

Priprema

MEMBRANSKA SEPARACIJA

Mile Klašnja

Tehnološki fakultet Novi Sad

Značaj:

- **Tehnologija pripreme vode u poslednjih dvadesetak godina :**
uvođenjem membranskih procesa separacije ostvaren najveći napredak
- **Shvatajući potencijal primene membranskih procesa i u našoj praksi, na prvom Water Worshop-u, 1997., posvećena puna pažnja ovim procesima**

Membranski procesi čija je pogonska sila **pritisak: MF, UF, NF, i RO ➡ daleko najzastupljeniji membranski procesi u pripremi vode**

- **Membranska filtracija: mikrofiltracija (MF) i ultrafiltracija (UF)**
- **Reverzna osmoza (RO) i nanofiltracija (NF)**
 - └ **Poređenje tehnika membranske separacije**
 - └ **Tabela (u monografiji)**

Membranska filtracija: MF i UF

Zašto? **Ne** proboj cisti protozoa kroz konvencionalna postrojenja za pripremu površinske vode za piće (kao što je obolevanje preko 400 000 ljudi, od kojih **50 sa smrtnim ishodom**, izazvano oocistama *Cryptosporidium*-a, u **Milvokiju, SAD**)

Primena: Uklanjanje suspendovanih i koloidno dispergovanih čestica, i mikroorganizama

- površinske vode
- podzemne vode

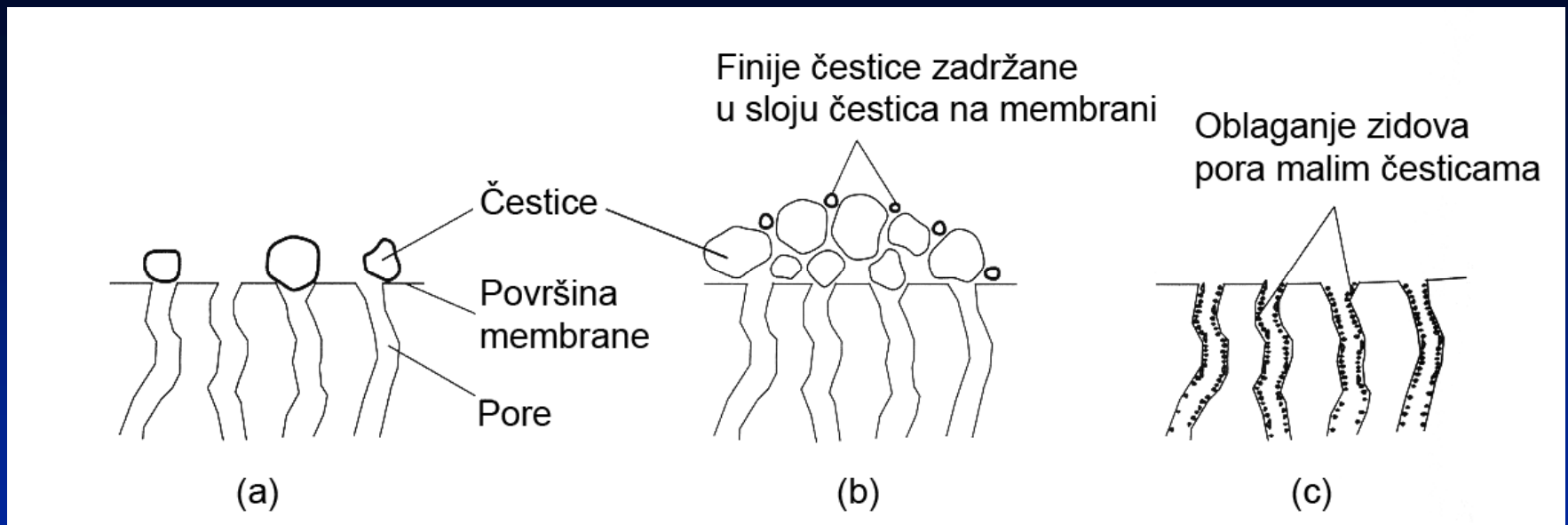
O čemu je reč (u monografiji):

- **Materijal, struktura, i osobine membrane**
- **Mehanizam membranske filtracije**
- **Radne karakteristike membrane**
- **Tehnika membranske filtracije**

Mehanizam membranske filtracije

Mehanizmi uklanjanja materija:

1. Prosejavanje (efekat sita)
2. Adsorpcija materija na zidovima pora
3. Filtracija kroz sloj materijala na membrani



Idealno: prosejavanje + adsorpcija + filtr. kroz sloj

Realno: uklanjanje materija nije tako jednostavno, zbog karakteristika i membrane i materija koje se uklanjaju

Posledice: membrana zadržava i deo materija koje su manje od tzv. nominalnog prečnika pora membrane, kao što i propušta deo materija koje su veće od nominalnog prečnika pora

Posledice po **uklanjanje mikroorganizama** (cisti protozoa, bakterija, i virusa):

- + sigurno uklanjanje postiže se odgovarajućim izborom MF ili UF membrane i poroziteta membrane koji uklanja ciljani mikroorganizam efektom sita
- uklanjanje adsorpcijom, ili filtracijom kroz sloj na membrani je nesigurno ➡ efekat uklanjanja varira sa vremenom u radnom ciklusu membranskog postrojenja; a na to se ne možemo osloniti

Praktične posledice po uklanjanje mikroorg.

Uklanjaju se praktično u potpunosti :

Ciste MF membrane nominalnog prečnika pora
protozoa 0,1-1 μm

Bakterije Većina MF membrana (tipično 0,2 μm),
ALI proveriti

Virusi Uklanjaju praktično u potpunosti samo sa
UF membranama manjih MWCO

Primer: uklanjanje bakteriofaga MS2 (model org.)

membrana MWCO = 100 000 Da $\longrightarrow R_{\text{LOG}} > 7,2$

membrana MWCO = 500 000 Da $\longrightarrow R_{\text{LOG}} < 1$

Radne karakteristike membrane

Fluks permeata (J):

$$J = \frac{\Delta P}{\mu K_M}$$

ΔP – transmembranski pritisak

μ – koeficijent viskoziteta vode

K_M – koeficijent otpora membrane

- Viskozitet vode zavisi od temperature

└→ **Fluks permeata zavisi od temperature**

(na primer: fluks leti i do 70% viši nego zimi)

└→ **Zavisnost fluksa od temperature može da “maskira” promenu fluksa usled faulunga membrane**

Praćenje fluksa važno za određivanje momenta kada membrana mora da se čisti od fouling-sloja

$$J_S = J_M \left(\frac{\mu_M}{\mu_S} \right)$$

J_S – fluks na standardnoj temp., 20°C
 J_M – fluks na merenoj temperaturi
 μ_S – viskozitet vode na standardnoj temp.
 μ_M – viskozitet vode na merenoj temp.

Pojednostavljeno:

$$J_S = J_M (1,03)^{T_S - T_M}$$

T_S – standardna temperatura
 T_M – merena temperatura

$$J_{SP, 20^{\circ}C} = \frac{J_s}{\Delta P}$$

$J_{SP, 20^{\circ}C}$ – specifičan fluks na $20^{\circ}C$
(permeabilnost nekorišćene membrane
na standardnoj temperaturi)

Na ovaj način se fluks normalizuje za konkretne vrednosti temperature i transmembranskog pritiska, tako da se može iznaći pad fluksa koji je uzrokovan faulingom membrane

➡ Primer: pad fluksa usled faulinga membrane



Na jednom membranskom postrojenju je u martu izmeren fluks permeata od $80 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$, na ΔP od $0,67 \text{ bar}$ i na temp. vode koja se obrađuje od 7°C ; a u julu je izmeren fluks od $85 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$, na $0,52 \text{ bar}$ i 19°C

Da li je došlo do promene specifičnog fluksa, i da li nastaje fouling membrane ?

1. Izračunava se specifičan fluks u martu mesecu.

a. Izračunava se fluks na standardnoj temp. od 20°C :

$$J_s = J_M (1,03)^{T_s - T_M} = (80)(1,03)^{20 - 7} = 117 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$$

b. Izračunava se specifičan fluks:

$$J_{SP, 20^\circ\text{C}} = \frac{J_s}{\Delta P} = \frac{117 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}}{0,67 \text{ bar}} = 175 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$$



2. Izračunava se specifičan fluks u **julu mesecu.**

a. Izračunava se fluks na standardnoj temp. od 20°C:

$$J_s = J_M (1,03)^{T_s - T_M} = (85)(1,03)^{20 - 19} = 87,6 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$$

b. Izračunava se specifičan fluks:

$$J_{SP, 20^\circ\text{C}} = \frac{J_s}{\Delta P} = \frac{87,6 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}}{0,52 \text{ bar}} = 168 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$$

3. Izračunava se **pad fluksa usled faulinga:**

$$\frac{175 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar} - 168 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}}{175 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}} \times 100 = 4\%$$



Komentar

Iako je postrojenje radilo tokom leta sa većim fluksom, uz manji transmembranski pritisak, činjenica je, što se vidi preko pada specifičnog fluksa, da je postrojenje izgubilo 4% na performansama za ta četiri meseca rada.

Reverzna osmoza i nanofiltracija

Primena: Uklanjanje rastvorenih materija

NF uklanja deo rastvorenih materija: divalentni joni, organske materije malih molekulskih masa
↳ omekšavanje vode (industrija); uklanjanje POM prekursora stvaranja SPD

RO uklanja sve rastvorene materije
↳ desalinacija morske, i slankaste podzemne vode (voda za piće); demineralizacija vode (industrija)

O čemu je reč (u monografiji):

- **Struktura i materijal membrana**
- **Mehanizam membranske separacije**
- **Tehnika reverzne osmoze i nanofiltracije**

Mehanizam membranske separacije

Fluks vode (J_w):

$$J_w = k_w (\Delta P - \Delta \pi)$$

**k_w – koeficijent prenosa mase
za fluks vode**

$$\Delta P = P_F - P_P$$

P_F – pritisak napojne vode

P_P – pritisak permeata

$$\Delta \pi = \pi_F - \pi_P$$

**π_F – osmotski pritisak
napojne vode**

**π_P – osmotski pritisak
permeata**

Fluks rastvoraka (J_S):

$$J_S = k_S (\Delta C)$$

**k_S – koeficijent prenosa mase
za fluks rastvoraka**

**ΔC – koncentracioni gradijent
kroz membranu**

Koje su posledice ovih jednačina ?



Povećana koncentracija rastvoraka u napojnoj vodi (na primer: jako mineralizovana voda)

└→ povećani osmotski pritisak napojne vode – π_F

└→ smanjen fluks permeata

$$J_W = k_W (\Delta P - \Delta \pi) \quad \Delta \pi = \pi_F - \pi_P$$

└→ povećani koncentracioni gradijent – ΔC

└→ povećani fluks rastvoraka $J_S = k_S (\Delta C)$

➡ Dobija se i manje permeata i permeat slabijeg kvaliteta

Povećanje pritiska napojne vode

└→ povećanje fluks vode (permeata)

$$J_w = k_w (\Delta P - \Delta \pi) \quad \Delta P = P_F - P_P$$

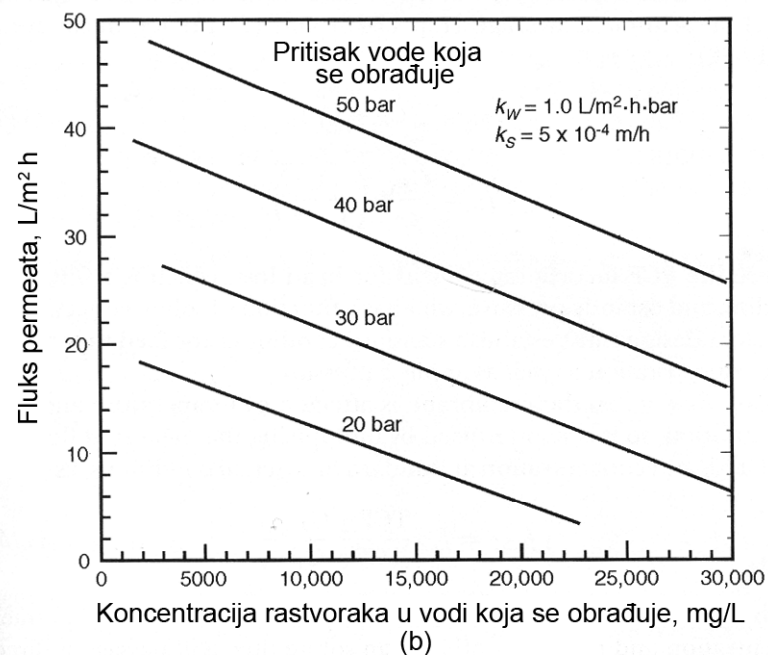
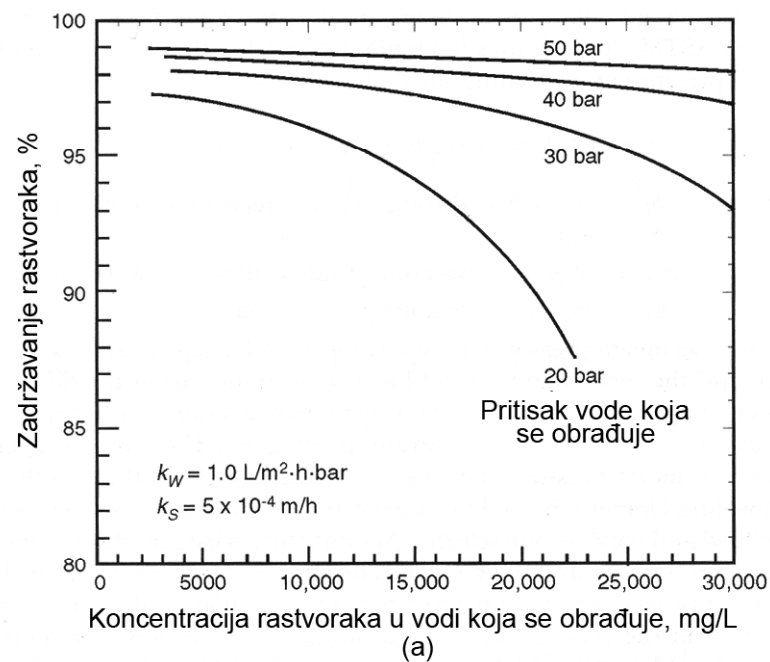
└→ fluks rastvoraka ostaje konstantan

$$J_s = k_s (\Delta C)$$

➡ Koncentracija rastvoraka u permeatu se smanjuje; tj. zadržavanje rastvoraka se poboljšava



slika



Trebalo bi raditi sa što većim pritiskom vode koja se obrađuje: dobija se i veći fluks permeata i poboljšano zadržavanje rastvoraka

Međutim: Međutim povećana potrošnja energije za povećanje pritiska + povećani fouling membrane

Projektovanje jednog sistema RO mora da se zasniva na kompromisu više činilaca

Završna razmatranja:

- Ima tečnosti u čijoj se pripremi može primeniti samo neki od membranskih separacionih procesa
- Praktično samo mikrofiltracija, je bi drugi membranski procesi: UF, a naročito NF ili RO, izvadili dušu iz tih tečnosti, pa Vam ne bi pričinjavalo pravo zadovoljstvo da ih konzumirate

