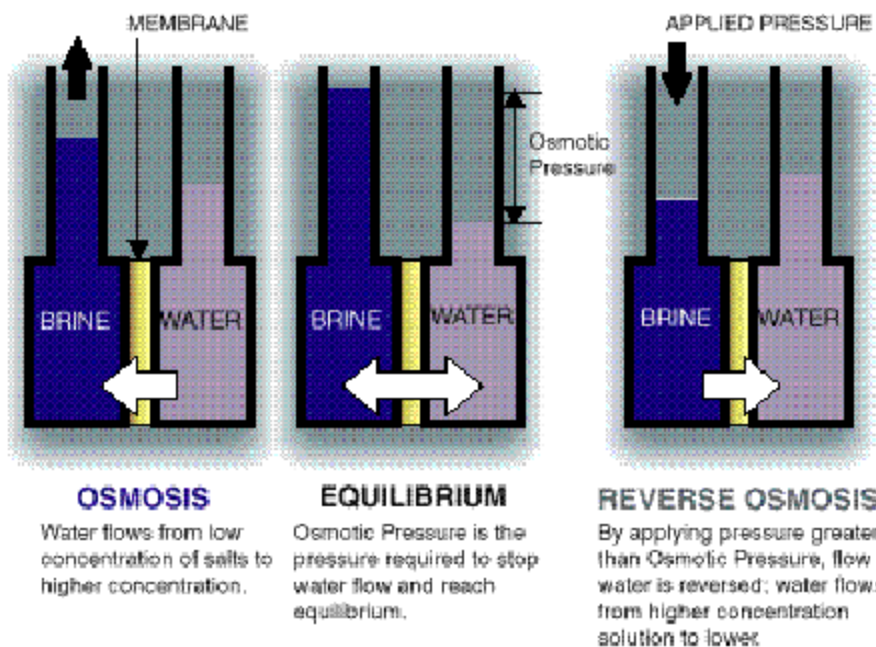


Wykład 2

**Odwrócona osmoza i
nanofiltracja**

III. Odwrócona osmoza (*ang. Reverse Osmosis*)RO



Siła napędowa $\Delta P - \Delta \pi$

TMP 10 – 200 atm, GMM 150 Da

Membrany homogeniczne, asymetryczne, polimerowe

$$J_V = L(\Delta P - \Delta \pi)$$

Zastosowanie RO

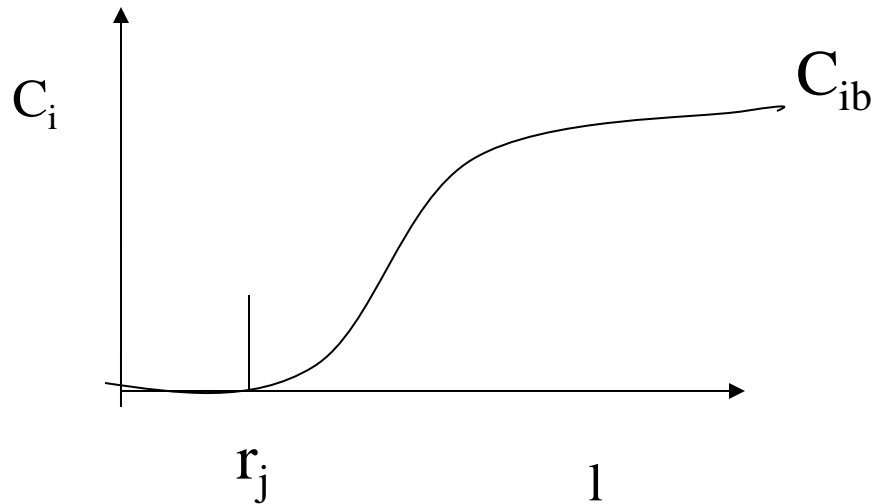
1. Odsalanie wód
2. Demineralizacja wody
4. Otrzymywanie wody ultraczystej
5. Oddzielanie związków organicznych od wody
6. Rozdzielanie roztworów niewodnych



Modele odwróconej osmozy

- Model preferencyjnej sorpcji w kapilarach membrany ($R_{\text{porów}} < r_{\text{jonów}}$)

Naskórek membrany ma regularną budowę kapilarną, w kapilarach wykluczanie dielektryczne polimer - jon



Modele odwróconej osmozy

- Model rozpuszczania – dyfuzji rozpuszczanie i współczynniki dyfuzji w membranie polimerowej znacznie większe dla wody niż substancji jonowych

$$J_s = \frac{D_s k_s}{l} \Delta C_s \quad J_w = \frac{D_w k_w}{l} \Delta C_w$$

$$R = 1 - \frac{J_s C_{wp}}{J_w C_{sp}}$$

Membrany do odwróconej osmozy

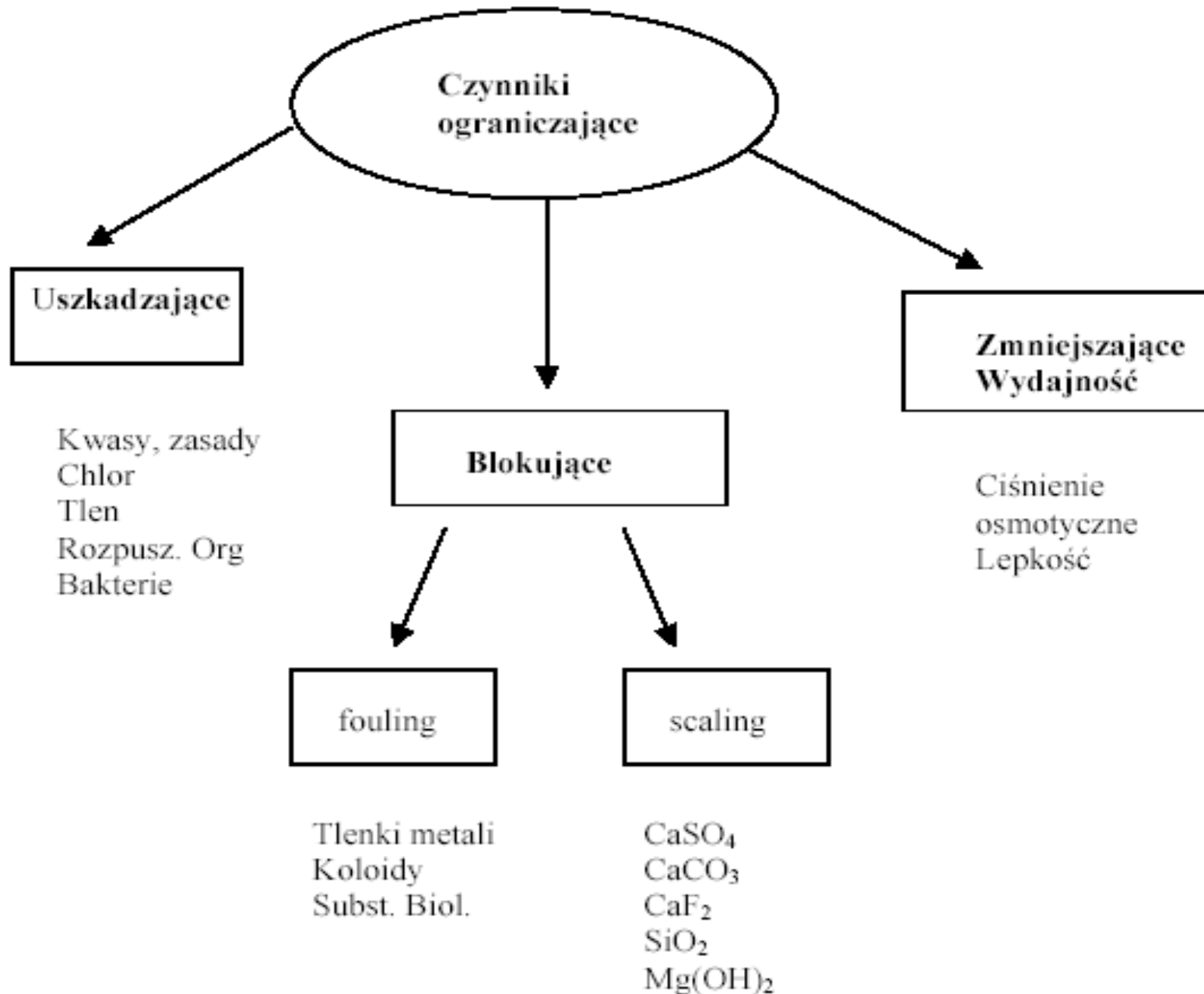
- Polimer w stanie szklistym
- Wysoka temperatura T_g
- Duża M_w , małe PDI
- Wysoka odporność hydrolityczna
- Odporność na atak mikroorganizmów

Aromatyczne poliamidy (Du Pont), octan celulozy (Toyobo),
kompozytowe (DOW i Toray)

Membrany do odwróconej osmozy

Materiał membrany	Producent	Substancja zatrzymywana	Strumień $\times 10^4$ cm^3/cm^2 s	R %
Octan celulozy	Toray	NaCl	3.47	96
Poliamid aromatyczny	Du Pont	NaCl	5.71	99.5
Usieciowany Poliamid aromatyczny	Film Tec	Fenol Etanol Metanol	8.58	99 70 25

Czynniki ograniczające RO



Etapy uzdatniania wody morskiej do odsalania techniką RO

- Usuwanie suspensji (złoża piasku, jedno lub kilkustopniowa filtracja)
- Usuwanie cząstek koloidalnych (koagulacja i flokulacja)
- Usuwanie substancji wywołujących osadzanie się kamienia (zakwaszanie, zmiękczenie)
- Usuwanie tlenków metali (zakwaszanie)
- Usuwanie substancji biologicznych (chlorowanie, a następnie dodatek NaHSO_3)

IV. Nanofiltracja (*ang. Nanofiltration*) NF

GMM 200 Da → rozmiar molekuly 1 nm, TMM 5 – 30 atm

Membrany jonoselektywne

Stopień zatrzymywania:



Zastosowania NF:

1. Zmiękczenie wody procesowej i pitnej przy jednoczesnej permeacji jonów jednowartościowych soli

Zastosowanie NF

2. Zatrzymywanie związków organicznych podczas permeacji jednowartościowych soli, odsalanie serwatki przy jednoczesnym zatrzymywaniu laktozy i protein
3. Odsalanie ścieków zawierających związki powierzchniowo czynne
4. Rozdzielanie mało i wielkocząsteczkowych składników w roztworach wodnych np. usuwanie alkoholu z wina
5. Oddzielanie związków organicznych małowcząsteczkowych z ich roztworów wodnych np. glicerolu, glukozy, glikoli

Membrany do NF

- Współczynnik retencji dla MgSO_4 przy wydajności $0.725 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ i $P_{\text{tr}}=0.5 \text{ MPa}$
- Polimery zawierające grupy
- Kationowymienne z grupami SO_3H , COOH , AsO_3H
- Anionowymienne z grupami NR_3^+ , NR_2H^+ , NH_3^+

Porównanie membran do RO i NF

Membrana	Ciśnienie MPa	Współczynnik retencji %			
		NaCl	MgCl ₂	NaNO ₃	MgSO ₄
FT 30 RO	1.55	98	99.5	90	99.5
NF-70 NF	0.5	75	70	50	97.5
NF-45	0.9	50	83	20	97.5

	FT-30 (RO)	NF-50 (NF)	NF-70 (NF)
Ciśnienie MPa	2.0	0.35	0.5
J_v m³/m²d	1.225	1.225	1.225
Cut-off Da	100	500	200
Współczynnik retencji %			
NaCl	98	45	80
CaCl₂	99	70	95
MgSO₄	99	85	98
Glukoza	98	88	98
Sacharoza	99	99	99
Twardość całkowita	95	85-90	85-90
Węgiel organiczny	90	80-85	80-85

Parametr mg/dm ³	Woda surowa	Woda po zmięczeniu klasycznym	Woda zmiękczona w wyniku NF	Wymagania wg WHO
Ca ²⁺	91	18	12	
Mg ²⁺	5	4	2	
Na ⁺	16	16	7	200
K ⁺	0	0	0	
Fe ³⁺	0.3	0.02	0.02	0.3
HCO ₃ ⁻	264	33	23	
CO ₃ ²⁻	0	4	0	
Cl ⁻	35	35	15	250
SO ₄ ²⁻	17	17	4	400
pH	7.2	9.3	7.4	
THM µg/dm ³		30	0	30

1. Usuwanie arsenianów i pestycydów z wód gruntowych w procesie NF

Separation and Purification Technology 42 (2005) 137–144

Removal of arsenic and pesticides from drinking water by nanofiltration membranes

K. Kosiutic, L. Furaic, L. Sidos, B. Kunst

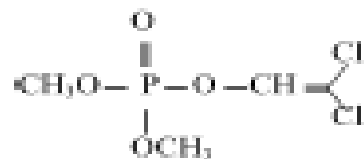
Compositions (relevant values) of the natural and artificial waters

		Osijek	Artificial
Arsenic	μg/l	185	208
Alkalinity	mg/l, as CaCO ₃	492	328
Total hardness	mg/l, as CaCO ₃	303	317
Ca hardness	mg/l, as CaCO ₃	184	66
Mg hardness	mg/l, as CaCO ₃	119	251
Chlorides	mg/l	7.1	7.2
pH	–	7.85	–

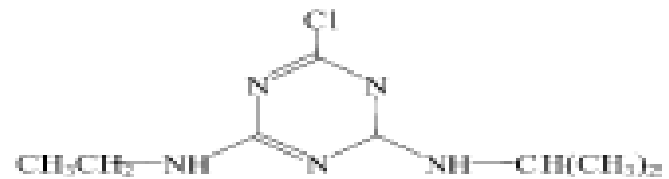
MCL 10 μg/l

Separation of inorganic salts

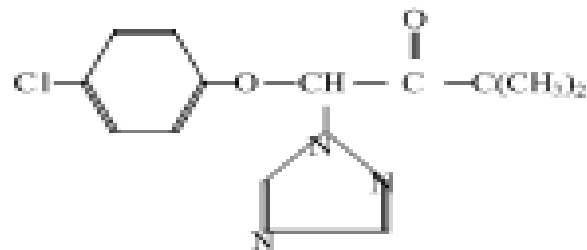
	NF270-1		NF270-2		NFc-1		NFc-2		CPA2	
	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =	P (kPa) =
	689	1013	689	1013	689	1013	689	1013	689	1013
Na₂HAsO₄^a										
R	0.877	0.891	0.831	0.864	0.811	0.846	0.893	0.906	0.908	0.898
Q_p (kg/(m ² h))	57.9	83.8	67.6	99.7	7.3	10.9	10.9	16.1	10.9	16.2
NaCl^b										
R	0.577	0.636	0.642	0.662	0.563	0.632	0.530	0.649	0.893	0.938
Q_p (kg/(m ² h))	68.5	98.8	75.6	110	7.3	10.7	9.9	14.6	12.2	18.3
Na₂SO₄^b										
R	0.997	0.997	0.998	0.997	0.994	0.992	0.991	0.987	0.998	0.998
Q_p (kg/(m ² h))	64.8	94.7	71.4	107	6.7	10.0	9.4	14.5	11.3	17.5



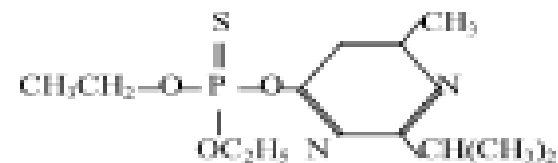
1. dichlorvos
 $C_4H_7Cl_2O_4P$



2. atrazine
 $C_8H_{14}ClN_5$



3. triadimefon
 $C_{14}H_{16}ClN_3O_2$



4. diazinon
 $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$

Fig. 1. Molecular structures of the pesticides used.

Usuwanie pestycydów z wód gruntowych w wyniku NF

Rejection values, R , of pesticides by the examined membranes

	Molecular size(nm)	$\log P^{\text{H}}$	μ (Debye)	NF270-1	NF270-2	NFe-1	NFe-2	CPA2
Dichlorvos (DDVP)	0.504	1.43	1.544	0.407	0.393	0.564	0.620	0.947
Atrazine	0.674	2.61	1.598	0.814	0.848	0.852	0.799	0.959
Triadimefen	0.743	2.77	2.843	0.938	0.992	0.634	0.667	0.783
Diazinon	0.834	3.81	0.546	0.931	0.905	0.930	0.861	-

