi o
  - eluensu
  - detektoru
  - koloni
  - predtretmanu uzoraka

# Norme

- HRN EN ISO 10304-1:1998, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih fluorida, klorida, nitrita, ortofosfata, bromida, nitrata i sulfata pomoću ionske tekućinske kromatografije - 1. dio: Metoda za slabo zagađene vode.
- HRN EN ISO 10304-2:1998, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih aniona ionskom tekućinskom kromatografijom - 2. dio: Određivanje bromida, klorida, nitrata, nitrita, ortofosfata i sulfata u otpadnoj vodi.
- HRN EN ISO 10304-3:2001, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih aniona ionskom tekućinskom kromatografijom - 3. dio: Određivanje kromata, jodida, sulfita, tiocijanata i tiosulfata.
- HRN EN ISO 10304-4:2001, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih aniona ionskom tekućinskom kromatografijom- 4. dio: Određivanje klorata, klorida i klorita u slabo onečišćenim vodama.
- HRN EN ISO 14911:2001, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> i Ba<sup>2+</sup> ionskom kromatografijom - Metoda za vode i otpadne vode.
- HRN EN ISO 15061:2001, Kakvoća vode - Određivanje otopljenih bromata - Metoda ionske tekućinske kromatografije.

# Uvod

- Ionsko kromatografska analiza
- POVEZUJE ZNANJA KEMIJE + MATEMATIKA +  
INFORMATIKA

# Shematski prikaz IC sustava



# Uvod

- **Analitičara najviše interesira:**
  - interferencija iona jednih na druge,
  - utjecaj koncentracije pojedinih iona na položaj kromatografske krivulje
- **Ako se vrijeme zadržavanja definira kao kvalitativni pokazatelj prisutnosti pojedinih iona, a njihova koncentracija kao kvantifikacija iona, može se matematički odrediti točnost ionske kromatografije kao metode odjeljivanja i određivanja.**
- **Potrebno je odrediti:**
  - matematički pokazatelji ponovljivosti opisane metode
  - optimalno područje rada za ispitivane katione i anione uz standardne instrumentalne uvjete.

# Opći dio

## ● Ionsko-izmjenjivačka kromatografija-IC

- Separacija se uglavnom temelji na razlici u afinitetu sastojaka uzorka prema ionskoj izmjeni i sorpciji u koloni
- Eluens je nosilac sastojaka uzorka , kemijski ne reagira s analitom, već ga nosi od kolone do detektora
- Danas se ionska izmjena odvija u kolonama sa sitnim česticama visoke djelotvornosti, uz korištenje konduktometrijskih, elektrokemijskih, spektrometrijskih, masenih detektora i naziva se ionska kromatografija, (IC)

# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

- Većina ionsko-kromatografskih procesa odvajanja temelji se na ionskoj izmjeni na nepokretnoj fazi s aktivnim funkcionalnim grupama, koje su pozitivni ili negativno nabijene.
- Odgovarajući protuioni su smješteni u funkcionalnoj grupi te mogu biti zamijenjeni s drugim ionima istog naboja, koji se nalaze u pokretnoj fazi.

# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

- Za svaki ion, proces je karakteriziran odgovarajućom ionsko-izmjenjivačkom ravnotežom, koja određuje raspodjelu između pokretne i nepokretne faze –

## KONSTANTE RAVNOTEŽE

Za anion  $A^-$



$$K_A = \frac{[A^-]_{nepok} \times [E^-]_{pok}}{[A^-]_{pok} \times [E^-]_{nepok}}$$

A: anion uzorka  
E: anion izmjenjivača (protuion)

# Posebni pojmovi korišteni u ionsko-izmjenjivačkoj krom.

- Difuzija, selektivnost i separacija
- Konstante razdjeljenja ( $K_c$ ) izražena kao masa po volumenu
  - Koncentracija u ionskom izmjenjivaču se računa kao masa po volumenu, a odnosi se na nabubreni ionski izmjenjivač.

$$K_c = \frac{\frac{W_{i(IE)}}{V_{(SIE)}}}{\frac{W_{i(sol)}}{V_{(sol)}}}$$

# Posebni pojmovi korišteni u ionsko-izmjenjivačkoj krom.

- Difuzija, selektivnost i separacija
- Konstante razdjeljenja ( $K_g$ ) izražena kao masa po masi
  - Koncentracija u ionskom izmjenjivaču računa se kao masa po masi i odnosi se na suhi ionski izmjenjivač

$$K_g = \frac{\frac{W_{i(IE)}}{W_{(DIE)}}}{\frac{W_{i(sol)}}{W_{(sol)}}}$$

# Posebni pojmovi korišteni u ionsko-izmjenjivačkoj krom.

- Difuzija, selektivnost i separacija

- Konstante razdjeljenja ( $K_V$ ) izražena kao volumen po volumenu
  - Koncentracija u ionskom izmjenjivaču računa se kao volumeni po volumenu i odnosi se na suhi ionski izmjenjivač

$$K_V = \frac{\frac{V_{i(IE)}}{V_{(SIE)}}}{\frac{V_{i(sol)}}{V_{(sol)}}}$$

- Ako je gustoća sloja (podloge) jednaka  $\rho$ , izražena u gramima suhog izmjenjivača po  $\text{cm}^3$  sloja, slijedi da je:

$$KV = Kg \rho$$

# Donannova teorija membrane

$$a_{AX} = a_{AX}$$

$$a_{A^+} + a_{X^-} = a_{A^+} + a_{X^-}$$

$$[A^+] = [X^-]$$

$$(A^+) = (X^-) + (\text{polianion})$$

$$a_{A^+} + a_{X^-} = a_{A^+} + a_{X^-}$$

$$a_{B^+} + a_{X^-} = a_{B^+} + a_{X^-}$$

$$\frac{(A) * \gamma_A}{(B) * \gamma_B} = \frac{[A] * f_A}{[B] * f_B}$$

$$\frac{\gamma_A * f_A}{\gamma_B * f_B} = \frac{(B) * [A]}{(A) * [B]} = K_{cA}^B$$

$$\frac{\gamma_A * f_A}{\gamma_B * f_B} = \frac{(B) * [A]}{(A) * [B]} = K_{cA}^B$$

Uzrok selektivnosti je razlika u aktivitetima iona u izmjenjivaču i otopini,

Svi faktori koji utječu na aktivitet iona B utječu na selektivnost izmjenjivača

# Donannova teorija membrane

- Ne objašnjava utjecaj elastičnosti kostura na selektivnost
  - Gregor-ovim modelom upotpunjena je jednačba za selektivnost

$$\ln K_{cA}^B = \ln f_A / f_B - \ln \gamma_B / \gamma_A + \pi(\bar{v}_A - \bar{v}_B) / RT$$

$\Delta G =$	$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a^\circ(C) * a^p(D)}{a^m(A) * a^n(B)}$
$\Delta G^\circ$	$\Delta G^\circ \mapsto$ tabelirana vrijednost
$\Delta G^\circ$	$\Delta G^\circ + RT \ln \frac{a^\circ(C) * a^p(D)}{a^m(A) * a^n(B)} = 0$
$\frac{a^\circ(C)}{a^m(A)}$	$\frac{a^\circ(C) * a^p(D)}{a^m(A) * a^n(B)} = K$
$\Delta G^\circ$	$\Delta G^\circ = -RT \ln K$

TLAK  
BUBRENJA

VOLUMEN  
HIDRATIZIRANOG  
IONA

# Donannova teorija membrane

- a,b veličina naboja iona A i B,

$$\frac{(B)^a * [A]^b}{(A)^a * [B]^b} = K_{cA}^B$$

$$a \neq b$$

$$\frac{(B)}{[B]} = \sqrt[a]{K_{cA}^B * \frac{(A)^b}{[A]^b}} = \left(K_{cA}^B\right)^{1/a} * \left(\frac{(A)^b}{[A]^b}\right)^{1/b} = K_d$$

$$a = b$$

$$K_d = \frac{(B)}{[B]} = K_{cA}^B * \frac{(A)}{[A]}$$

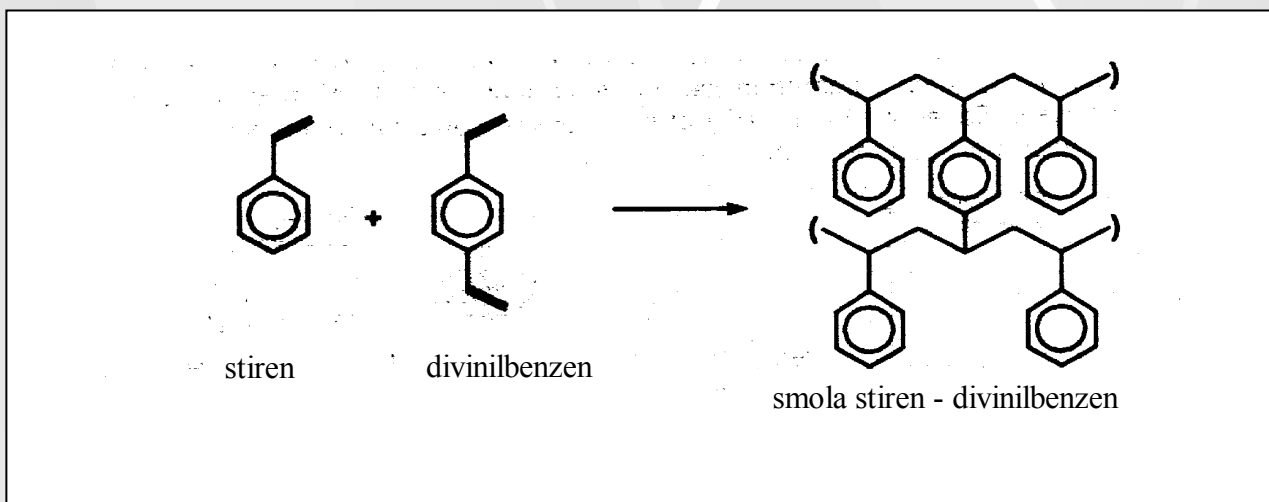
KOEFICIJENT  
RASPODJELE,  
Utezni  
Volumni

# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

- Različite komponente ispitivanog uzorka se mogu odvojiti na osnovu njihovih različitih afiniteta prema nepokretnoj fazi ionskog izmjenjivača
  - različita konstanta ravnoteže  $K$
- Najvažniji materijali za izradu ionskih izmjenjivača su sintetske smole

# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

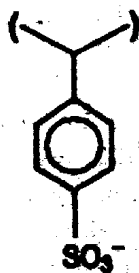
- Najčešće se kao nosač koristi kopolimer stirena i divinil benzena.



# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

- Kationski izmjenjivači se dobivaju sulfonacijom smole stirena i divinil benzena
- Anionski izmjenjivači kopolimerizacijom nakon čega slijedi aminacija

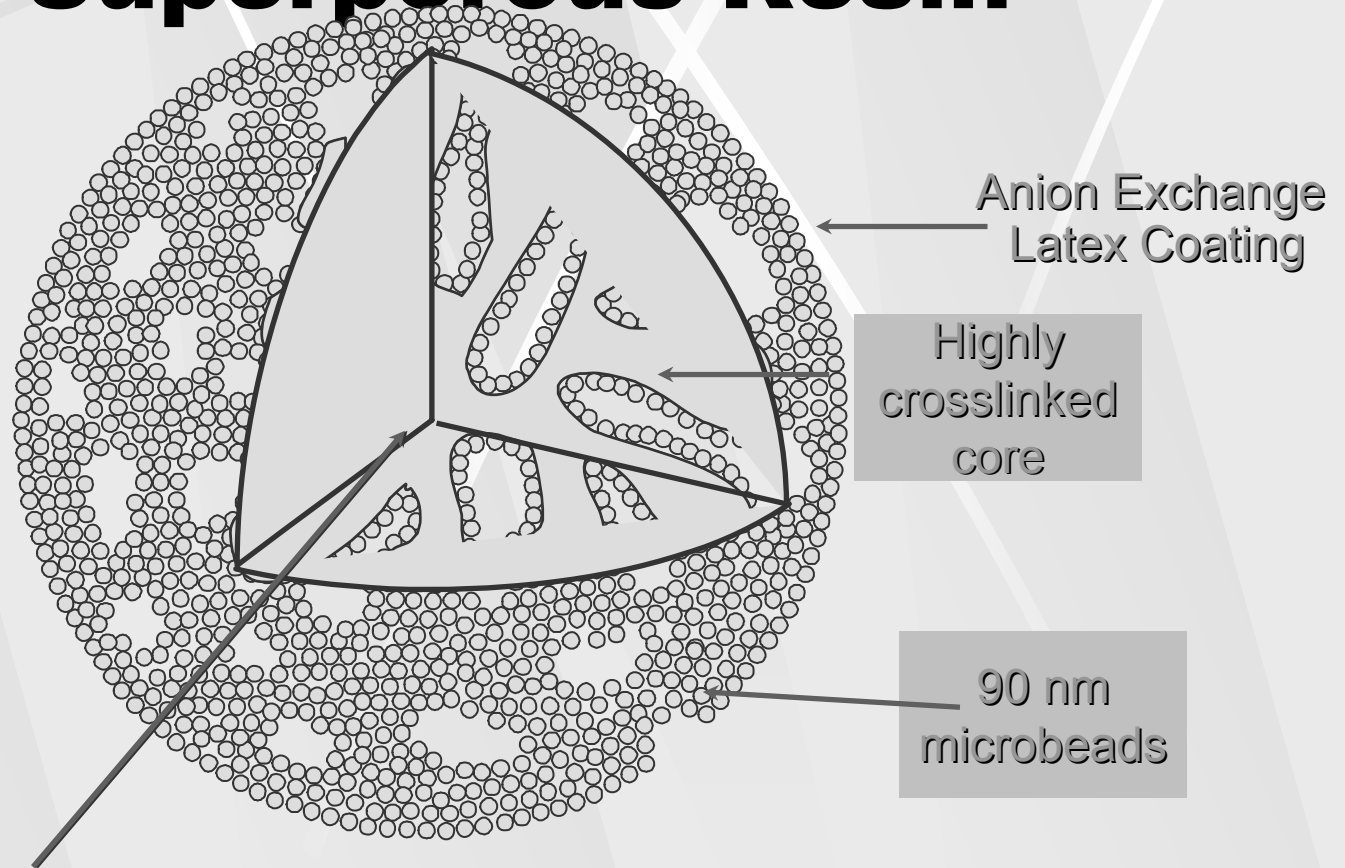
kationski  
izmjenjivač



anionski  
izmjenjivač

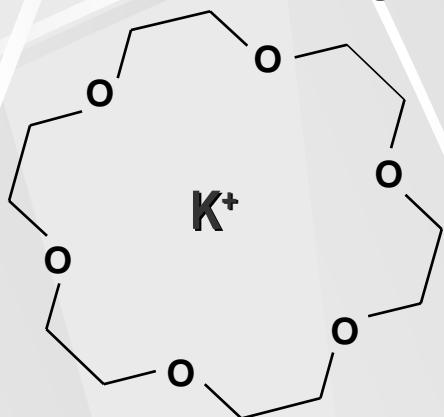


# Latex Agglomerated Superporous Resin



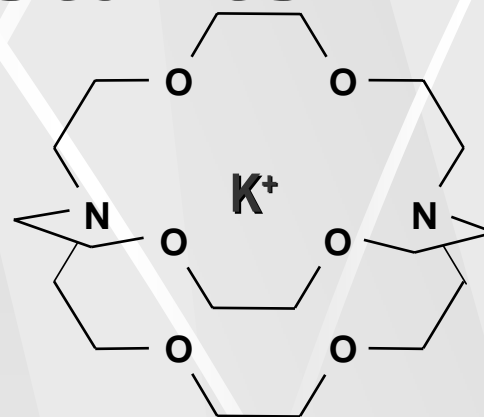
Ethylvinylbenzene - Divinylbenzene Core

# Crown Ethers, Cryptands, Binding Constants



Crown Ether

18 Crown 6



Cryptand

2,2,2

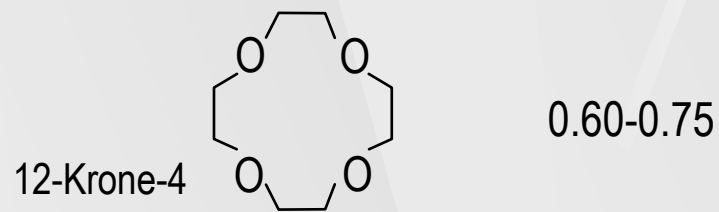
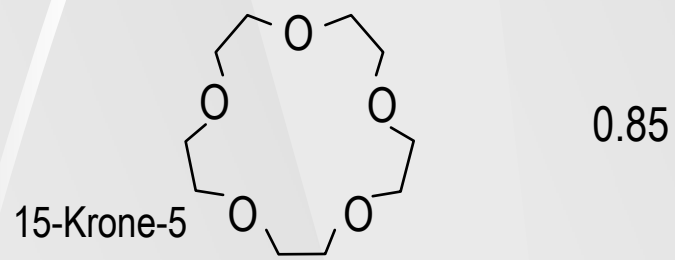
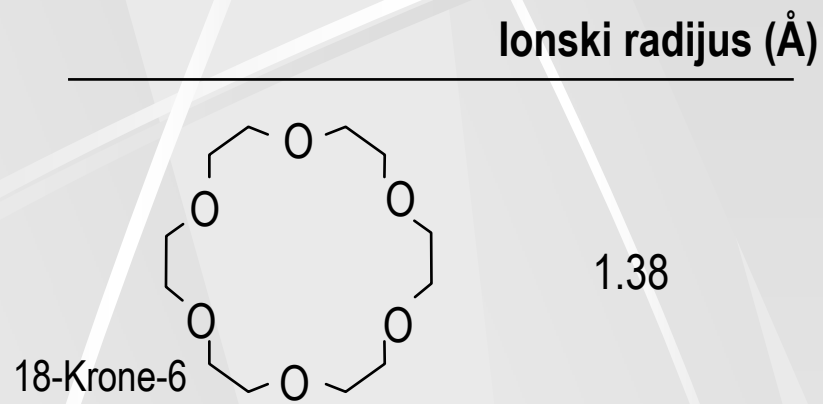
2 prstena

Konstanta veze  $K = [\text{complex}] / [\text{L}][\text{K}^+]$

log  $K$  vrijednosti u vodi za  $\text{K}^+$

1.8

5.4



**Ion**                      **Radijus (Å)**

● Li<sup>+</sup>                      0.74

● Mg<sup>2+</sup>                    0.78

● Ca<sup>2+</sup>                    1.00

● Na<sup>+</sup>                    1.02

● Ba<sup>2+</sup>                    1.36

● K<sup>+</sup>                      1.38

● NH<sub>4</sub><sup>+</sup>                    1.51

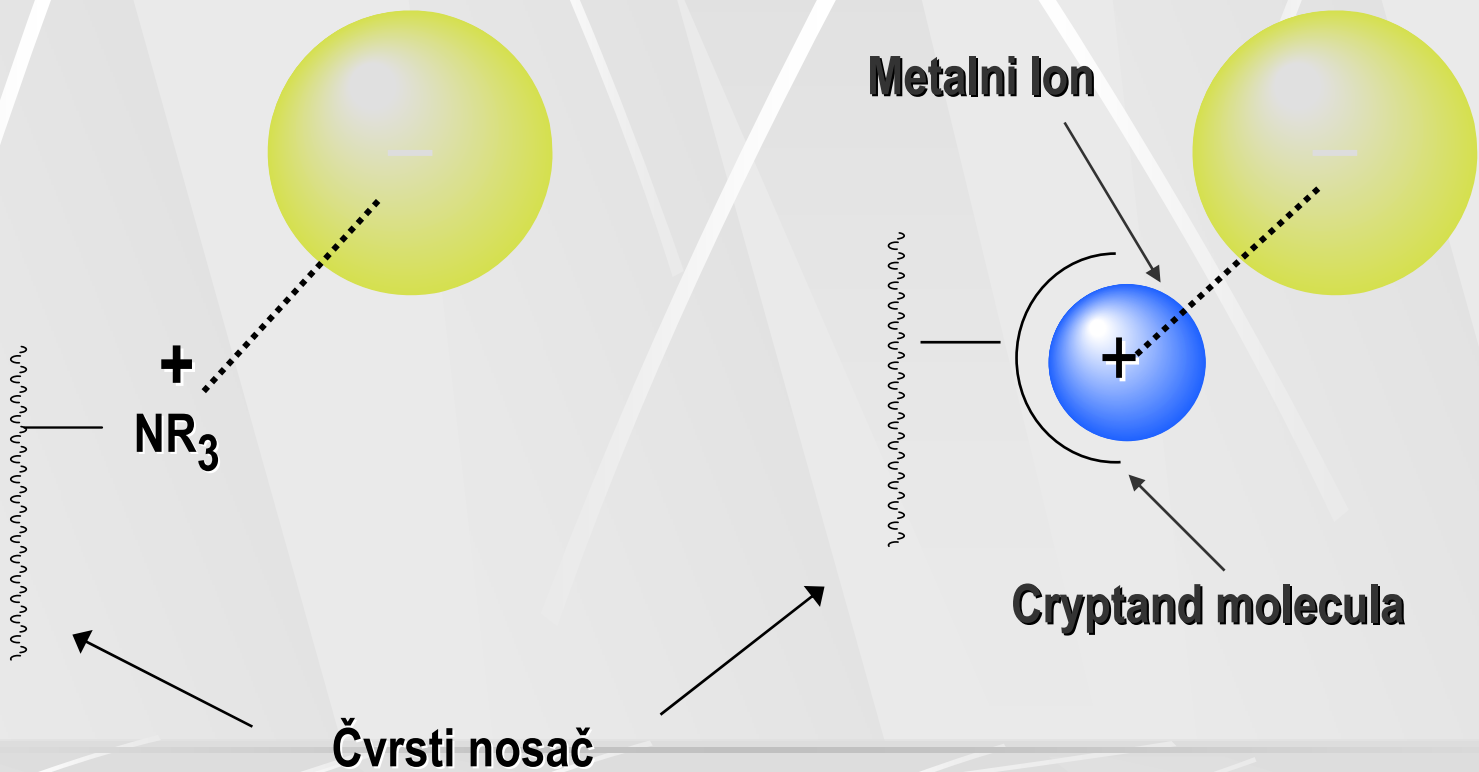
# Anionska izmjena, klasična i kriptand anionskim

## izmjenjivačima

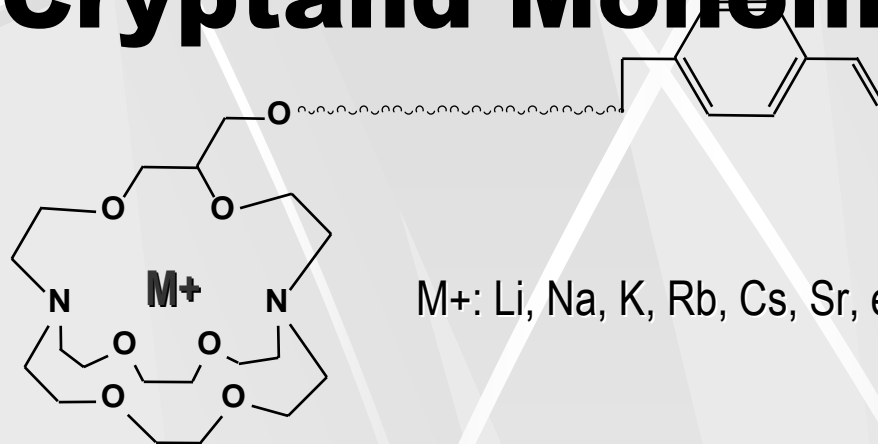
Klasična anionska izmjena

Anionska izmjena na metalnom ionu

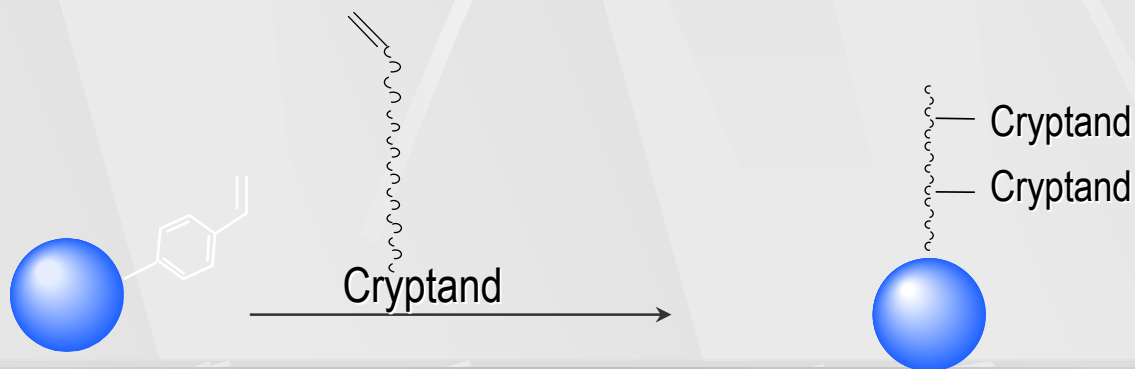
Kompleksiran pomoću kriptanda



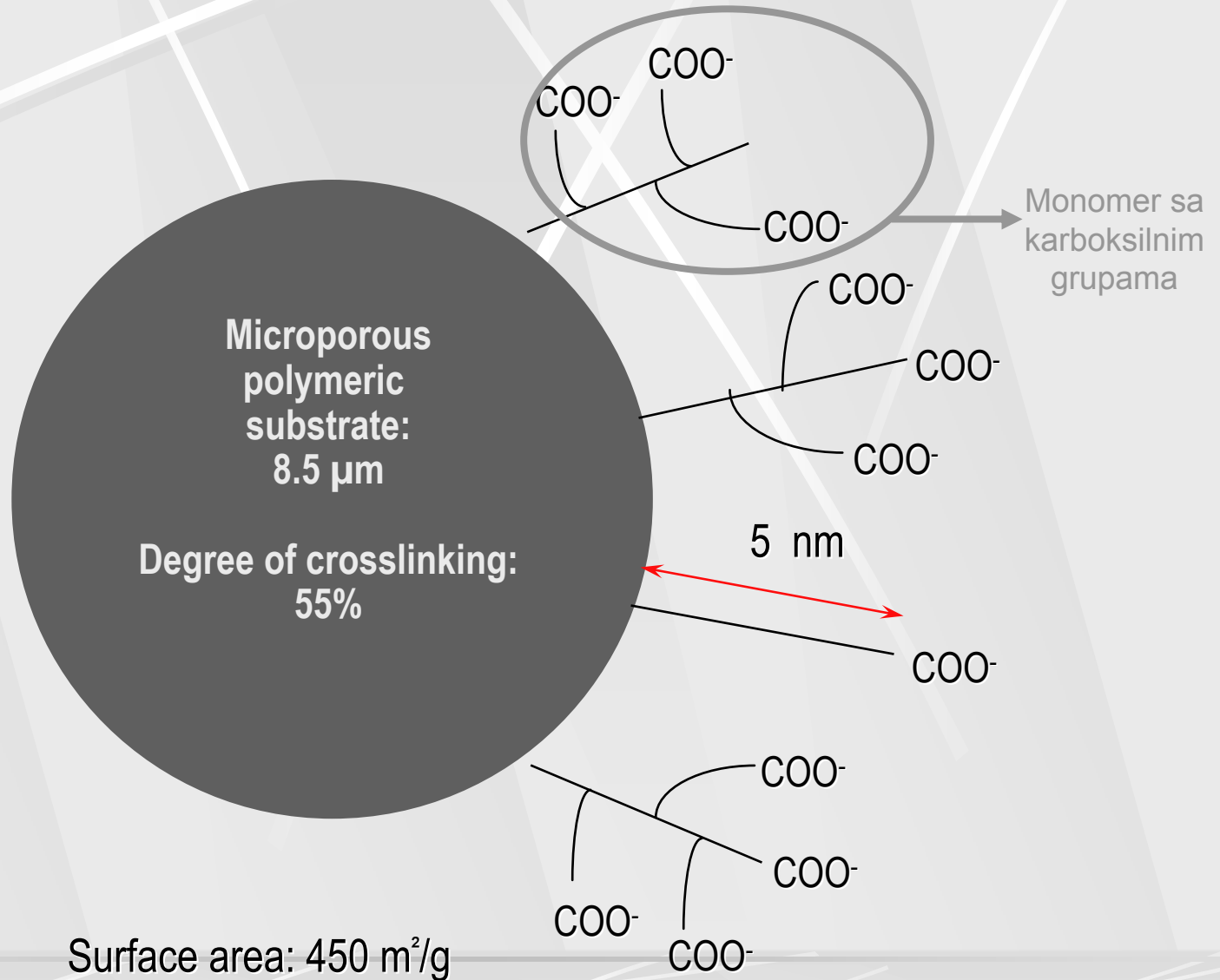
# Polystyrene-Based 2,2,2 Cryptand Monomer



Kovalentna veza kriptona na stacionarnu fazu (monomer)



# CS 12



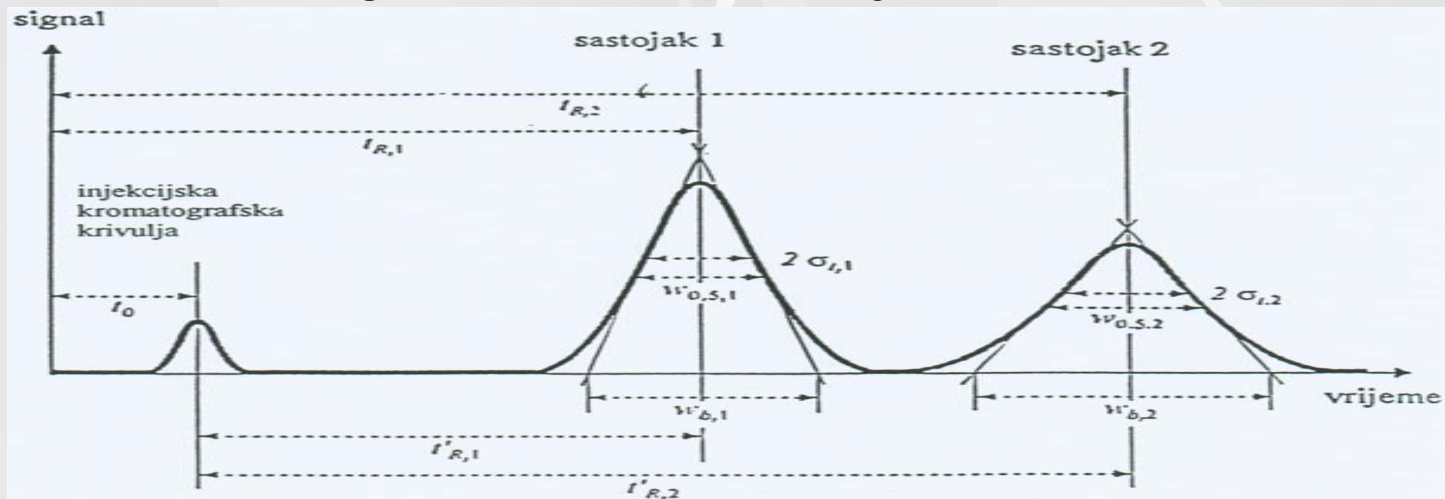


# Mehanizam odvajanja ionskom izmjenom

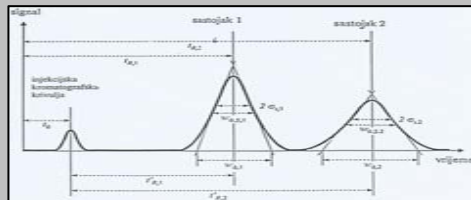
- Koriste se i
  - Drugi polimeri
  - Silika gelovi s kemijski vezanom fazom
- **Klasična izmjena** odvija statičkim postupkom ili kolonsko-dinamičkim procesom na makroporama čestica izmjenjivača velikog kapaciteta
  - veličine čestica 75 – 250  $\mu\text{m}$
- Moderna **ionska kromatografija** koristi izmjenjivačke smole niskog kapaciteta
  - veličine čestica 5 -10 $\mu\text{m}$
  - To omogućuje učinkovitu separaciju i detekciju aniona i kationa eluensom niske koncentracije.

# Karakteristične veličine u kromatografiji-kromatogram

- Vrijeme zadržavanja i širina kromatografske krivulje
  - Kromatogram je elucijska krivulja (odziv u ovisnosti koncentracije i vremena) dobivena kromatografskom separacijom.



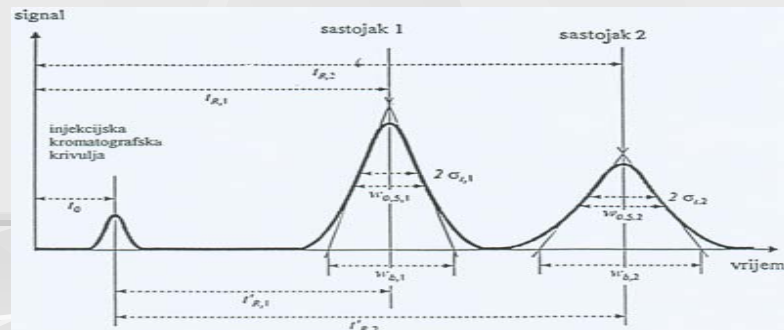
# Karakteristične veličine u kromatografiji



$t_0$	mrtvo vrijeme	vrijeme potrebno da pokretna faza proteče kroz separacijski sustav
$t_R$	vrijeme zadržavanja	vrijeme proteklo od injektiranja uzorka do pojavljivanja njegovog maksimuma na kraju separacijskog sustava
$t_R'$	ukupno vrijeme zadržavanja	vrijeme zadržavanja umanjeno za mrtvo vrijeme
$\sigma_t$	standardno odstupanje	polovina širine kromatografske krivulje u točki infleksije
$W_{0,5}$	širina kromatografske krivulje na polovini visine kromatografske krivulje	$2,345 \sigma_t$
$W_b$	širina baze kromatografske krivulje	$4 \sigma_t$

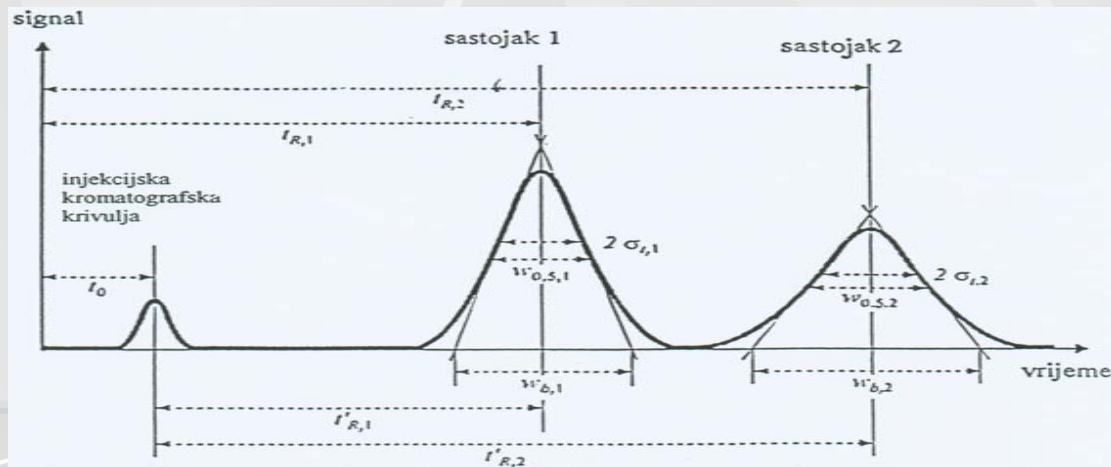
# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Parametri vremena  $t_0$ ,  $t_R$  i  $t_R'$  mogu se prevesti u parametre volumena  $V_0$ ,  $V_R$  i  $V_R'$ 
  - pri korištenju konstantnog protoka kroz kolonu
- Ako je kromatografska krivulja simetričnog oblika, ona se može s zadovoljavajućom točnošću opisati kao Gaussova krivulja.



# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Širina svake Gaussove kromatografske krivulje može se prikazati kao:
  - standardna devijacija  $\sigma_t$
  - širina kromatografske krivulje pri polovini visine  $w_{0,5}$
  - širina baze  $w_b$



# Karakteristične veličine u kromatografiji

## ● Faktor kapaciteta $k'$

- Vrijeme zadržavanja  $t_R$  je kvalitativna informacija kromatograma.
- Ono je konstantno za svaki sastojak pri konstantnim uvjetima izvođenja kromatografskog snimanja.
- Za kvalitativnu karakterizaciju određenog sastojka koristi se faktor kapaciteta  $k'$ , a ne vrijeme zadržavanja jer ono ne ovisi o uvjetima izvođenja kromatografske analize
  - (brzina protoka, koncentracija eluensa, duljina kolone)

$$k' = \frac{t_R}{t_0} = \frac{t_R - t_0}{t_0} = \frac{t_R}{t_0} - 1$$

# Karakteristične veličine u kromatografiji

## ● Faktor kapaciteta $k'$

- Niske vrijednosti  $k'$  naznačuju da odgovarajući ioni eluiraju u blizini kromatografske krivulje nezadržanih sastojaka, te je razdvajanje vrlo slabo.
- Faktor kapaciteta između 1 i 5 je optimum koji se mora koristiti pri izvođenju kromatografske analize.
- Veće  $k'$  vrijednosti dovode do preklapanja pikova
- Manje  $k'$  vrijednosti smanjuju osjetljivost detekcije i produžuju vrijeme analize.

$$\alpha = \frac{k_2'}{k_1'} = \frac{t_{R,2} - t_0}{t_{R,1} - t_0}$$

( $k_2' > k_1'$ )

# Karakteristične veličine u kromatografiji

## ● **Selektivnost $\alpha$**

- Dva sastojka se mogu odvojiti samo ako među njima postoji razlika u  $k'$  vrijednostima.
- Mjera učinkovitosti razdvajanja kromatografskog sustava naziva se selektivnost  $\alpha$ 
  - (drugi naziv je relativno zadržavanje).

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- **Broj teorijski odsječaka (tavana)**
  - Važna veličina pri karakterizaciji separacijskog sustava.
  - Teoretski odsječak je definiran kao zona separacijskog sustava, gdje je uspostavljena termodinamička ravnoteža između koncentracije sastojka u pokretnoj i u nepokretnoj fazi.
  - Ako se pretpostavi Gaussov oblik krivulje, broj teoretskih odsječaka  $N$  za krivulje sa relativno velikim vremenima zadržavanja mogu se izračunati uz pomoć parametara vremena zadržavanja i širine kromatografske krivulje očitanih iz kromatograma:

$$N = \left( \frac{t_R}{\sigma_t} \right)^2 = 5,54 \left( \frac{t_R}{w_{0,5}} \right)^2 = 16 \left( \frac{t_R}{w_b} \right)^2$$

# Karakteristične veličine u kromatografiji

## ● Razlučivanje R

- Mjera kvalitete razdvajanja između dvije susjedne krivulje je razlučivanje:

$$R = \frac{2(t_{R,2} - t_{R,1})}{w_{b,1} + w_{b,2}} = \frac{1,177(t_{R,2} - t_{R,1})}{w_{0,5,1} + w_{0,5,2}}$$

- Razlučivanje R je broj, koji pokazuje koliko puta širina kromatografske krivulje  $w_b$  može stati u udaljenost između ta dvije kromatografske krivulje.
- Pri razlučivanju  $R=0,5$  još uvijek se mogu prepoznati obe kromatografske krivulje, dok je za kvantitativnu analizu potreban  $R=1,5$ . Veći R od 1,5 nije potreban i dovodi samo do nepotrebnog produživanja vremena analize.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Razlučivanje R ovisi o slijedećim parametrima:

- $k_2'$ 
  - faktor kapaciteta sastojka koji zadnji eluira
- selektivnosti  $\alpha$
- broju teoretskih odsječaka N kolone:

$$R = \frac{\sqrt{N}}{4} \times \frac{\alpha - 1}{\alpha} \times \frac{k_2'}{1 + k_2'}$$

- postoje tri mogućnosti da se poboljša razlučivanje dvaju susjednih kromatografskih krivulja:
  - 1. Variranje  $k'$  vrijednosti
  - 2. Povećanje selektivnosti  $\alpha$
  - 3. Povećanje broja teoretskih odsječaka

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Razlučivanje R ovisi o slijedećim parametrima
  - 1. Variranje  $k'$  vrijednosti:
    - Faktor kapaciteta svakog pojedinog sastojka ovisi o elucijskoj snazi pokretne faze npr. mijenjanjem koncentracije eluensa mogu se povećati faktori kapaciteta ostalih sastojaka.
    - Limitirajući faktori u takvom postupku su najčešće kapacitet kolone i osjetljivost detektora.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Razlučivanje R ovisi o slijedećim parametrima
  - 2. Povećanje broja teoretskih odsječaka:
    - Što kolona posjeduje više teoretskih odsječaka to je veće razlučivanje.
    - Vremena zadržavanja također su veća, što produžuje vrijeme analize.
    - Broj teoretskih odsječaka se povećava s povećanjem učinkovitosti i povećanjem dužine kolone.
    - Kod kolone koje imaju promjer čestica  $10\mu\text{m}$  ili veće, broj teoretskih odsječaka se povećava s smanjenjem brzine protoka.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Razlučivanje R ovisi o slijedećim parametrima
  - 3. Povećanje selektivnosti:
    - Najučinkovitiji način za poboljšavanje razlučivanja uključuje povećavanje relativnog vremena zadržavanja (selektivnosti).
    - Problem se rješava izabiranjem druge kolone, koja je prikladnija za određivanje spojeva u tom konkretnom slučaju ili promjenom eluensa.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Razlučivanje  $R$  ovisi o slijedećim parametrima
  - Povećanje selektivnosti:
    - Ako se određena kolona i određeni eluens moraju koristiti, tada je broj teoretskih odsječaka ključan za kontrolu razlučivanja.
    - Za danu duljinu kolone broj teoretskih odsječaka ovisi samo o kvaliteti pakiranja materijala od kojeg su kolone izrađene.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Faktor asimetričnosti T
  - Elucijski kromatografski signal često nije oblika Gaussove krivulje.
  - Asimetričan oblik kromatografska krivulja se naziva rep.
  - Asimetričnost kromatografske krivulje se prikazuje faktorom asimetričnosti T (faktor razvlačenja) s vrijednostima a i b, koje se određuju pri 10 % visine kromatografske krivulje:

$$T = \frac{b}{a}$$

# Karakteristične veličine u kromatografiji

## ● Faktor asimetričnosti T

- Za slobodnu procjenu površine kromatografske krivulje, T mora biti manji od 2,5.
- Vrijednosti T veće od 2,5 pokazuju da se kromatografska krivulja može prepoznati samo s velikim teškoćama.
- Razvlačenje kromatografskih krivulja ima niz razloga:
  - Zadržani volumen
  - Preopterećivanje kolone
  - Kemijski efekti

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Faktor asimetričnosti T
  - Zadržani volumen
    - Zadržani volumen između injektora i detektora dovodi do preklapanja kromatografskih krivulja i nastanka repova.
    - Asimetričnost je više izražena kod pikova koji eluiraju ranije te se povećava s povećanjem brzine protoka.

## ● Faktor asimetričnosti T

### ● Preopterećivanje kolone

- Ako je previše uzorka injektirano npr. više od maksimalne dozvoljene količine, dolazi do pojavljivanja preklapanja pikova i pojavljivanja repova.
- Preopterećivanje kolone se prepoznaje po smanjivanju faktora kapaciteta za više od 10%.

# Karakteristične veličine u kromatografiji

- Faktor asimetričnosti T
  - Kemijski efekti
    - Mehanizam separacije ionskom izmjenom je nerijetko pod utjecajem još jednog mehanizma npr. adsorpcije.
    - Što je manji protok to su kemijski efekti više izraženi i dolazi do razvlačenja kromatograma ( kompleksiranje, hidroliza, redoks reakcija)

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Kromatografski parametri specifični za svaki kromatografski sustav
  - vrijeme zadržavanja,
  - oblik kromatografske krivulje
  - zadržano vrijeme
- Uz separacijsku kolonu prilaže i test kolone, koji prikazuje da se separacija postiže pri točno definiranim uvjetima.

ovise o koloni,  
eluensu i brzini protoka!!!

# Ionsko kromatografsko razdvajanje- ELUENS

## ● Utjecaj sastava eluensa za separaciju

- Tokom separacije na ionskim izmjenjivačkim kolonama mali ioni prije eluiraju nego veliki, a monovalentni prije nego di i tri valentni ioni.
- Kada se kao eluens upotrebljava otopina hidrogen karbonata i karbonata
  - (pH 9...10; smjesa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  i  $\text{NaHCO}_3$ )
- anioni eluiraju ovim redom:
  - flourid, klorid, nitrit, bromid, nitrat, fosfat, sulfat, arsenat, selenat itd.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluens

- Utjecaj sastava eluensa za separaciju
  - Ako je pH eluensa pomaknut prema većim vrijednostima, doći će do disocijacije fosfata i arsenata, odnosno
    - $\text{HPO}_4^{2-}$  prelazi u  $\text{PO}_4^{3-}$  i
    - $\text{HAsO}_4^{2-}$  prelazi u  $\text{AsO}_4^{3-}$ .
  - Zbog toga, povećanje koncentracije  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  u eluensu dovodi do pomaka kromatografska krivulja sulfata i arsenata, koji će tada eluirati tek nakon sulfata.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluens

- Utjecaj sastava eluensa za separaciju
  - Kod određivanja kationa, vremena zadržavanja mogu se pomicati dodatkom pogodnog liganda eluensu.
  - Upotreba selektivnijeg liganda za kation rezultira njegovim manjim utjecajem na vremena zadržavanja ostalih kationa.
  - Ta metoda se posebno koristi kod određivanja kationa prijelaznih metala.
  - Ligand se također koristi za postizanje boljeg razdvajanja kationa alkalijskih metala te boljeg razdvajanja natrijevih kalijevih i amonijevih iona

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Utjecaj na kromatogram: sustavna kromatografska krivulja
  - Ionski eluensi, koji se normalno koriste u ionskoj kromatografiji, se natječu s analitom za mjesta na ionskom izmjenjivaču.
  - Točno je određeno vrijeme zadržavanja iona eluensa kao za svaki drugi ion uzorka i ovisi o parametrima kromatografskog sustava.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluens

- Utjecaj na kromatogram: sustavna kromatografska krivulja
  - Kada se uzorak injektira u kromatografski sustav, protok eluensa je ometen s uzorkom (voda s malom koncentracijom analita) doći će do nastanka negativne relativne koncentracije eluensa s obzirom na čisti eluens, koji prolazi sustavom.
  - To dovodi do negativne kromatografske krivulje s istim vremenom zadržavanja, koje ima anion eluensa.
  - Ta kromatografska krivulja se ne smije zamjeniti s kromatografskom krivuljom vode, koja nastaje na početku kromatograma (zadržano vrijeme).

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Utjecaj na kromatogram: sustavna kromatografska krivulja
  - Kromatografske krivulje koje se mogu pripisati ionima eluensa nazivaju se sustavne kromatografske krivulje.
  - One se ne pojavljuju samo kada eluira ion eluensa, nego nastaju i kod svake kemijske reakcije eluensa s uzorkom.
  - Primjeri za to su variranje pH, zbog kojeg dolazi do pomicanja disocijacijske ravnoteže ili reakcije metalnih iona s ionom eluensa (npr.  $\text{Ca}^{2+}$  s  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Utjecaj na kromatogram: sustavna kromatografska krivulja
  - Sustavne kromatografske krivulje se najčešće pojavljuju u direktnoj ionskoj kromatografiji, jer se mjerenje izvodi pri visokom stupnju vodljivosti pa su male razlike u ionskoj jakosti eluensa vrlo uočljive.
  - Za razliku od toga, mjerenja tehnikom ionske kromatografije s ionskim supresorom se odvijaju pri niskom stupnju vodljivosti, pa je i sustavna kromatografska krivulja razumljivo manja.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Utjecaj na kromatogram: sustavna kromatografska krivulja
  - U tom slučaju sustavna kromatografska krivulja karbonata je namjerno zanemarena, obzirom da se nalazi u području kromatografske krivulje klorida na koloni polistiren / divinilbenzen
  - Tek otkako su u upotrebi akrilne kolone, može se jasno zaključiti prisutnost karbonatne sustavne kromatografske krivulje, koja je dovodi do krivih rezultata.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi u izmjenjivačkoj kromatografiji aniona--supresor
  - Izbor eluensa ovisi o sustavu detekcije koji primjenjujemo.
  - Budući da se za detekciju organskih i anorganskih iona uglavnom koristi postupak mjerenja vodljivosti, eluense možemo podijeliti na:
    - eluense za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
    - eluense za detekciju vodljivosti s elektronskom supresijom

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
  - Eluensi ove skupine su soli slabih kiselina koje pokazuju slabu vodljivost, nakon kemijske modifikacije unutar supresorskog sustava.
  - U počecima se koristio Na-fenolat za razdvajanje nepolarnih anorganskih i organskih aniona.
  - Postignuto je dobro razdvajanje, ali su i najmanji prisutni tragovi kisika u pokretnoj fazi uzrokovali oksidaciju sastojka eluensa i trovanje nepokretne faze produktima oksidacije.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
  - Danas se Na-fenolat više ne koristi zbog toksičnosti fenola.
  - Smjesa Na-karbonata i Na-bikarbonata se često koristi, jer se snaga elucije i selektivnost određuju omjerom koncentracije ovih dviju komponenti.
  - Tako je moguće odijeliti velik broj anorganskih i organskih iona.
  - Kao produkt supresorske reakcije nastaje  $\text{H}_2\text{CO}_3$  koja je slabo disocirana i zato je vodljivost pozadinskog signala niska.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
  - Također se kao eluens koriste i aminokiseline ( $\alpha$  - aminokarboksilna kiselina) koje su u alkalnom području pH u anionskom obliku zbog disocijacije karboksilne grupe. Produkt supresorske reakcije je  $^+\text{NH}_3\text{-CH}_2\text{-COO}^-$  sa niskom vodljivošću.
  - Slična niska vodljivost dobiva se i kod N-supstituiranih aminoalkilsulfonskih kiselina.
  - Nekad se koristio i NaOH kao eluens.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje -eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
  - OH<sup>-</sup> ioni imaju vrlo mali afinitet prema nepokretnoj fazi i zato treba uzeti relativno visoke koncentracije za eluciju aniona sa dva i više negativnih naboja.
  - To utječe na vodljivost pozadinskog signala, jer čak i moderni supresori imaju ograničen kapacitet izmjene.
  - Tetraborat ima slično nizak afinitet prema nepokretnoj fazi. Služi za razdvajanje fluorida i kratkolančanih alifatskih karboksilnih kiselina. Kao produkt supresorske reakcije nastaje slabo disocirana H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>

# Ionsko kromatografsko razdvajanje -eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s kemijskom supresijom
  - Aromatske aminokiseline (npr. tirozin) smanjuju vrijeme zadržavanja polarnih aniona kod  $\text{pH} > 7$  i imaju relativno veliku snagu elucije.
  - Slične karakteristike ima i p-cijanofenol kad se doda u smjesu Na-karbonat / Na-bikarbonat.
  - Time je moguće razdvojiti velik broj aniona pomoću pogodne nepokretne faze i detektirati ih mjerenjem vodljivosti.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - Eluensi druge skupine moraju imati nisku vodljivost pozadinskog signala da bi omogućili osjetljivu detekciju vodljivosti analiziranih aniona.
  - Koriste se benzoati, ftalati i sulfobenzoati zbog zadovoljavajućeg afiniteta prema nepokretnoj fazi i zbog relativno niske vodljivosti.
  - Kod upotrebe aromatskih karboksilnih kiselina pH vrijednost pokretne faze mora biti između 4 i 7 jer pH utječe na stupanj disocijacije organskih kiselina i na vrijeme zadržavanja sastojaka koje analiziramo.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - Koncentracije eluensa koji se koriste za eluciju s elektroničkim supresorom, puno su više od koncentracija eluensa na bazi Na-karbonat / Na-bikarbonat nakon prolaza kroz supresorski sustav.
  - Visoka vodljivost pozadinskog signala pri upotrebi tih eluensa, sa vrijednostima 60-160 S/cm smanjuju mogućnosti detekcije i linearnost detektora.
  - Novijim istraživanjima je utvrđeno da je vodljivost niža, ako se pH pokretne faze podesi na 7.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - Eluensi se mogu zagaditi kloridima, što će rezultirati krivim podacima kod određivanja klorida. To je čest problem kad koristimo komercijalne pH-elektrode. One uglavnom imaju Ag/AgCl referentnu elektrodu sa zasićenom otopinom KCl.
  - To se sprječava razdvajanjem referentne elektrode i eluensa.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - S aromatskim karboksilnim kiselinama moguće je odvojiti fluoride, kloride, bromide, jodide, nitrite, nitrate, ortofosfate, sulfate, tiocijanate i tiosulfate.
  - Na - i K - benzoat služe prvenstveno za separaciju monovalentnih aniona.
  - Afinitet benzoata prema nepokretnoj fazi sličan je kao kod Na - bikarbonata.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - Soli ftalne kiseline služe za separaciju mono- i di - valentnih sastojaka.
  - KOH služi za separaciju anorganskih aniona sa pK 7.
  - Zbog visokog pH pokretne faze slabe kiseline se potpuno disociraju i mogu se detektirati putem vodljivosti.
  - Vodljivost sastojaka je manja od vodljivosti pokretne faze, tako da se za ove sastojke dobiju negativni signali.
  - Ta se metoda zove indirektna detekcija vodljivosti.

# Ionsko kromatografsko razdvajanje-eluensi

- Izmjenjivačka kromatografija aniona – eluensi za detekciju vodljivosti s elektronskim supresorom
  - Podjela u dvije osnovne skupine eluensa potrebna je samo kod detekcije putem vodljivosti.
  - Kod spektrofotometrijskih i amperometrijskih detektora izbor eluensa je mnogo lakši. Kod amperometrijske detekcije koncentracija elektrolita u mobilnoj fazi mora biti 50-100 puta veća od koncentracije iona analita.
  - Kod fotometrijske detekcije uzimaju se u obzir i fotometrijske karakteristike iona eluensa i njihove kemijske karakteristike.

# Procjena i kalibracija

- procjena površine kromatografske krivulje
  - Za kromatogram, dobiven pomoću detektora vodljivosti, površina ispod kromatografske krivulje je direktno proporcionalna količini (koncentraciji) sastojka.
  - Da bi se utvrdila površina kromatografske krivulje upotrebljavaju se elektronički integratori ili programi za procjenu površine kromatografske krivulje (snimanje kromatografske krivulje, glačanje kromatografske krivulje uzimanjem u obzir i repova kromatografske krivulje).
  - Početak i završetak kromatografskih krivulja mogu se procijeniti zadovoljavajuće dobro.

# Procjena i kalibracija

- procjena visine kromatografske krivulje
  - Kada je oblik kromatografske krivulje konstantan, visina kromatografske krivulje (udaljenost između bazne linije kromatografske krivulje i maksimuma kromatografske krivulje) je karakteristika proporcionalna površini kromatografske krivulje može se koristiti pri procjeni kromatograma.
  - Visinu kromatografske krivulje je lako manualno izmjeriti, pa se zbog toga ta metoda koristi, kada je kromatogram snimljen na integratoru.

# Kalibracija

## ● 1. Kalibracija s vanjskim standardom

- Direktna usporedba magnitude signala (površine kromatografske krivulje ili visine kromatografske krivulje) u nepoznatom uzorku s standardnom otopinom iste supstance, je najčešće korištena metoda kalibracije u ionskoj kromatografiji.
- Bitno je injektirati isti volumen uzorka i standarda, pod istim kromatografskim uvjetima.
- Uzorak, koji se analizira, mora biti približno iste koncentracije kao standard, s kojim se radila kalibracija.
- Također se može sustav kalibrirati s dva ili više standarda različitih koncentracija (kalibracija u dvije točke, tri toče itd.).

# Procjena i kalibracija

- Kalibracija s vanjskim standardom
  - Ako je kalibracija napravljena u jednoj točki koncentracija uzorka se računa prema:

$$c_a = S_a \times \frac{c_{st}}{S_{st}}$$

- $c_a$ : koncentracija u analiziranom uzorku
- $c_{st}$ : koncentracija standardne otopine
- $S_a$ : signal uzorka
- $S_{st}$ : signal standardne otopine

# Procjena i kalibracija

## ● kalibracija s vanjskim standardom

- Kod kalibracije u dvije točke, prvo se nacrtava kalibracijska krivulja za određenu supstancu.
- Kalibracijska krivulja se može opisati funkcijom dobivenom iz izmjerenih točaka uz pomoć linearne regresije:

$$S_{st} = S_0 + m \times c_{st}$$

- $S_0$ : odsječak kalibracijske krivulje
- $m$ : nagib kalibracijske krivulje

# Procjena i kalibracija

- kalibracija s vanjskim standardom

- U slučaju kalibracije u dvije točke koncentracija analiziranog uzorka se može izračunati iz formule

$$c_a = \frac{S_a - S_0}{m}$$

- Magnituda signala ispitivanog uzorka mora ležati između najnižeg i najvišeg kalibracijskog standarda, obzirom da je kalibracijska krivulja definirana samo u tom području.

# Procjena i kalibracija

- 2. Kalibracija s unutarnjim standardom
  - Da bi se uzela u obzir pogreška pripreve uzorka, npr. pogreška razrijeđenja, ili da bi se odredilo iskorištenje, kalibracija se može provesti s drugom standardnom tvari, koja se dodaje uzorku i vanjskom standardu, a naziva se unutarnji standard.
  - Unutarnji standard mora eluirati što bliže ispitivanom sastojku, mora biti potpuno topljiv u otopini uzorka i standarda, mora biti slične koncentracije i slične kemijske strukture uzorka, te mora davati sličan odziv na detektoru.

# Procjena i kalibracija

- kalibracija s unutarnjim standardom
  - Kako osjetljivost unutarnjeg standarda i ispitivanog uzoraka obično nije ista, mora se prvo odrediti korelacijski faktor  $F_x$  pomoću ultra čiste kalibracijske otopine.
  - Tada se u sustav pusti poznata koncentracija ispitivanog uzorka ( $c_x$ ) i unutarnjeg standarda ( $c_{is}$ ).
  - $F_x$  se određuje iz visina izmjerenih signala  $S_i$  i  $S_x$ :

$$F_x = \frac{S_{is} \times c_x}{S_x \times c_{is}}$$

# Procjena i kalibracija

- kalibracija s unutarnjim standardom

- Ako se faktor korelacije  $F_x$  može pretpostaviti konstantnim u području mjerenja, koncentracija uzorka  $c_a$  (kojem je također dodan unutarnji standard) se može izračunati:

$$c_a = \frac{S_a}{S_{is}} \times c_{is} \times F_x$$

# Procjena i kalibracija

- 3. Metoda standardnog dodatka
  - Metoda standardnog dodatka, u ionskoj kromatografiji, se prvenstveno koristi kada se pojavljuju problemi s matriksom.
  - Poznata količina standarda se dodaje uzorku koji se određuje. Mjere se uzorak sa i bez dodatka unutarnjeg standarda.
  - Kromatografski uvjeti moraju biti identični za oba slučaja.
  - Dodatak standarda se može izvesti jednokratno ili višekratno.

# Procjena i kalibracija

- Metoda standardnog dodatka
  - U najjednostavnijem slučaju s jednim dodatkom standarda, koncentracija nepoznata uzorka  $c_a$  se može izračunati uz pomoć razlike koncentracija (između nje i poznate dodane koncentracije)  $\Delta c$  te razlike u povećanju signala  $\Delta S$ :

$$c_s = S_a \times \frac{\Delta c}{\Delta S}$$

# Procjena i kalibracija

- Metoda standardnog dodatka
  - Uz pomoć nekoliko dodataka standarda, koncentracija uzorka se može izračunati linearnom regresijom.
  - Prednost metode dodatka standarda je u njezinoj velikoj pouzdanosti, jer je kalibracija provedena pod istim utjecajima matriksa, pod kojim se nalazi ispitivani sastojak.

# Procjena i kalibracija

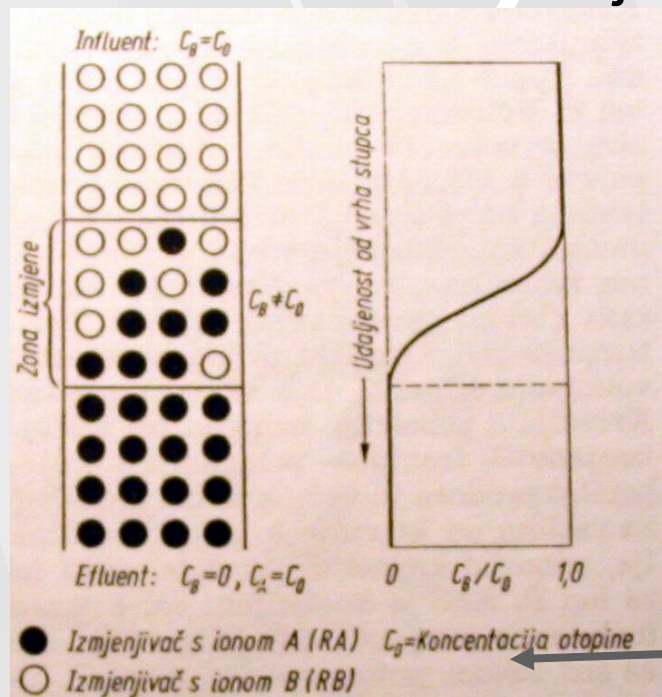
- Metoda standardnog dodatka
  - Smetnje koje nastaju s promjenom u temperaturi, tlaku itd. mogu se otkloniti čestim ponavljanjem kalibracije, te kao takve neće imati utjecaj na rezultate mjerenja.
  - Ova metoda poskupljuje postupak analize i produžuje vrijeme analize, jer je kalibraciju potrebno ponavljati za svaki uzorak, a ne samo periodično kao kod metode vanjskog standarda.

# **PRIMJENA** **ionska kromatografija u** **analizi pitkih voda**

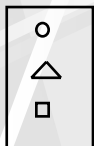


# Ionska izmjena u stupcu

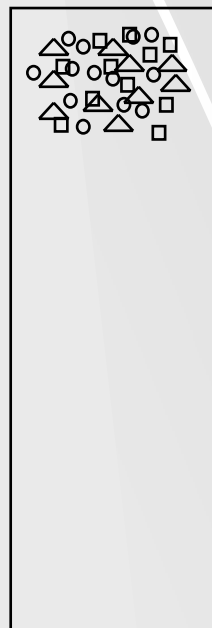
- Količina iona se postepeno smanjuje
- Otopina dolazi u dodir sa svježim izmjenjivačem



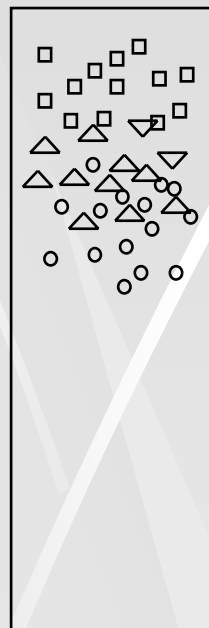
# Kromatografski proces



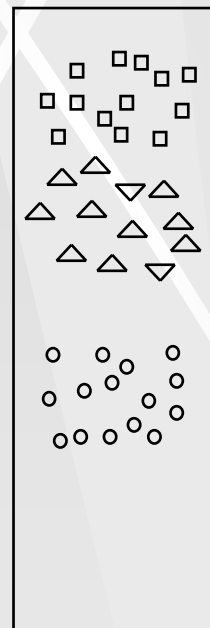
otopina



1



2



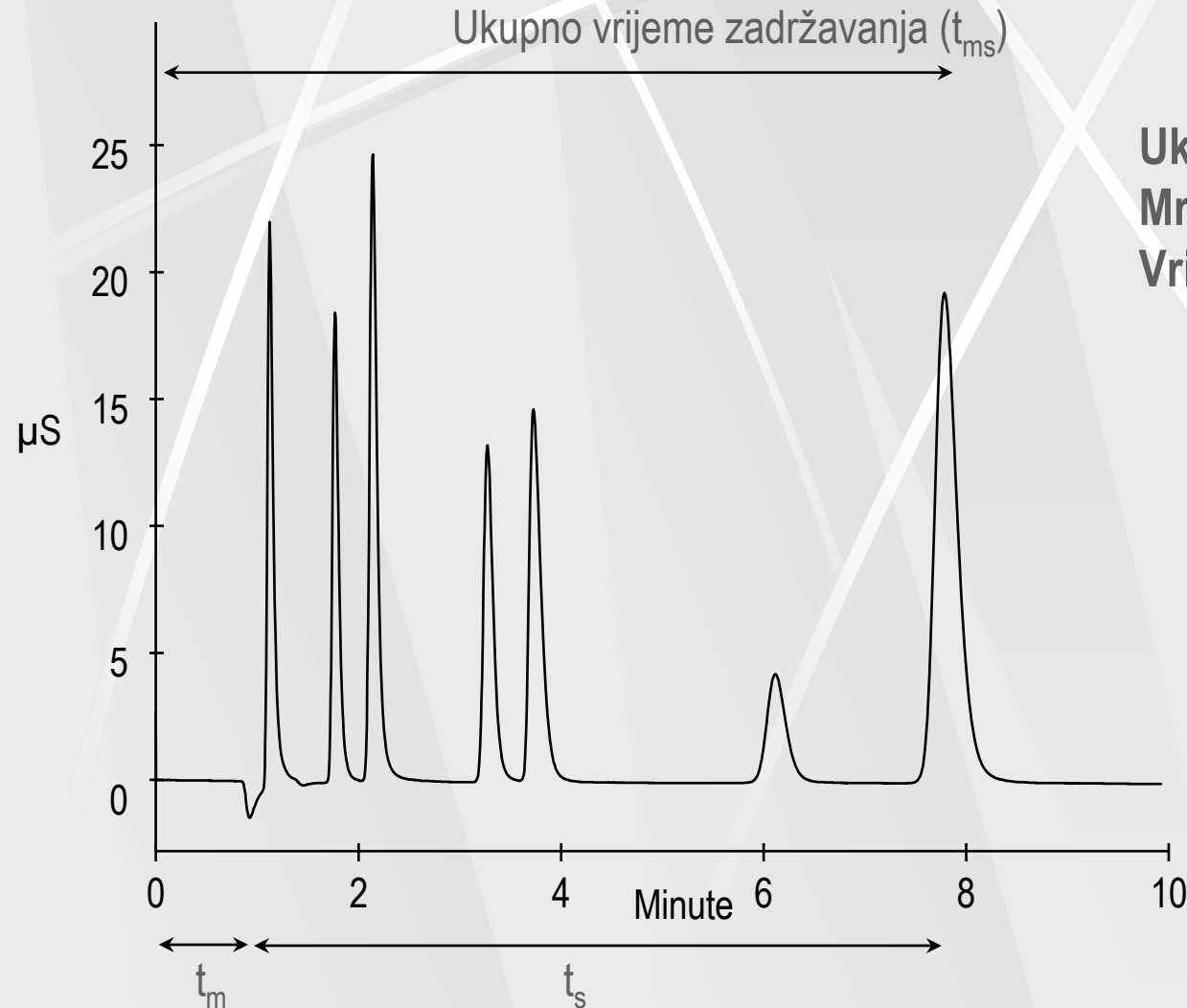
3



4



# Kromatogram



Ukupno vrijeme zadržavanja:  $t_{ms}$

Mrtvo vrijeme:  $t_m$

Vrijeme zadržavanja:  $t_s$

$$t_{ms} = t_m + t_s$$

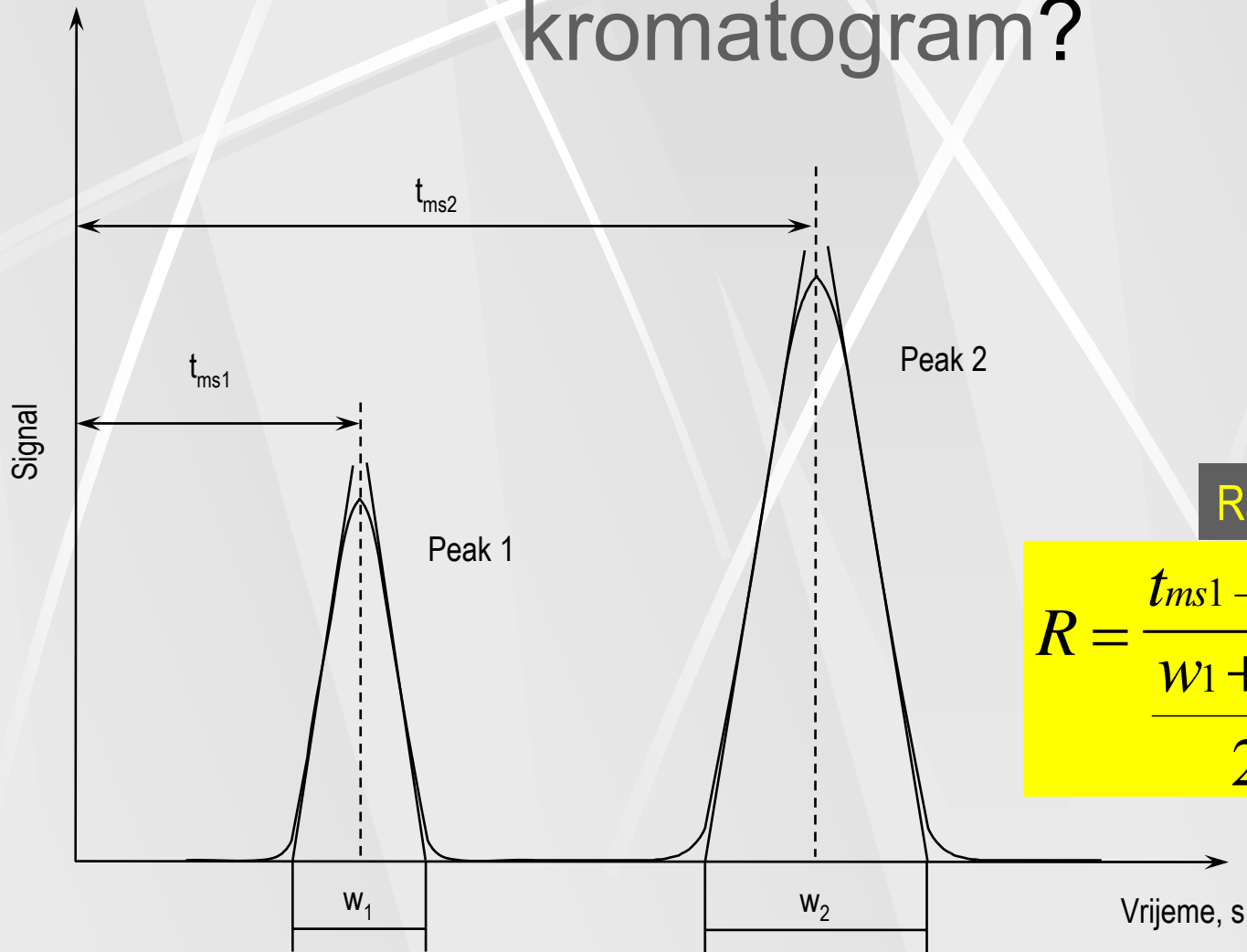
*selektivnost*

$$\alpha = \frac{t_{s2}}{t_{s1}} = \frac{t_{ms2} - t_m}{t_{ms1} - t_m}$$

Faktor kapaciteta:

$$k' = t_s / t_m$$

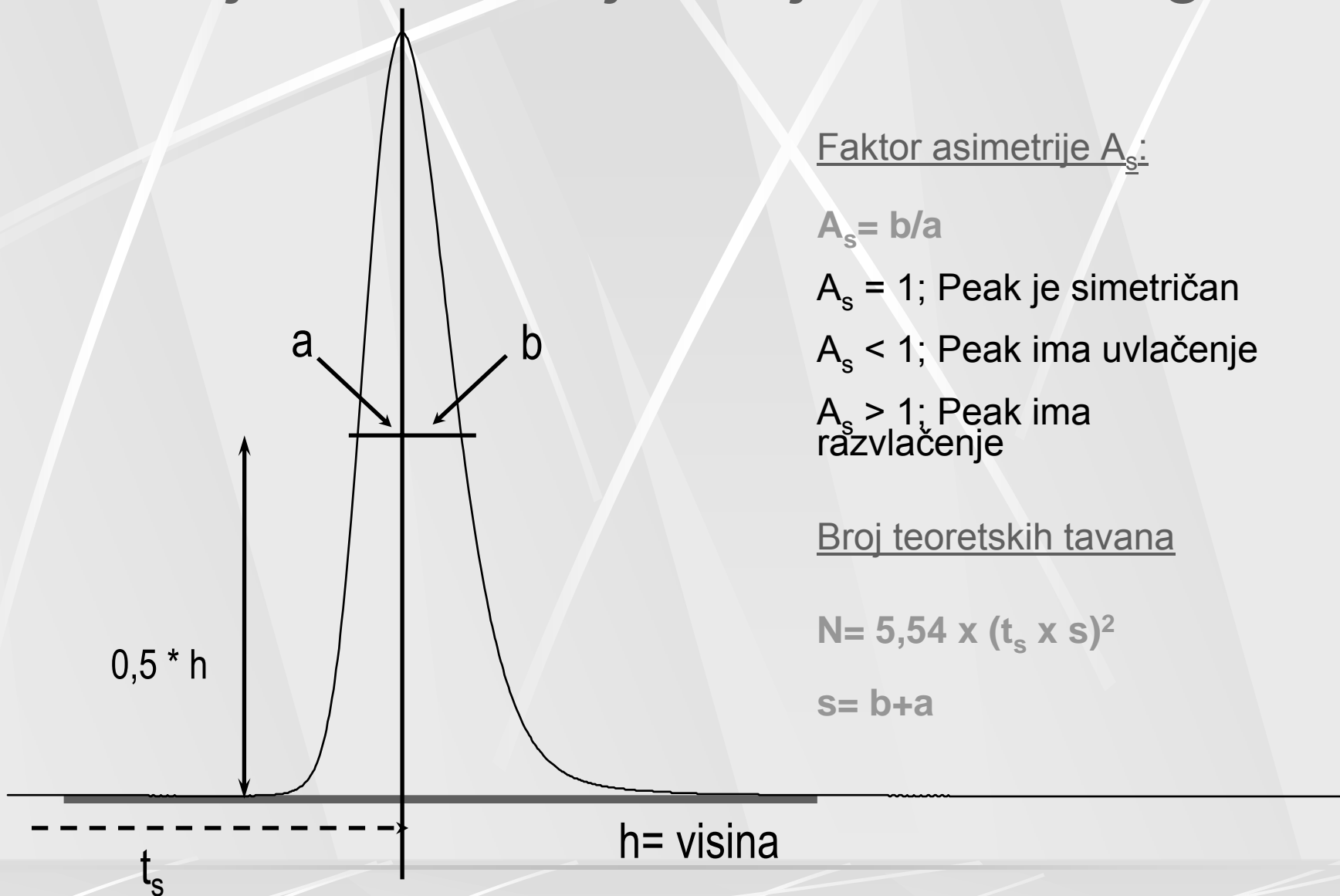
# Koje informacije “daje” kromatogram?



Razlučivanje

$$R = \frac{t_{ms1} - t_{ms2}}{\frac{w_1 + w_2}{2}} = \frac{2dt_{ms}}{w_1 + w_2}$$

# Koje informacije “daje” kromatogram?



Faktor asimetrije  $A_s$ :

$$A_s = b/a$$

$A_s = 1$ ; Peak je simetričan

$A_s < 1$ ; Peak ima uvlačenje

$A_s > 1$ ; Peak ima razvlačenje

Broj teoretskih tavana

$$N = 5,54 \times (t_s \times s)^2$$

$$s = b + a$$

# Gradijent Separacija organskih i anorganskih aniona

Column: IonPac AG11-HC, AS11-HC (4 x 250 mm)

Eluant: 2–50 mmol/L KOH (EG40) from  
13 to 43 min

Flow rate: 1.0 mL/min

Injection: 25  $\mu$ L

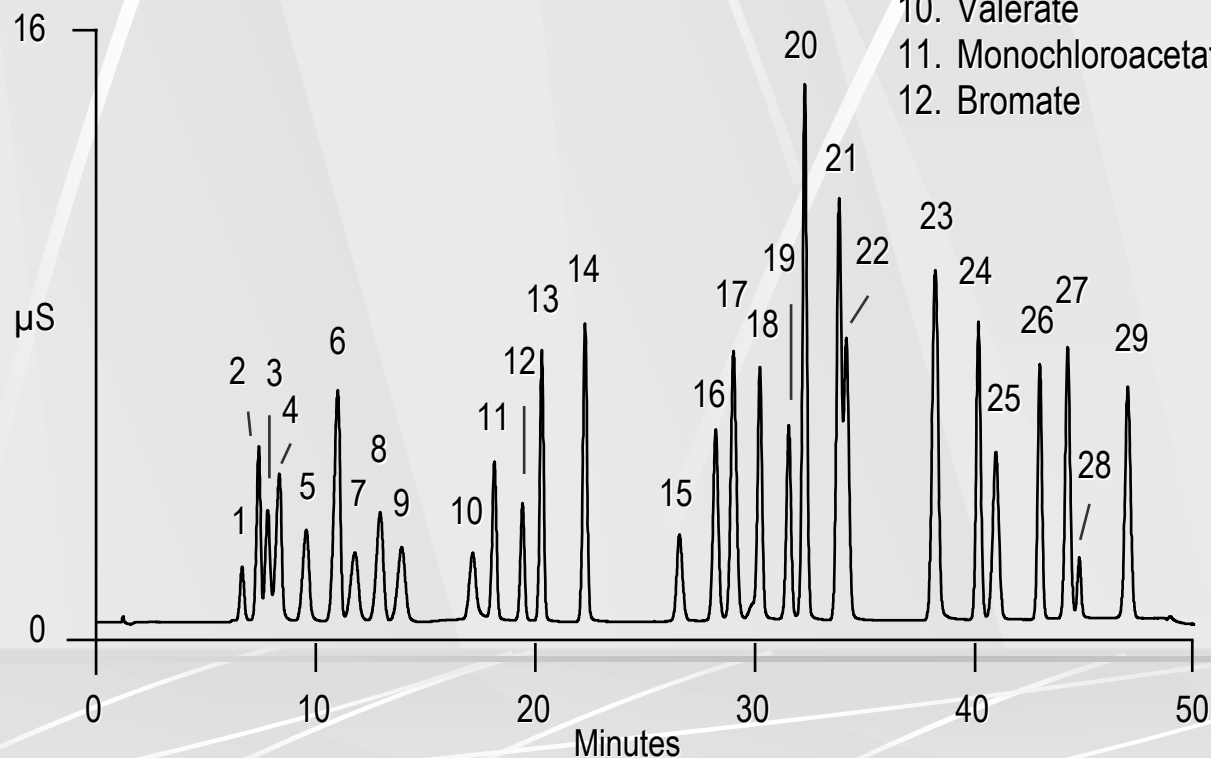
Temperature: 30  $^{\circ}$ C

Detection: Suppressed conductivity,  
Recycle mode

Peaks:

1. Quinate	1 mg/L
2. Fluoride	3
3. Lactate	10
4. Acetate	10
5. Propionate	10
6. Formate	10
7. Butyrate	10
8. Methanesulfonate	10
9. Pyruvate	10
10. Valerate	10
11. Monochloroacetate	10
12. Bromate	10

13. Chloride	5
14. Nitrite	10
15. Trifluoroacetate	10
16. Bromide	10
17. Nitrate	10
18. Malonate	15
19. Maleate	15
20. Sulfate	15
21. Oxalate	15
22. Fumarate	15
23. Tungstate	20
24. Phosphate	20
25. Phthalate	20
26. Citrate	20
27. Chromate	20
28. <i>cis</i> -Aconitate	20
29. <i>trans</i> -Aconitate	20

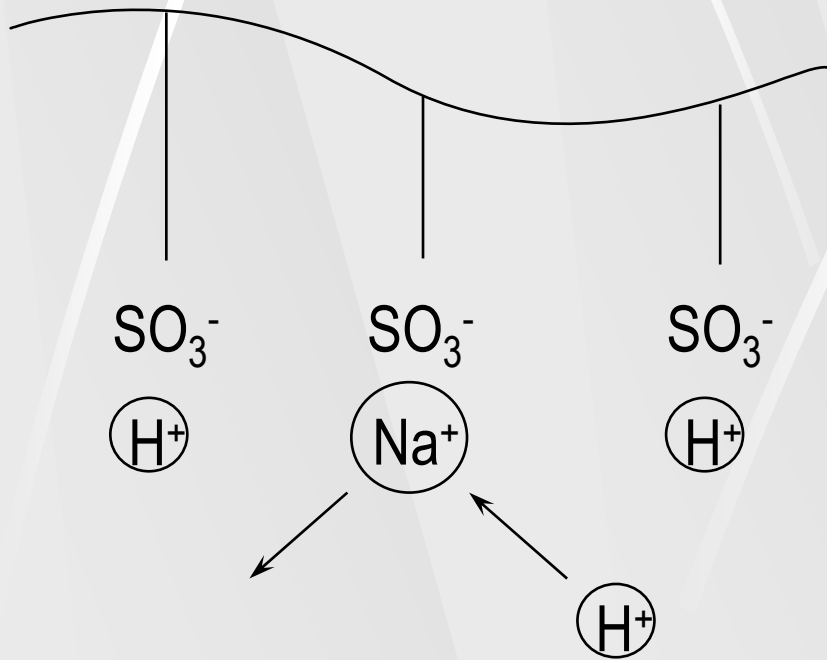




# **ANALIZA KATIONA**

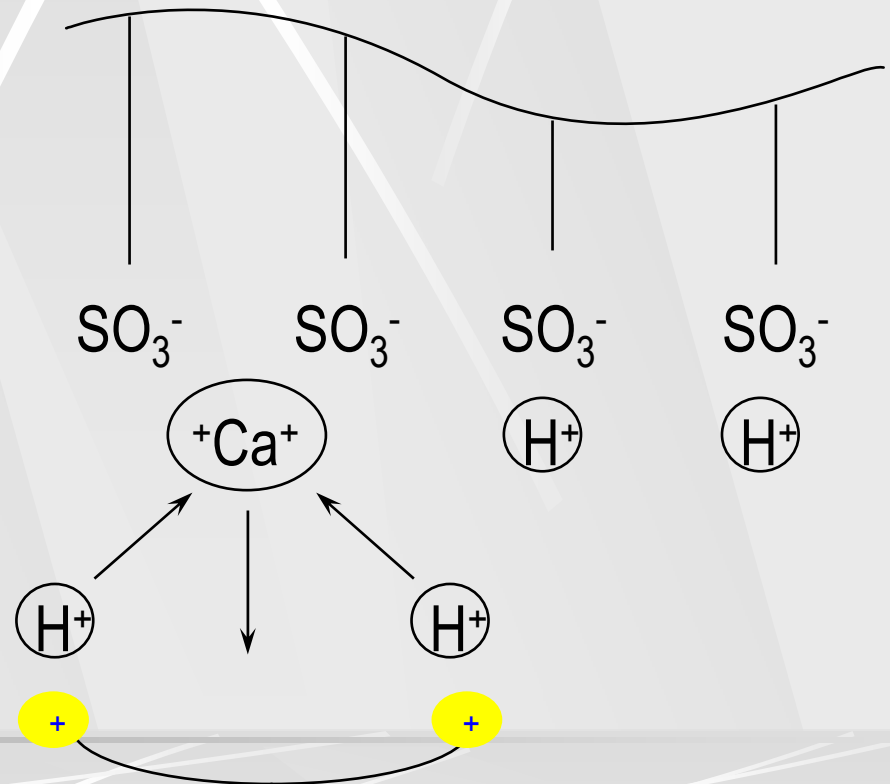
monovalenti kation

Polymer



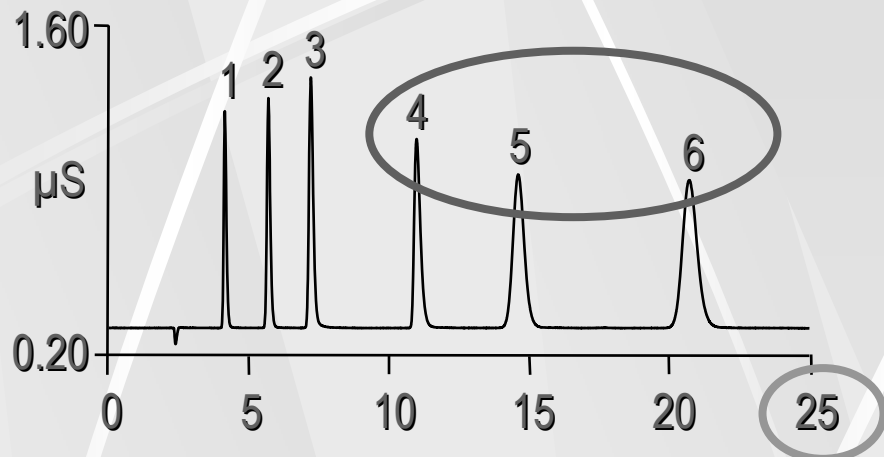
divalenti kation

Polymer



# IonPac CS16-5 $\mu$ m (5 x 250 mm)

30 mmol/L MSA

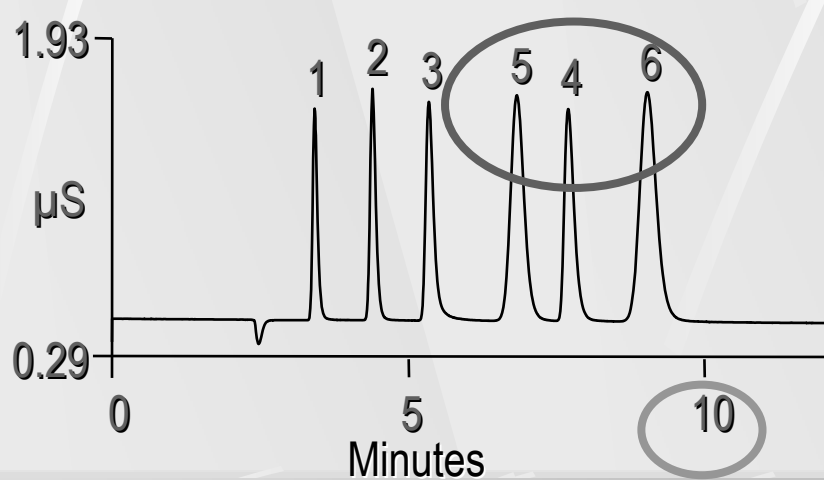


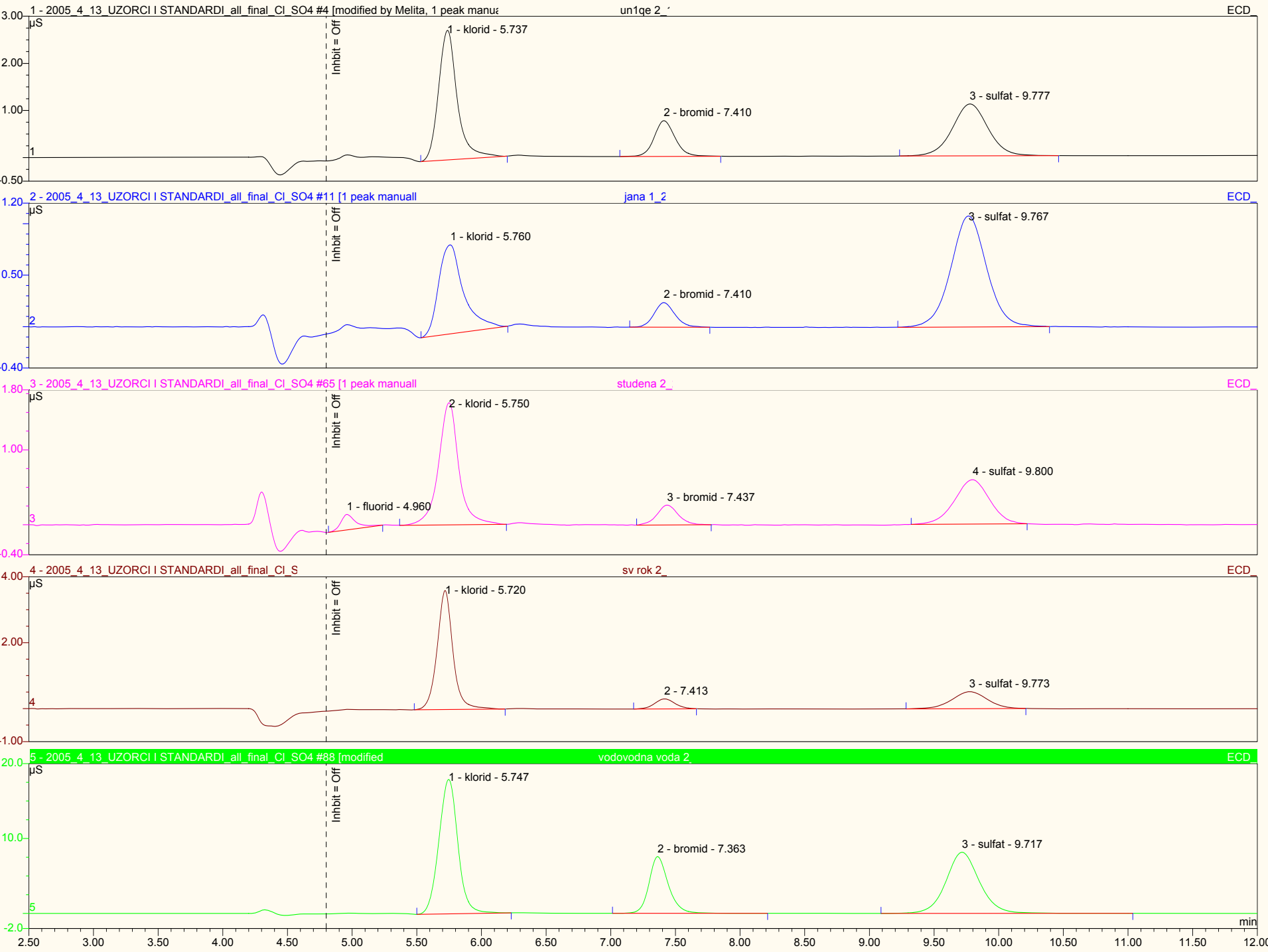
Flow rate: 1.0 mL/min  
Inj. volume: 25  $\mu$ L  
Temperature: 40°C  
Detection: Suppressed conductivity,  
AutoSuppression, Recycle  
Mode

Peaks:

1. Lithium	0.1 mg/L
2. Sodium	0.4
3. Ammonium	0.5
4. Potassium	1.0
5. Magnesium	0.5
6. Calcium	1.0

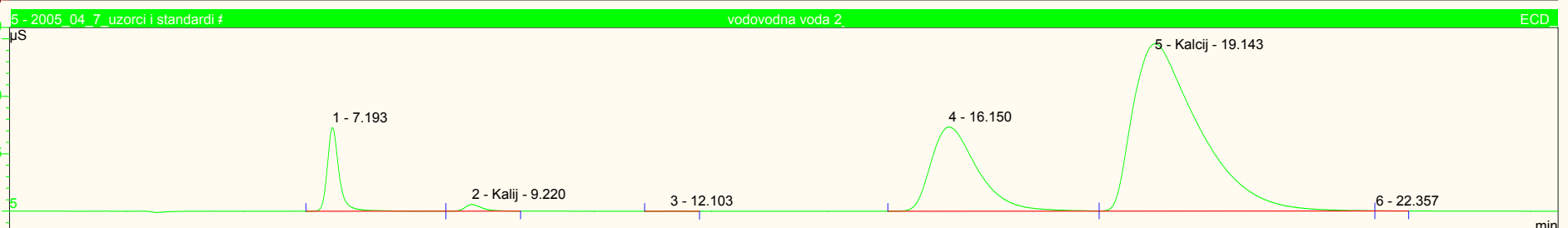
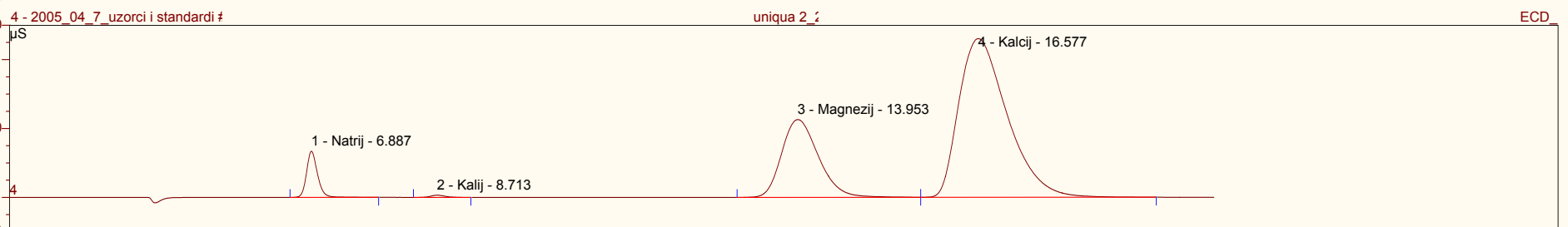
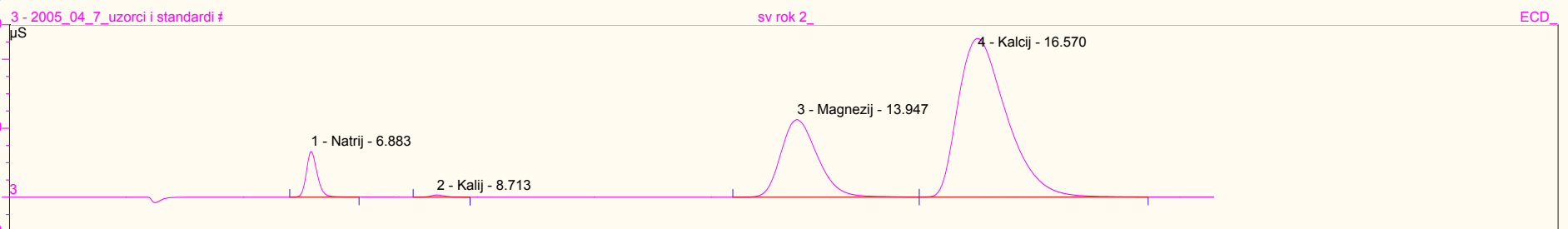
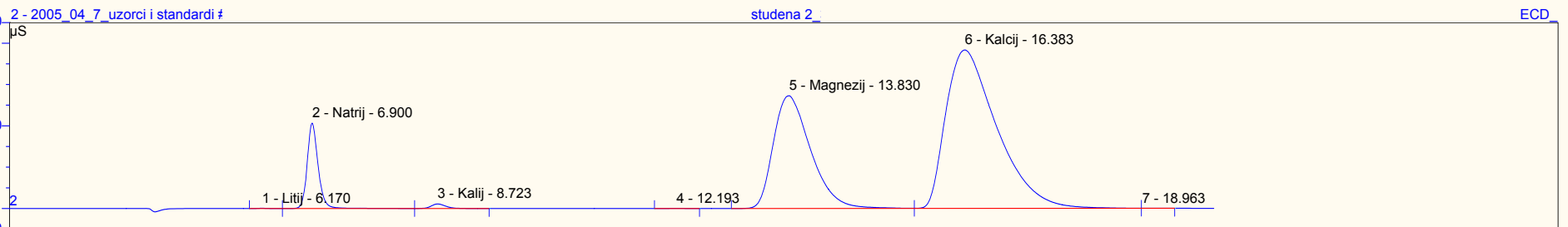
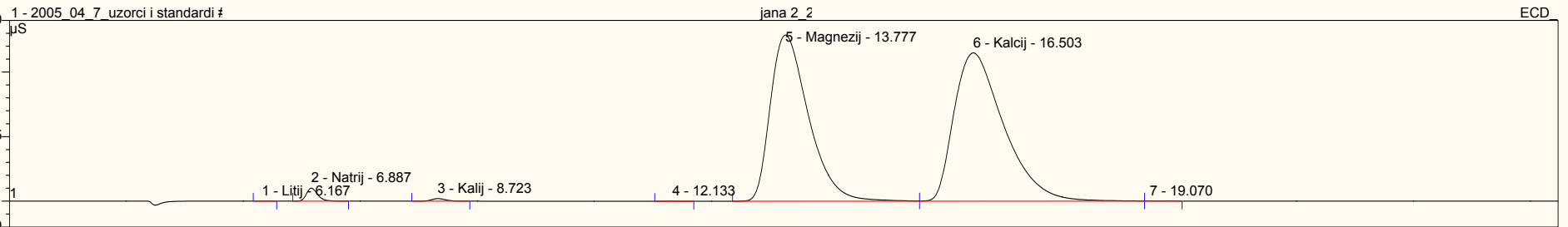
48 mmol/L MSA





# MDK

<b>Anioni</b>	<b>MDK mg/L</b>	<b>Kationi</b>	<b>MDK mg/L</b>
Fluorid	1,5	Amonij	150
Klorid	250	Natrij	150
Nitrite	0,1	Kalij	12
Nitrate	50	Magnezij	
Sulfat	250	Kalcij	
Fosfat (P)	300	Ukupna tvrdoća	> 60



# Upotreba IC u analizi aniona voda za pice

<b>UZORCI</b>	<b>F ppm</b>	<b>STD</b>	<b>Cl ppm</b>	<b>STD</b>	<b>Br ppm</b>	<b>STD</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ppm</b>	<b>STD</b>
VODOVOD. VODA	0.587	0.009	27.76	0.05	22.36	0.04	33.95	0.05
JANA	0.573	0.002	1.76	0.02	0.65	0.01	4.69	0.03
SVETI ROK	0.564	0.003	4.61	0.04	0.93	0.02	2.21	0.04
UN1QUE	0.593	0.009	4.09	0.03	2.33	0.02	4.81	0.05
STUDENA	0.610	0.004	2.711	0.009	0.81	0.03	2.60	0.04

# Razvoj IC metode u medicinskim istraživanjima

JADRAN GALENSKI LABORATIJ  
RIJEKA



SPREJ ZA  
NOS

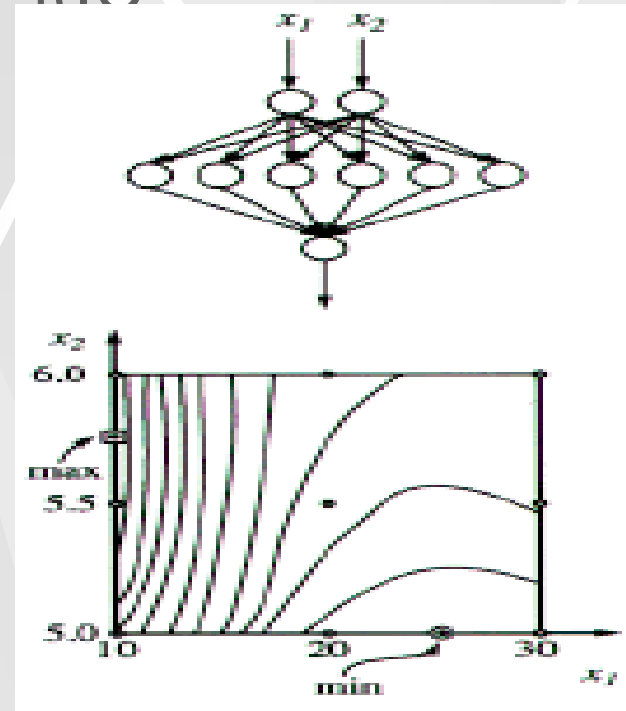
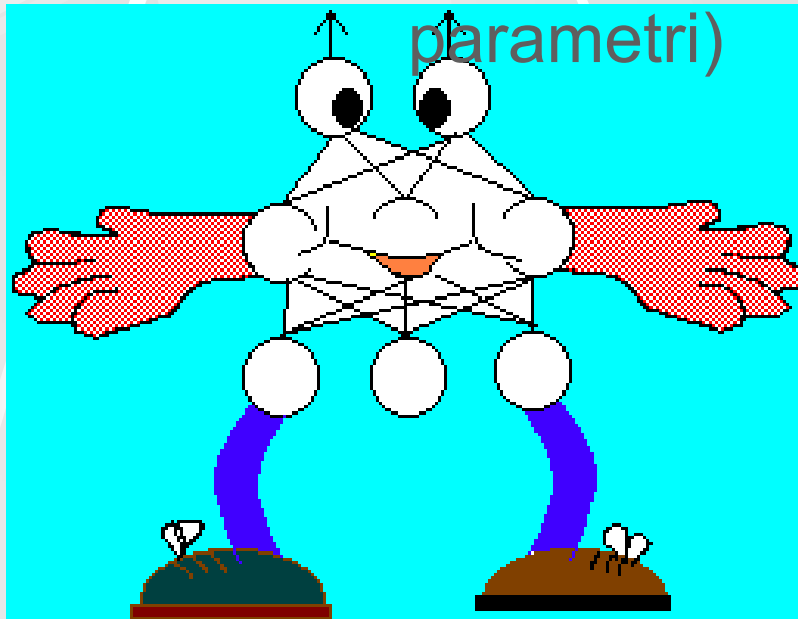
# Razvoj IC metode

- Razvoj IC metode – optimizacija IC parametara
  - kromatografski učinak (performanse metode)
  - Ekonomski učinak (ušteta u vremenu, kemikalijama i drugim resursima)
- IC parametri
  - Nepokretna faza (čvrsta)
  - Koncentracija kompeticijskih iona u pokretnoj fazi
  - Protok i koncentracija eluensa
  - Temperatura



# Razvoj IC metode

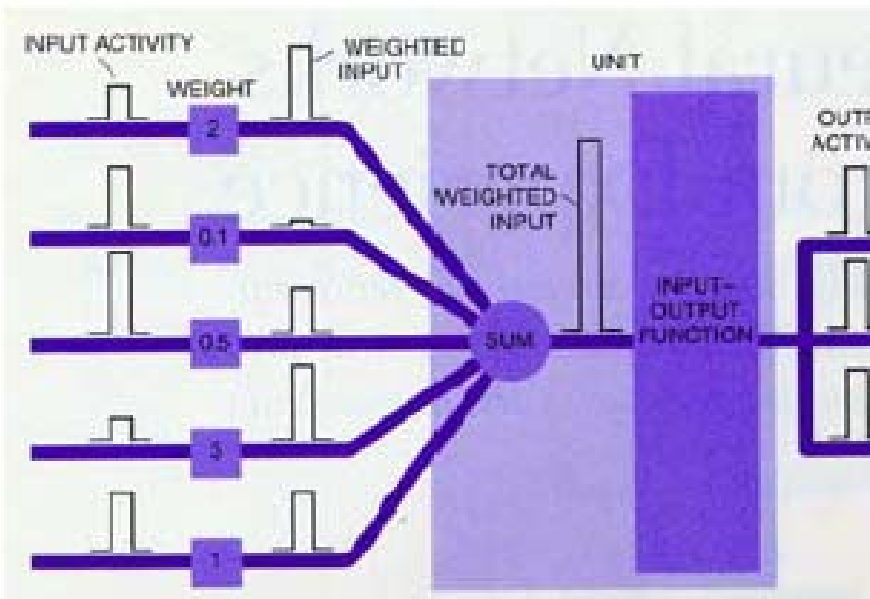
- Razdvajanje =  $f(\text{IC parametri})$



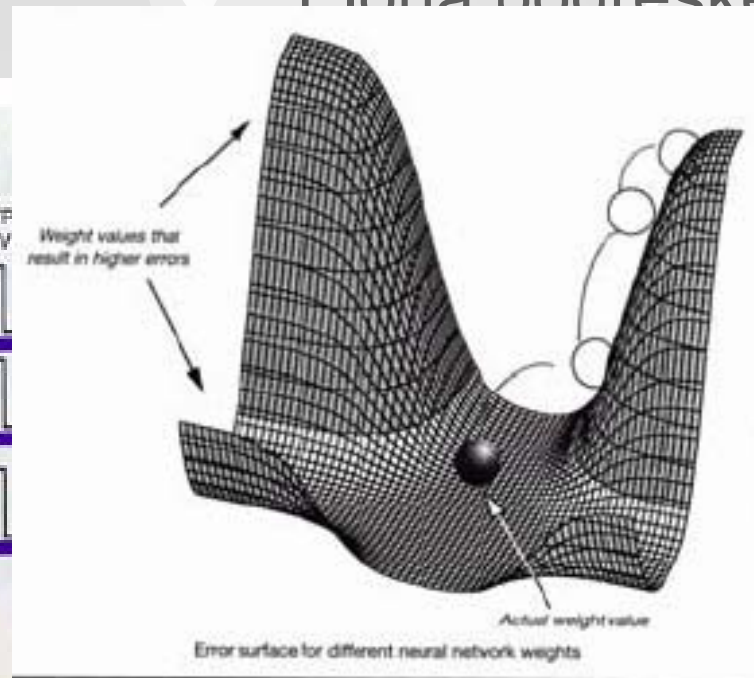
# Razvoj IC metode - ANN

ANN

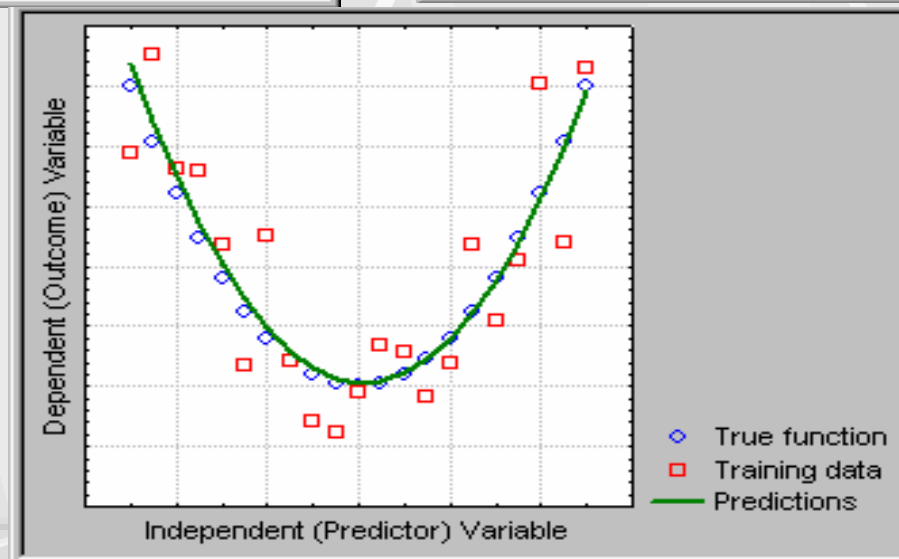
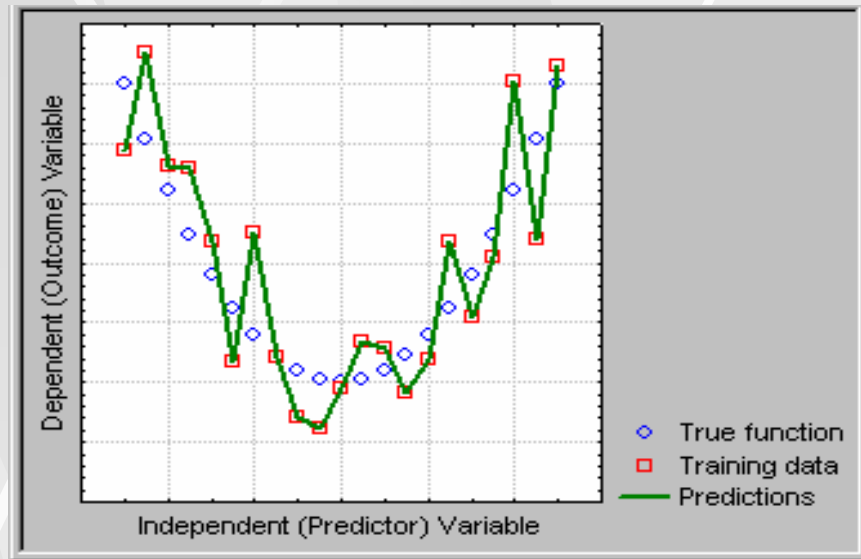
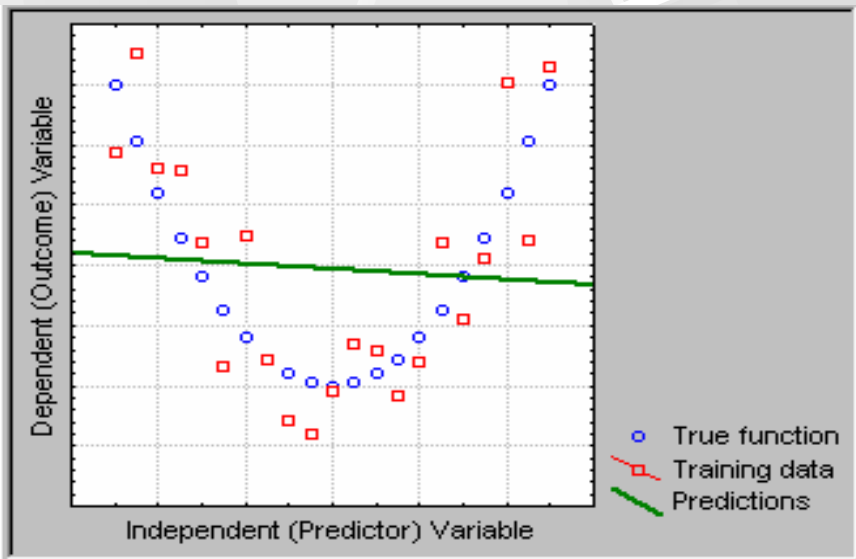
Ploha pogreške



neuron

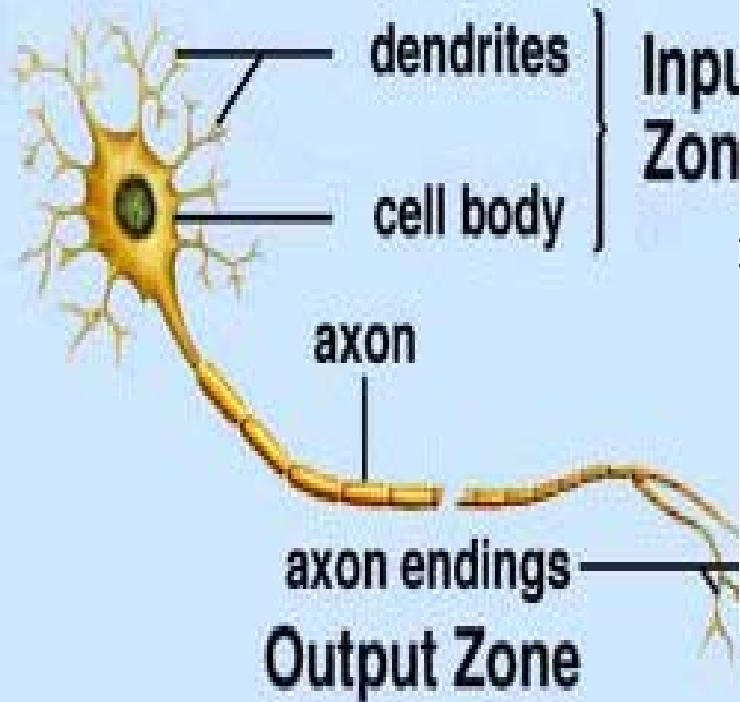


# Razvoj IC metode - ANN

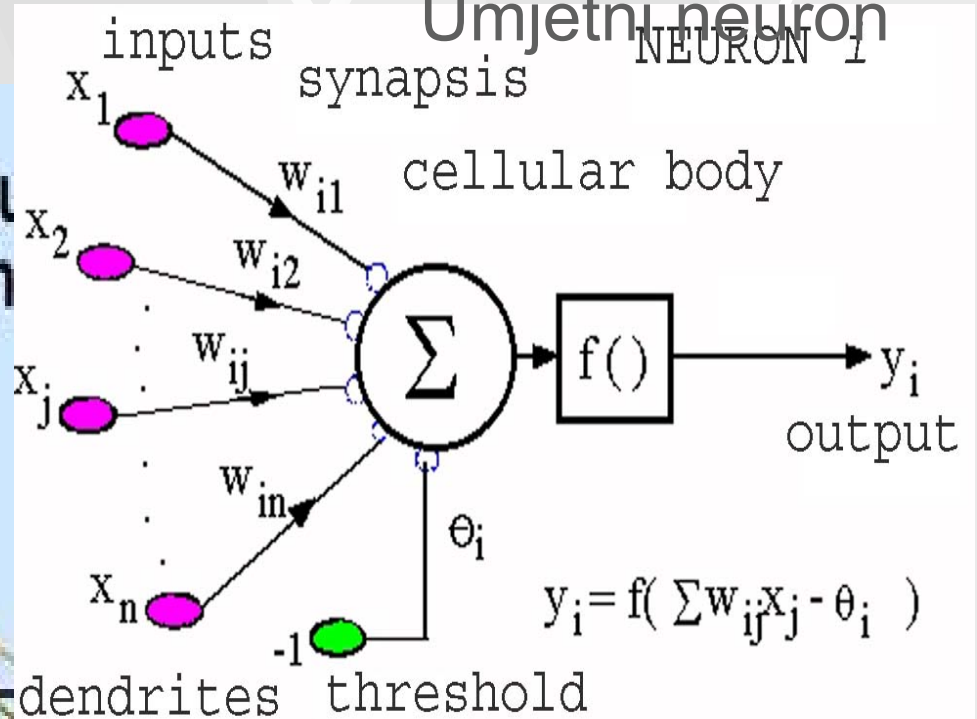


# Razvoj IC metode - ANN

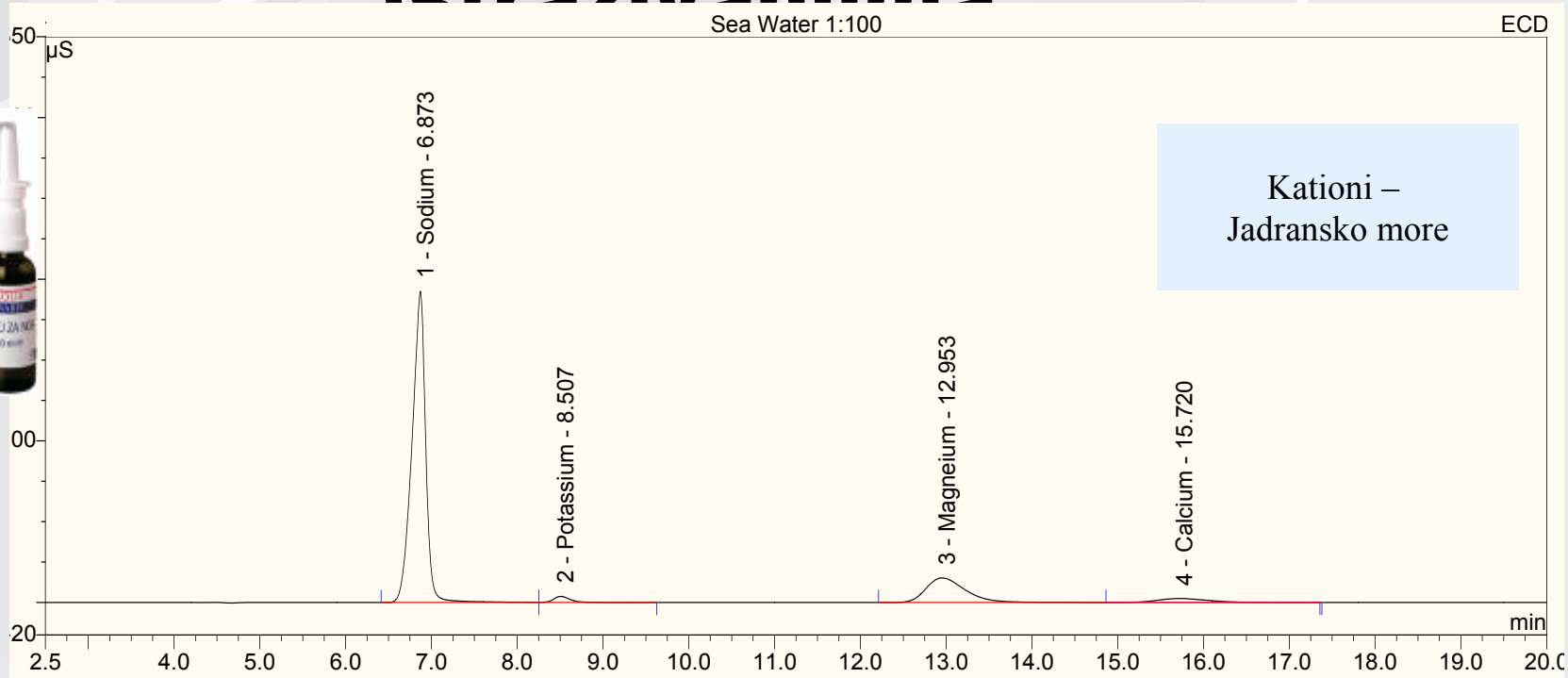
Biološki neuron



Umjetni neuron



# Upotreba IC u medicinskim istraživanjima



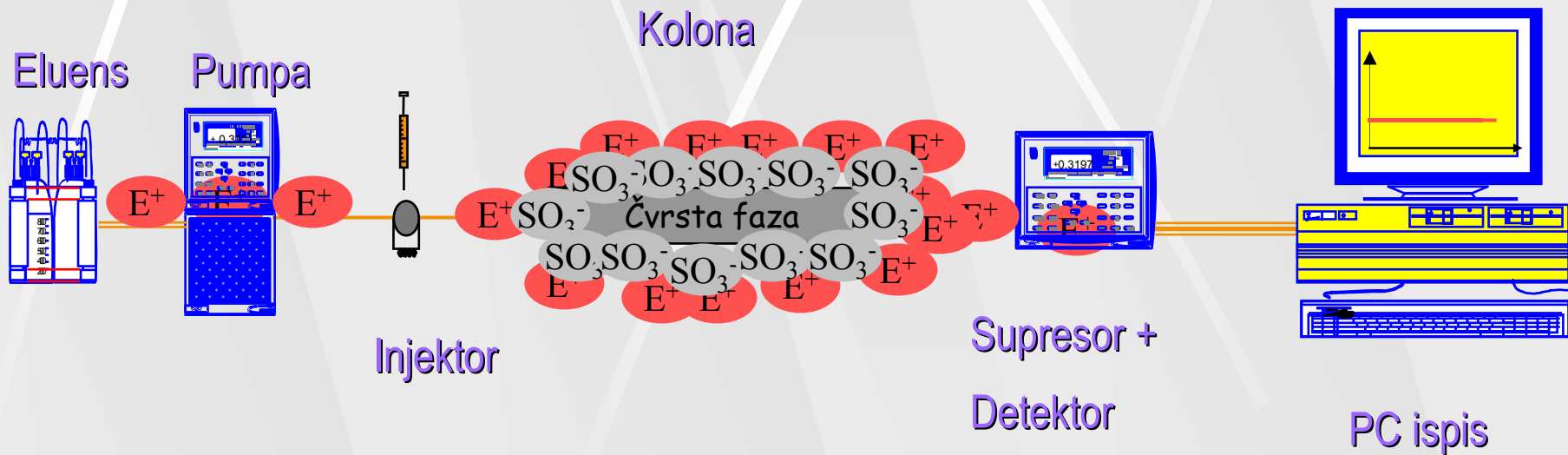
<b>KATIONI</b>	<b>Na<sup>+</sup> ppm</b>	<b>STD</b>	<b>K<sup>+</sup> ppm</b>	<b>STD</b>	<b>Mg<sup>2+</sup> ppm</b>	<b>STD</b>	<b>Ca<sup>2+</sup> ppm</b>	<b>STD</b>
MORSKA VODA (1/100)	119.5	0.9	4.16	0.1	8.21	0.2	4.19	0.16

# Razvoj IC metode - ANN

KATION	Faza 1, iteracije	Faza 2, iteracije	Broj neurona u skrivenom sloju	Uzorkovanje, training : test : validacija	Korelacija	S.D. omjer
Void	BP, 100	QN, 470	7	3 : 1 : 1	0.9998	0.0120
	BP, 100	LM, 491	11	2 : 1 : 1	0.9999	0.0119
Litij	BP, 100	QN, 745	7	2 : 1 : 1	0.9994	0.0308
	BP, 100	LM, 1486	11	3 : 1 : 1	0.9995	0.0299
Natrij	BP, 100	QN, 239	11	3 : 1 : 1	0.9988	0.0312
	BP, 100	LM, 1490	9	3 : 1 : 1	0.9990	0.0295
Amonij	BP, 100	QN, 1305	7	3 : 1 : 1	0.9992	0.0348
	BP, 100	LM, 678	11	3 : 1 : 1	0.9994	0.0344
Kalij	BP, 100	QN, 697	9	3 : 1 : 1	0.9995	0.0315
	BP, 100	LM, 1490	11	3 : 1 : 1	0.9995	0.0327
Magnezij	BP, 100	QN, 60	11	2 : 1 : 1	0.9982	0.06051
	BP, 100	LM, 320	11	3 : 1 : 1	0.9984	0.0566
Kalcij	BP, 100	QN, 458	9	3 : 1 : 1	0.9984	0.0567
	BP, 100	LM, 885	5	3 : 1 : 1	0.9983	0.0399
Stroncij	BP, 100	QN, 796	11	3 : 1 : 1	0.9982	0.0519
	BP, 100	LM, 486	7	3 : 1 : 1	0.9985	0.0553
Barij	BP, 100	QN, 2637	9	3 : 1 : 1	0.9990	0.0444
	BP, 100	LM, 3188	9	3 : 1 : 1	0.9995	0.0305

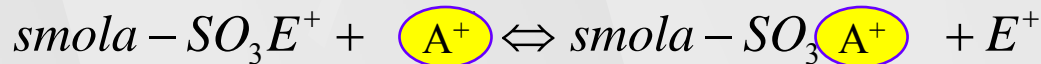
# Osnovni principi ionske kromatografije

## Animacija ionske separacije



**Primjer**

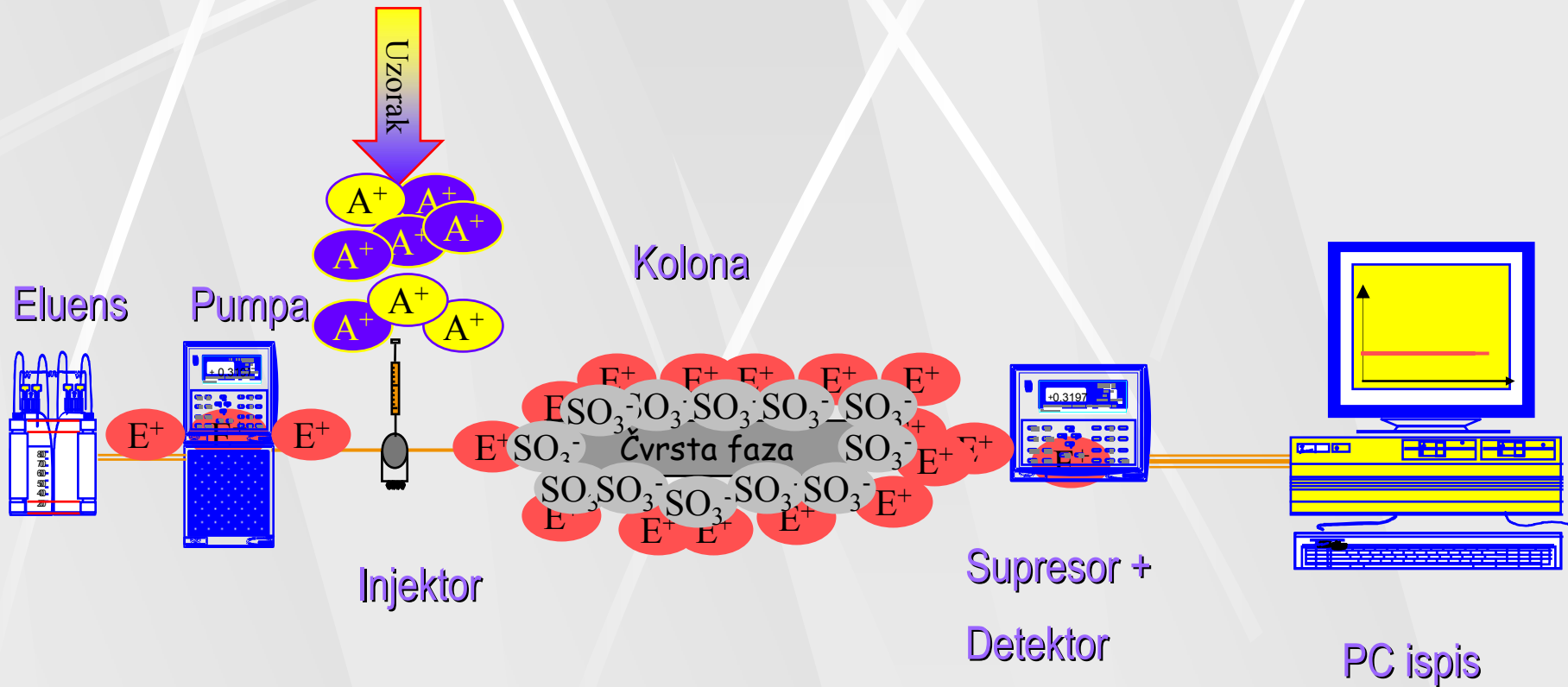
$A^+$   $A^+$



**Različiti afiniteti**  
 $A$  &  $A$  prema  $SO_3^-$

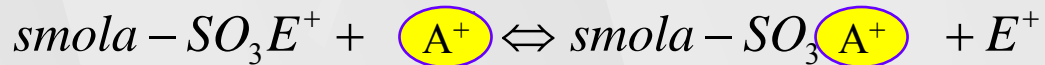
# Osnovni principi ionske kromatografije

## Animacija ionske separacije



**Primjer**

$A^+$   $A^+$

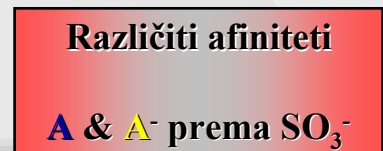
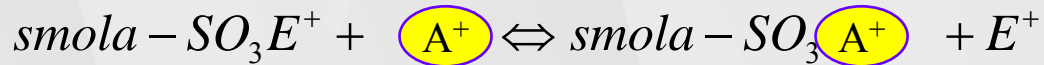
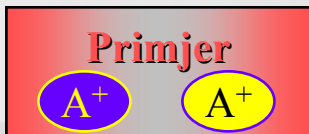
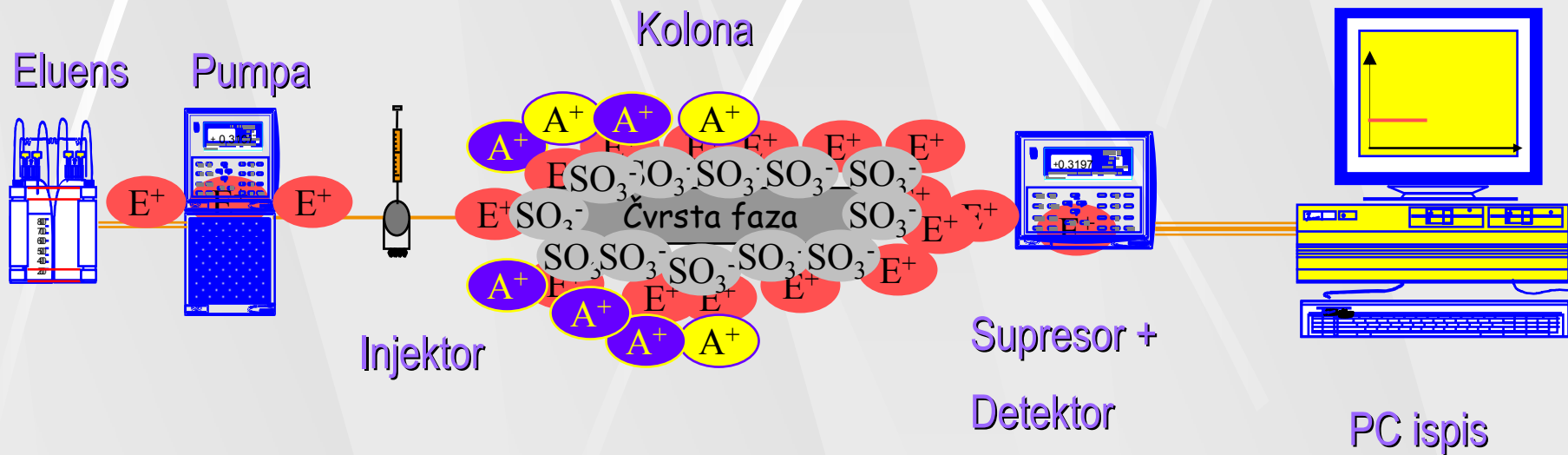


**Različiti afiniteti**  
 $A^+$  &  $A^-$  prema  $SO_3^-$



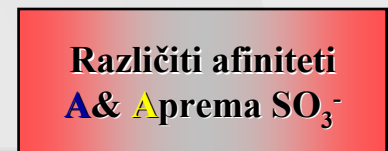
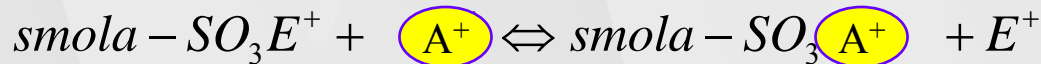
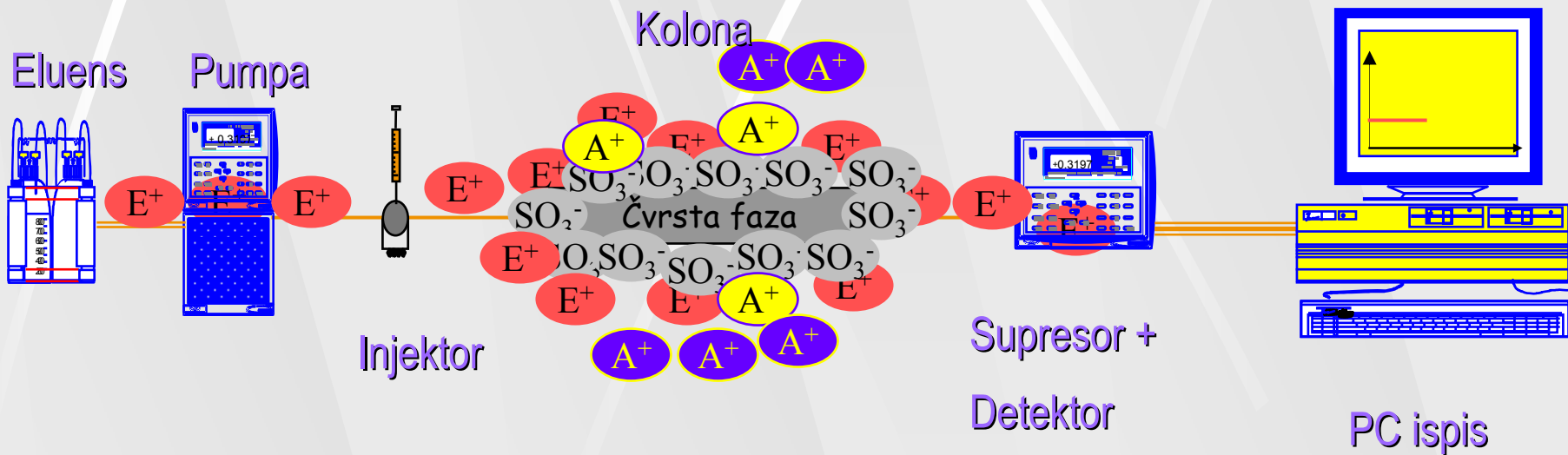
# Osnovni principi ionske kromatografije

## Animacija ionske separacije



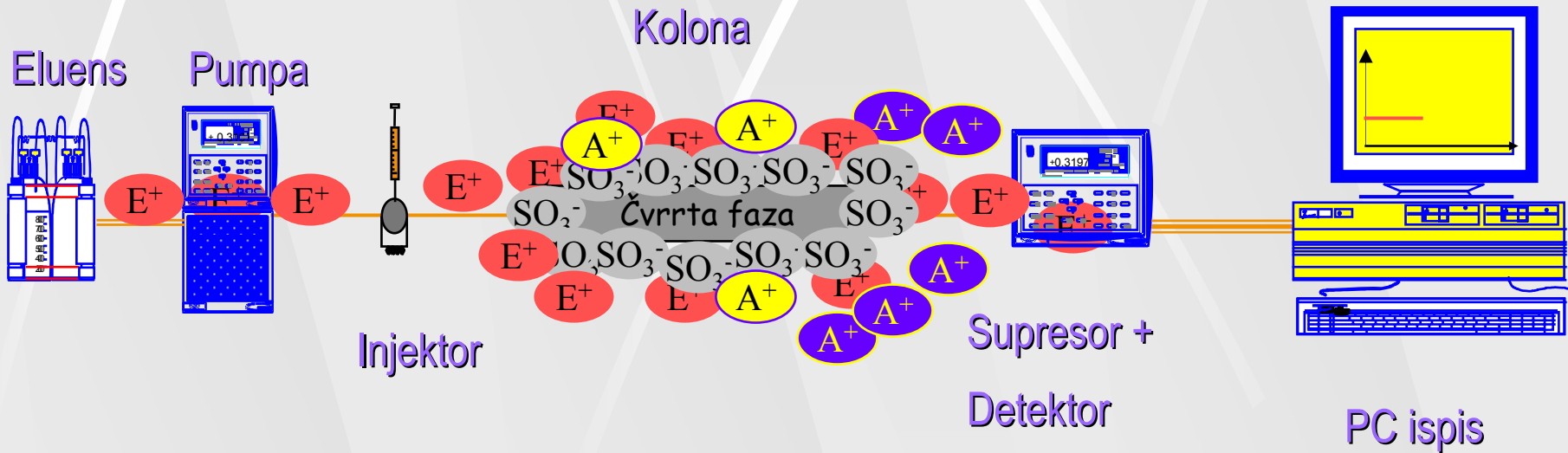
# Osnovni principi ionske kromatografije

## Animacija ionske separacije



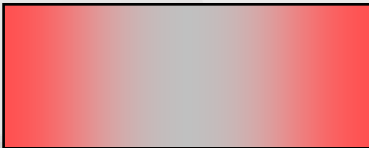
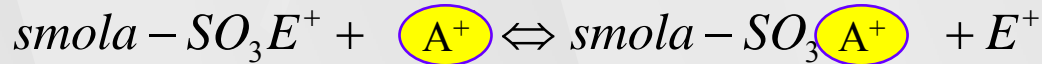
# Osnovni principi ionske kromatografije

## Animacija ionske separacije



**Primjer**

$A^+$     $A^+$







**Suradnici : dr.sc. Tomislav Bolanča, mr.sc. Mario Šiljeg,  
mr.sc. Karmen Margeta, dipl.ing. Melita Luše, dipl.ing. Šime  
Ukić**



**Suradnici : dr.sc. Tomislav Bolanča, mr.sc. Mario Šiljeg,  
mr.sc. Karmen Margeta, dipl.ing. Melita Luše, dipl.ing. Šime Ukić**



***POZIV***  
**10th ISIC**  
**BRIJUNI 3. - 6.06. 2008.**



1  
0  
t  
h  
I  
S  
I

**10<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCHOOL OF ION CHROMATOGRAPHY**  
3 – 6 June 2008. Brijuni, Croatia



**UNIVERSITY OF ZAGREB, CROATIA,  
FACULTY OF CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY  
NATIONAL INSTITUTE OF CHEMISTRY, LJUBLJANA, SLOVENIA**



Zagreb, 19.06.2007.

*Dear participants*

*As a president of the international program and organizing committee I would like to inform you that 10<sup>th</sup> International School of Ion Chromatography will be organized in Brijuni, Hotel Neptun, Croatia ([www.brijuni.hr](http://www.brijuni.hr)), on 03.-06. June 2008.*

*This symposium is an international meeting therefore the official language will be English.*

*The program of the four day long education will include invited lectures provided by the leading experts in ion chromatography as well as the lectures and posters presented by the selected participants (by the international program committee). The long tradition of organizing the computer supported workshop and proficiency testing will continue in this particular school surely.*

*International School of Ion Chromatography has accomplished a valuable recognition for its quality so from now participants of this educating course will be able to receive 5 ECTS points at postgraduate studies at University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology and 3 ECTS points at the postgraduate studies at University of Zagreb, Faculty of Science.*

*The registration fee is 250 EUR and it has to be paid until 01. May 2008. The additional detail information will be provided in first circular during the September so this announcement can help you to plan your further activities.*

*I am looking forward to see you at annual 10<sup>th</sup> International School of Ion Chromatography and I am inviting you to see your own progress in the ion chromatography as a result of our meeting during the last 10 years. As the organizers we will carefully monitor the results of our efforts which will be used for improvements and pointers for further activities. All information updates can be found at [www.fkit.hr/ISIC08](http://www.fkit.hr/ISIC08)*

*President of the international program and organizing committee  
Prof. Ph.D. Štefica Cerjan Stefanović*

**10<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCHOOL OF ION CHROMATOGRAPHY**

**3 – 6 June 2008, BRIJUNI, CROATIA**









# Literatura

- 1. Joachim Weiss, Ion Chromatography, Weinheim - New York - Basel - Cambridge - Tokyo: VCH. (2004).
- 2. Š.Cerjan - Stefanović, Principi i primjena ionske kromatografije, Kem. Ind, **41 (6)** (1992) 227.
- 3. Š.Cerjan - Stefanović i grupa autora : Kromatografsko nazivlje, HDKI, 1999.  
Nomenclature for Chromatography, Pure and Appl. Chem. **65 (4)** 819.