



**ARSENICPLATFORM**

HUSRB/1002/121/075



**Mađarska-Srbija**

IPA prekogranični program

# **Primena adsorpcije i membranske filtracije u pripremi vode za piće**

*Adsorpció és membrános szűrés alkalmazása ivóvíz előkészítése során*

Prof dr Ivana Ivančev-Tumbas



Projekat sufinansira  
Evropska unija

Kikinda, 23-24. 02.2012.

# Sadržaj prezentacije

## A prezentáció tartalma

### Adsorpcija Adszorpció

- Principi adsorpcije-adszorpció alapjai
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena -arzen eltávolítás lehetőségei

### Membranska filtracija

- Principi membranske filtracije-membrán szűrés alapjai
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena-arzen eltávolítás lehetőségei

### Nove tehnologije

- Hibridni (kombinovani) procesi –hibrid (kombinált) folyamatok

## Principi adsorpcije Adszorpció alapjai

- Sorpcija je akumulacija molekula supstance iz tečne ili gasovite faze na ili u drugoj fazi . *A szorpció a molekulák gyűjtése folyadék vagy gázfázisokból másik fázisba-ra*
  - Absorpcija je akumulacija u fazi.
  - Adsorpcija je akumulacija na razdelnoj površini između čvrste i tečne (ili gasovite) faze . Izazvana je uglavnom elektrodinamičkim i elektrostatičkim silama.

# Primena adsorpcije u tretmanu vode za piće

## Adszorpció alkalmazása ivóvíz kezelésre

- Pобољшanje ukusa i mirisa *Az íz és illat javítása*
- Uklanjanje organskih materija- *Szerves anyag eltávolítása*
  - Mikropolutanti - *Mikropollutánsok*
  - NOM
- Biosorpcija *Bioszorpció*

# Adsorbensi Adsorbensek

- Najčešće primenjivan adsorbens je aktivni ugalj.  
Leggyakrabban alkalmazott adsorbens az aktív szén.
- Primenjuje se u obliku **alkalazása a következő formában**
  - aktivnog uglja u prahu **aktív szénpor** (eng. Powdered activated carbon, PAC), i
  - granulovanog aktivnog uglja **granulált aktív szén**, (eng. Granulated activated carbon, GAC)

# Faktori koji utiču na proces adsorpcije

## Azon tényezők, melyek hatást gyakorolnak az adszorpcióra

- Temperatura , hőmérséklet
- pH , pH
- Priroda adsorbenta **adszorbens természetete**
  - Tekstura, veličina zrna, sadržaj  $Ar_{\pi}$ , NH, COOH, OH i drugih funkcionalnih grupa, raspodela veličine pora, **mogućnost hemisorpcije?** textúra, szemcseméret,  $Ar_{\pi}$ , NH, COOH, OH és egyéb funkció csoport tartalom) a pórusméret eloszlása, esetleges kemisorpció ?
- Priroda adsorbata **az adszorbát természetete**
  - Molekulska masa, polarnost, konstanta disocijacije, oblik molekula, valentno stanje...**molekületömeg, polaritás, disszociációs állandó, molekula alakja, vegyérték állapot....**

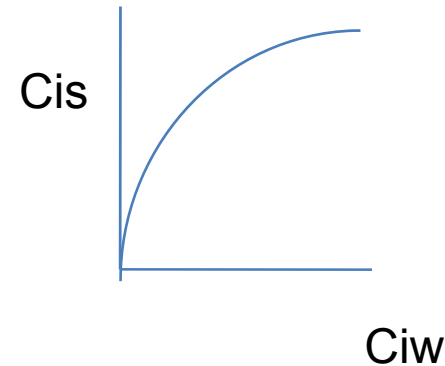


Mađarska-Srbija  
IPA prekogranični program

# Adsorpciona ravnoteža

## Adsorpcióos egyensúly

U tretmanu voda najčešće se opisuje  
Freundlichovom izotermom



$$C_{iS} = K_{iF} \cdot C_{iW}^{n_i}$$

$C_{iS}$  – koncentracija adsorbovane nečistoće po masi adsorbenta ( $\text{mol kg}^{-1}$ )

$C_{iW}$  – ravnotežna koncentracija nečistoće u rastvoru ( $\text{mol L}^{-1}$ )

$K_{iF}$  – Freundlich-ova konstanta ( $\text{mol kg}^{-1})(\text{mol L}^{-1})^{-n_i}$ )

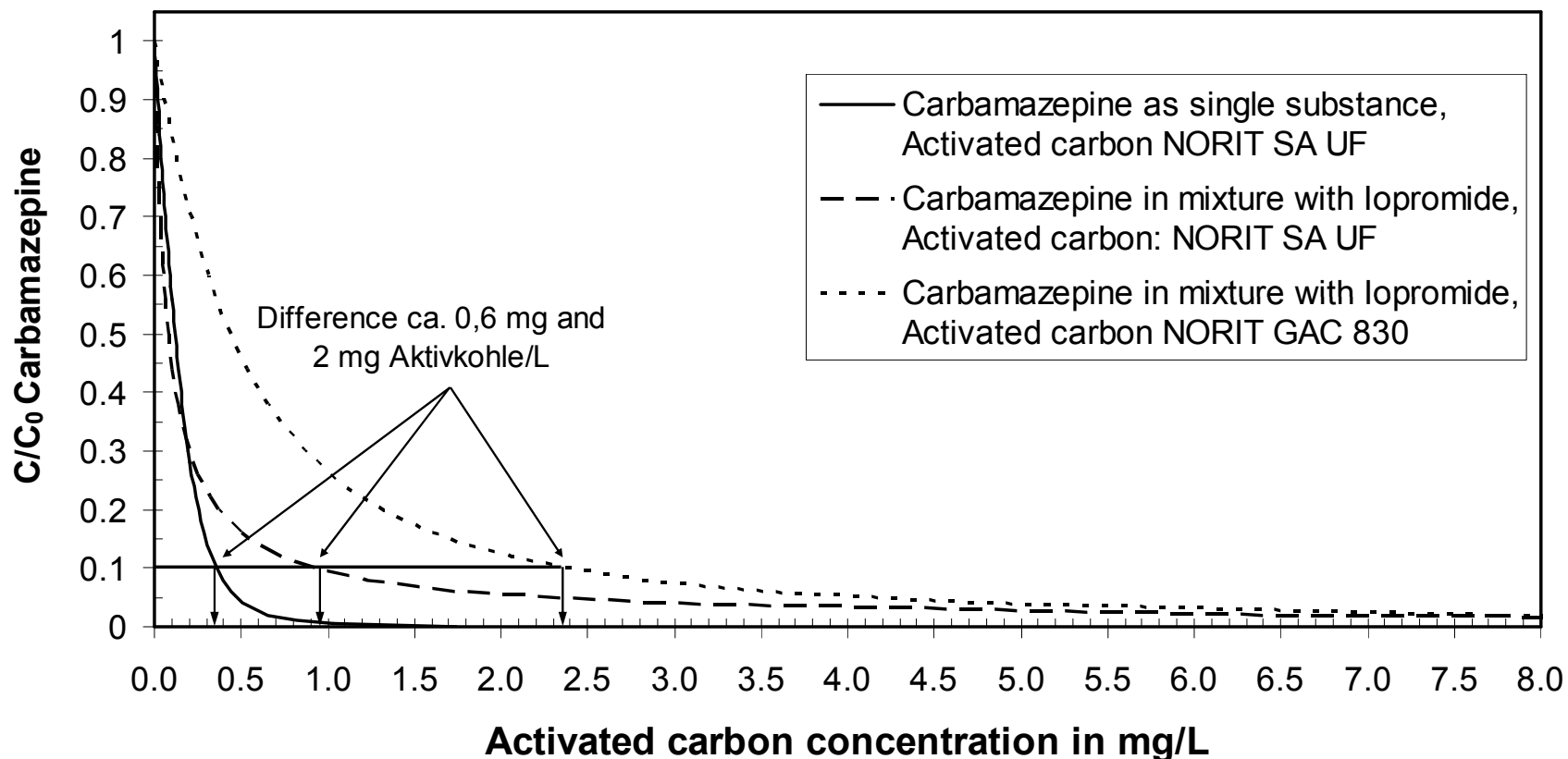
$n_i$  – Freundlich-ov eksponent

$K_{iF}$  i  $n_i$  se mogu odrediti linearnom regresijom iz eksperimentalnih vrednosti

$$\log C_{iS} = n_i \log C_{iW} + \log K_{iF}$$

## Metod doze uglja-primer ponašanja različitih ugljeva za uklanjanje karbamazepina

### Széndózis módszere-példa a karbamazepin eltávolítására alkalmazott különböző szenek viselkedésére



Ivančev-Tumbas I., Hobby R., Kreckel B., Gimbel R. (2007a): Adsorption behavior of carbamazepine and iopromide in bottle isotherm test. Proceedings of 5th IWA Specialized Conference on Assessment and Control of Micropollutants/Hazardous substances in Water, 543, 17-20 June Frankfurt/Main, Germany



# Multikomponentni sistemi

## Multikomponenses rendszerek

- Model se zasniva na Teoriji idealno adsorbovanog rastvora (eng. Ideal Adsorbed Solution Theory (IAST)). *A model az ideálisan adszorbeált oldat elméletén alapul*
- Adsorpciona ravnoteža dešava između dvodimenzionalne površine i rastvora. Adsorpcioni medijum je termodinamički inertan, a adsorpciona mesta su dostupna svim molekulima prisutnim u rastvoru na isti način. Adsorpciona ravnoteža je reverzibilna.

$$c_i = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^N q_j} \left( \frac{\sum_{j=1}^N \frac{q_j}{n_j}}{\frac{K_{F,i}}{n_i}} \right)^{1/n_i}$$

N je broj komponenti u rastvoru, a  $n = \text{const.}$   
uopsegu koncentracija  $C_i = 0$  i  $C_i = C_0$

### PRIMENA- ADSORPCIONA ANALIZA

# Kinetika procesa

## A folyamat kinetikája

- Brzina dostizanja adsorpcione ravnoteže kroz dva stepena difuzije: az adszorpciós egyensúly elérésének sebesség kétlépéses diffúzió keresztül
  - iz rastvora na spoljašnju površinu adsorbenta (eksterni transfer mase ili difuzija kroz film) az oldatból az adszorbens külső felületére
  - i difuzija kroz pore sistema čestica gde se dešava adsorpcija na unutrašnjoj površini (interni transfer mase) pórusoko keresztüli diffúzió ahol az adszorpció a belső felületen történik

# Matematički opis difuzije kroz film

## A filmen keresztül történő diffúziónak matematikai leírása :

$$n_{L,i} = D_{L,i} \frac{dc_i}{d\delta}$$

Gde su

$n_{L,i}$  - brzina transfera mase po jedinici površine ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

$D_{L,i}$  - koeficijent difuzije adsorbata u vodi ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

$\delta$  - debljina graničnog sloja, m

Integracijom jednačine dobija se jednačina:

$$n_{L,i} = \beta_{L,i} (c_i - c_i^*)$$

Gde je

$\beta_{L,i}$  - koeficijent difuzije kroz film ( $\text{ms}^{-1}$ )

$c_i^*$  - ravnotežna koncentracija komponente  $i$  na spoljnoj površini čestice aktivnog uglja  $i$

$c_i$  - koncentracija komponente u rastvoru.

# Difuzija kroz pore

## Pórusokon keresztüli diffúzió

- Unutrašnji transfer mase dešava se usled difuzije molekula kroz tečnošću ispunjene pore ili difuzijom adsorbovanih molekula po zidovima pora (površinska difuzija).
- Pokretačka sila je gradijent na čvrstoj fazi i umesto vodenog difuzionog koeficijenta, u tom slučaju govorimo o difuzionom koeficijentu površinske faze i gustini čestica:

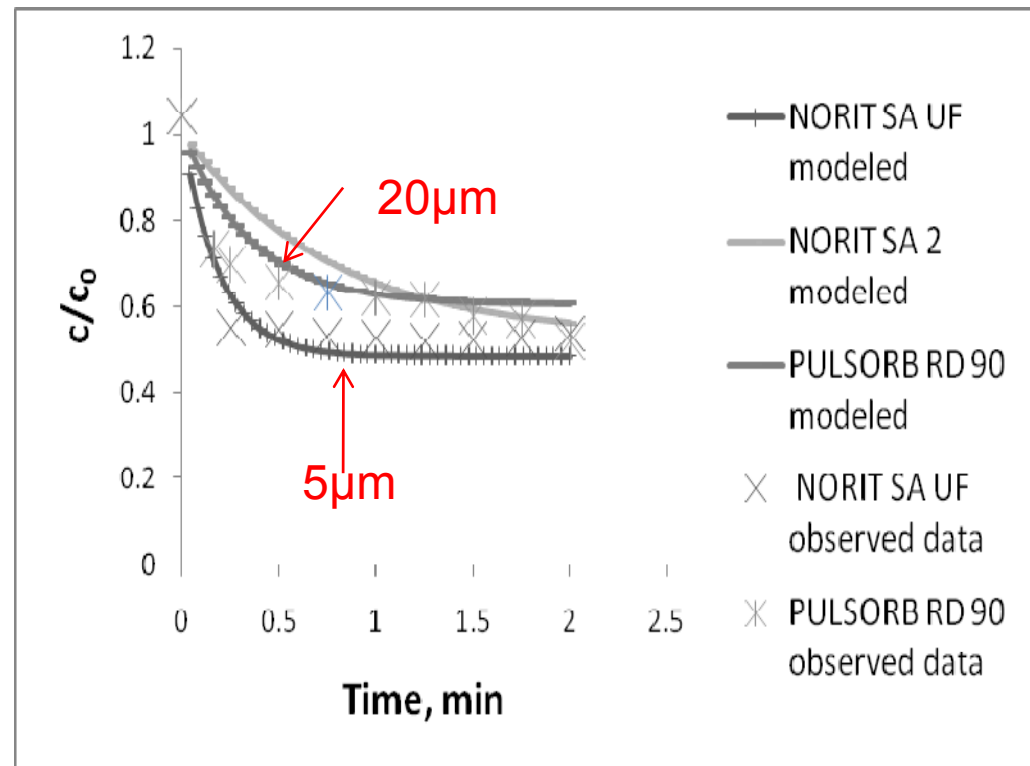
$$n_{S,i} = \rho_p \cdot D_s \cdot \frac{\partial q_i}{\partial r}$$

- KRAJNJA POZICIJA RAVNOTEŽE ODREĐENA JE SILAMA ADSORPCIJE (HEMIJSKE ILI FIZIČKE)

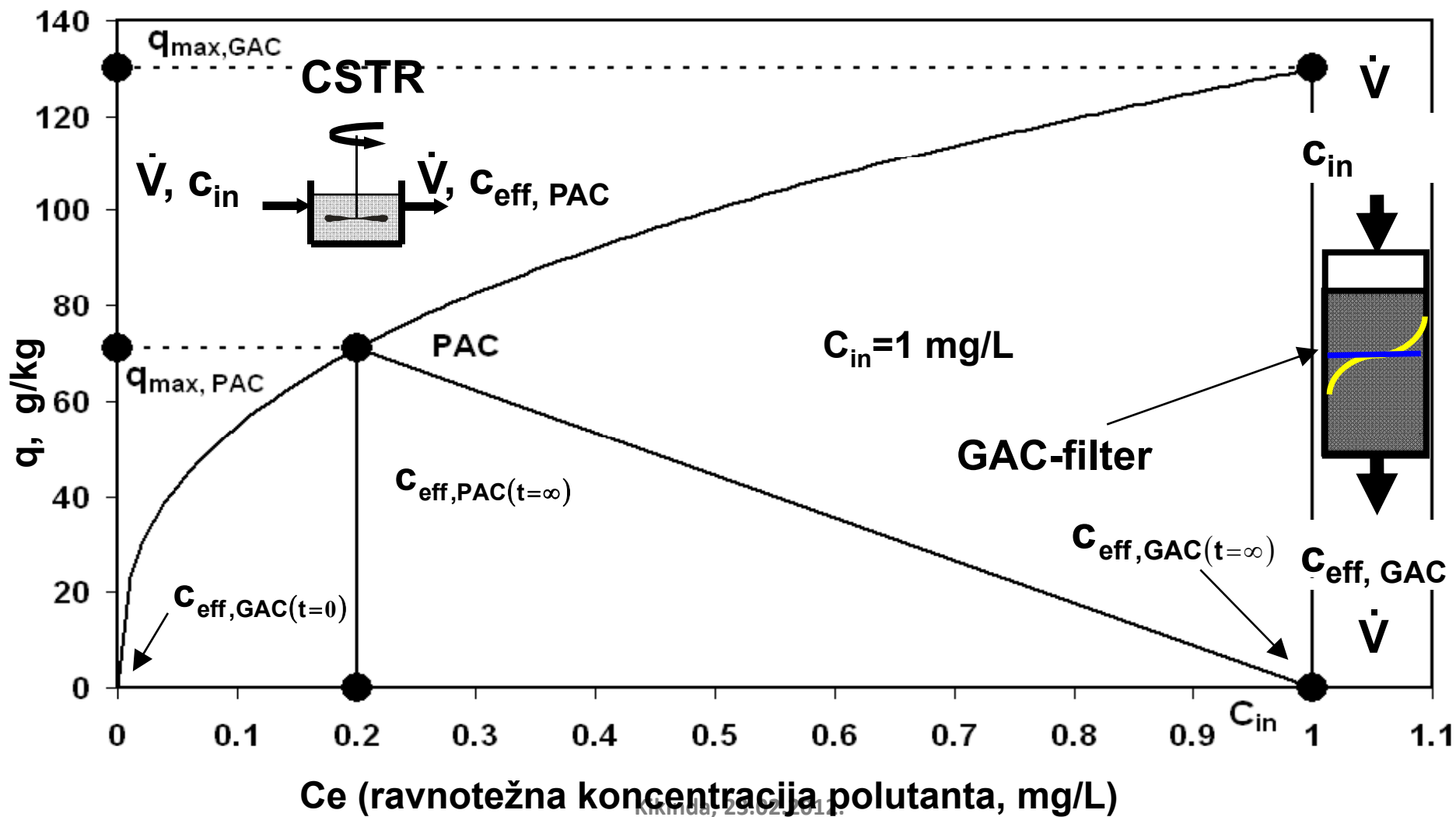
# Mehanizam koji limitira brzinu adsorpcije može biti

## Mechanizmus, amely az adszorpció sebességét határozza meg:

- Difuzija kroz film  
filmen keresztüli  
diffúzió ili
- Međučestični  
transport-részecskék  
közötti transzfer
- Između ostalog zavisi  
i od hidrodinamičkog  
karaktera sistema-a  
rendszer  
hidrodinamikus  
tulajdonságai

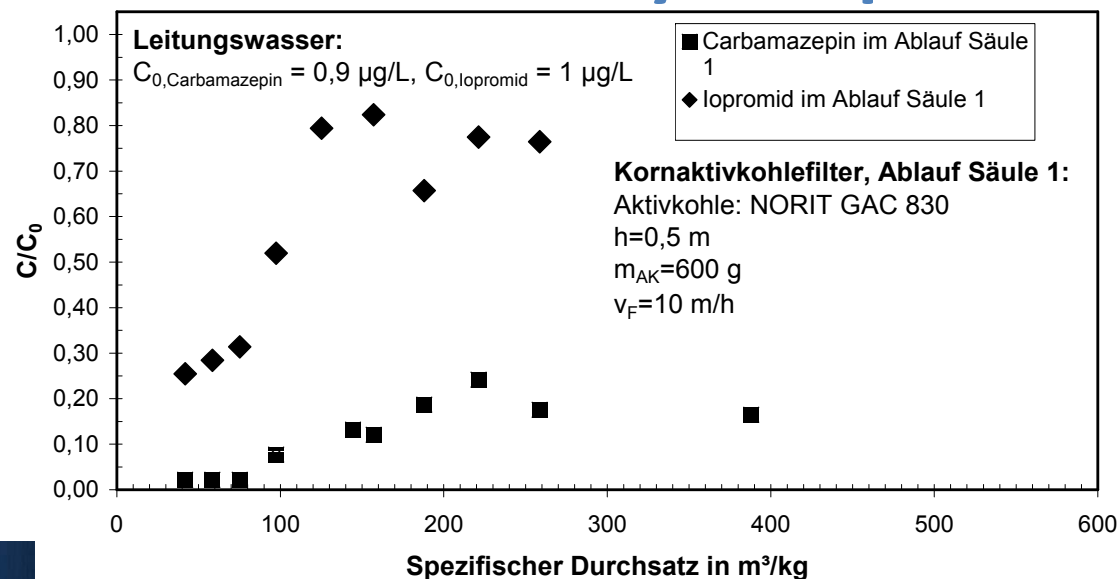


*Ivančev-Tumbas et al. (2010) Desalination 255, 124-128.*



# GAC adsorber-primer dva polutanta

## GASZ adszorber- kétszennyezős példa



Maseni bilans za jednu supstancu u tečnoj fazi u diferencijalnom elementu filtra sa adsorbensom, model difuzije kroz film na homogenoj površini (HSDM)

Anyagbilanz egy anyagra a folyadékfázisban a filter differenciális részében az adszorbenssel

Crittenden et al. (1980), Friedman (1984), Sontheimer et al. 1985,1988), Tien (1989), Kümmel und Worch (1989).....

$$\varepsilon \cdot \frac{\partial c(t, z)}{\partial t} + v_F \cdot \frac{\partial c(t, z)}{\partial z} - D_z \cdot \frac{\partial^2 c(t, z)}{\partial z^2} + \frac{6 \cdot \beta_L \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} \cdot (c(t, z) - c^*(t, z)) = 0$$

Akumulacija  
u tečnoj fazi

Akkumuláció a folyadék fázisban

Konvekcijska  
kevertetés

Disperzija  
diszpergálás

Adsorpcija  
adszorbálás

Model linearne pokretačke sile (engleski *Linear Driving Force Model* (LDF)) (Kummel, 1990; Worch 1991) zasnovan je na HSDM modelu za disperzni tok.

Pretpostavljen linearni gradijent za difuziju kroz film na homogenoj površini zrna GAC, **bez izraza za disperziju i akumulaciju mase** u tečnoj fazi u šuplinama adsorbenta, a obuhvaćene su difuzija kroz film (spoljašnja) i difuzija kroz pore (unutrašnji transfer mase)





Mađarska-Srbija  
IPA prekogranični program

# Prednosti i mane procesa A folyamat előnyei és hátrányai

PAC		GAC	
Prednosti Előnyök	Mane Hátrányok	Prednosti Előnyök	Mane Hátrányok
Relativno niski troškovi PAC Alacsony PAC költség	Rezidual zagađenja u tretiranoj vodi Kezelt vízben is maradványok	U većem delu filtra dostignuta ravnoteža A filter nagyobb részében egyensúlyelérése	Relativno spora kinetika Lassabb kinetika
Investicioni troškovi niski Alacsony befektetési költség	Relativno visoka potrošnja PAC za kratko vreme Magas fogyasztás rövid idő alatt	Efiksana regeneracija Hatásos regenerálás	Mogućnost desorpcije Deszorpció lehetősége
Moguća sezonska primena szezonális változtatás lehetősége	Odlaganje otpada A hulladék tárolása	Mogućí mikrobiološki procesi lehetséges mikrob. folyamatok	Viši troškovi nego za PAC magasabb költség
Brza kinetika Gyors kinetika			Fauling redukuje kapacitet za mikropolutante

Kikinda, 23.02.2012.

# Vrste testova

## Teszték fajtái

- Statički test *statikus teszt*
  - Određivanje “adsorpcionog kapaciteta” pomoću adsorpcione izoterme adsorpcijom u bocama (eng. Bottle isotherm test).
- Dinamički test *dinamikus teszt*
  - Određivanje krive proboja testovima u kolonama koje mogu biti različitog kapaciteta (*laboratorijske i pilot postrojenja većeg kapaciteta*). Za kolonske testove koristimo ugljeve koji su se pokazali kao najbolji u testu pomoću izoterme! To će dati tačnije poređenje i obezbediti delimično podatke neophodne za projektovanje adsorbera



# Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena

## Arzén eltávolítási lehetőségeinek áttekintése

*Jekel i Amy (2006) in Interface Science in Drinking water treatment by Newcombe and Dixon (Eds), Elsevier*

Adsorbens	Napomena
Metalni oksidi: filtracija preko granulovanih adsorbenata poput aktivnog $\text{Al}_2\text{O}_3$ i granulovanog feri hidroksida, GFO.	Obično nisu potrebne dodatne hemikalije, pre-oksidacija As(III) obično poboljšava proces. Otpad koji se generiše je voda od pranja filtara i potrošeni adsorbent. Za GFH operativni vek je duži od smola i aluminijum-oksida.
Redox aktivni adsorbenti	$\text{MnO}_2$
Alternativni adsorbenti-	MIEX, SMI, GAC, zeoliti, IOCS

# Uklanjanje arsena na peščanim filtrima

## Arzén eltávolítása homokszűrőkkel

(Rajaković i sar., 2006 Ekolst' 06, Ekološka Istina / Ecological Truth, 04. – 07. 06. 2006. Sokobanja)

- Postoji mogućnost da se arsen ukloni u procesu koji je prvenstveno namenjen uklanjanju Fe i Mn iz podzemne vode. **Lehetőség van arra, hogy az arzén az elsődlegesen Fe és Mn eltávolítására szolgáló folyamata alatt szintén eltávolítódjon**
- Kombinacija postupaka oksidacije gvožđa i filtracije daje dobre rezultate u uklanjanju arsena iz vode. Za filtarsku ispunu se najčešće koristi manganizovani pesak ili zeleni pesak (koji sadrži mineral glaukonit.) **A vas oxidálása és a szűrés, tehát a lépések kombinálása jó eredményeket ad. A filter töltésként gyakran mangánózott homokot vagy zöld homokot (glaukonit ásványt)tartalmaz.**

- Specifična površina 200-300 m<sup>2</sup>/g. **Specifikus felület**
- Koristi se za uklanjanje fosfata, fluorida i arsena u filtrima sa fiksiranim slojem. **Foszfát, fluorid, és arzén eltávolítása rögzített rétegű filterekkel**
- Regeneracija sa NaOH i sumpornom kiselinom **Regenerációra NaOH és kénsav**
- Za uklanjanje As (V) radi najbolje u opsegu **pH 5,5-6 As(V) eltávolítására pH 5,5-6 a legjobb**
- Kapacitet je 5-15 g/kg za ravnotežne koncentracije od 0.05-0.2 ppm, pri čemu sulfati i hloridi mogu redukovati kapacitet i do 50%! **A kapacitás 5-15 g/kg 0.05-0.2 ppm egyensúlyi koncentráció esetén, kloridok és szulfátok a kapacitást 50% csökkenthetik**

# Pilot ispitivanja u Subitici

## Pilot kutatások Szabadkán

*Benak (1998) u Kvalitet vode za piće  
(urednik Dalmacija B.), PMF Novi Sad*

- Primenjeni filtri sa različitim materijalima  
Alkalmazott szűrők különböző anyagokkal
  - Bez prethodne oksidacije i bez dodatka hemikalija  
Előzetes oxidálás és vegyszer hozzáadás nélkül
  - Sa prethodnom oksidacijom Előzetes oxidációval
  - Sa prethodnom oksidacijom i dodatkom soli gvožđa  
Előzetes oxidációval és vas-sók hozzáadásával
  - Sa prethodnom oksidacijom, dodatkom soli gvožđa i flokulanta  
Előzetes oxidálás, vas-sók és flokuláns hozzáadása

# Adsorbensi na bazi gvožđe oksida

## Vas-oxid alapú adszorbensek

*Jekel i Amy (2006) in Interface Science in Drinking water treatment by Newcombe and Dixon (Eds), Elsevier*

- Visok kapacitet za arsenat **magas kapacitás arzenátra** **Elsevier**
- Bez hemikalija i bez pH podešavanja! **Vegyszer nélkül és pH beállítás nélkül**
- 2006. godine je bilo 60 postrojenja u nemačkoj zemljama EU, USA i Japanu. **2006-. ban 60 telep Németországban, EU országokban USA-ban és Japánban**
- 5-10 puta veći kapacitet u poređenju sa aluminijum-oksidom za As(V). **5-10 szer nagyobb kapacitás összehasonlítva az alumínium-oxiddal As (V) tekintetében**
- Kompeticija sa fosfatom je značajna. **Foszfáttal a kompetíció jelentős**
- Za početne koncentracije od 10-40  $\mu\text{g/L}$  i pH 6-8 filtri rade do proboja sa 50000-250000 BV uz protivstrujno pranje svakih 2-6 nedelja. Ispuna se menja svake 2-3 godine i može da se odlaže deponije. **A 10-40  $\mu\text{g/L}$  kezdeti koncentrációkra és pH 6-8 a filterek az átörésig dolgoznak 50000-250000 BV, ellenáramos mosással minden 2-6 hónapban. A töltetet 2-3 évente kell cserélni és hulladéklerakóban tárolni**

# Literaturni podaci postoje za Irodalmi adatok vannak a következőkre

Neke alternative
Aluminijum oksid
Titanijum-dioksid
Cerijum oksid
Mangan dioksid
Kombinacija nano-čestica i jonoizmenjivačkih smola
PRB sa ZVI
Geosorbente: hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), goetit ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ), gipsit ( $\text{g-Al(OH)}_3$ ), zemljišta i sedimente koji sadrže ove materijale, zeolit presvučen gvožđem, minerale montmorillnite bentonit, čestice kreča presvučene gvožđem i druge.
Modifikovane aktivne ugljeve: sa dodatkom bakra, srebra, cirkonijuma, gvožđa (NZVI)
....



# Izbor sorbenta zavisi od A szorbens kiválasztása függ a következőktől:

- Opsega koncentracija arsena u vodi izvorišta i njegovog oksidacionog stanja
- Arzén koncentrációja a vízforrásban és oxidációs állapota
- Sadržaja drugih rastvoraka u vodi, pH vode más oldott anyagok a vízben és a pH
- Optimizacije doze adsorbenta, njegove selektivnosti adsorbens dózisának optimalizálása, és a szelektivitása
- Naknadnog tretmana utókezelés
- Rukovanja otpadom hulladékkezelés
- Adsorpcione tehnologije koje su često puta uspešne u laboratoriji mogu da budu neefikasne u realnim uslovima!
- Adszorpciós technológiák, melyek eredményesek a laboratóriumban, előfordulhat hogy nem elég hatékonyak valós körülmények között

# Sadržaj prezentacije

## A prezentáció tartalma

### Adsorpcija

- Principi adsorpcije
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena

### Membranska filtracija

- Principi membranske filtracije-membrán szűrés alapjai
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena-arzén eltávolítás lehetőségei

### Nove tehnologije

- Hibridni (kombinovani) procesi adsorpcije i membranske filtracije



Mađarska-Srbija  
IPA prekogranični program

# Principi membranske filtracije

## Membrános szűrlés alapjai

Mikrofiltracija mikrofiltráció	Ultrafiltracija Ultrafiltráció	Nanofiltracija Nanofiltráció	Reversna osmoza Reverz ozmózis
$d_{\text{pore}} \geq 50 \text{ nm}$	$d_{\text{pore}} \approx 10\text{-}50 \text{ nm}$	$d_{\text{pore}} \approx 1 \text{ nm}$	Nema pora <b>nincs ellenállás</b>
$\Delta p = 0.1 - 2 \text{ bar}$	$\Delta p = 0.1 - 5 \text{ bar}$	$\Delta p = 3 - 10 \text{ bar}$	$\Delta p = 5 - 100 \text{ bar}$
<b>Efekat prosejavanja</b> Sztálás hatás		<b>Kombinacija odbijanja usled naelektrisanja, rastvorljivost-difuzija, prosejavanje "RO koja curi"</b>	<b>Difuzija kroz polimernu strukturu membrane</b> Polimer membránszerkezete n keresztüli diffúzió
<b>Dominantno simetrične polimerne ili keramičke membrane</b>	<b>Asimetrični polimerni kompoziti ili keramičke membrane</b> Asszimetrikus kompozitok illetve kerámima membránok	<b>Asimetrične polimerne ili kompozitne membrane</b> Asszimetrikus polimer és kompozitmembránok	
Szimetrikus polimer illetve kerámia membránok	Kikinda, 23.02.2012.		

# Membrane

## Membránok

- Materijal: organski ili neorganski **szerves és szervetlen anyagok**
- Morfologija: sa porama ili bez pora **pórusos és pórusmentes anyag morfológia**
- Strutura: simetrična ili asimetrična **szimmetrikus és asszimmetrikus szerkezetek**
- Forma membrane: tubularna ili ravna membrana **tubuláris vagy lapos membránok**
- Forma modula: **a modul formája**
  - za tubularne membrane: cevasti, kapilarni, tipa šuplje vlakno **tubuláris membránokra cső, kapilláris, üreges szálak**
  - Za ravne membrane: spiralno uvijeni, pločastia lapos **membránokra spirálisan feltekert , lemezes**

# Procesni parametri Folyamat paraméterek

- MF i UF

- Fluks (**fluxus**):  $J = \Delta p / \mu R_m$  ( $\mu$  je viskoznost,  $R_m$  je koeficijent otpora membrane,  $m^{-1}$ )

- Transmembranski pritisak (**transzmembrános nyomás**)

$$TMP = ((P_a + P_s) / 2) - P_p$$

( $P_a$ -pritisak na ulazu,  $P_s$ - pritisak na izlazu,  $P_p$ -pritisak permeata)

- Permeabilnost membrane-specifičan ili standardizovani fluks (20°C i TMP 1 bar) **membrán áteresztő képessége-specifikus és standardizált fluxus** (20°C i TMP 1 bar)

- NF i RO

- Fluks vode (**víz fluxusa**):  $J_w = k_w (\Delta P - \Delta \Pi)$

$\Delta P$ -razlika pritisak ulazne vode i permeata,  $\Delta \Pi$ -razlika osmostkih pritisaka ulazne vode i permeata

- Fluks rastvoraka (**oldott anyag fluxusa**):  $J_s = k_s \Delta C$

# Prljanje membrana

## Membrán szennyeződése

- **Fauling** izazivaju hidroksidi Fe, Mn, koloidi, mikroorganizmi
- **Skejling** izazivaju soli kalcijuma, silicijuma, barijuma
- Reverzibilno-nakon protivstrujnog pranja membrana se vraća u prvobitno stanje (**reverzibilis**)
- Ireverzibilno-nakon protivstrujnog pranja membrana se **ne vraća** u prvobitno stanje → NEOPHODNO HEMIJSKO ČIŠĆENJE (**irreverzibilis**) szükséges a kémiai tisztítás
- Koliko često će biti neophodno čišćenje i tip čišćenja zavisi od kvaliteta vode, kao i materijala od koga su membrane napravljene, stepena predtretmana vode.

# Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena

## Arzén eltávolítás lehetőségeinek áttekintése

- RO i NF (“tight”) su vrste membranske filtracije kojom se As može ukloniti u visokom stepenu. Membrános szűrés típus melyel az arzént nagy hatékonysággal lehet eltávolítani
- Specifična vrsta ultrafiltracije sa negativno naelektrisanom membranom pokazala je dobar učinak. Speciális ultrafiltráció típus negatív töltést viselő membránnal-jó hatásfok

# Tehnologije visokog pritiska (NF i RO)

## Magas nyomáson alapuló technológiák

*Jekel i Amy (2006) in Interface Science in Drinking water treatment by Newcombe and Dixon (Eds), Elsevier*

- Oblik arsena, naelektrisanje površine membrane , kvalitet ulazne vode **arzén típusa, membránfelület töltése, a bemenő víz minősége**
- NF i RO uklanjaju 85-99% As (V) i 5-87% As(III)
- RO uklanja 95-99% As(V) , a As (III) 61-87%

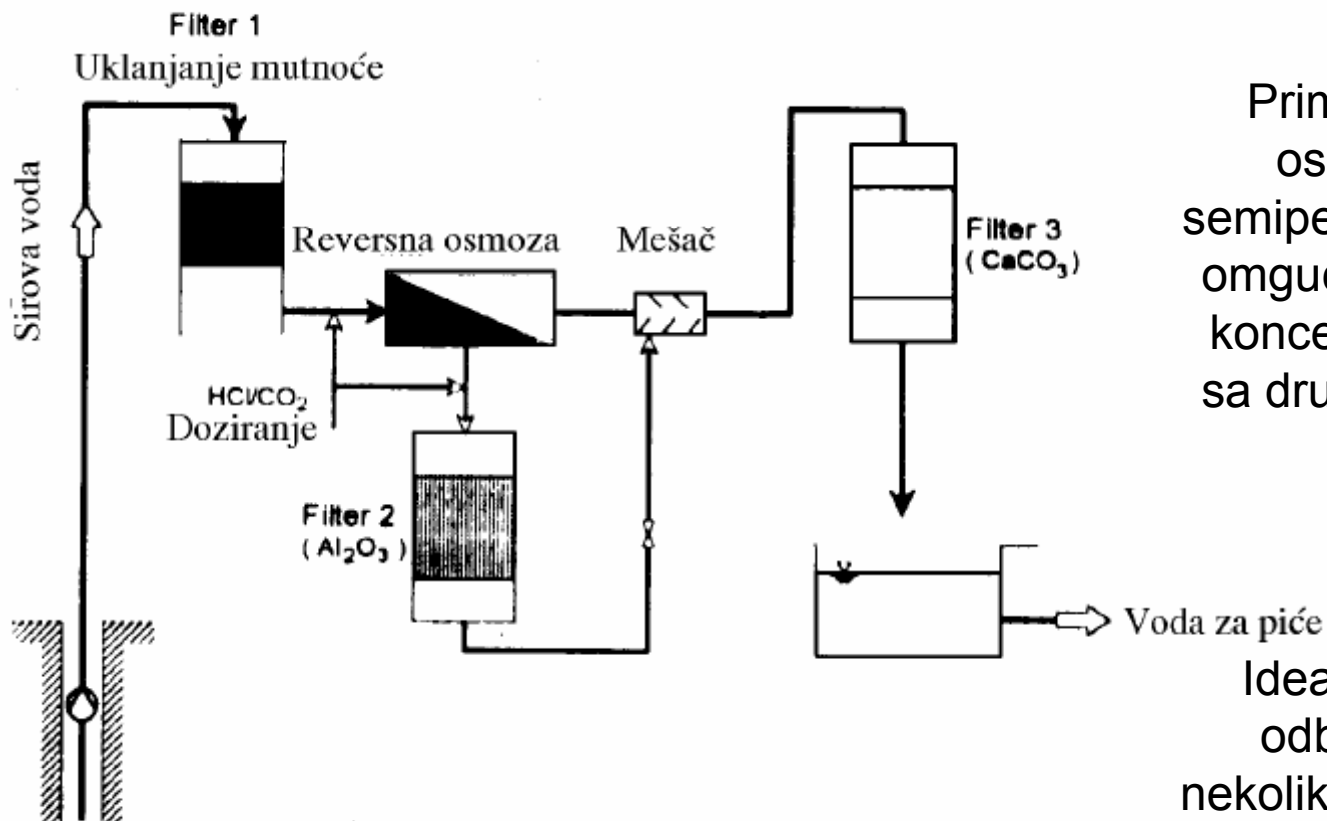
Napomena: negativno naelektrisane NF membrane sa MWCO i većim od As(V) vrsta sposobne su da ih uklone!



# Šema uređaja za uklanjanje arsena

## Arzéneltávolító berendezés shémája

*Benak (1998) u Kvalitet vode za piće (urednik Dalmacija B.), PMF Novi Sad*



Primena pritiska nasuprot osmotskom pritisku kroz semipermeabilnu membranu omogućava izvdajanje vode i koncentrisanje rastvora soli sa druge strane membrane.

Idealna membrana za RO odbija sve rastvorke sem nekoliko malih molekula jake polarosti koji su slični vodi

# Ultrafiltracija za uklanjanje arsena?

## Ultrafiltrálás arzén eltávolításra?

*H.R. Lohokare et al. / Journal of Membrane Science 320 (2008)  
159–166:*

Hidroliza površine PAN UF membrane pomoću NaOH vodi formiranju COO-grupa i redukciji početne veličine pora tako da je MWCO 6 kDa. Ulazne koncentracije od 1000 ppb i 50ppm As-V pokazale su uklanjanje >95% na pH 7 i sobnoj temperaturi dok je za 1000ppm efikasnost bila 40–65%. Za koncentracije  $\leq 50$ ppm efikasnost nije zavisila od brzine cross-flow niti TMP. Za 1000ppm As-V postignuto je 40 to 65% uklanjanje sa varijacijom u zavisnosti od cross-flow brzine i TMP pošto je koncentraciona polarizacija važna.

# Sadržaj prezentacije

## Prezentáció tartalma

### Adsorpcija

- Principi adsorpcije
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena

### Membranska filtracija

- Principi membranske filtracije
- Pregled mogućnosti za uklanjanje arsena

### Nove tehnologije

- Hibridni (kombinovani) procesi
- Hibrid(kombinált) folyamatok

# Koagulacija sa mikrofiltracijom

## Koaguláció mikrofiltrálással

*Jekel i Amy (2006) in Interface Science in Drinking water treatment by  
Newcombe and Dixon (Eds), Elsevier*

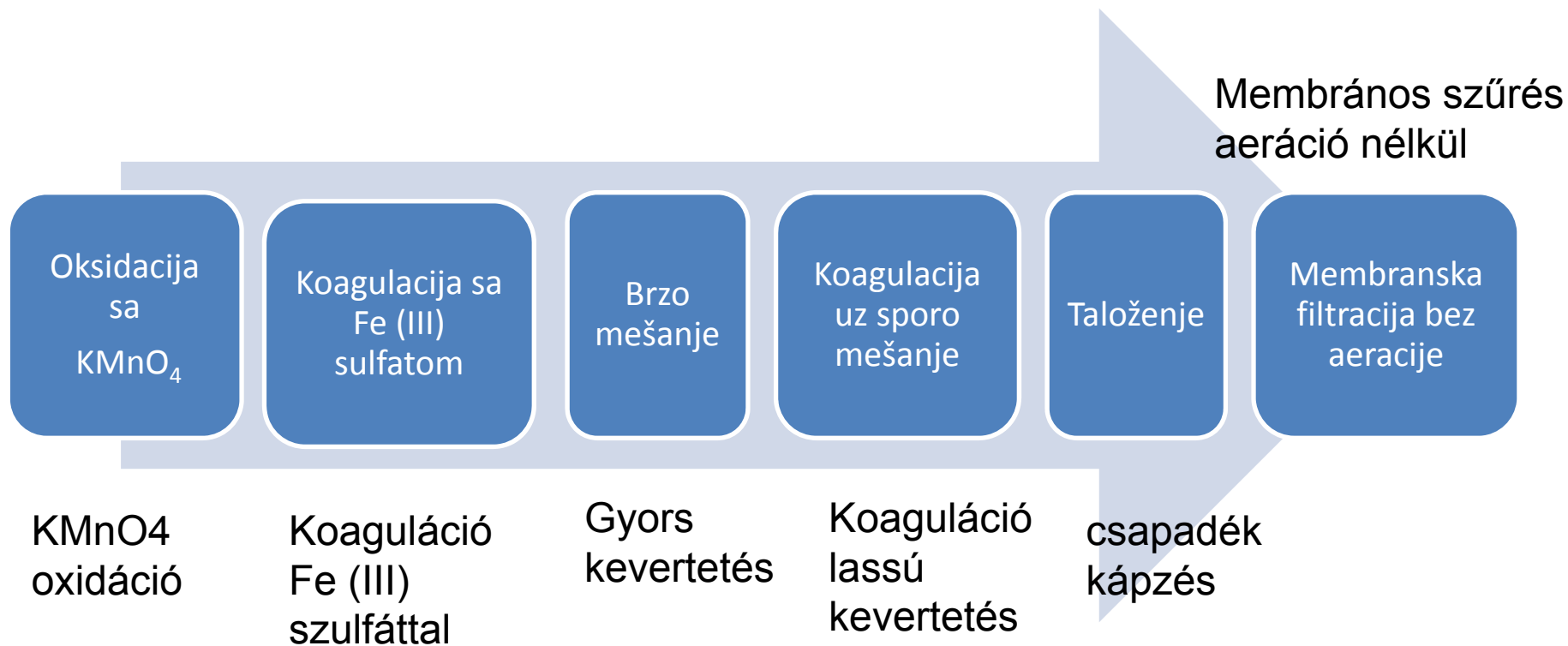
- EPA je priznaje kao “emerging” tehnologiju za uklanjanje arsena iz vode za piće.
    - Primenjena i za vode sa visokim koncentracijama As (i do 100µg/L)
    - Ne zahteva flokulaciju, samo brzo mešanje i formiranje flokula 2-10µm veličine.
    - Postoje urađene uspešne studije sa koagulantima na bazi gvožđa
    - Pitanja optimizacije procesa uvek prisutna
- Folyamatoptimálás kérdése mindig jelen van

## Application of ZW-1000 membranes for arsenic removal from water sources,

*J. Floch, M. Hideg / Desalination 162 (2004) 75-83*

*U radu su dati rezultati pilot istraživanja u Mađarskoj.*

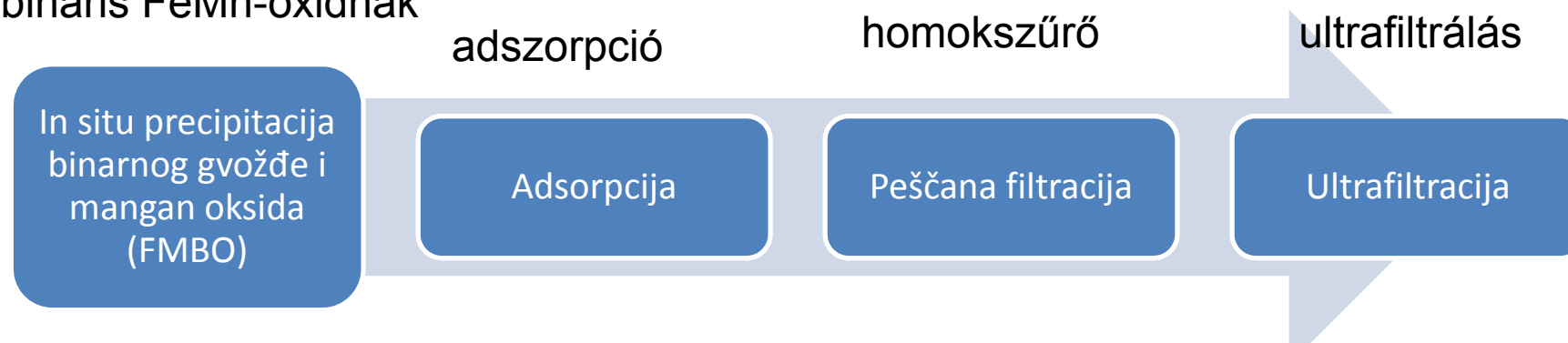
*Sadržaj arsena je smanjen sa 200-300 µg/L na <10 µg/L*



# *Liu Ruiping, Desalination 249 (2009)*

## *1233–1237*

In situ precipitálása a  
bináris FeMn-oxidnak



Prednosti: veći kapacitet binarnog oksida – oksidacija As(III) i adsorpcija As(V)  
Sa početnih 0.624 mg/L As(III), uz dozu Fe (II) od 3 mg/L i dozu KMnO<sub>4</sub> ekvivalentnu zbiru As (III) i Fe(II), redigvalni arsen je 29.2 µg/L.

Adsorpcija je brza, HRT of 45 s

Pesak uklanja više od 90% arsena

Predlog za ruralna naselja

# Ima li i drugih mogućnosti?

## Van e más lehetőség?

- Kombinacije adsorpcije i niskopritisnih membranskih tehnika
  - Kombinacije različitih materijala (adsorbenata i membrana ili adsorbenata/membrana/koagulanata)
  - Cross-flow naspram dead-end procesa- koji deo kapaciteta sorbenta je iskorišćen?
  - Mesta doziranja sorbenta?
  - In/out procesi?
  - Out/in procesi?



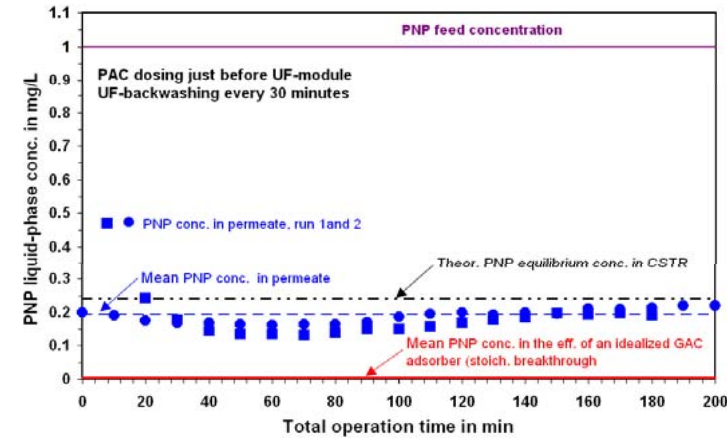
Mađarska-Srbija  
IPA prekogranični program

# Stepen iskorišćenja kapaciteta adsorbensa?

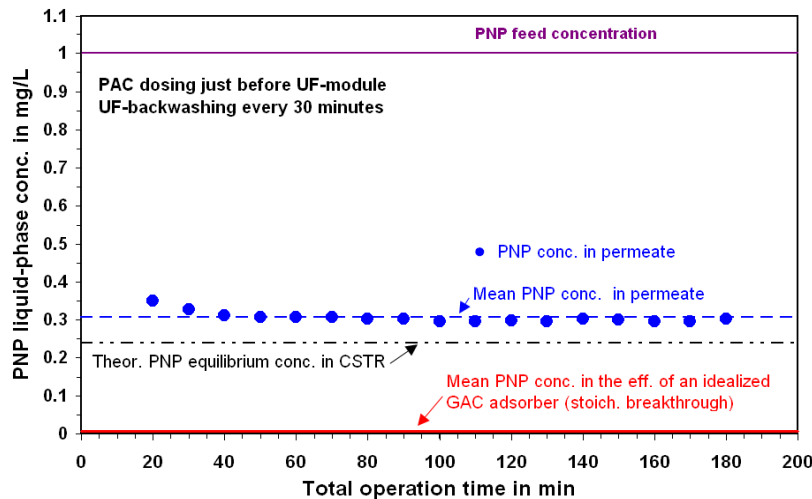
## Az adszorbens kapacitás felhasználásának a foka ?

Ivančev-Tumbas i sar. (2008)  
Water Research 42, 4117-4124

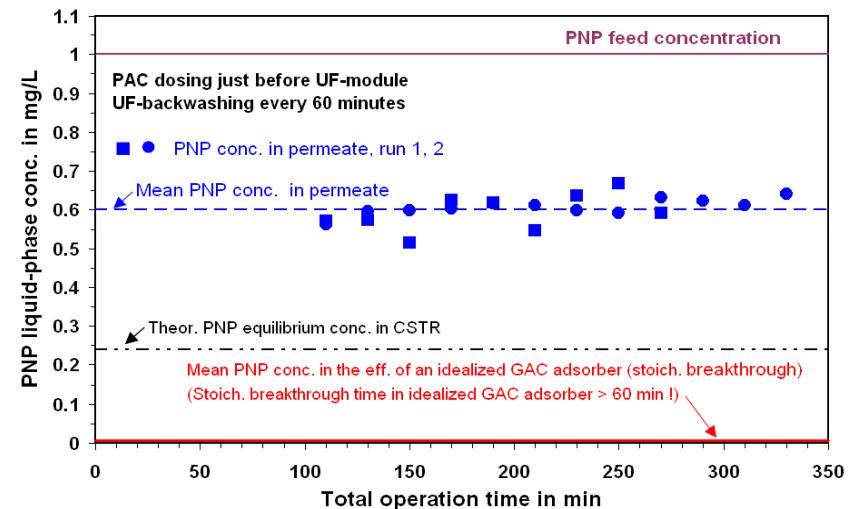
Dead end kontinualno doziranje adsorbensa



Cross-flow multipulsno doziranje sorbenta



Dead end single-pulse doziranje sorbenta





# Otpad adsorpcionih i membranskih procesa?

## Adszorpció és membránfolyamatok hulladéka?

### Čvrst szilárd

- **Sanitarna deponija** szanitáris hulladéklerakó
- **Specijalna deponija za hazardni otpad** speciális veszélyes hulladékra előlátott hulladék lerakó

### Tečan cseppfolyós

- **Sanitarni izliv u kanalizaciju, duboko injektiranje u zemljište, kanizációba ömlés, a földbe mélységi injektálás**
- **Pretvaranje u čvrst otpad precipitacijom nakon jonoizmenjivačkih smola?** Szilárd hulladékká konvertálás
- **Uparavanje-mere zaštite?** Szabályozás,
- **Ključno pitanje- klasifikacija hazardnog otpada-** alapkérdés a veszélyes hulladék kategorizálása

## Umesto zaključka Következtetés helyett

*“Izazov je odrediti **koji** proces ide najbolje uz **koji**  
**set uslova** u smislu kvaliteta vode i troškova”*

*Kartinen Jr., E.O., Martin, C.J., 1995. An overview of arsenic removal processes,  
Desalination 103, 79–88.*

*Kihívás meghatározni melyik folyamat mely körülményei  
működnek legjobban a költségek és minőséges víz  
tekintetében*

*“... pa čak i volje ljudi da promene svoje navike”*

*... még az emberek akaratát is melyekkel saját szokásaikon  
változtatnak*

*M.I. Litter et al. (2010) Environmental Pollution 158, 1105–1118*

**Hvala na pažnji!**  
**Köszönöm a figyelmet !**

***Dobri susedi***  
*zajedno stvaraju*  
***budućnost***

