

# PROCESI PROČIŠĆAVANJA VODA

Dr. sc. Laszlo Sipos, red. prof.  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog  
inženjerstva i tehnologije, Zagreb

# POKAZATELJI KAKVOĆE VODA

## Karakteristični primjeri pokazatelja kakvoće podzemnih voda

Pokazatelj	Lokacija				
	Ivanić G	Ravnik	Požega	Vinkovci	MDK
Temperatura, C	13.6	13.4	11.2	13.1	< 25
pH	7.05	7.34	7.29	7.24	6.5-8.5
CO <sub>2</sub> , mg/L	95	43	30	39	
Utr. KMnO <sub>4</sub> , O mg/L	4.50	2.21	0.91	0.88	3
Alkal., CaCO <sub>3</sub> mg/L	440	330	240	405	
Uk. tvrd., CaCO <sub>3</sub> , mg/L	367	277	248	273	
Ca, CaCO <sub>3</sub> , mg/L	262	189	225	159	
Mg, CaCO <sub>3</sub> , mg/L	105	88	23	114	
Fe, mg/L	5.0	1.48	0.01	0.53	0.20
Mn, mg/L	0.11	0.23	1.02	0.15	0.050
NH <sub>4</sub> , mg/L	6.70	0.87	0.026	0.38	0.50
N-Kjeldahl, N, mg/L	>6.70	>0.87	0.16	>0.38	1.0
As, mg/L	n.d.	n.d.	n.d.	0.18	0.010
IS	0.78	0.88	0.63	0.74	>1

## KARAKTERISTIČNI POKAZATELJI KAKVOĆE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

Pokazatelj	Vrijednost	MDK	
Protok, Q,	m <sup>3</sup> /h		
Susp. tvar	mg/L	220	
Taloživa tvar,	mL/L	10	
BPK <sub>5</sub> , O <sub>2</sub>	mg/L	220	25
KPK, O <sub>2</sub>	mg/L	500	125
Ukupni N	mg/L	40	10
Org-N	mg/L	15	
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	25	
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	0	
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	0	
Ukupni P	mg/L	8	2
Org-P	mg/L	3	
Anorg-P	mg/L	5	
Kloridi, Cl <sup>-</sup>	mg/L	50	
Alk., CaCO <sub>3</sub>	mg/L	100	
Masnoće	mg/L	100	

## INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE

KPK, O<sub>2</sub> mg/L 500-50000

# Temeljni fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće voda

## Temperatura vode

Određuje se termometrom na terenu neposredno pri uzorkovanju

## Mutnoća

Određuje se na terenu instrumentalno (turbidometar).  
Izražava se u novije vrijeme u jedinicama NTU, a ranije u mg/L SiO<sub>2</sub>

## Boja vode

Određuje se na terenu fotometrom. Skala Pt-Co

## Električna provodnost

Određuje se na određnoj temperaturi u jedinicama uS/cm

## pH vode

Određuje se pH-metrom na terenu neposredno pri uzorkovanju vode, najbolje u protočnoj vodi u zatvorenom sustavu

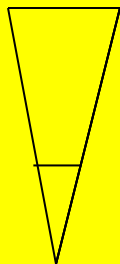
## Suspendirane tvari

Membranska filtracija, sušenje na 105 °C, mg/L  
Žareni ostata, mg/L

## Taloživa tvar

Taloženje u Imhoff-ovom lijevku od 1 L , 30 min, 1 sat, 2 sata

**Imhoffov lijevak**



$\varphi$ /(mL/L)

## Potrošnja $\text{KMnO}_4$

Oksidacija organskih i anorganskih supstancija s  $\text{KMnO}_4$  u kiselom mediju, kuhanjem 10 minuta. Izražava se u  $\text{mg/L O}_2$



## BPK<sub>5</sub>

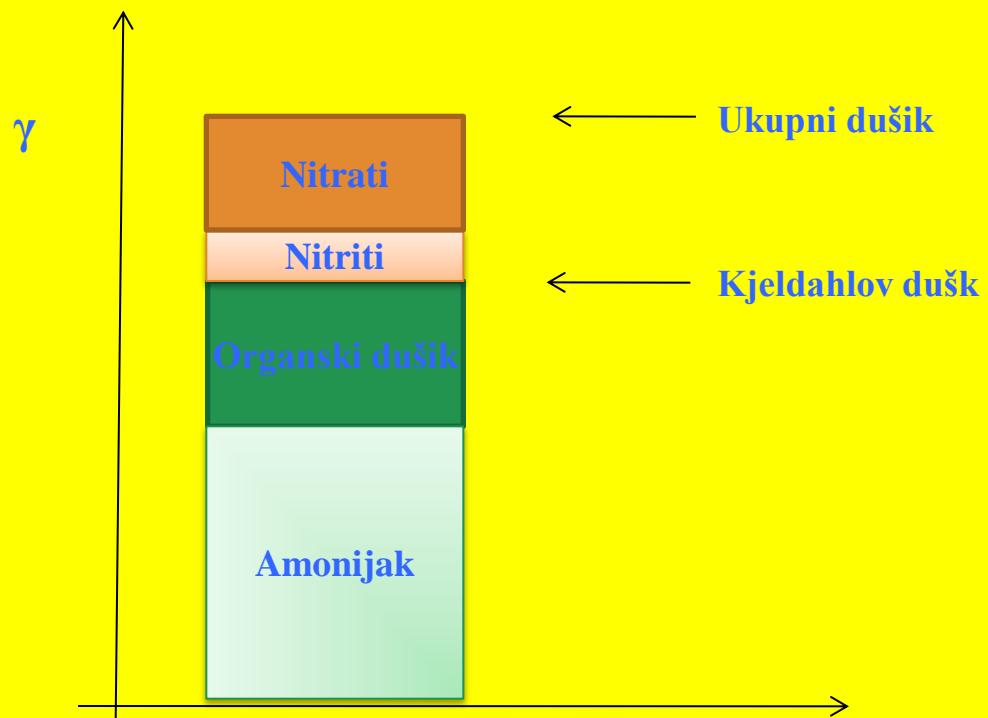
Potrošnja kisika za biološku oksidaciju nečistoća prisutnih u vodi. Izražava se u  $\text{mg/L O}_2$

## KPK

Kemijska potrošnja kisika. Određuje se oksidacijom nečistoća u vodi kalijevim bikromatom ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) u kiselom mediju, a izražava se u jedinicama  $\text{mg/L O}_2$  ekvivalentnog potrošenom bikromatu



# Dušikovi spojevi



# Karakteristični pokazatelji kakviće aktivnoga mulja

## Masena koncentracija suspendiranih (suhih) tvari:

$\gamma(\text{ST})/(\text{mg/L})$

$\gamma(\text{ST})/(\text{g/L})$

## Žareni ostatak

$\gamma(\text{ŽO})/(\text{mg/L})$

$\gamma(\text{ŽO})/(\text{g/L})$

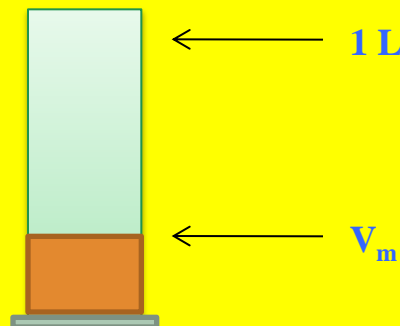
## Volumen mulja

$\varphi_m /(\text{mL/L})$

## Indeks mulja

$\text{SVI}/(\text{mL/g})$

$\text{SVI} = \varphi_m / \gamma(\text{ST})$

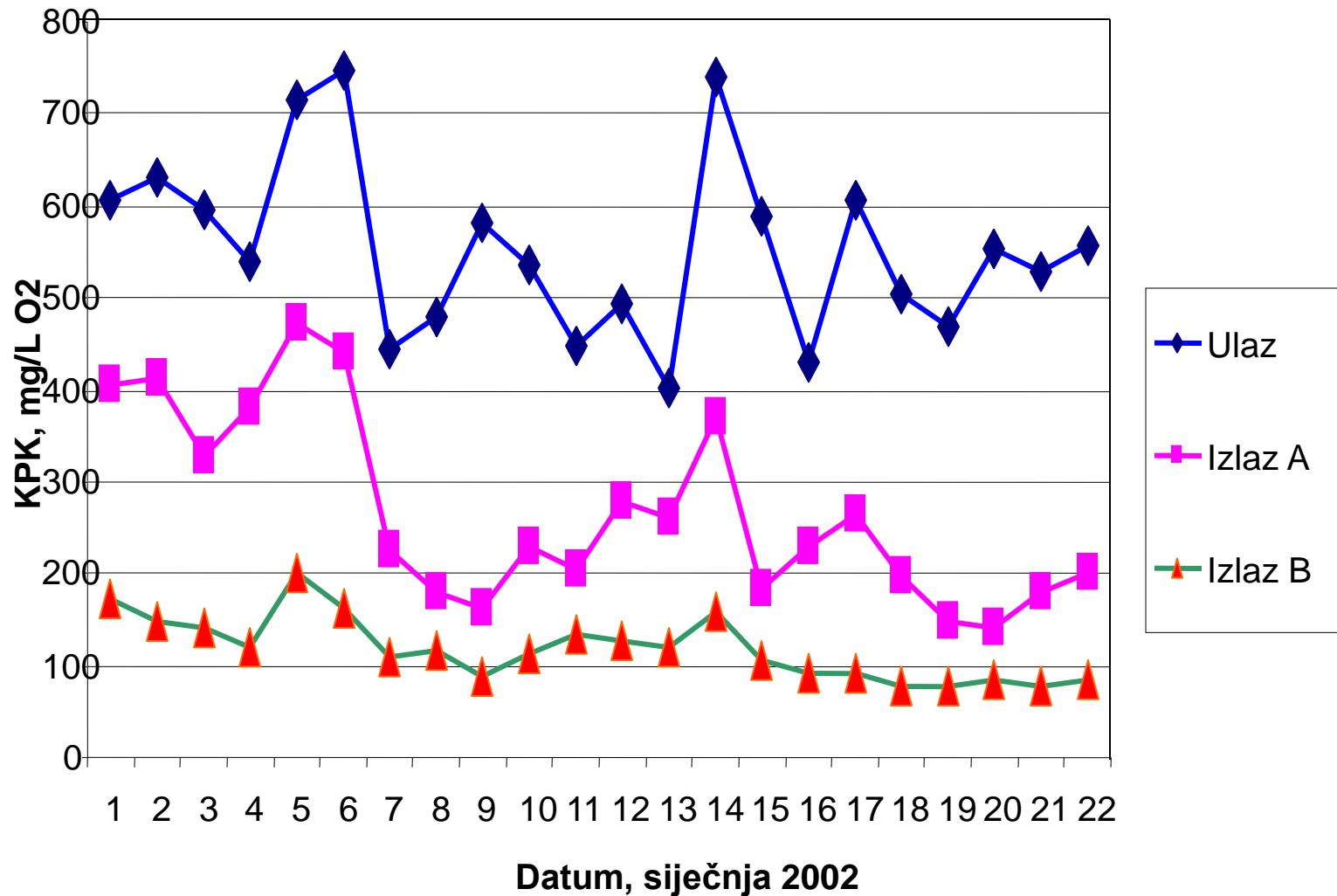




# STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

# UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA GRADA BJELOVARA

Vrijednosti KPK (mg/L O<sub>2</sub>) u različitim stupnjevima pročišćavanja



# PROTOK OTPADNIH VODA GRADA GAREŠNICE

30.8. - 6.9. 2004.



## Tipični vrijednosti BPK<sub>5</sub> efluenta iz jednog UPOV-a

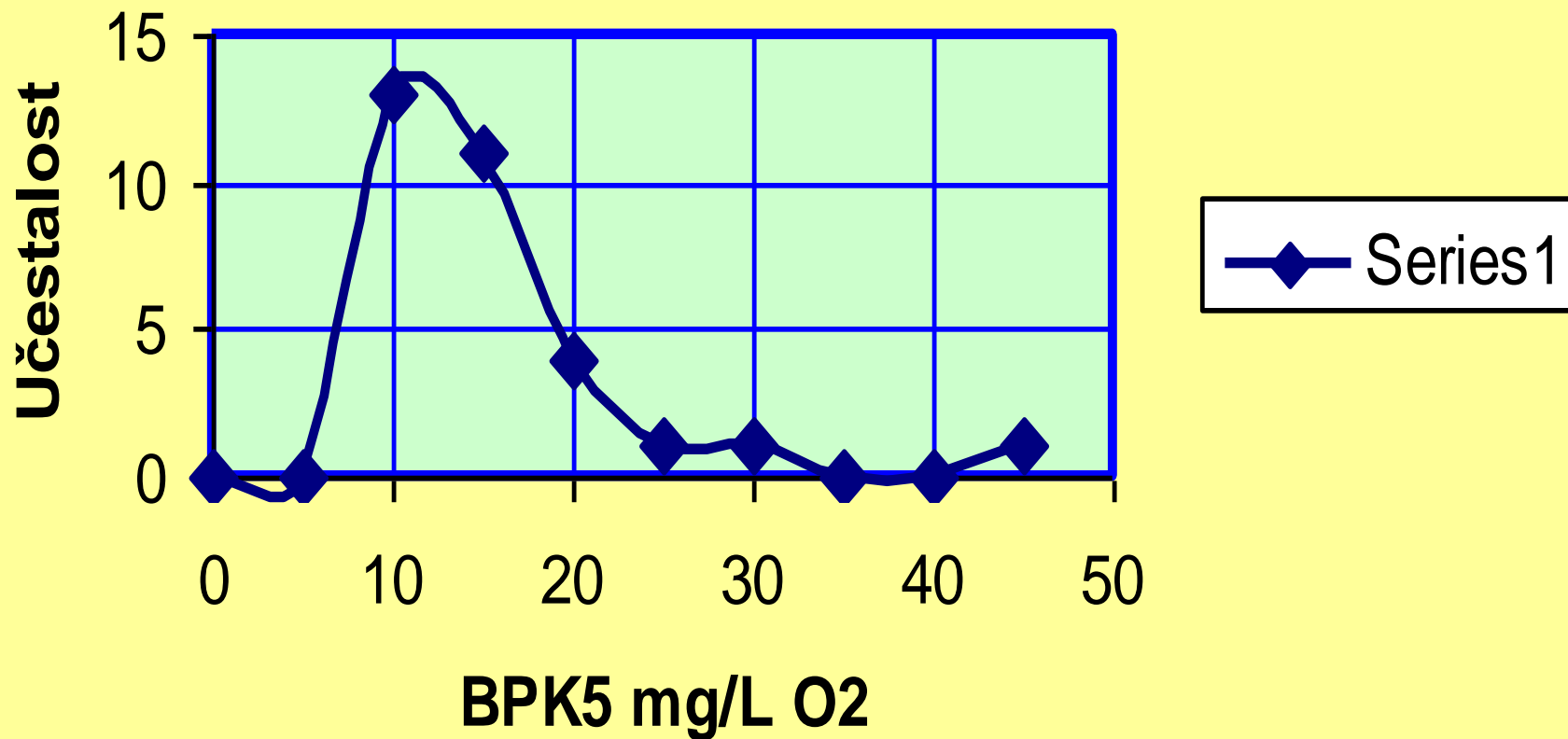
No:	%	BOD	No:	%	BOD
1	1,9	4,5	22	63,1	13,5
2	4,8	5,5	23	66,0	14
3	7,8	6	24	68,9	14,5
4	10,7	6,5	25	71,8	14,5
5	13,6	8	26	74,8	15
6	16,5	8	27	77,7	15,5
7	19,4	8	28	80,6	16
8	22,3	8,5	29	83,5	17
9	25,2	9	30	86,4	18,5
10	28,2	9	31	89,3	24
11	31,1	9	32	96,2	25
12	34,0	9,5	33	95,1	25,5
13	36,9	10	34	98,1	41
14	34,8	10			
15	42,7	10,5			
16	45,6	11			
17	48,5	11			
18	51,6	11,5			
19	54,4	12			
20	57,3	12			
21	60,2	13			

=====)

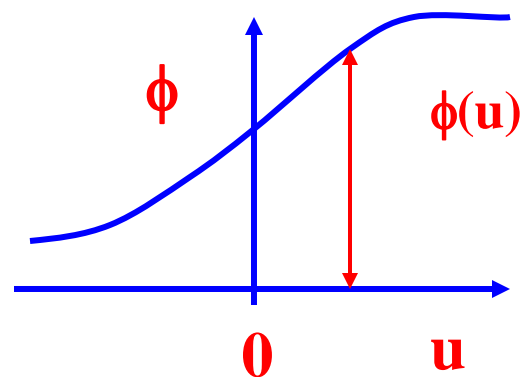
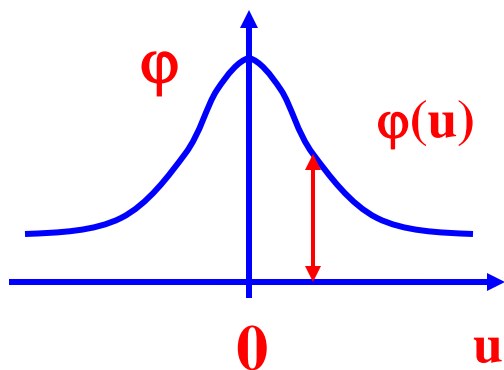
$n_{\max} = 34$

$$\% = \frac{(3n - 1) * 100}{3n + 1}$$

# UČESTALOST VRIJEDNOSTI BPK5



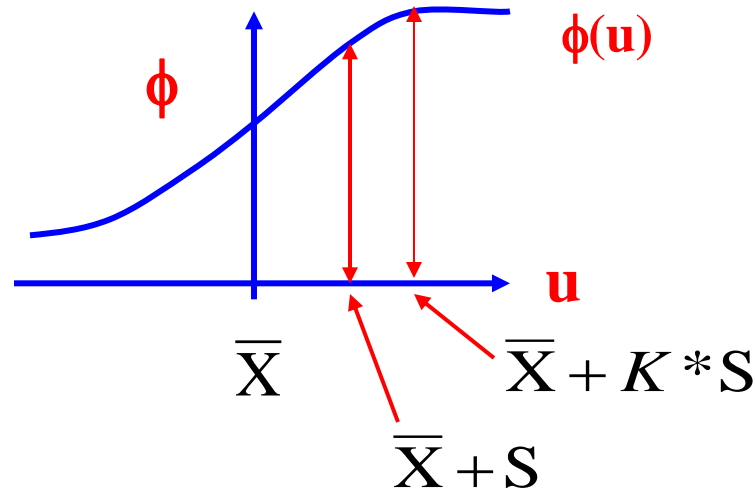
## RASPODJELA VRIJEDNOSTI EKSPERIMENTALNIH PODATAKA



$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-t^2/2} * dt$$

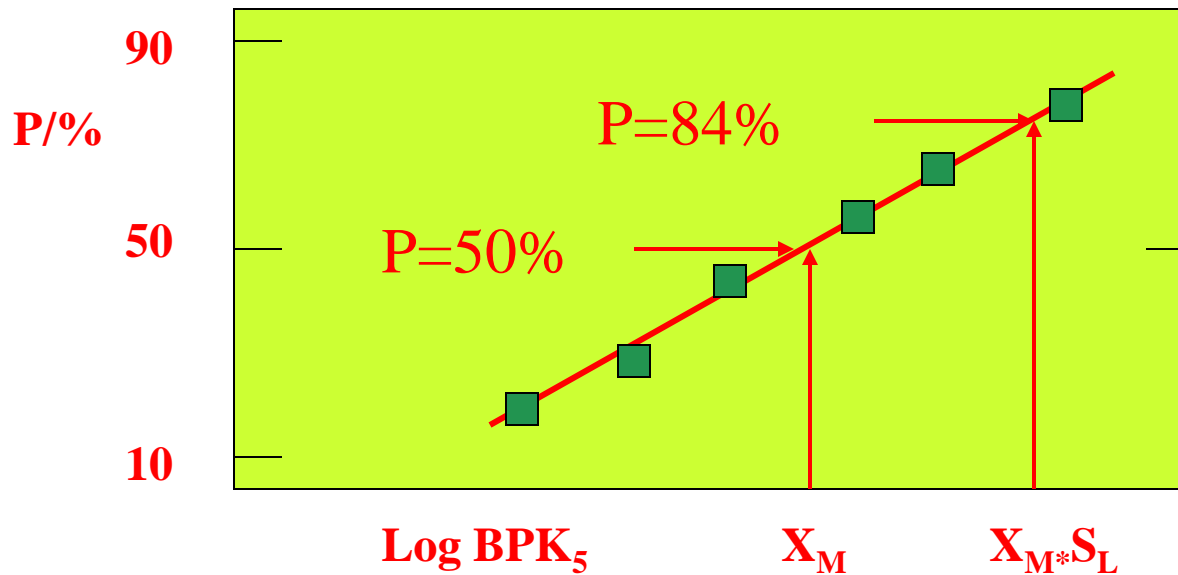
$$\varphi(u) = 1 - \alpha \Rightarrow u_{1-\alpha} (95\%)$$

$$\varphi(u) = 1 - y \Rightarrow u_{1-y} (15\%)$$



$$T_{95/15} = \bar{X} + K * S$$

$$K = \frac{2(n-1)}{2(n-1) - u_{1-\alpha}^2} \left[ u_{1-y} + u_{1-\alpha} \sqrt{\frac{2(n-1) + nu_{1-y}^2 - u_{1-\alpha}^2}{2n(n-1)}} \right]$$



**MEDIAN PODATAKA -  $X_m$**

**NAGIB PRAVCA -  $S_L$**

a)  $X_m = 11,4 \quad \text{mg/L}$

b)  $X_m * S_L = 17,7 \quad \text{mg/L}$

$$S_L = X_m * S_L / X_m = b/a = 1,55$$

$$\log X_m = 1,057$$

$$\log S_L = 0,190$$

### **VRIJEDNOST PRI NAJVEĆOJ UČESTALOSTI - $X_D$**

$$\log X_D = \log X_m - 2,3026 (\log S_L) = 0,174$$

$$X_D = 9,4 \text{ mg/L}$$

### **ARITMETIČKA SREDINA - $X_A$**

$$\log X_A = \log X + 1,1513 (\log S_L)^2 = 1,094$$

$$X_A = 12,5 \text{ mg/L}$$

### **STANDARDNA DEVIJACIJA - S**

$$S = X (S_L - 1) = 6,3 \text{ mg/L}$$

### **VRIJEDNOST T(95/15)**

$$\begin{aligned} X_T &= X + K * S \\ &= 12,5 + 1,47 * 6,3 \\ &= 21,7 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

## IZRAČUNAVANJE VRIJEDNOSTI “K”

$$n = 20$$

$$a = 3.013 * 10^{-2}$$

$$b = 4.456 * 10^{-4}$$

$$c = 2117.3$$

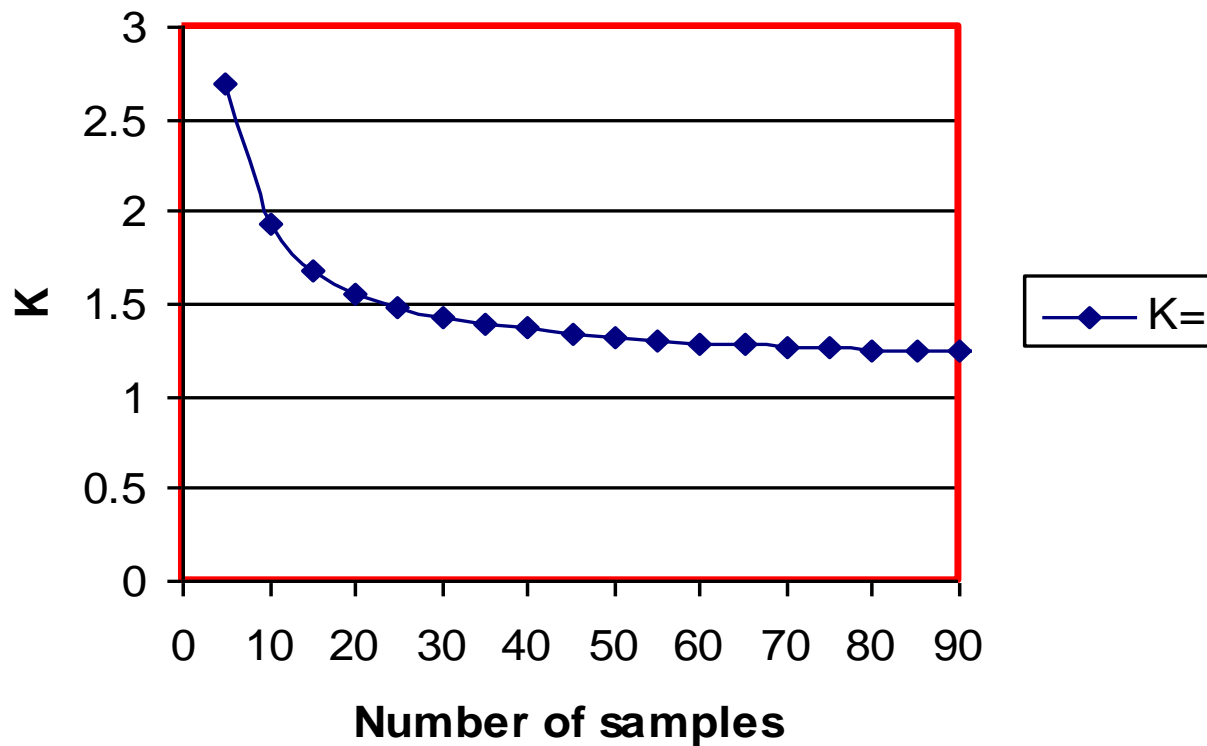
$$d = -0.2302$$

$$f = 1.037$$

$$K = a * e^{\left(\frac{n-b}{c}\right)^d} + 1$$

$$K=1.561$$

## K = f(n) values



# **RAVNOTEŽE KARBONATNIH IONA U PRIRODNIM VODAMA**

## RAVNOTEŽE KARBONATNIH IONA U PRIRODNIM VODAMA



$$K_1 = \frac{[H^+] * [HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$K_1 = \frac{[H^+] * [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$K_w = [H^+] * [OH^-]$$

$$K_{PT} = [Ca^{2+}] * [CO_3^{2-}]$$

## RAVNOTEŽE KARBONATNIH IONA U PRIRODNIM VODAMA

$$K_1 = 4,45 \cdot 10^{-7}$$

$$pK_1 = 6,35$$

$$K_2 = 4,69 \cdot 10^{-11}$$

$$pK_2 = 10,33$$

$$K_W = 10^{-14}$$

$$pK_W = 14$$

$$K_{PT}(\text{CaCO}_3) = 1,6 \cdot 10^{-8}$$

$$pK_{PT} = 7,80$$

$$TIC = [H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$$

$$ALK = [HCO_3^-] + 2 * [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$$

$$ACD = 2 * [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [H^+] - [OH^-]$$

## RAVNOTEŽE KARBONATNIH IONA U PRIRODNIM VODAMA

$\alpha$  - Stupanj disocijacije

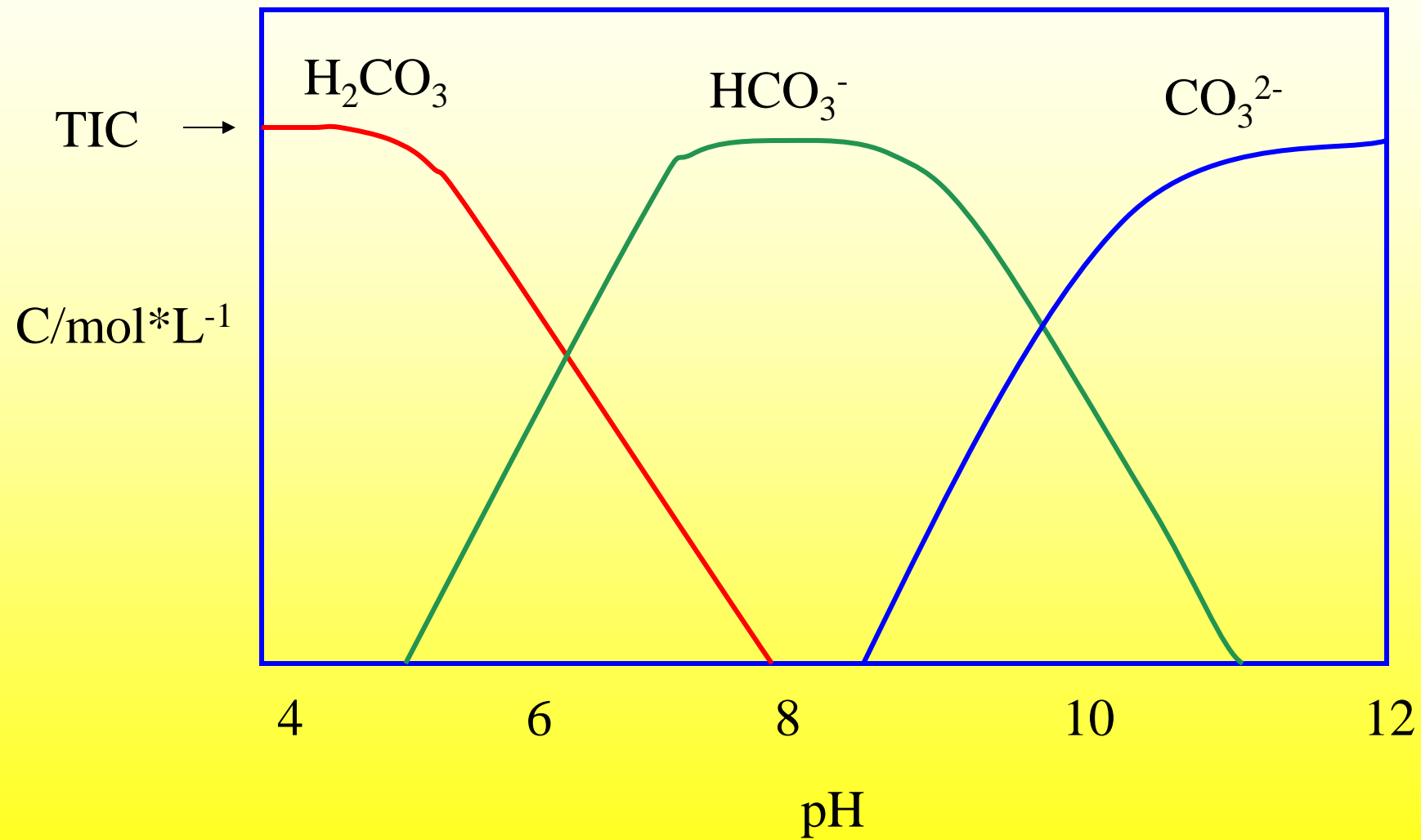
$$\alpha_0 = \frac{[H_2CO_3]}{TIC} \quad \alpha_1 = \frac{[HCO_3^-]}{TIC} \quad \alpha_2 = \frac{[CO_3^{2-}]}{TIC}$$

$$F = 1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 * K_2}{[H^+]^2}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{F} \quad \alpha_1 = \frac{K_1}{[H^+]} \quad \alpha_2 = \frac{K_1 * K_2}{[H^+]^2}$$

Računaju se vrijednosti  $[H_2CO_3]$ ,  $[HCO_3^-]$  i  $[CO_3^{2-}]$  za određeni TIC te različite zadane vrijednosti  $[H^+]$  odnosno pH

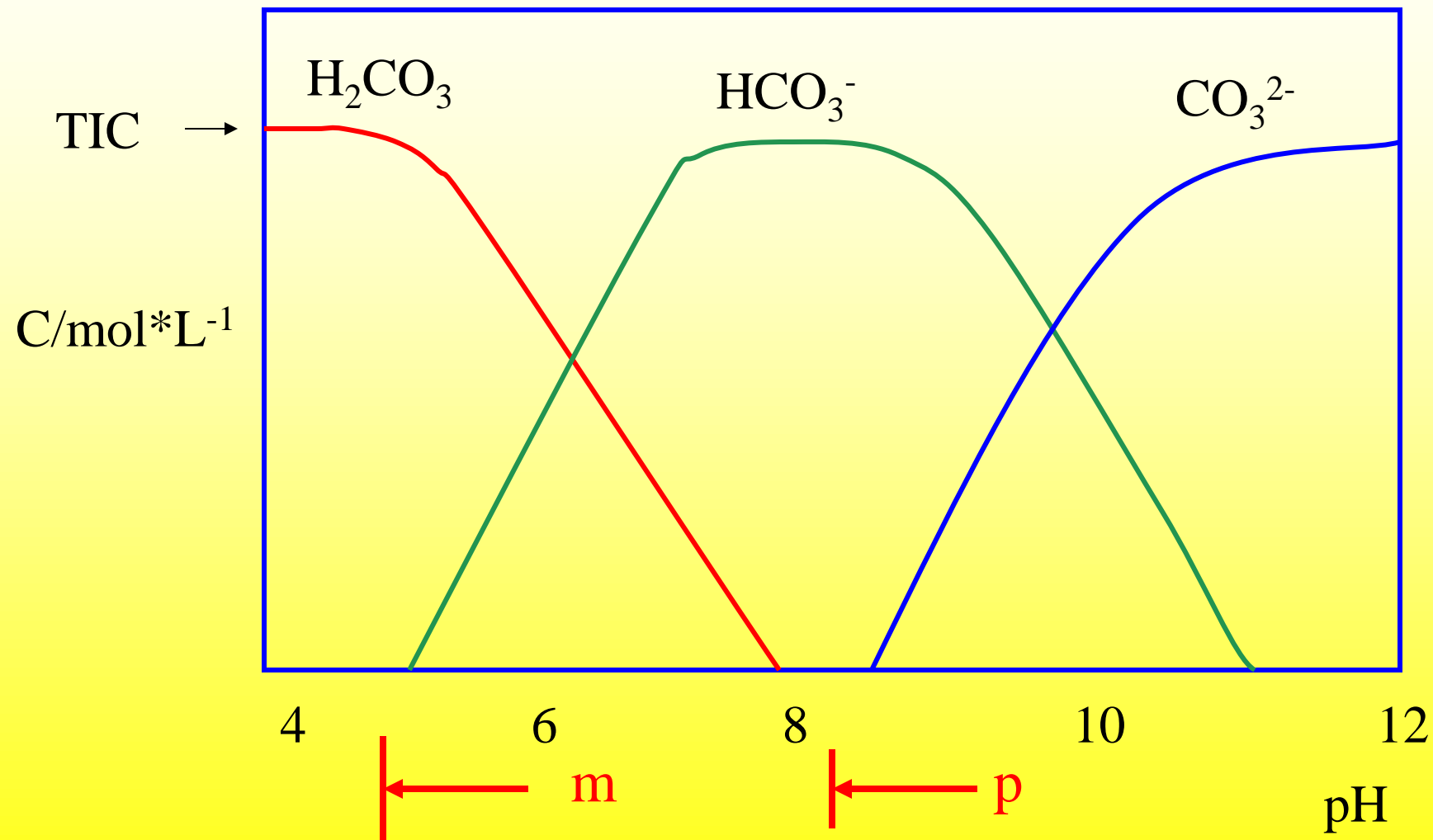
# RAVNOTEŽE KARBONATNIH IONA U PRIRODNIM VODAMA



Alkalitet

p-vrijednost

m-vrijednost



## Tvrdoća vode

Njemački stupanj tvrdoće: 10 mg/L CaO

Francuski stupanj tvrdoće: 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>

Američki stupanj tvrdoće: 1 mg/L CaCO<sub>3</sub>

Ukupna tvrdoća (UT)

Ca + Mg

Karbonatna tvrdoća (KT)

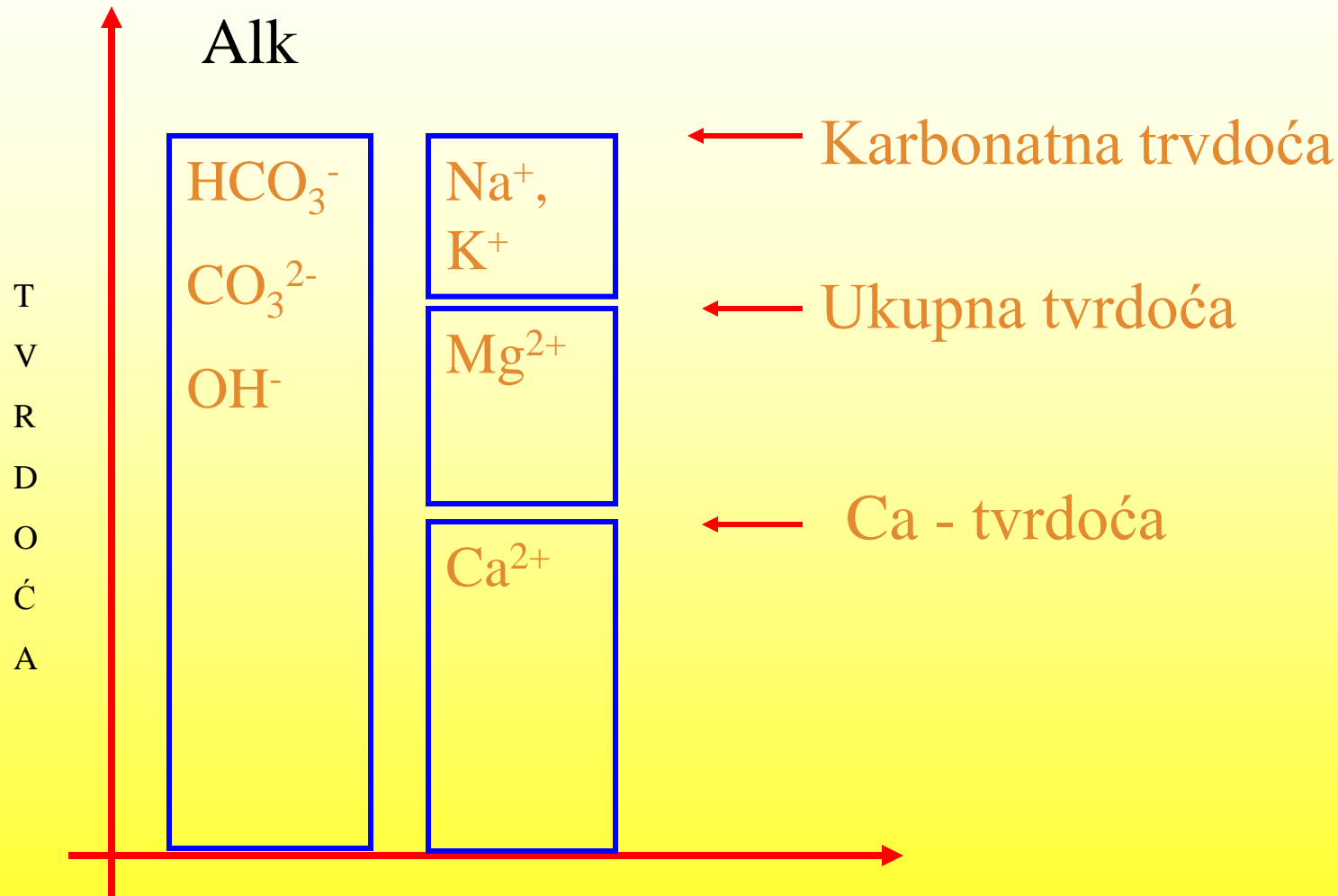
CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>

Nekarbonatna tvrdoće (NT)

NT = UT-KT

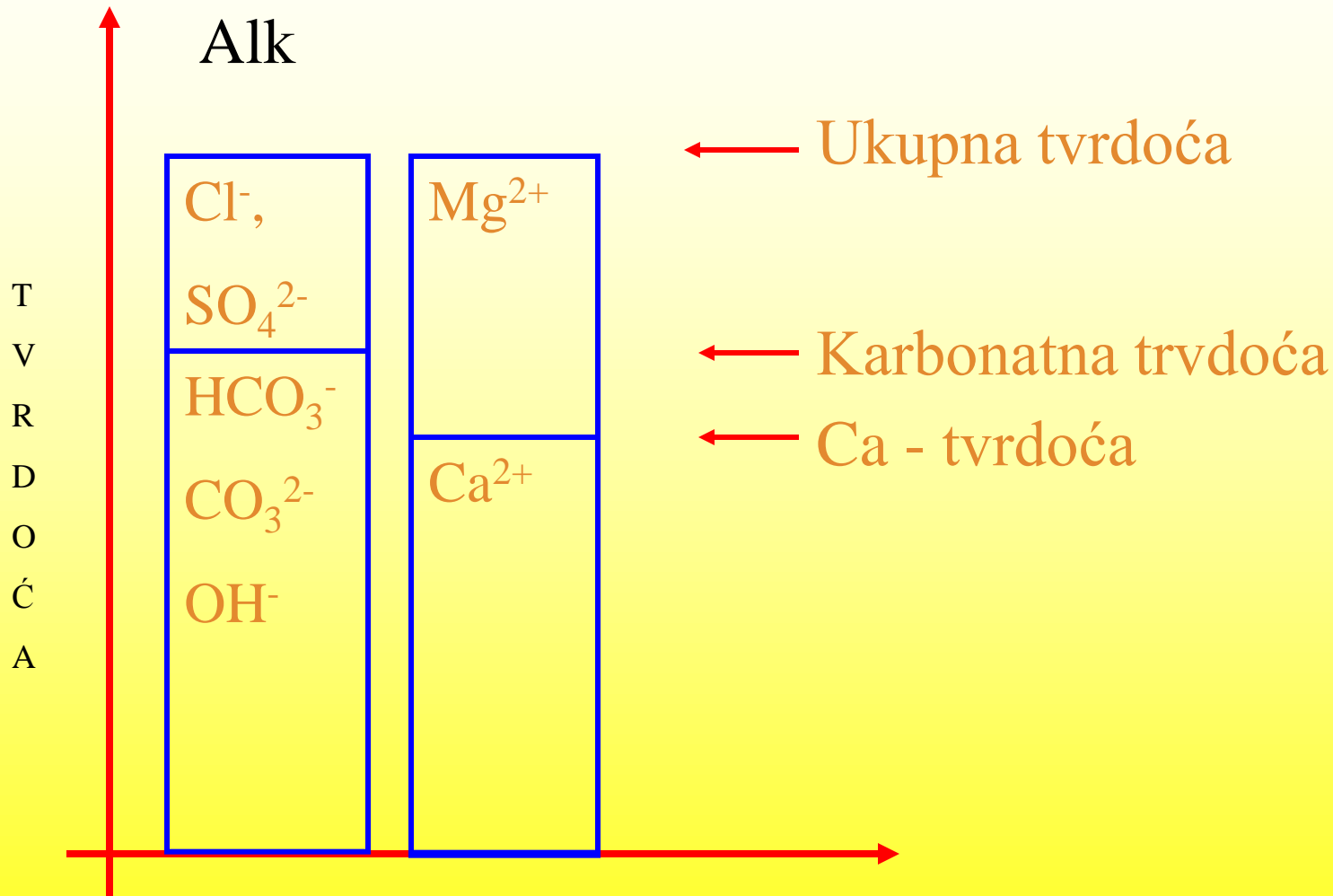
# TVRDOĆA VODE

**Karbonatna tv. > Ukupne tv.**



# TVRDOĆA VODE

Karbonatna tv. < Ukupne tv.



## Stabilnost vode

Indeks stabilnosti (IS)

$$IS = \frac{[Ca_{analitčna}]}{[Ca_{ravnotežni}]}$$

$IS < 1$  voda otapa  $CaCO_3$

$IS > 1$  voda taloži  $CaCO_3$

# **Procesi pročišćavanja podzemnih voda**

# Karakteristični primjeri vrijednosti pokazatelja kakvoće voda

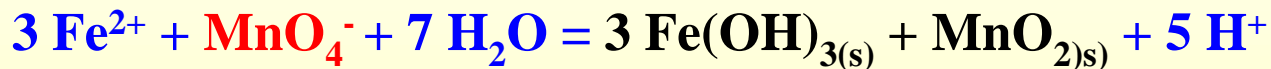
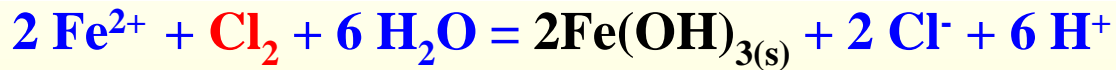
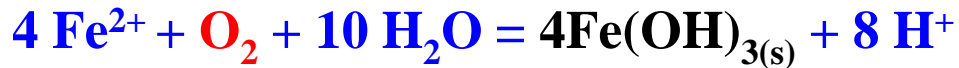
Pokazatelj	Lokacija				
	Ivanić G	Ravnik	Požega	Vinkovci	MDK
Temperatura, C	13.6	13.4	11.2	13.1	< 25
pH	7.05	7.34	7.29	7.24	6.5-8.5
CO <sub>2</sub> , mg/L	95	43	30	39	
Utr. KMnO <sub>4</sub> , O mg/L	4.50	2.21	0.91	0.88	3
Alkal., CaCO <sub>3</sub> mg/L	440	330	240	405	
Uk. tvrd., CaCO <sub>3</sub> , mg/L	367	277	248	273	
Ca, CaCO <sub>3</sub> , mg/L	262	189	225	159	
Mg, CaCO <sub>3</sub> , mg/L	105	88	23	114	
Fe, mg/L	5.0	1.48	0.01	0.53	0.20
Mn, mg/L	0.11	0.23	1.02	0.15	0.050
NH <sub>4</sub> , mg/L	6.70	0.87	0.026	0.38	0.50
N-Kjeldahl, N, mg/L	6.70	0.87	0.16	0.38	1.0
As, mg/L	n.d.	n.d.	n.d.	0.18	0.010
IS	0.78	0.88	0.63	0.74	>1

# Problematika

1. Uklanjanje željeza.....•
2. Uklanjanje mangana.....•
3. Uklanjanje amonijaka.....•
4. Uklanjanje arsena.....•
5. Uklanjanje organskih tvari.....•
6. Uklanjanje koloidnih čestica.....•
7. Dezinfekcija i stabilizacija vode.....•

# Uklanjanje željeza iz podzemnih voda

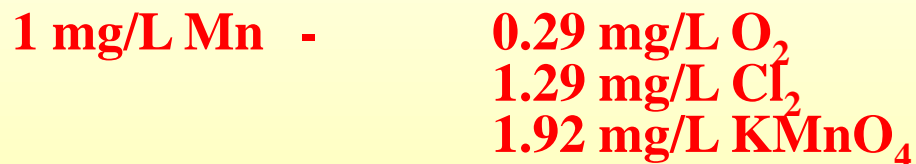
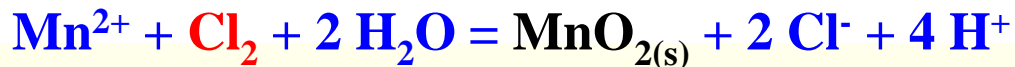
$$\frac{d(\text{Fe}^{2+})}{dt} = -k(p_{\text{O}_2}) * (\text{OH}^-)^2 * (\text{Fe}^{2+})$$



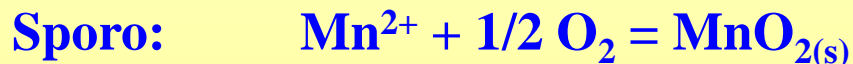
1 mg/L Fe	-	0.14 mg/L O <sub>2</sub>
	-	0.64 mg/L Cl <sub>2</sub>
	-	0.94 mg/L KMnO <sub>4</sub>

$$\frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = -k * (p_{\text{O}_2}) * [\text{OH}^-]^2 * [\text{Fe}^{2+}]$$

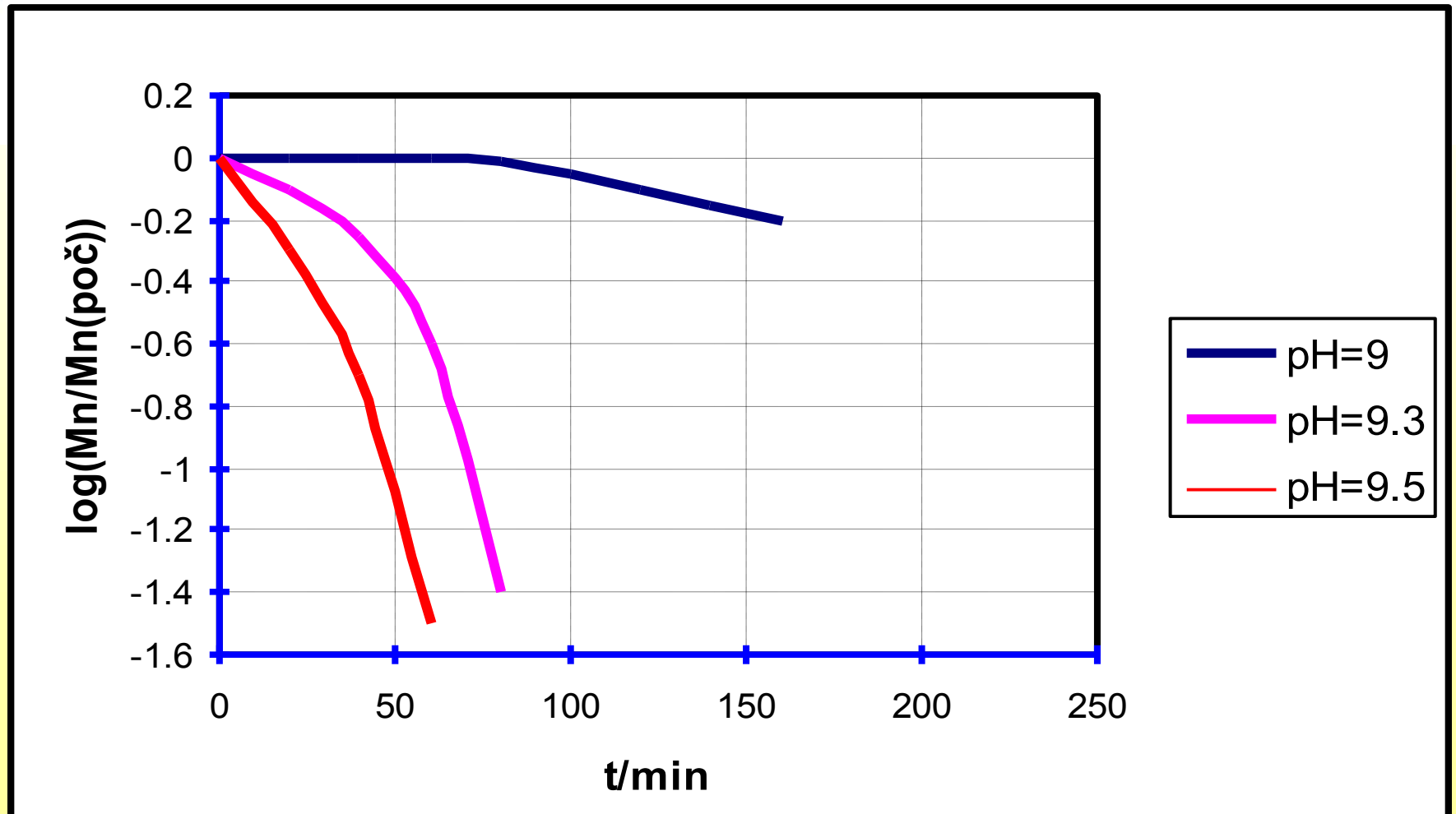
# Uklanjanje mangana iz podzemnih voda



Oksidacija s kisikom: **autokatalitički proces:**



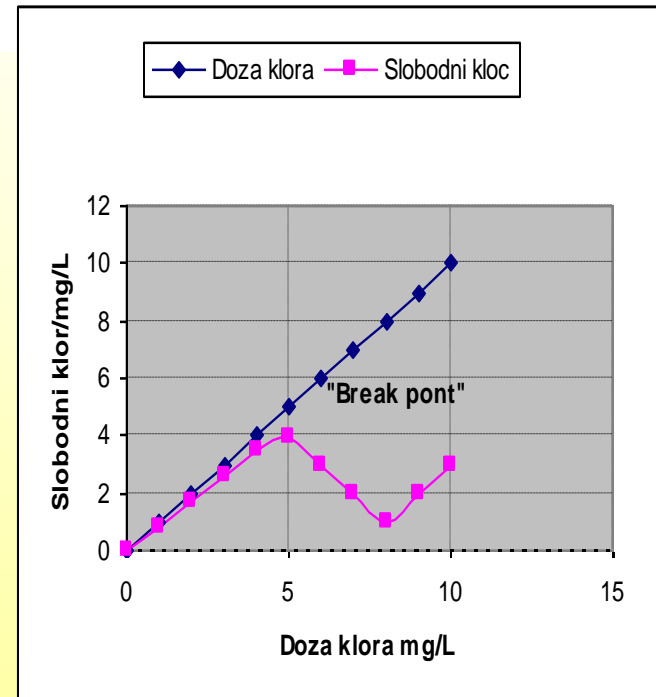
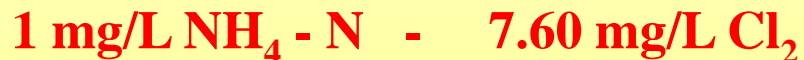
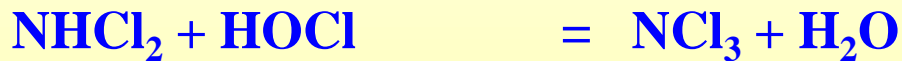
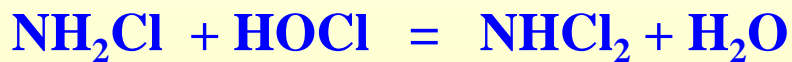
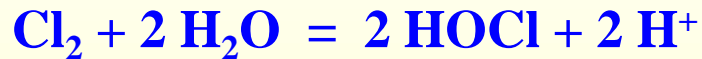
# Brzina oksidacije $Mn^{2+}$ kisikom pri različitim vrijednostima pH



# Uklanjanje amonijaka

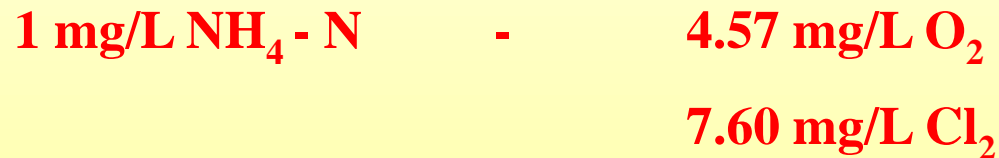
## Kemijski postupak

### "Breakpoint" klorinacija



# Uklanjanje amonijaka

## Biološki postupak



# Uklanjanje amonijaka, željeza i mangana

## BIOLOŠKI POSTUPAK

**Amonijak:**

*Nitrosomonas*  
*Nitrobacter*

**Željezo i mangan:**

*Gallionella*  
*Leptothrix*  
*Siderocapsa*

**Kritični uvjeti:**

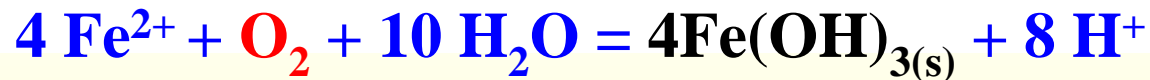
Temperatura  
pH  
Koncentracija kisika  
Hranjive tvari

**Biološka filtracija:**

Granulacija pjeska: 0.5/2 mm  
Brzina filtracije: 5 - 20 m/h

# Uklanjanje amonijaka, željeza i mangana

## BIOLOSKI POSTUPAK



1 mg/L  $\text{NH}_4$  - N - 4.57 mg/L  $\text{O}_2$

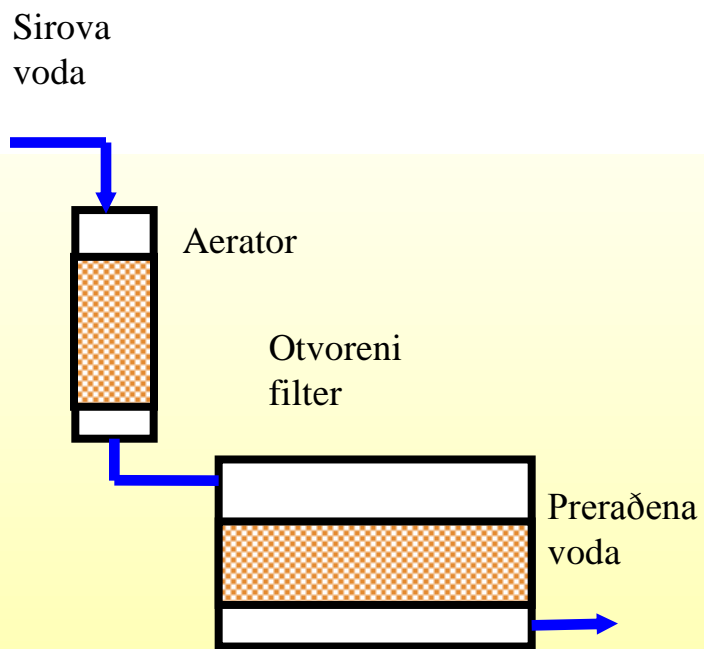
1 mg/L Mn - 0.29 mg/L  $\text{O}_2$

1 mg/L Fe - 0.14 mg/L  $\text{O}_2$

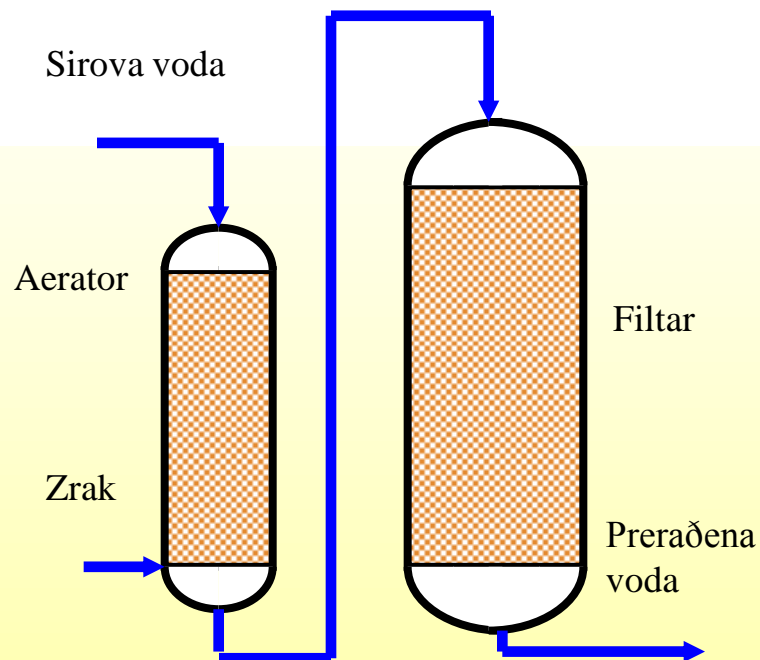
$\text{NH}_4$ -N < 1 mg/L - OTVORENI SUSTAV

$\text{NH}_4$ -N > 1 mg/L - ZATVORENI SUSTAV

# Uklanjanje amonijaka, željeza i mangana

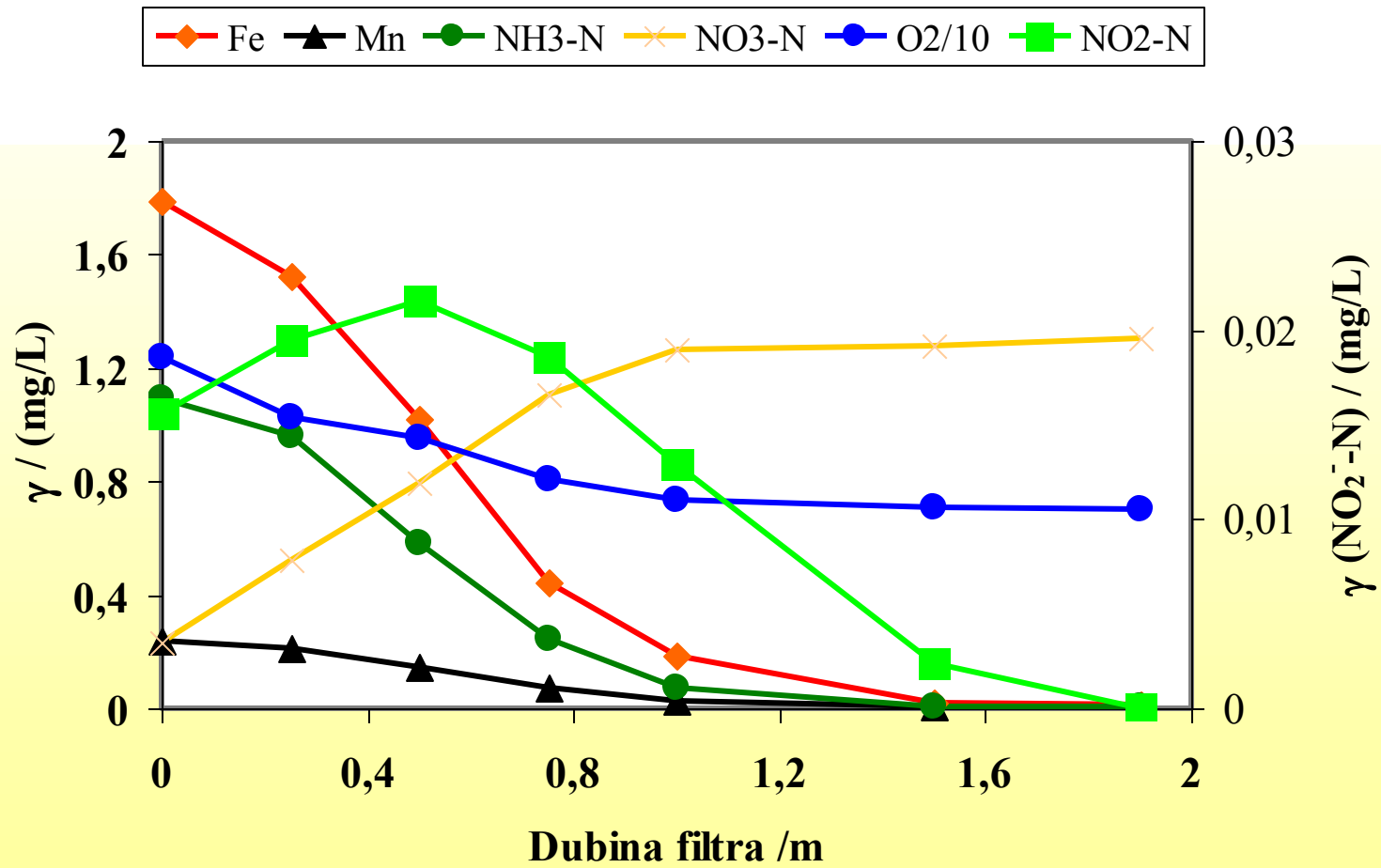


**Otvoreni sustav za preradu vode**



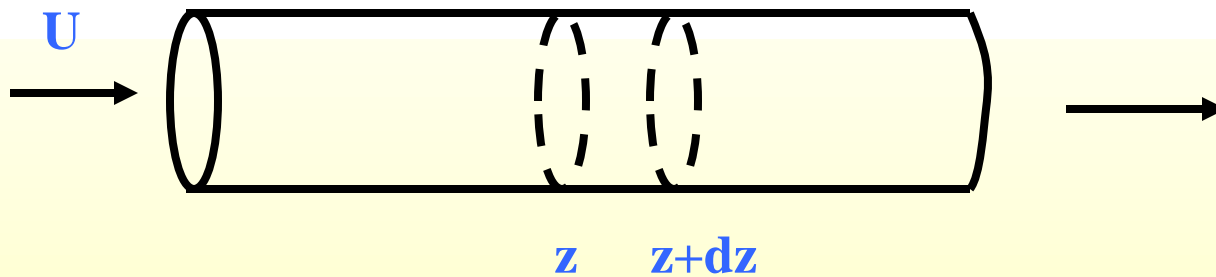
**Zatvoreni sustav za preradu vode**

# Profili koncentracija u bioloskom filtru



# Profili koncentracija u bioloskom filtru

## Koncentracijski profil supstrata u biološkom filtru



$$-U * \frac{dC_A}{dz} + r_A'' * \alpha = 0$$

$C_A$  - koncentracija A na dubini  $z$

$U$  - brzina filtracije u m/h

$r_A''$  - brzina uklanjanja A na površini  
filtarske ispune mol/(m<sup>2</sup> s)

$\alpha$  - specifična površina ispune m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

# Profili koncentracija u biološkom filtru

## Koncentracijski profil supstrata u biološkom filtru

$$-U * \frac{dC_A}{dz} + r_A'' * \alpha = 0$$

$$-r_A'' = k_c * (C_A - C_{As})$$

$$-U * \frac{dC_A}{dz} - k * \alpha (C_A - C_{As}) = 0$$

$$C_{As} \ll C_A$$

$$-U \frac{C_A}{dz} = k_c * \alpha * C_A$$

$C_A$  - koncentracija A na dubini z

$C_{As}$  - koncentracija A na površini filt. ispune

U - brzina filtracije u m/h

$r_A''$  - brzina uklanjanja A na površini  
filtarske ispune mol/(m<sup>2</sup> s)

$\alpha$  - specifična površina ispune m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

Integrirajući u području od  $C_{A0}$  do  $C_A$  i od  $z=0$  do  $z=L$ , dobivamo:

# Profili koncentracija u bioloskom filtru

## Koncentracijski profil supstrata u biološkom filtru

$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \exp\left(-\frac{k_c * \alpha * L}{U}\right)$$

$C_{A_0}$  - početna koncentracija supstrata A

$C_A$  - koncentracija A na dubini L

U - brzina filtracije u m/h

$K_C$  - konstanta prijenosa mase u m/s

$\alpha$  - specifična površina ispune  $m^2/m^3$

Preuređenjem ove jednažbe dobivamo:

$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \exp\left(-\frac{k}{U^n} * L\right)$$

K i n - konstante

# Profili koncentracija u bioloskom filtru

Logaritmiranjem dobivamo jednadžbu pravca:

$$\ln\left(\frac{C_A}{C_{A_0}}\right) = -\frac{k}{U^n} * L$$

Prema tome, na temelju eksperimentalnih podataka o promjeni koncentracije supstancije A po dubini filtra L, možemo pri različitim brzinama filtracije U, odrediti vrijednosti konstanti k i n.

# Kinetika uklanjanj željeza, mangna i amonijaka u biološkom filtru

## Koncentracijski profil supstrata u biološkom filtru

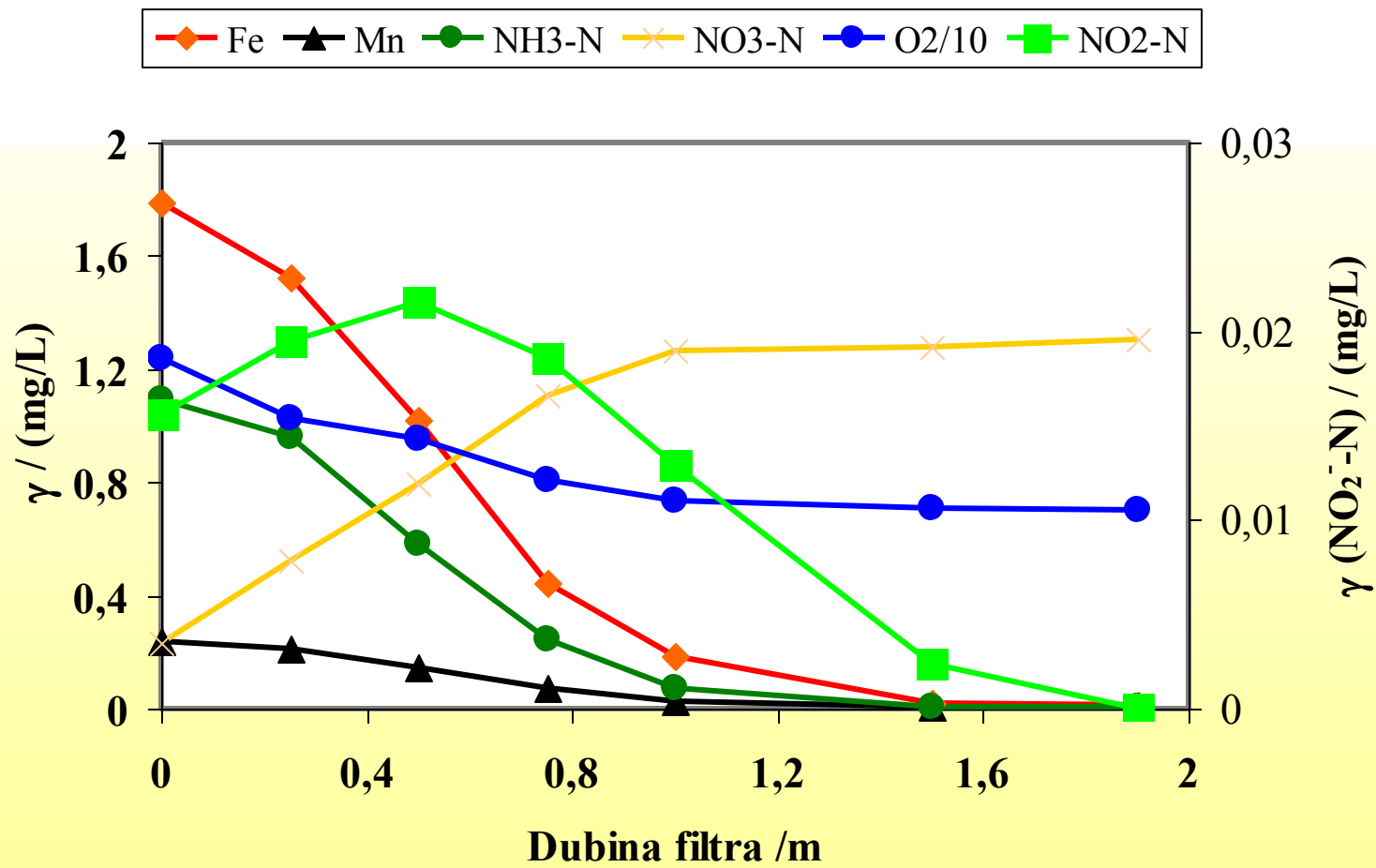
$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \exp\left(-\frac{k}{U^n} * L\right)$$

$C_{A_0}$  - početna koncentracija supstrata A  
 $C_A$  - Koncentracija A na dubini L  
U – brzina filtracije u m/h  
K i n - konstante

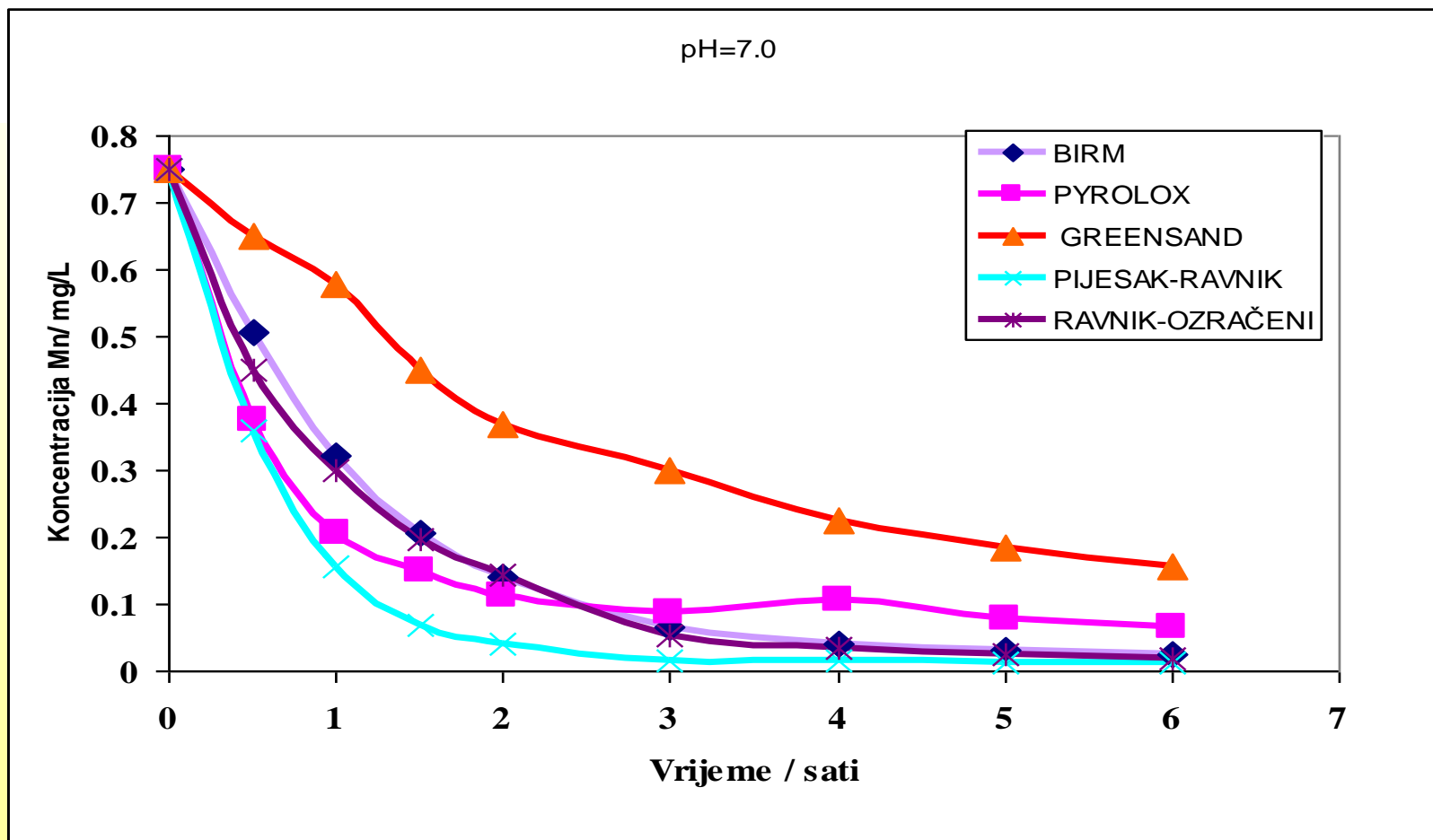
Vrijednosti konstanti k i n za željezo, mangan i amonijak:

<i>Supstrat:</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>NH<sub>3</sub></i>
<i>k/h<sup>-1</sup></i>	294	30,2	27,9
<i>n</i>	1,53	0,74	0,65

# Profili koncentracija u bioloskom filtru

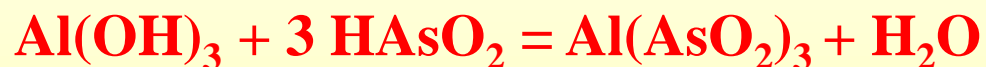
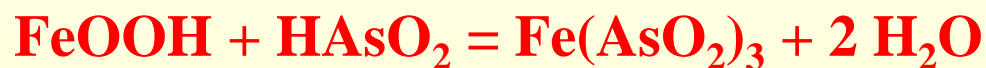


# Kinetika uklanjanje mangana na različitim filtarskim materijalima (T. Štembal)



# Uklanjanje arsena

Djeluju mehanizmi adsorpcije i koprecipitacije s  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  i drugih specija.

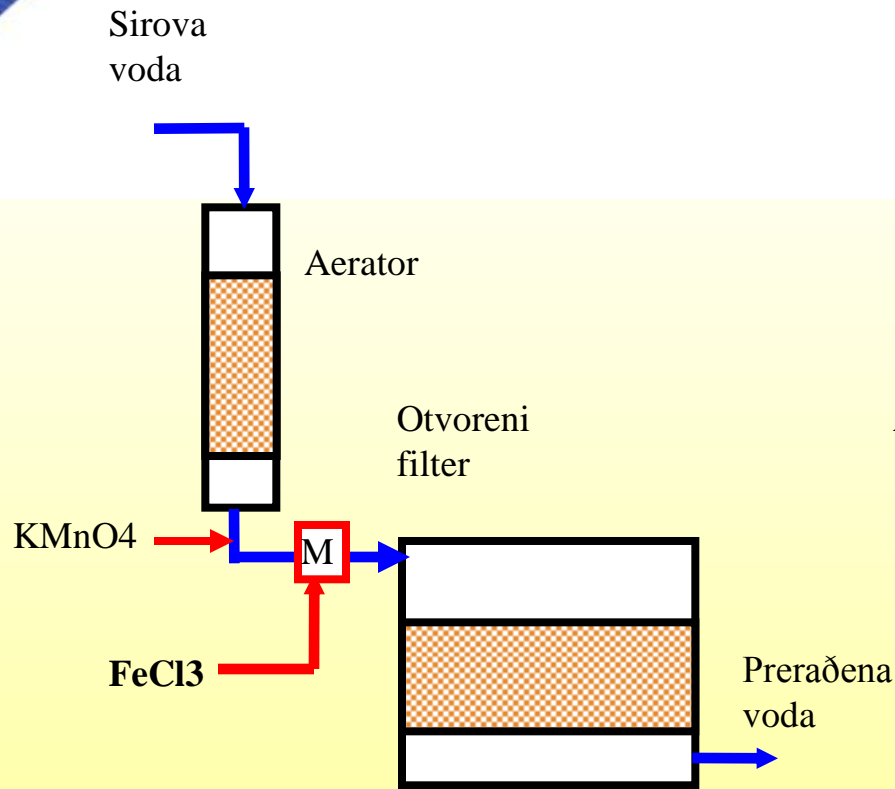


Učinkovitije se uklanja As(V) od As(III). Zbog toga se As(III), prije dodavanja  $\text{FeCl}_3$ , oksidira u As(V) dodatkom  $\text{KMnO}_4$ , ozona ili drugih oksidacijskih sredstava.

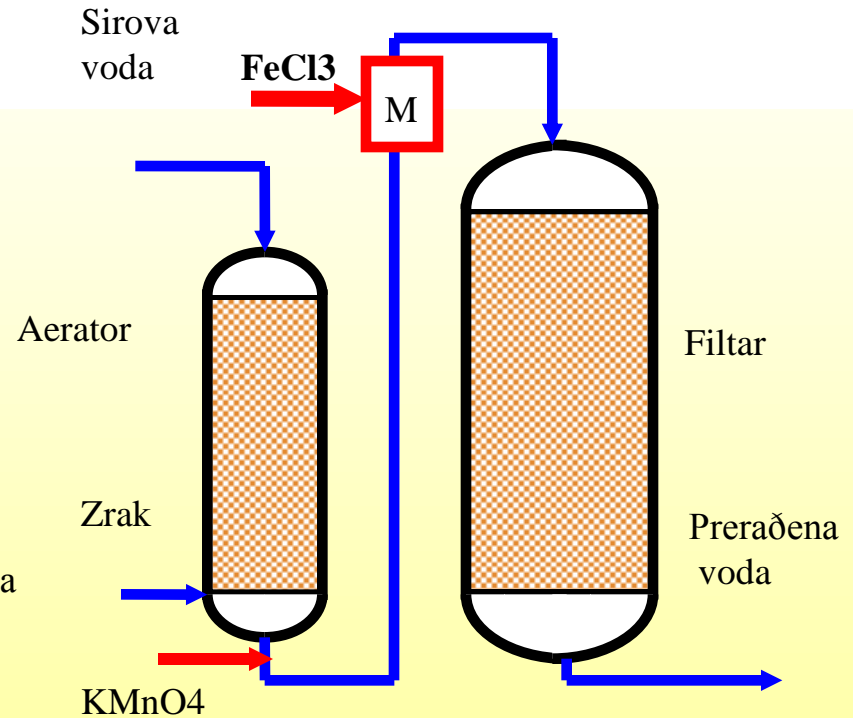
Intenzivnije mješanje povećava učinak uklanjanja arsena.

Dodatak  $\text{FeCl}_3$ , osim što uklanja As, djelomično uklanja i organsku tvar iz vode.

# Uklanjanje amonijaka, željeza, mangana i arsena

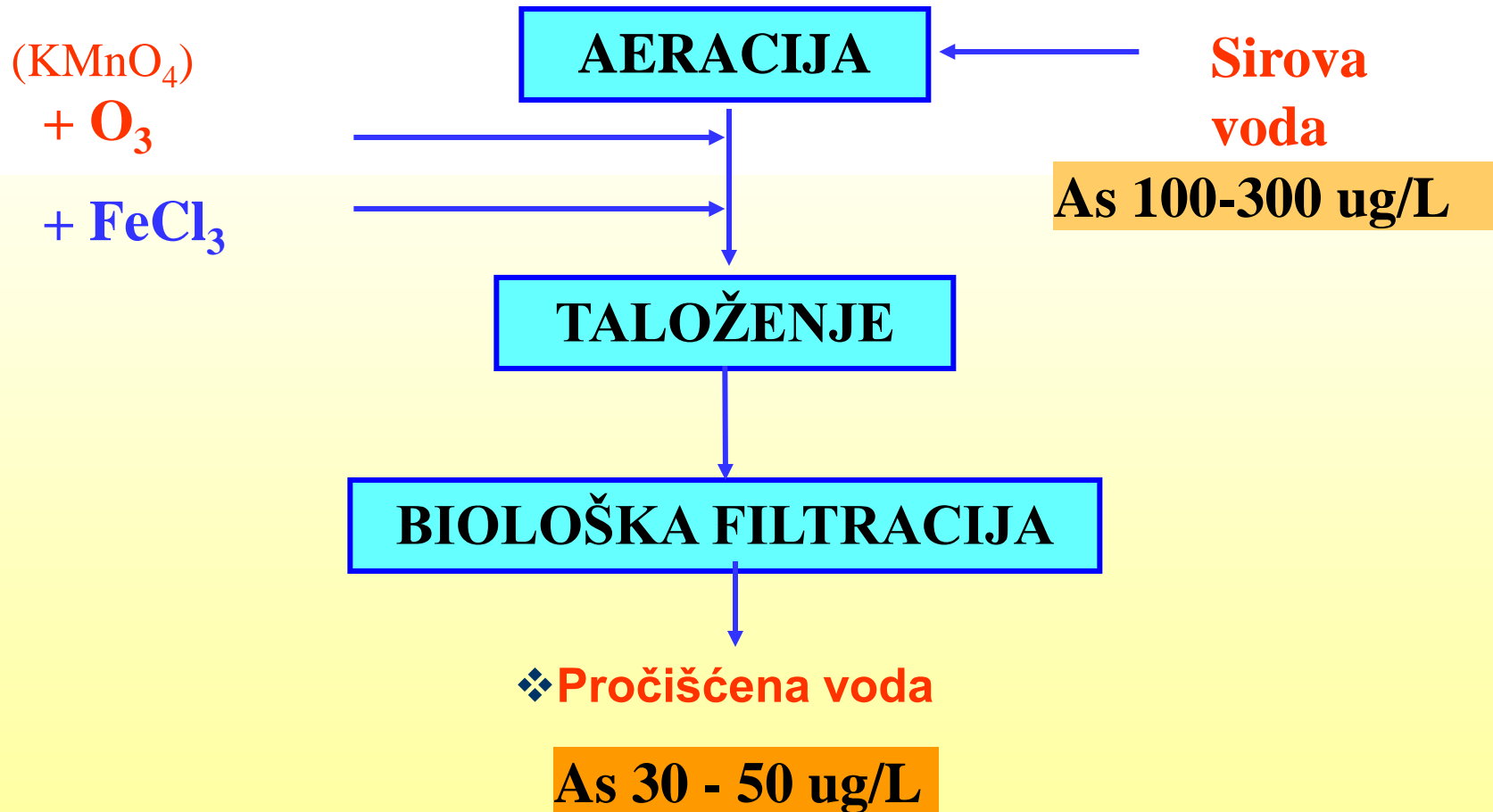


Otvoreni sustav za preradu vode



Zatvoreni sustav za preradu vode

# Primjena ozona umjesto $\text{KMnO}_4$ kod postupka uklanjanja arsena



**Koje su mogućnosti daljnjeg smanjenja koncentracije As?**

## Hot Tip

$$X_{As} = K * m_{Fe} * C_{As}$$

Freundlichova izoterma:

$$\frac{X_{As}}{m_{Fe}} = K * (C_{As})^{1/n}$$

$X_{As}$ /  $\mu\text{g}$  – masa uklonjenog As

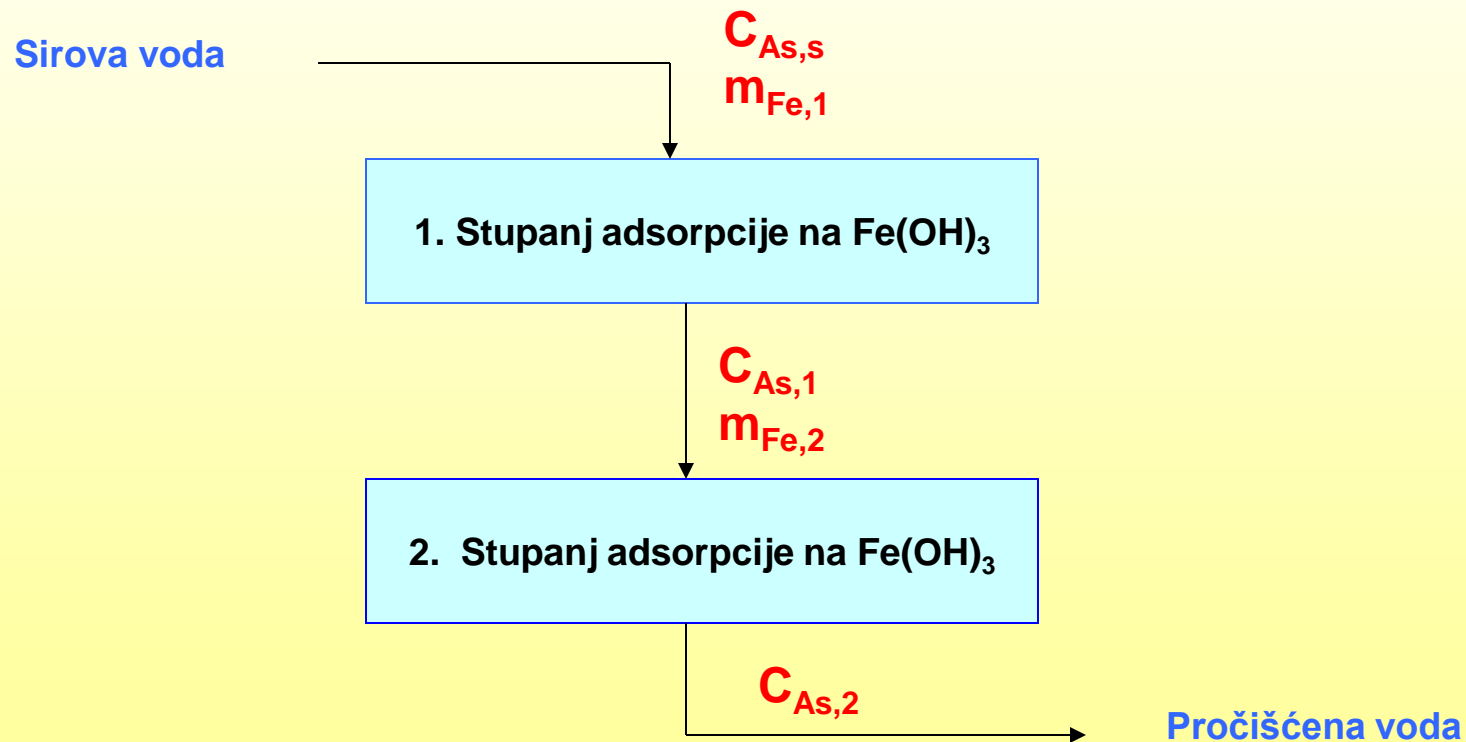
$m_{Fe}$ / mg - masa  $\text{Fe}^{3+}$  za adsorpciju

$C_{As}$ / ( $\mu\text{g/L}$ ) – masena koncentracija As u otopini nakon adsorpcije

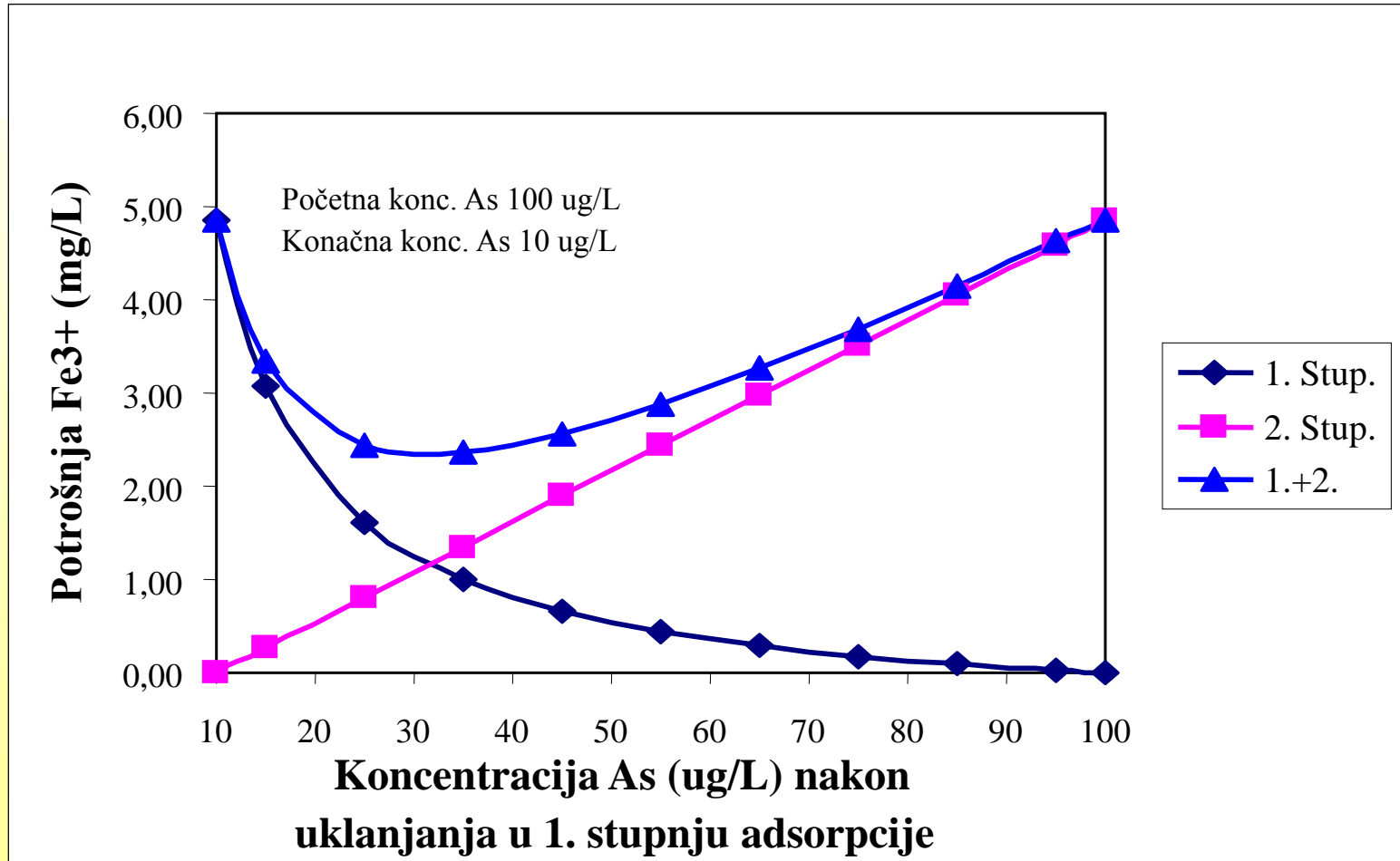
$K$  /( $\text{L}/\mu\text{g}$ ) – konstanta

Freundlichova izoterma:

$$\frac{X_{As}}{m_{Fe}} = K * (C_{As})^{1/n}$$



# Potrošnja $\text{Fe}^{3+}$ (mg/L) za uklanjanje As u dva stupnja adsorpcije



# Uklanjanje arsena višestupanjskom adsorpcijom na željezov hidroksid

## Freundlichova adsorpcijska izoterma

$$\frac{X_{As}}{m_{Fe}} = K * [C_{As}]^{1/n}$$

$K=0,00186 \text{ L/ug}$

$n=1$

$X_{as}/\text{ug}$  – masa adsorbiranog As

$m_{Fe}/\text{mg}$  – masa Fe hidroksida

$C_{As} / \text{mg/L}$  – koncentracija As u otopini

Doza željeza (mg/L) potrebnog za uklanjanje As od početnih 300 na 10 ug/L:

Stupnjevi adsorpcije	Ukupna doza $\text{Fe}^{3+}$	Omjer Fe/As
1	15,6	53,9
2	4,82	16,6
3	3,4	11,7

A close-up photograph of various pieces of laboratory glassware, including beakers and test tubes, arranged on a surface. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows, creating a blue and yellow color palette. The glassware is slightly out of focus, emphasizing the texture and reflections.

**Hot Tip**

# **POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE**

# Pročišťavanie površinskih voda

## Karakteristična onečistenja:

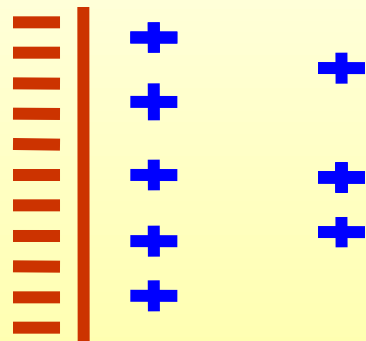
Mutnoća

Boja

Organska tvar

Biološki materijal (alge, plankton itd.)

Nedefinirana potencijalna onečisten

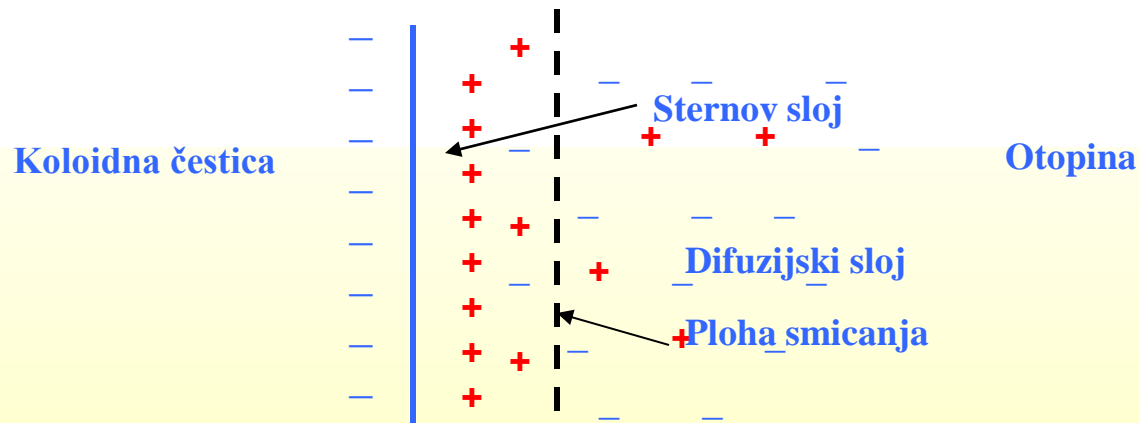


Koloidna  
čestica

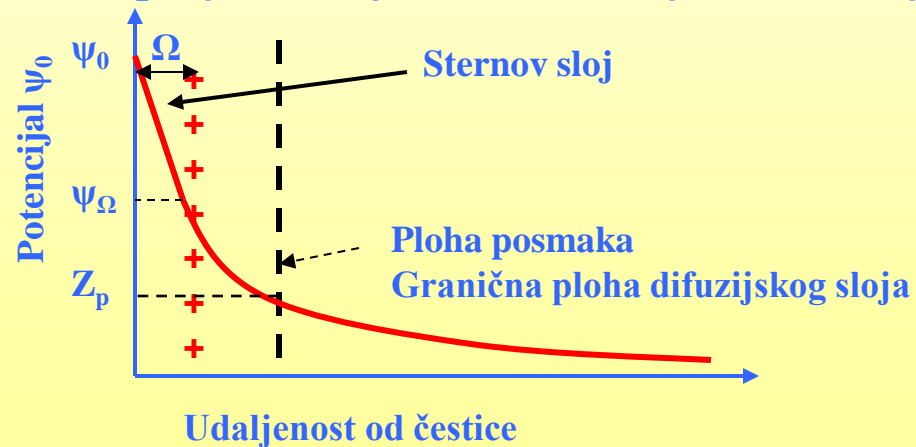
Otopina

# Električni dvosloj

## Model elektrokemijskog dvosloja



## Raspodjela naboja u elektrokemijskom dvosloju



$$Z_p = \frac{4 \pi q \delta}{D}$$

$Z_p$  - Zeta potencijal

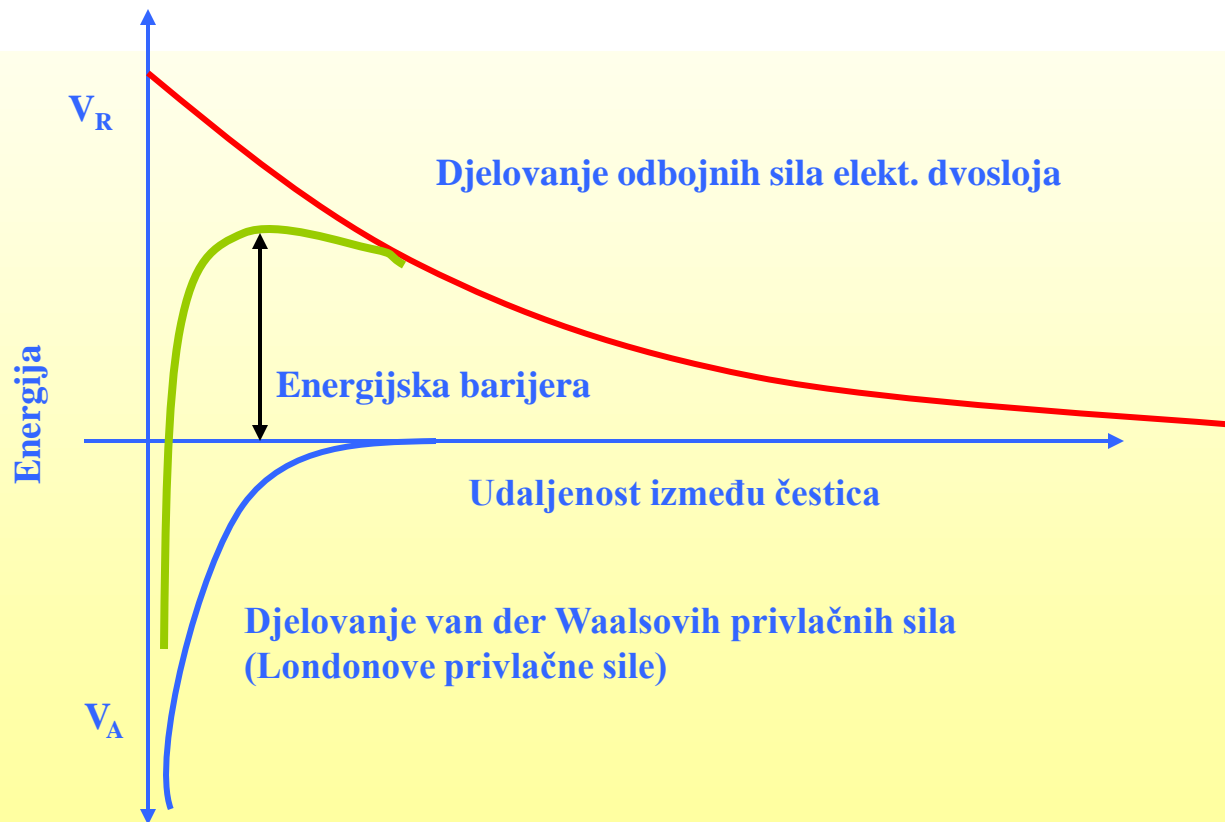
$q$  - Naboj čestice

$\delta$  - Rdiiju utjecaj naboja

$D$  - Dielektrična konstana medija

# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## ENERGIJA ODBIJANJA I PRIVLAČENJA NABIJENIH ČESTICA

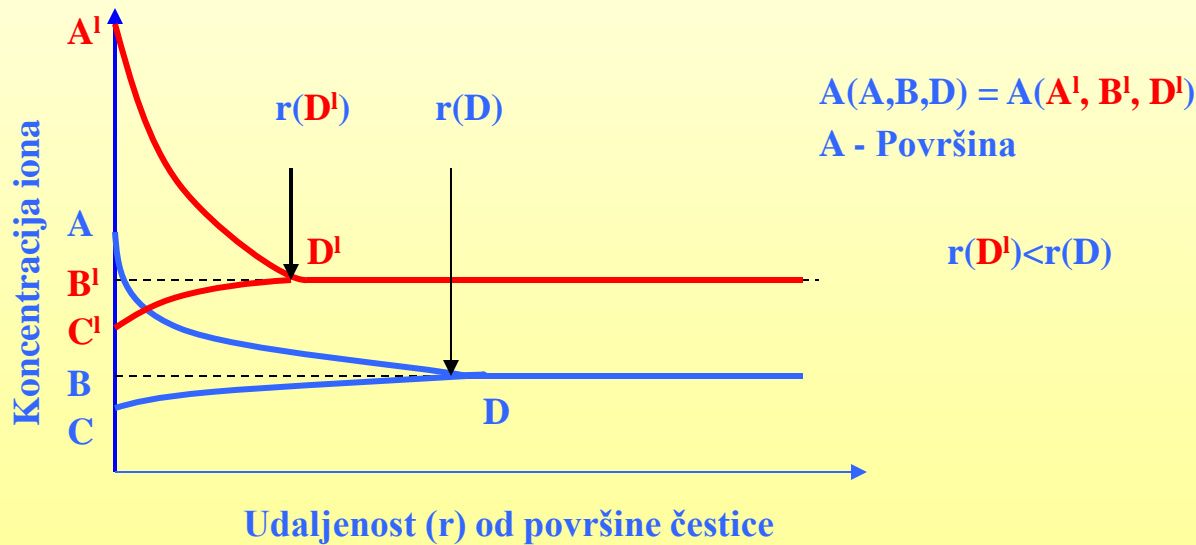


# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## DESTABILIZACIJA KOLOIDNIH ČESTICA

- a) Kompresija električnog dvosloja
- b) Smanjenje površinskog potencijala adsorpcijom i neutralizacijom naboja
- c) Destabilizacija koloida su-taloženjem (koprecipitacijom)
- d) Destabilizacija koloida adsorpcijom i spajanjem čestica

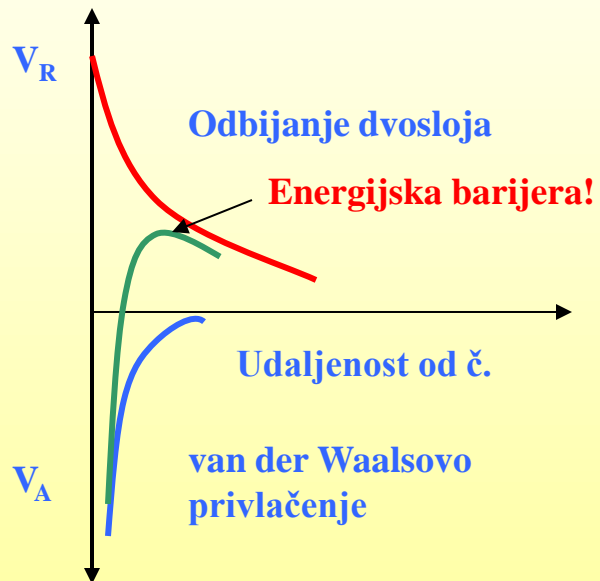
### a) Kompresija električnog dvosloja



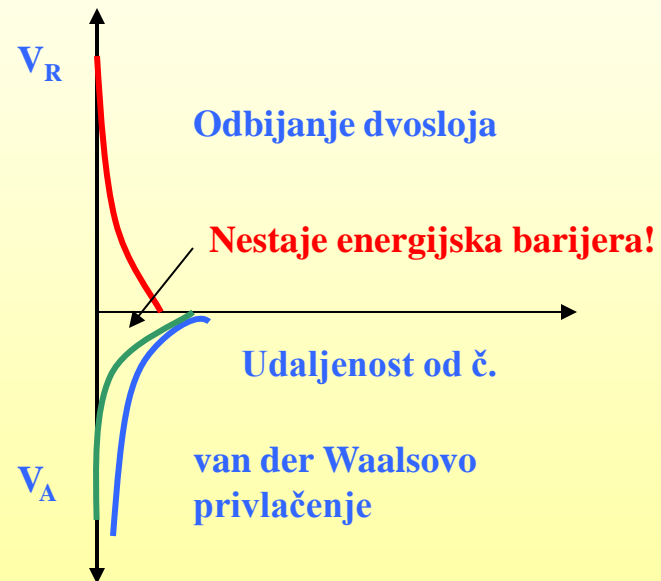
# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## DESTABILIZACIJA KOLOIDNIH ČESTICA

Kompresija električnog dvosloja



Mala koncentracija elektrolita  
- Nema kompresije dvosloja



Velika koncentracija elektrolita  
- Komprimira se dvosloj

# POSTUPCI KOAGULACJE I FLOKULACIJE

## DESTABILIZACIJA KOLOIDNIH ČESTICA

### b) Smanjenje površinskog potencijala adsorpcijom i neutralizacijom naboja



Adsorpcijom hidratiziranih pozitivno nabijenih  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ , a i niza drugih ionskih vrsta, na površinu koloidne čestice dolazi do neutralizacije naboja i destabilizacije koloida.

U ovom procesu učestvuje čitav niz različitih ionskih vrsta. Djelovanje je posebno izraženo pri koncentracijama ispod granice njihove topljivosti.

Konstante nastajanja hidrolitiških vrsta aluminijevih iona pri 25 °C i ionske jakosti, I = 0 M. \*) log K<sub>s</sub>

	<b>REAKCIJA</b>	<b>log K</b>
<b>1</b>	$\text{Al}^{3+} = \text{Al}(\text{OH})^{2+} + \text{H}^+$	<b>-5.02</b>
<b>2</b>	$2\text{Al}^{3+} = \text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+} + 2\text{H}^+$	<b>-6.27</b>
<b>3</b>	$6\text{Al}^{3+} = \text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+} + 15\text{H}^+$	<b>-47.00</b>
<b>4</b>	$8\text{Al}^{3+} = \text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+} + 20\text{H}^+$	<b>-68.7</b>
<b>5</b>	$13\text{Al}^{3+} = \text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+} + 34\text{H}^+$	<b>-97.39</b>
<b>6</b>	$\text{Al}^{3+} = \text{Al}(\text{OH})_4^- + 4\text{H}^+$	<b>-23.57</b>
<b>7</b>	$\text{Al}(\text{OH})_{3(s)} = \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3\text{OH}^-_{(aq)}$	<b>-32.34 *</b>

# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## DESTABILIZACIJA KOLOIDNIH ČESTICA

### c) Destabilizacija koloida su-taloženjem (koprecipitacijom)

Dodavanjem metalnih iona (npr.  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) u dovoljnim količinama dolazi do brzog taloženja njihovih hidrolitičkih vrsta. Koloidne čestice mogu u tom slučaju služiti kao centri njihove kristalizacije ili ih “pokupi” nastali talog prilikom sedimentacije.

Proces se naziva “sweep-floc” koagulacija

### d) Destabilizacija koloida adsorpcijom i spajanjem čestica

Mnoge prirodne, a i sintetske supstancije, poput škroba, celuloze, sintetskih polimera, itd., poznati su kao učinkoviti koagulant. To su velike molekule s više električnog naboja uzduž lančaste strukture ugljikovih atoma. Ovakvi pozitivni (kationski) ili negativni (anionski) polimeri (plielektroliti) mogu mehanizmom premošćivanja destabiliziraju koloidne čestice.

# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## DESTABILIZACIJA KOLOIDNIH ČESTICA

### d) Destabilizacija koloida adsorpcijom i spajanjem čestica

Mehanizmi adsorpcije i premošćivanja  
koloidnih čestica polielektrolitima

Anionski

kationski i

Neutralni polielektroliti

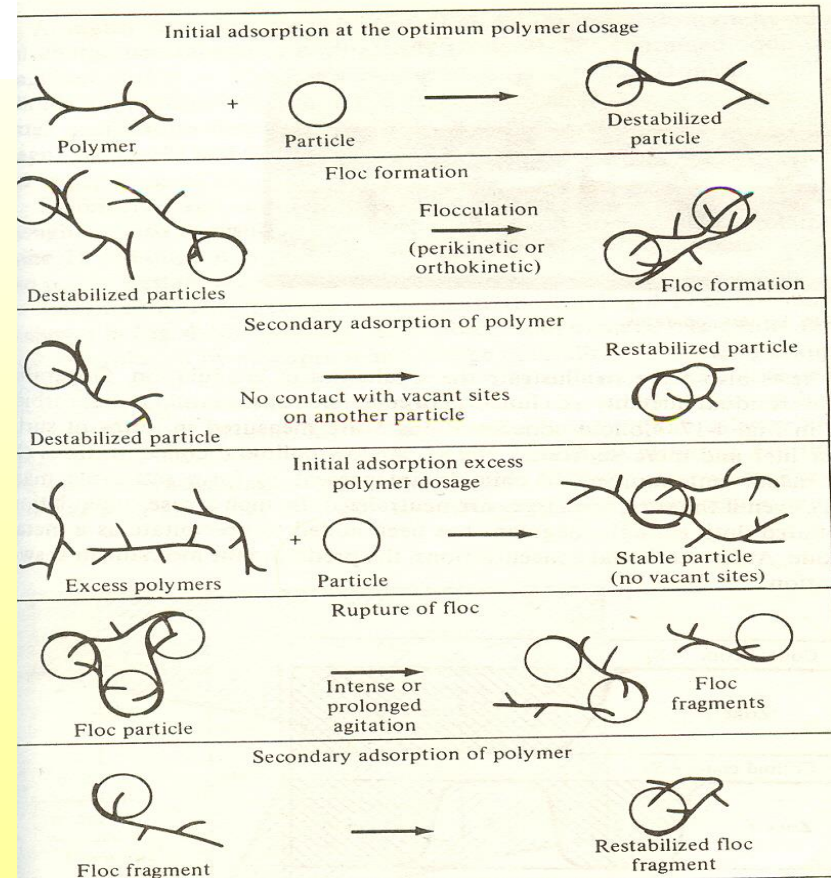


Figure 4-15 Interparticle bridging with polymers. (After O'Melia [4-41].)

# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

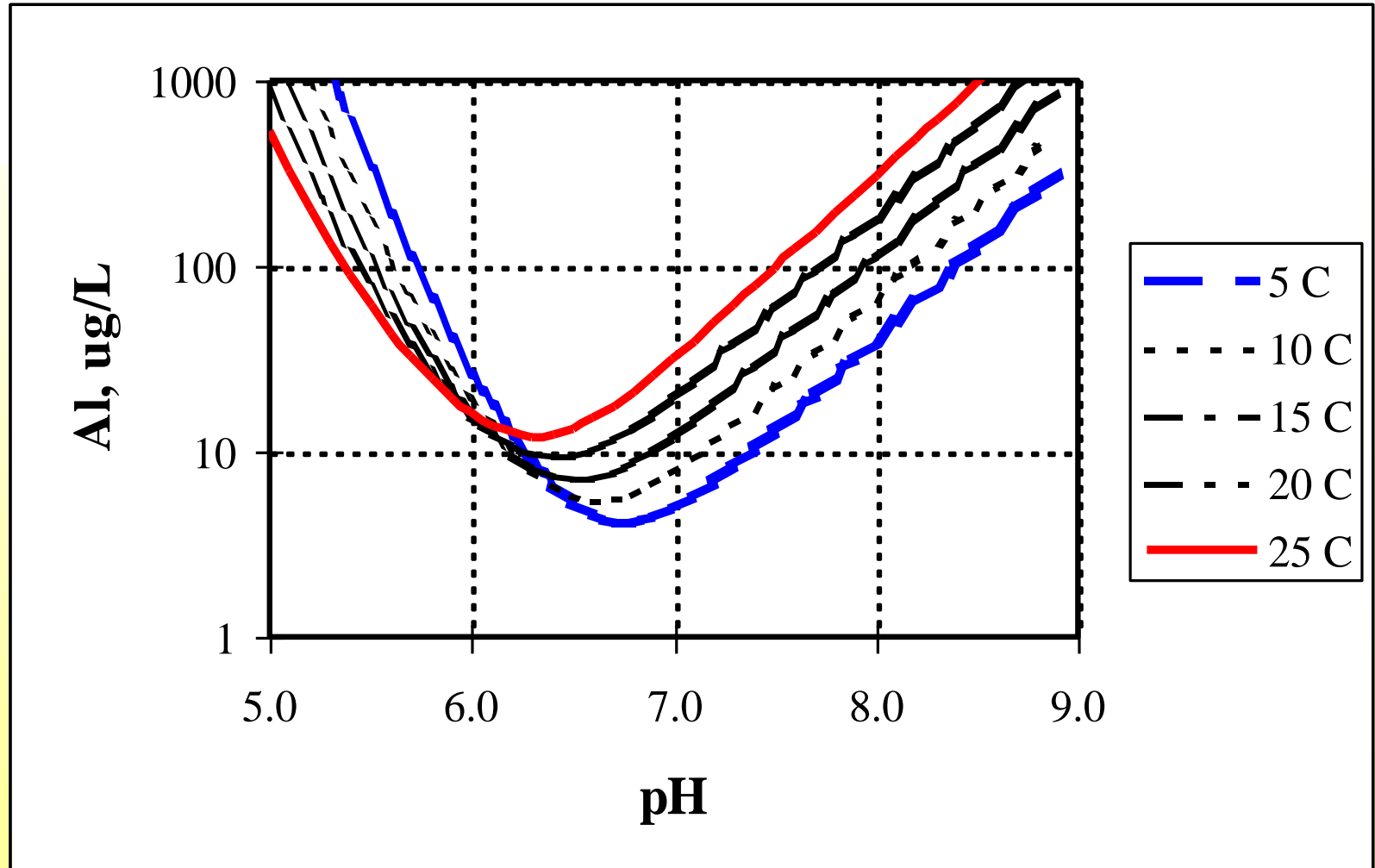
## Postupak koagulacije i flokulacije u praksi

Postupak koagulacije flokulacije odvija se u pravilu kombinacijom više mehanizama

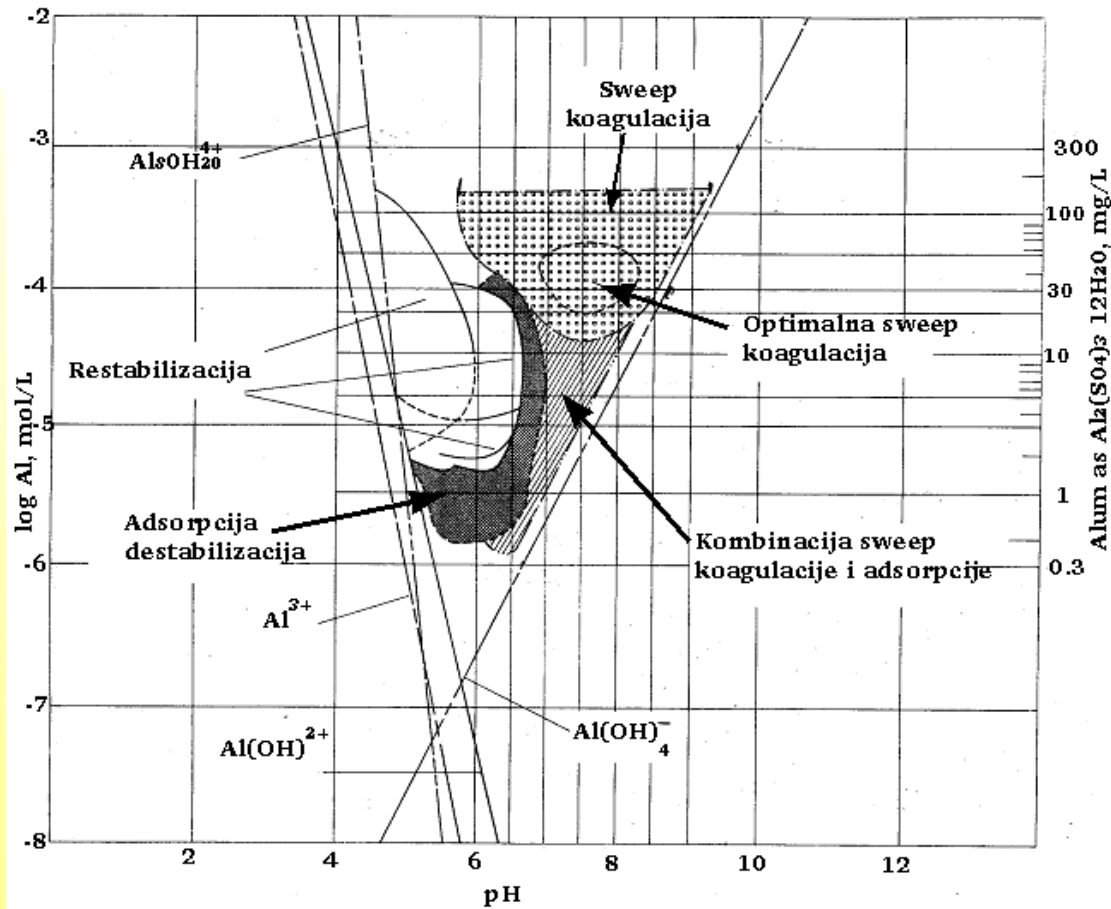
Značajnu ulogu igraju uvjeti, kao što su:

- koncentracija koagulanta
- sastav vode
- pH
- temperatura
- intenzitet miješanja
- itd.

# Krivulje topljivosti aluminija



# Područja s različitim mehanizmima djelovanja koagulanta $\text{Al}^{3+}$



# POSTUPCI KOAGULACIJE I FLOKULACIJE

## Utvrđivanje optimalnih uvjeta za odvijanje procesa koagulacije i flokulacije

### - Snimanje radnih krivulja

Snimanje krivulja mutnoća – doza koagulanta na postojećim postrojenjima u realnim uvjetima

### - JAR testovi

Laboratorijski pokusi paralelno u 5-6 čaša s različitim dozama koagulanta/flokulanta ali pri identičnim uvjetima miješanja

### - Mjerenje elektrokinetičkog potencijala

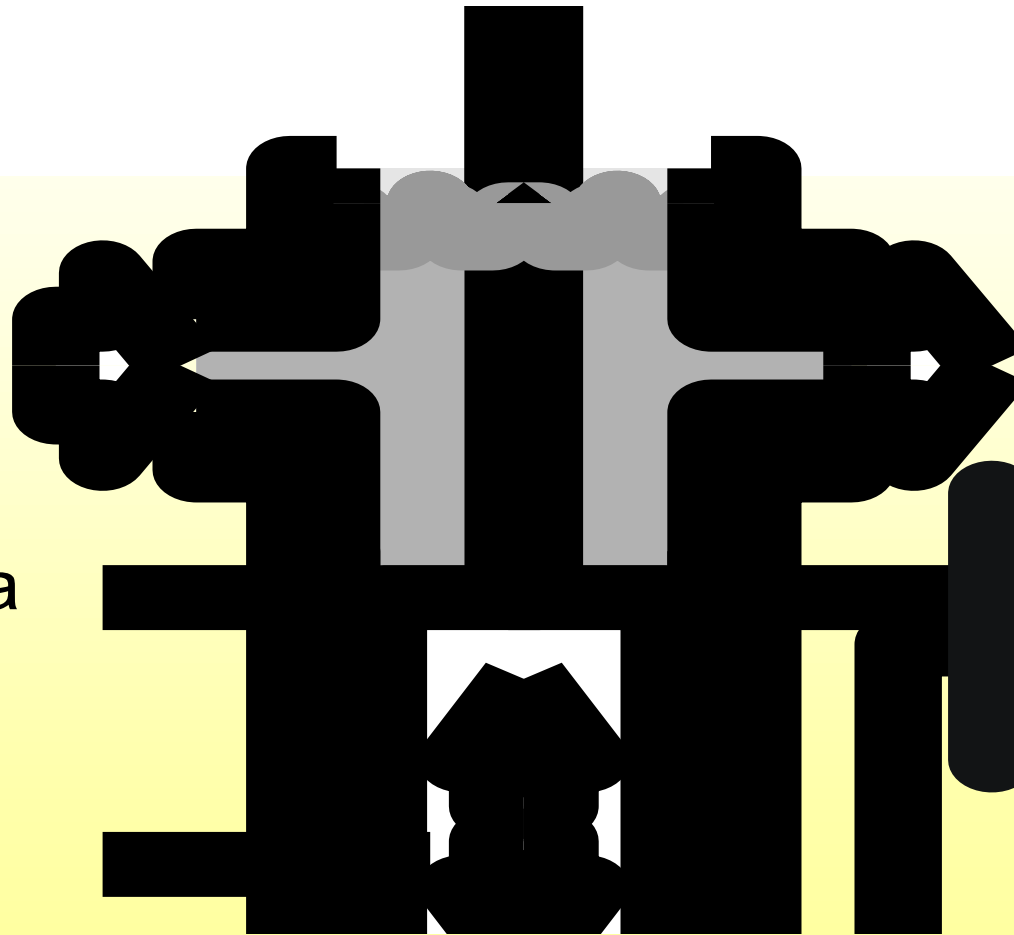
Vrijednost ZETA potencijala ili elektrokinetičkog potencijala (potencijal strujanja, struja strujanja) kao mjerilo za podešavanje optimalnih uvjeta koagulacije

# Mjerenje potencijala strujanja

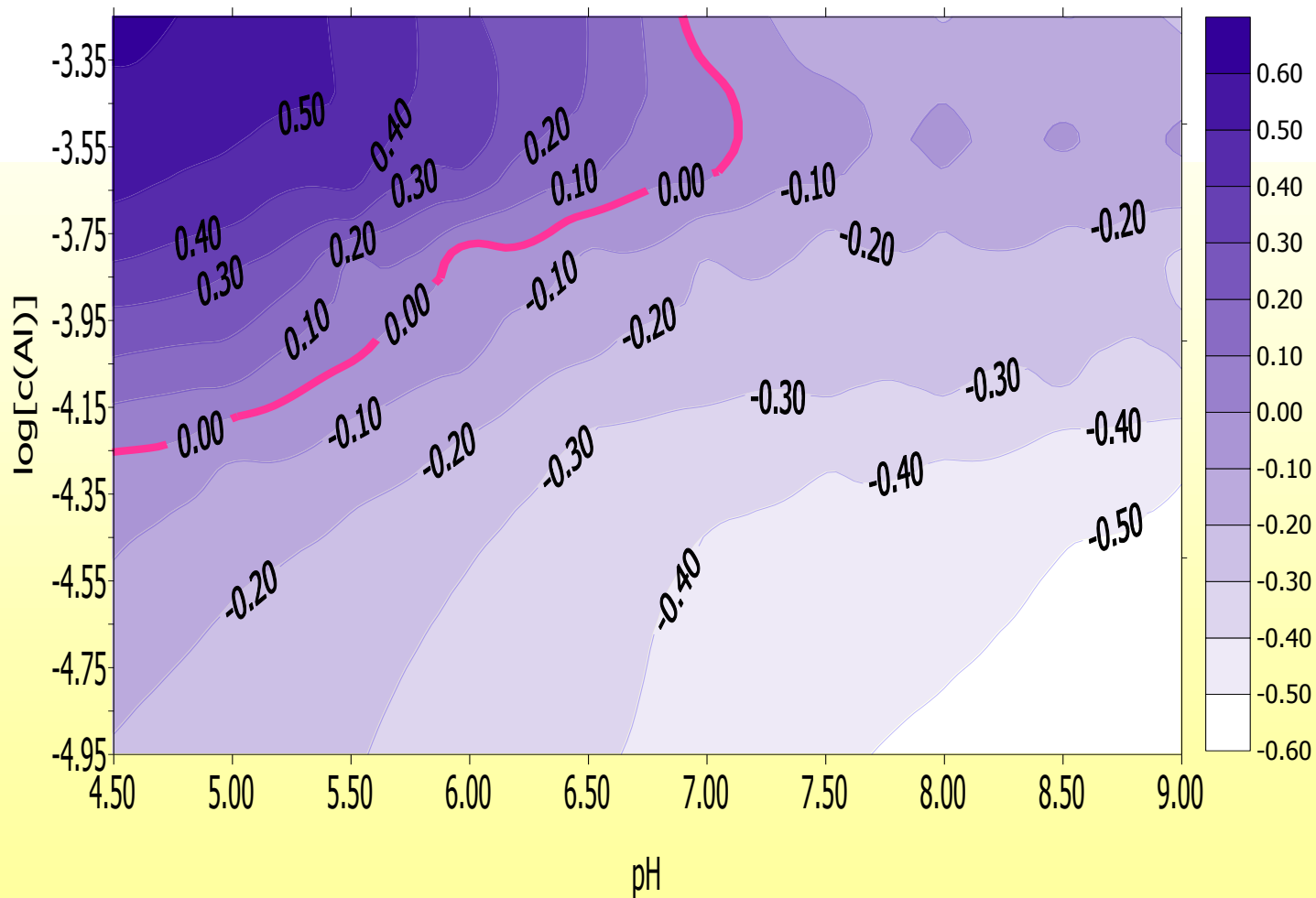
Ulaz  
uzorka

Elektroda

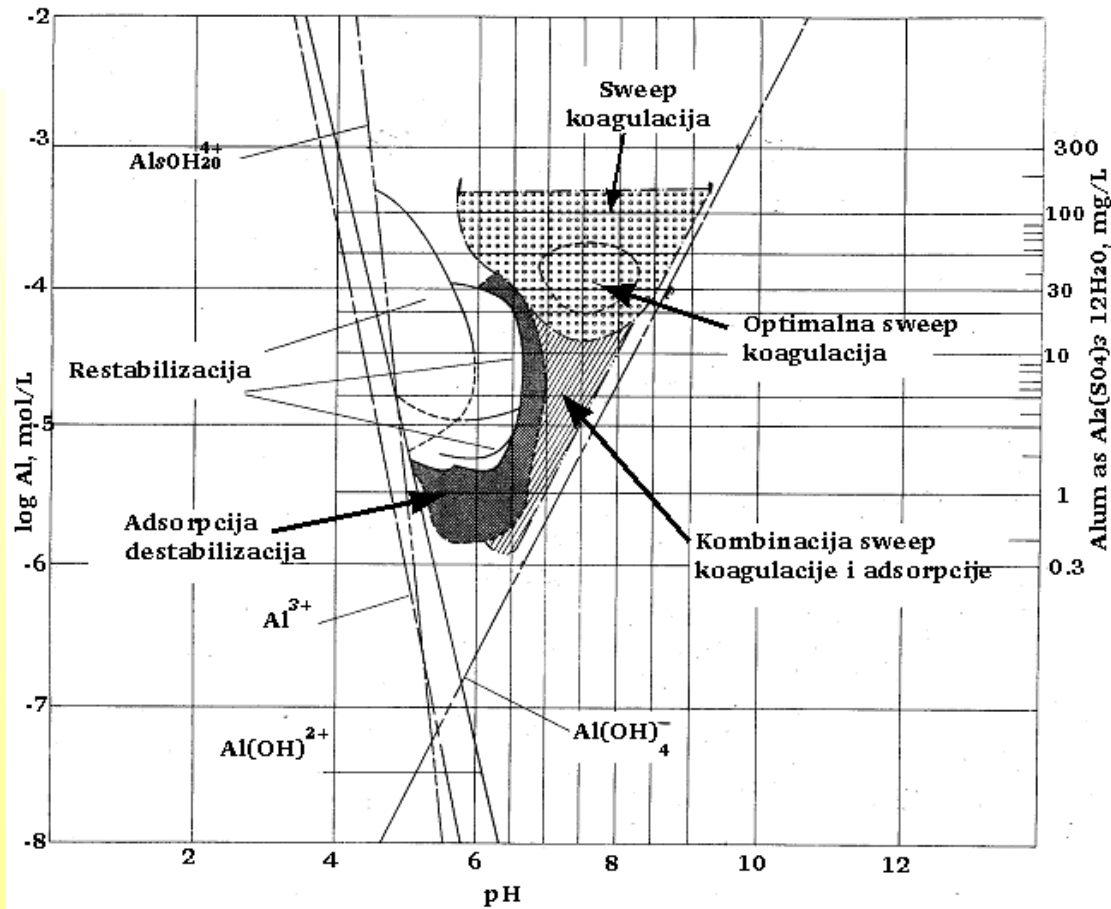
Klip



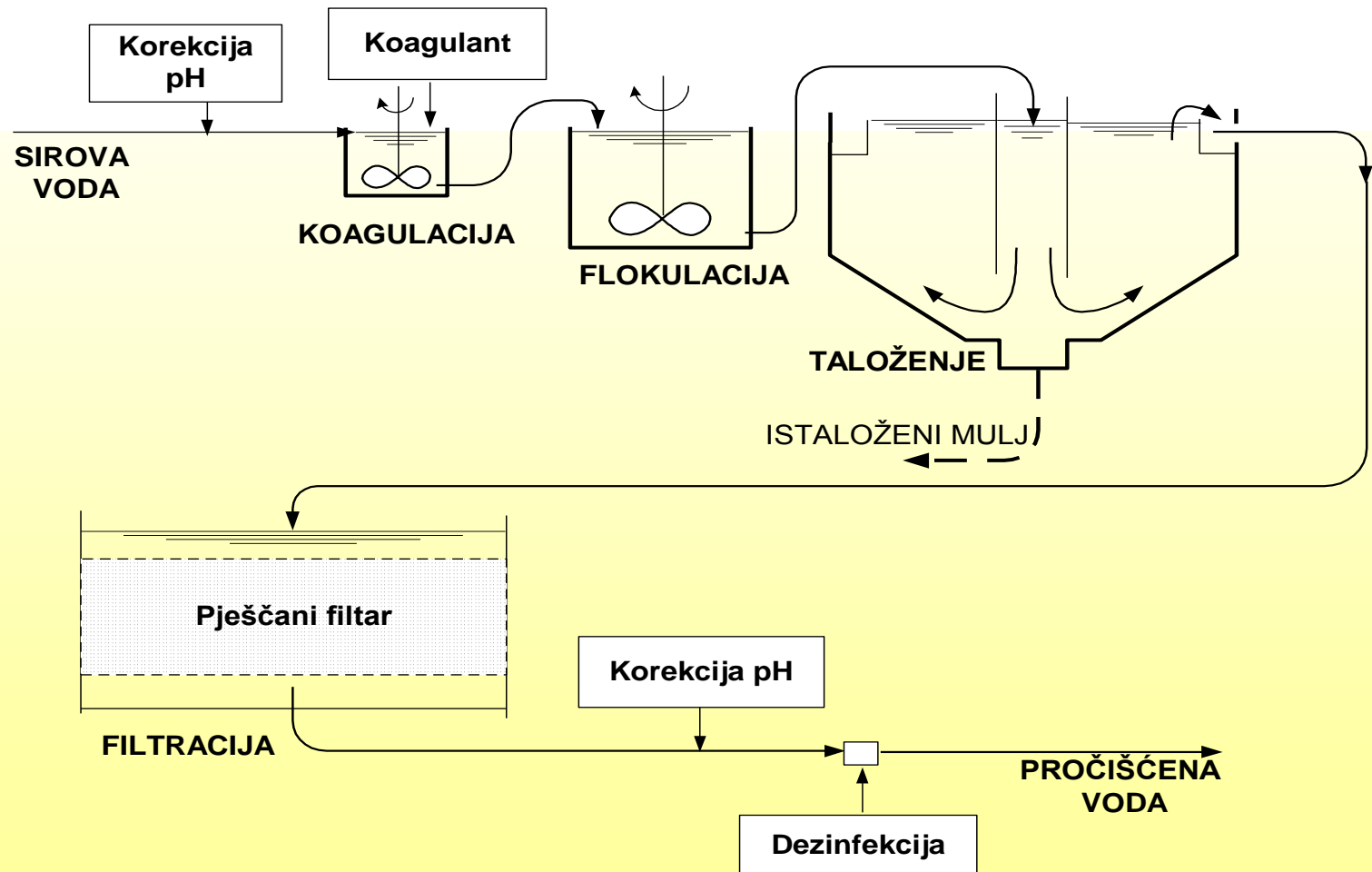
# Potencijal strujanja u funkciji pH i koncentracije $Al^{3+}$



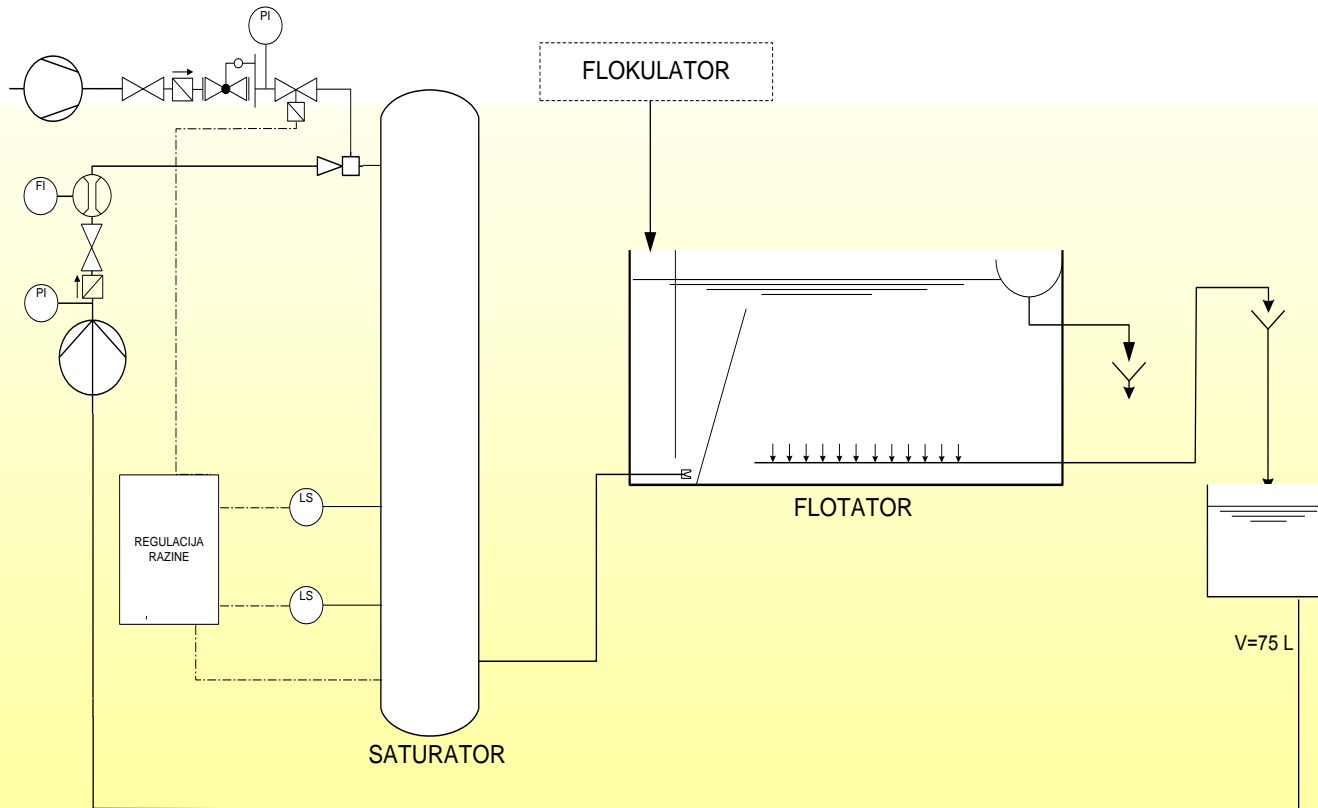
# Područja s različitim mehanizmima djelovanja koagulanta $\text{Al}^{3+}$



# Shematski prikaz sustava za preradu vode postupkom koagulacije i flokulacije



# Shematski prikaz postupka flotacije



# Prerada vode postupkom koagulacije i flokulacije

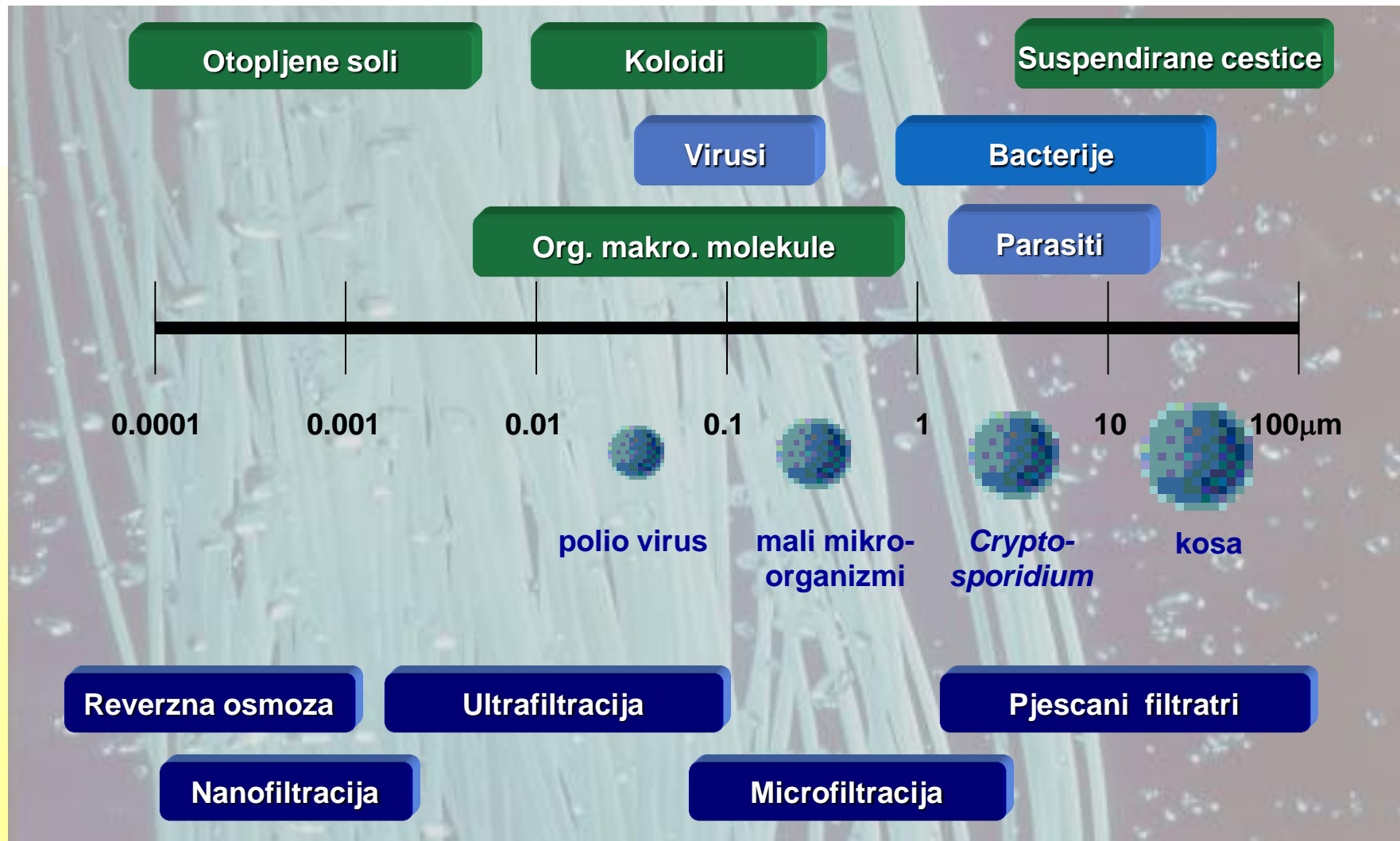
## Glavni nedostaci postupka koagulacije i flokulacije

- Postrojenja velikih dimenzija
- Učestalo pranje filtara zbog probijanja Al i/ili drugih koagulantata
- Neučinkovitost pri uklanjanju mnogih onečišćenja

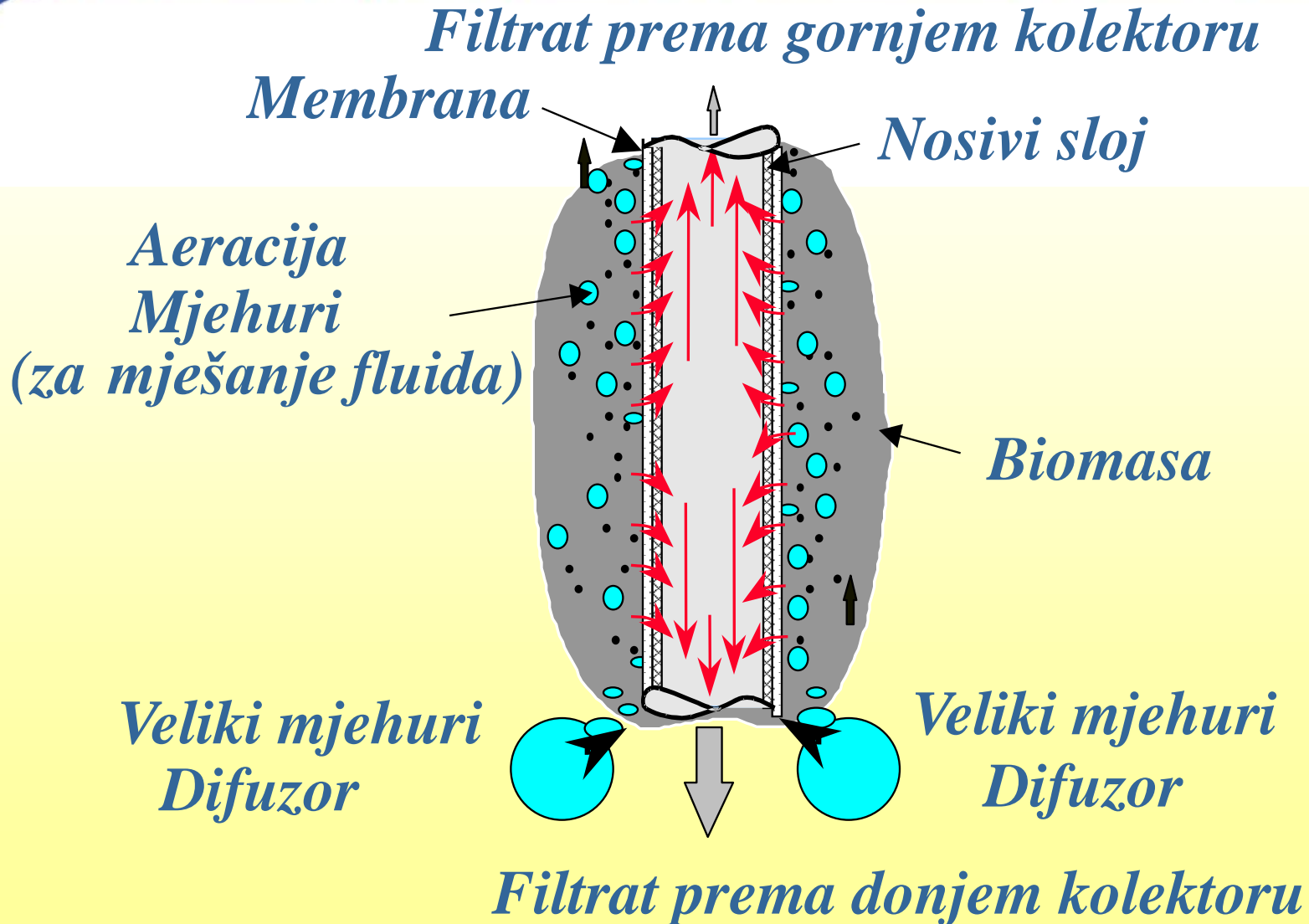
## Moguća poboljšanja:

- - Membranske tehnologije

# Membranske tehnologije



# Membranska vlakna ZW<sup>®</sup> - Zenon



# Različiti tipovi membrana

## *Membrane sa šupljim vlaknima*

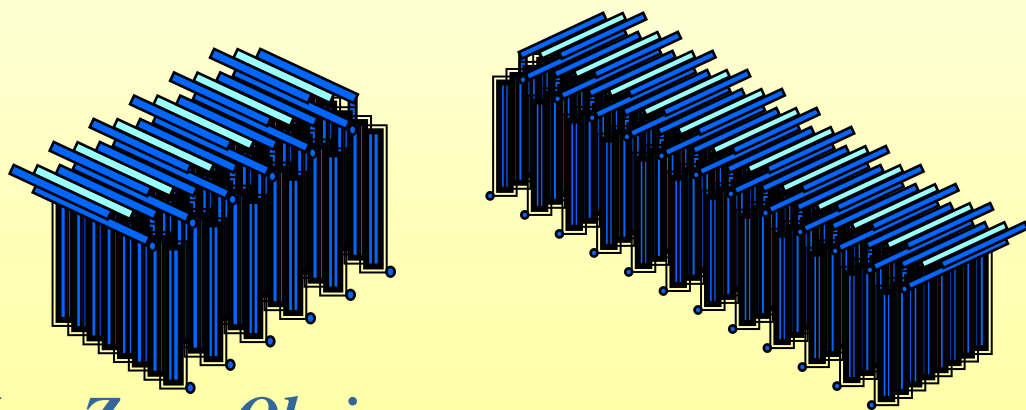


## *Pločaste membrane*



# Membranska vlakna ZeeWeed® ZW500 tvrtke Zenon

*1 Kasetta sa  
8 ZeeWeed® modula  
484 m<sup>2</sup> površine filtracije*



*6 m Zeno Okvir sa*

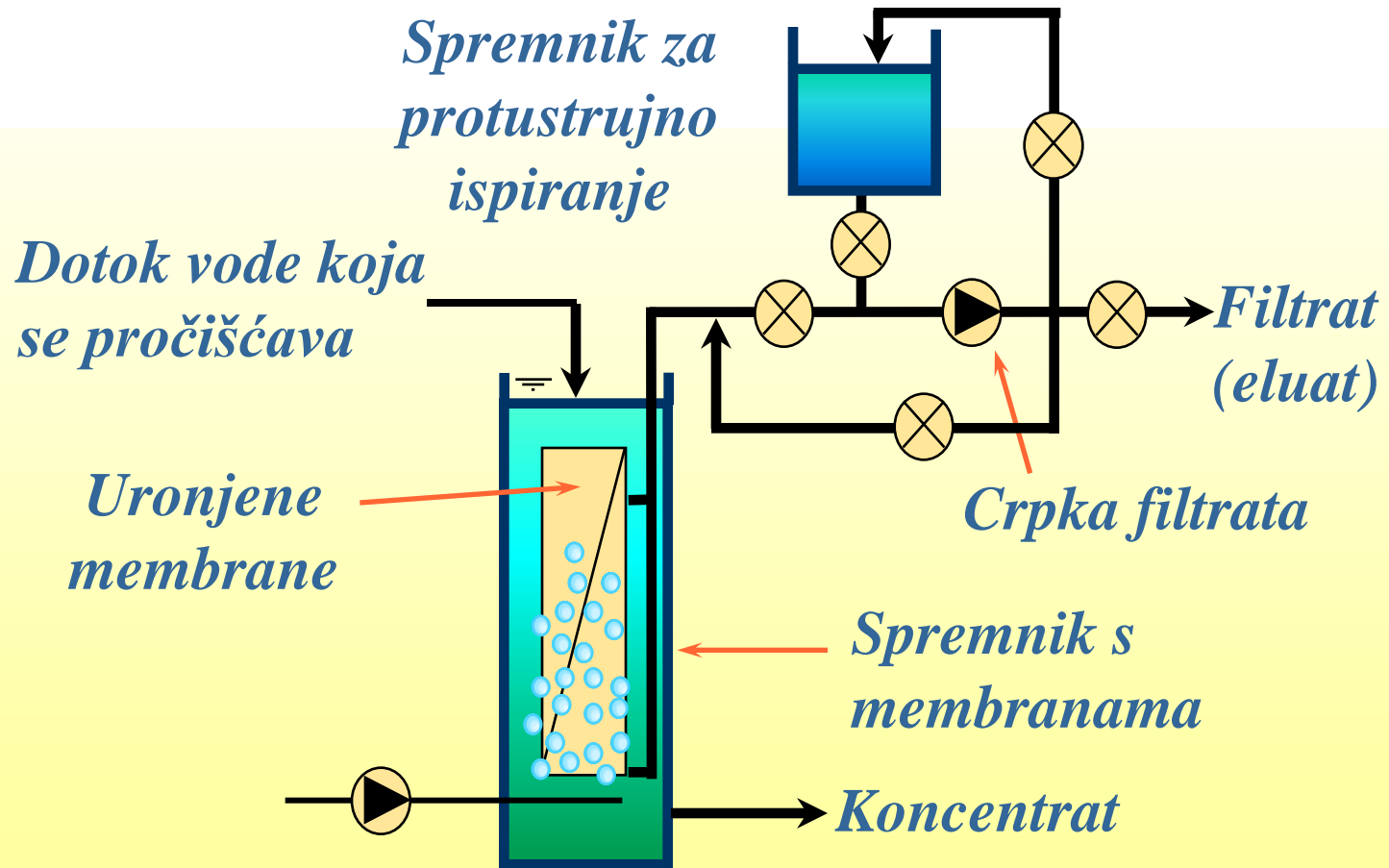
*6 Kasetta - 48 modula*

*12 m Zeno Okvir sa*

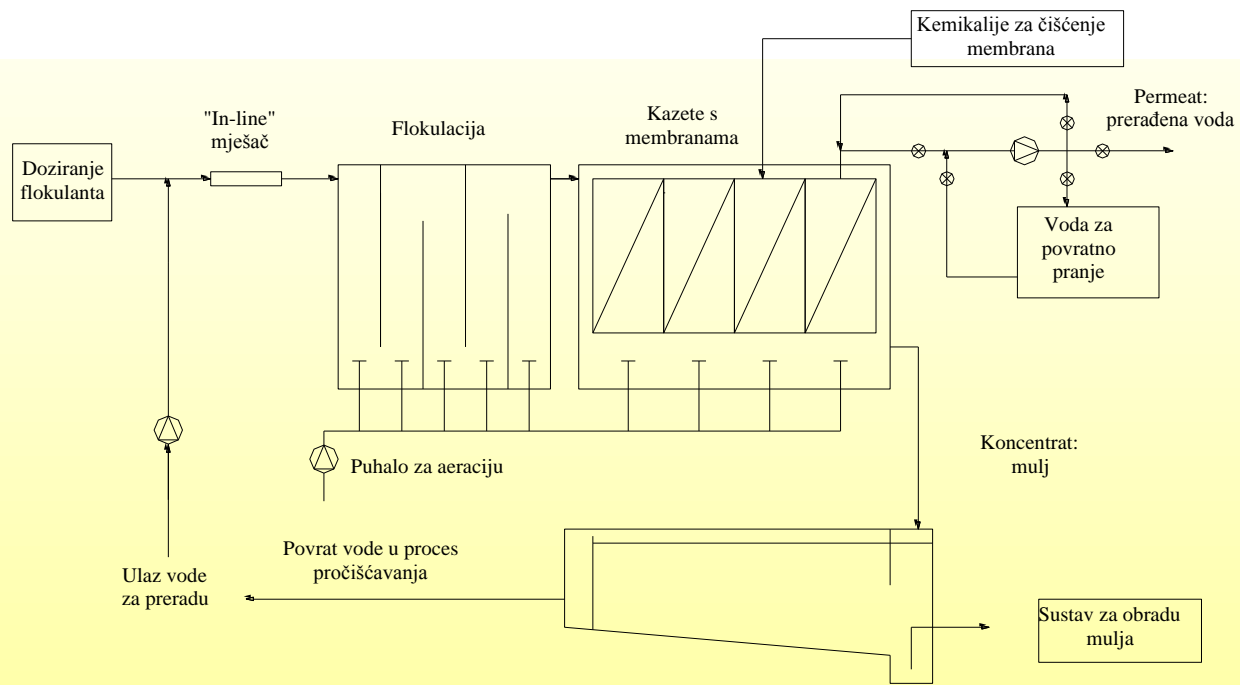
*12 Kasetta - 96 modula*



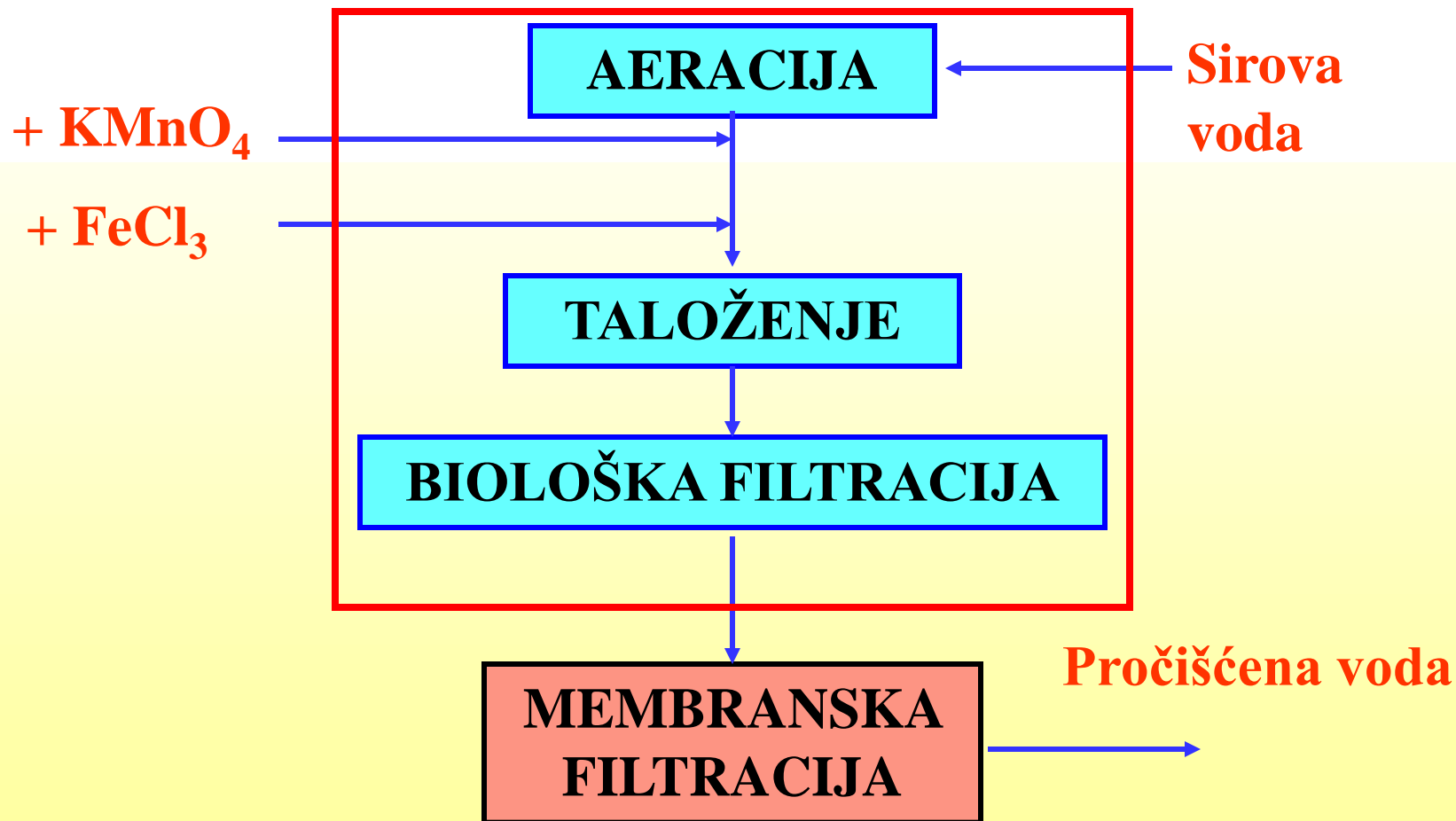
# Shematski prikaz sustava za pročišćavanje vode uronjenim membranama



# Koagulacija flokulacija i membranska filtracija



# Membranske tehnologije kod prerade podzemnih voda



A close-up photograph of laboratory glassware, including beakers and test tubes, with a blue and yellow color scheme. The title 'Stabilizacija vode' is overlaid in white text on the right side.

# Stabilizacija vode

## **KEMIJSKA STABILIZACIJA VODE**

**Stabilnost karbonata**

**Stabilnost dezinfekcijskog sredstva**

## **BIOLOSKA STABILIZACIJA VODE**

**Uklanjanje biolosko razgradivih supstancija**

**Prisutnost dezinfekcijskog sredstva**



# PROCESI PROČIŠĆAVNJA OTPADNIH VODA

