

Wykład 3

Wydajność procesów
membranowych, moduły
membranowe

Wydajność procesów membranowych

Membrany
mikroporowate

$$J_v = \frac{P_v}{\delta_m} \Delta P$$

- Ciśnienie transmembranowe
- Grubość membrany

Membrany
homogeniczne

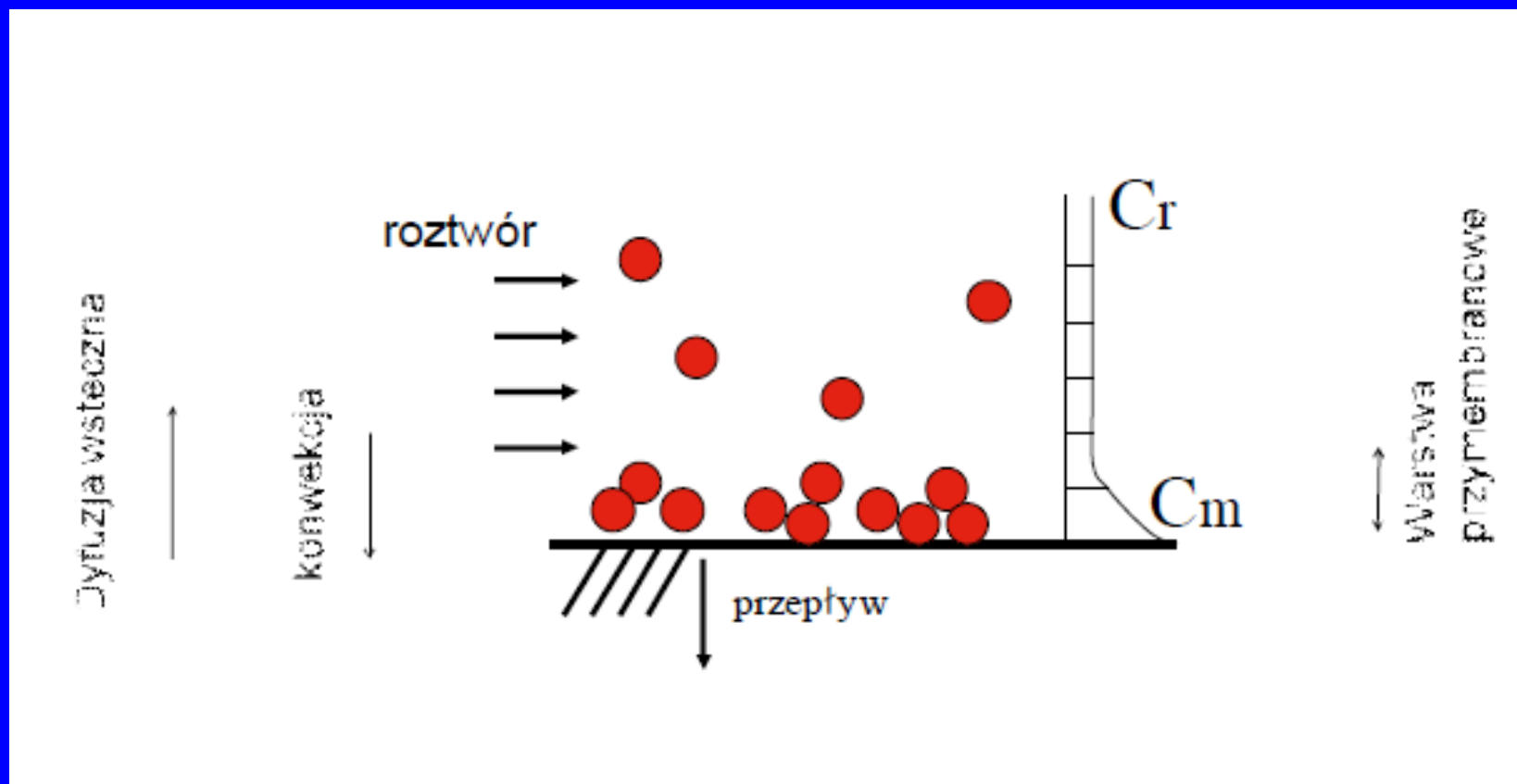
$$J_n = k D (c_2 - c_1) / l$$

- Rodzaj membrany
- Rodzaj roztworu
- Stężenia składników
- Grubość membrany

Trudności techniczne w stosowaniu technik membranowych

- Polaryzacja stężeniowa
- Adsorpcja
- Fouling i Scaling
- Deformacja porów

Polaryzacja stężeniowa



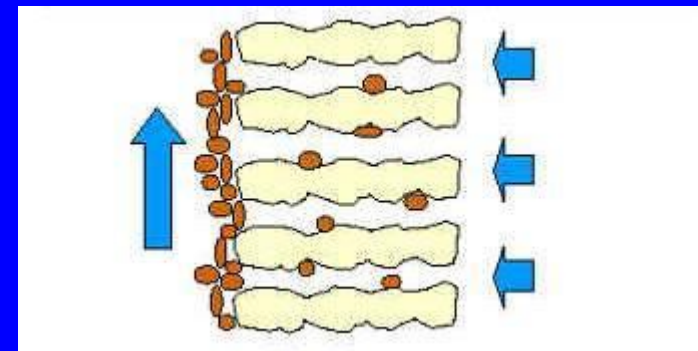
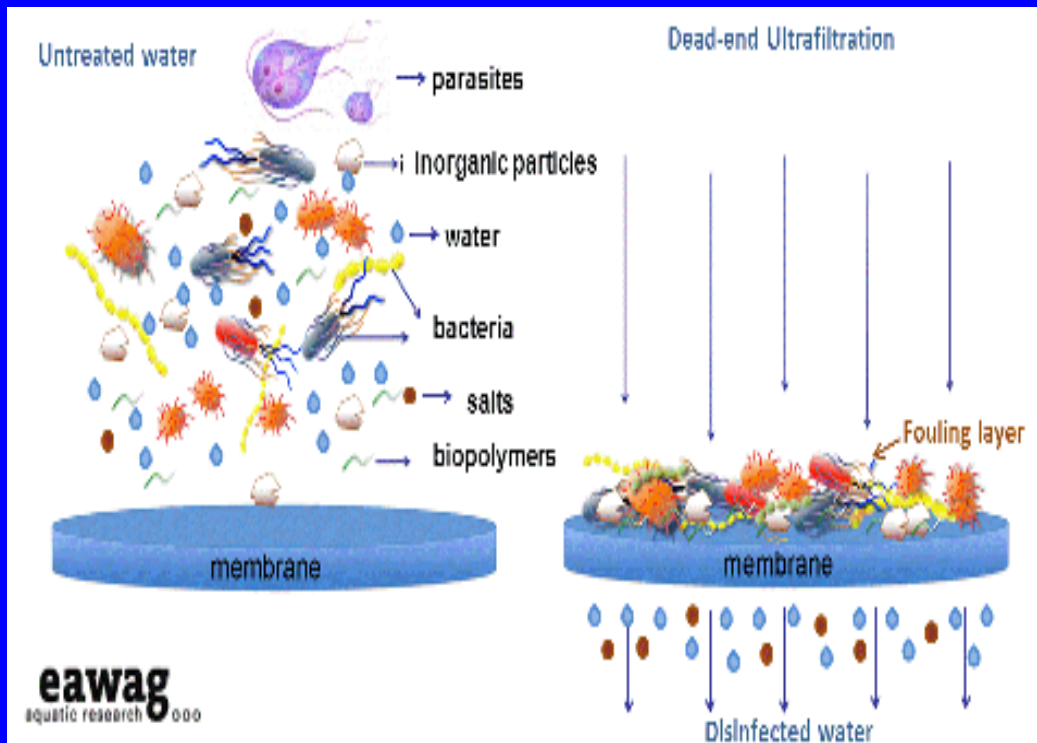
Intensywność polaryzacji stężeniowej

Proces Membranowy	Intensywność polaryzacji stężeniowej
Odwrócona osmoza Nanofiltracja Ultrafiltracja Mikrofiltracja	Umiarkowana Umiarkowana Duża bardzo duża

Konsekwencje polaryzacji stężeniowej

- spadek przepływu rozpuszczalnika, wywołany zwiększonym ciśnieniem osmotycznym roztworu w warstwie przymembranowej,
- wytrącanie się na powierzchni membrany osadów określonych substancji po przekroczeniu ich rozpuszczalności.
- Fouling membran

Fouling na powierzchni membrany

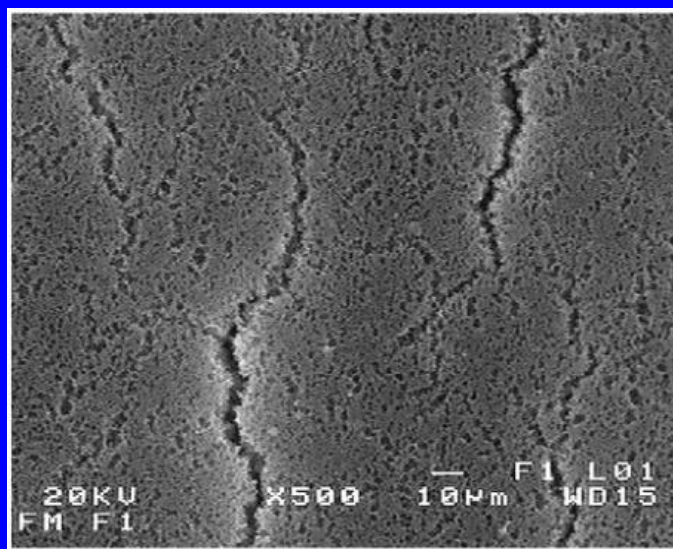


Scaling na powierzchni membrany

- Wytrącania związków nieorganicznych



Krzemionka na membranie do RO



CaCO₃ na membranie do RO

Sposoby ograniczania polaryzacji stężeniowej i foulingu

- zmniejszenie ciśnienia transmembranowego,
- zmniejszenie stężenia substancji organicznych w oczyszczanym roztworze,
- stosowanie optymalnej temperatury,
- stosowanie ciśnień pulsacyjnych,
- stosowanie okresowego mycia membrany - hydraulicznego (płukanie wsteczne) lub chemicznego,

Sposoby ograniczania polaryzacji stężeniowej i foulingu

- wymuszanie przepływu turbulentnego,
- użycie ultradźwięków,
- wprowadzenie do materiału membrany grup jonoczynnych o ładunku zgodnym z ładunkiem filtrowanej substancji,
- koagulacja - usuwanie substancji koloidalnych i drobnozdyspergowanych,
- zmiękczenie -usuwanie soli Ca^{2+} i Mg^{2+}

Moduły membranowe i sposoby prowadzenia strumieni

- **1. Moduł rurowy** (mała gęstość upakowania, przepływ turbuletny)
- **2. Moduł kapilarny zespół** (duża gęstość upakowania, przepływ laminarny)
- **3. Moduł płytowy** (prosta konstrukcja, mała gęstość upakowania, straty ciśnienia przy zawracaniu przepływu)
- **4. Moduł spiralny** (prosta konstrukcja, duża gęstość upakowania, trudności z czyszczeniem)

Wymagania stawiane modułom membranowym

- zapewniać korzystne warunki hydrodynamiczne, tak aby składniki zatrzymywane na membranie były z niej ciągle usuwane, tak by utrzymana była wysoka wydajność procesu,
- szczelność pomiędzy rozdzielanymi strumieniami permeatu i koncentratu,
- duży stosunek powierzchni membran do objętości modułu,
- krótki czas przebywania roztworu,
- łatwość mycia i sterylizacji,
- niskie koszty eksploatacji,
- niskie koszty własne,
- duża odporność membran na działanie czynników chemicznych, fizycznych i biologicznych.

Konstrukcje dostępnych modułów membranowych opierają się na dwóch podstawowych formach membrany:

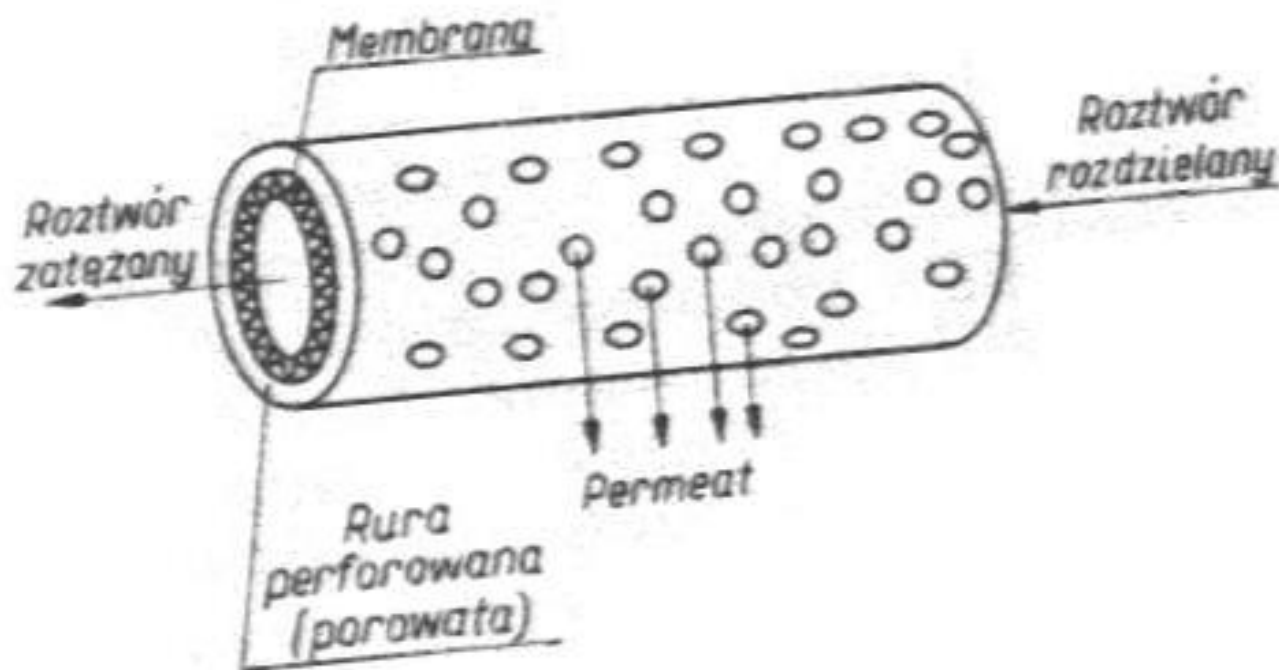
- płaskiej
- rurowej

Konfiguracje modułów membranowych:

- moduły płytowo-ramowe,
- moduły spiralne,

- moduły rurowe,
- moduły kapilarne,
- moduły z włókien kanalikowych (hollow-fibre)
(czasami ta konfiguracja zaliczana jest do kapilarnej).

Moduł Rurowy

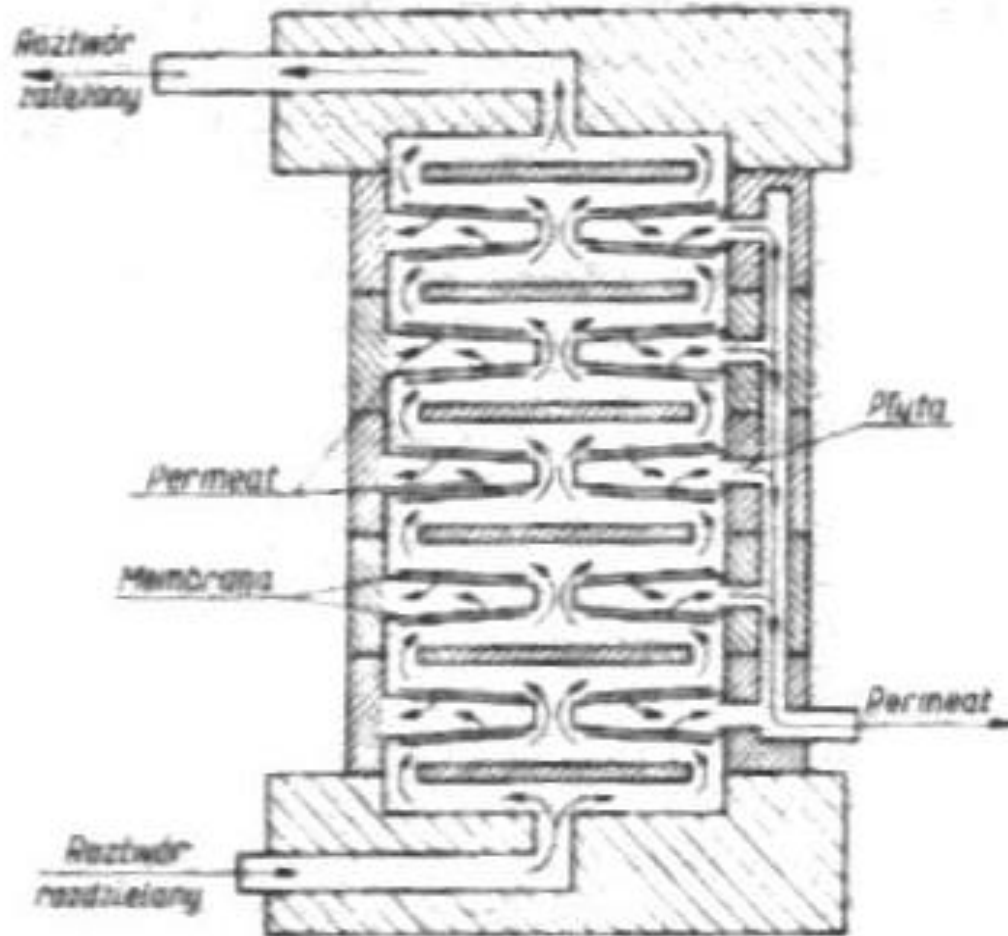


Porównanie modułów opartych na rurowej konfiguracji membran

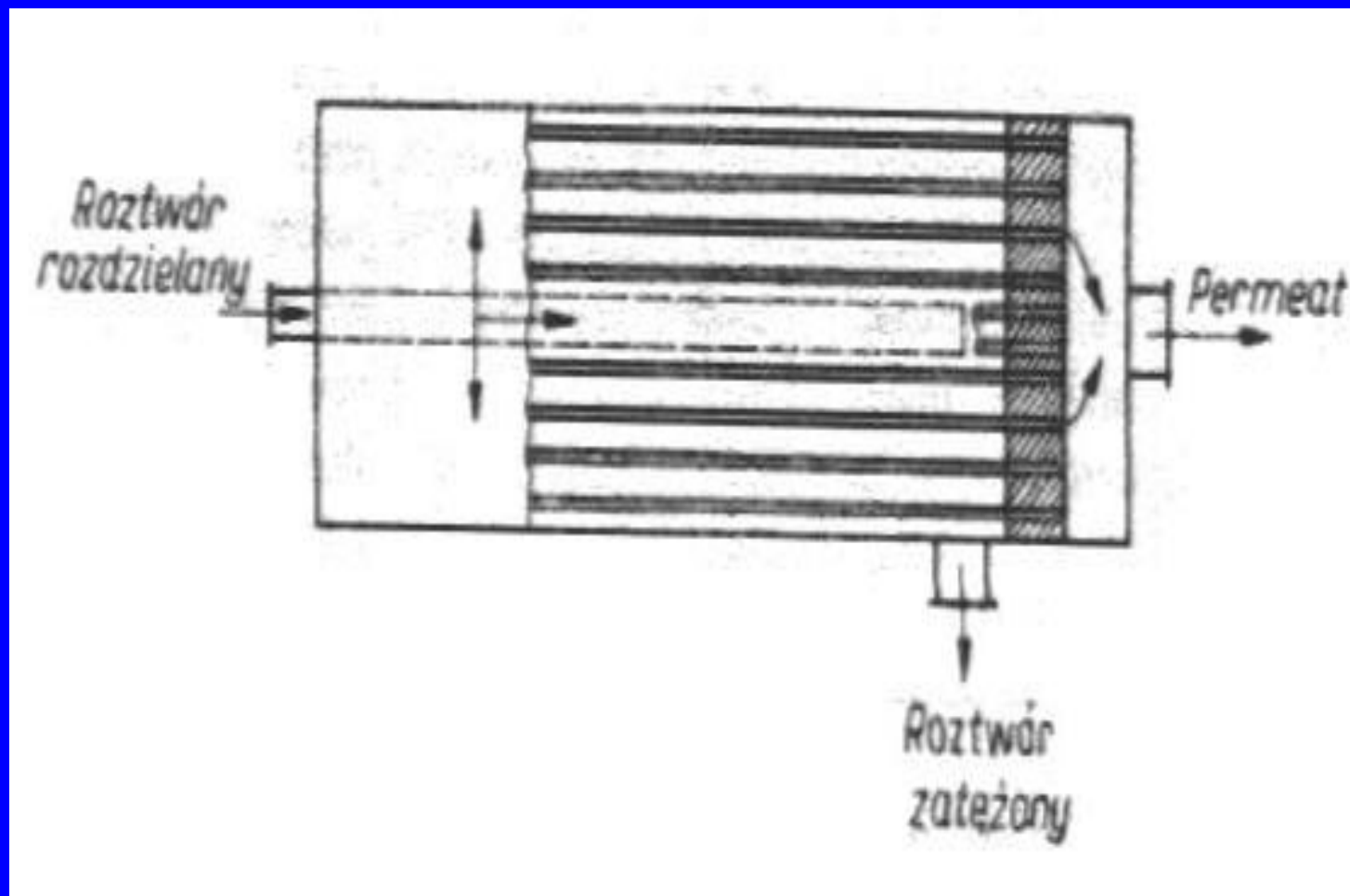
Konfiguracja	Średnica, mm	Gęstość upakowania, m ² /m ³
Rurowa	> 10,0	360 ¹
Kapilarna	0,5-10,0	3600 ²
Włókna kanalikowe	<0,5	36000 ³

¹ - przy średnicy rury 5 mm, ² - przy średnicy rury 0,5 mm ³ - przy średnicy rury 0,05 mm

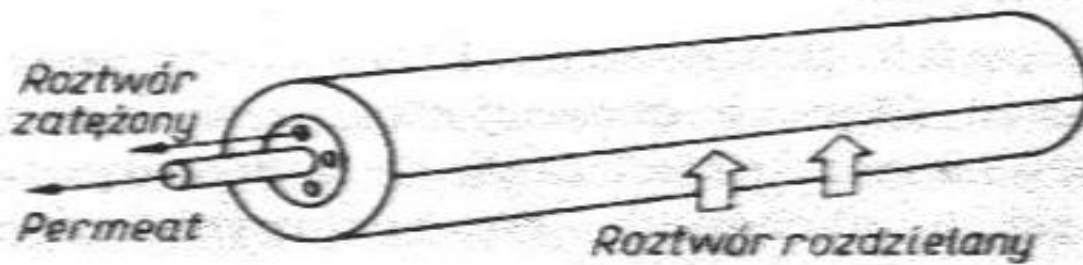
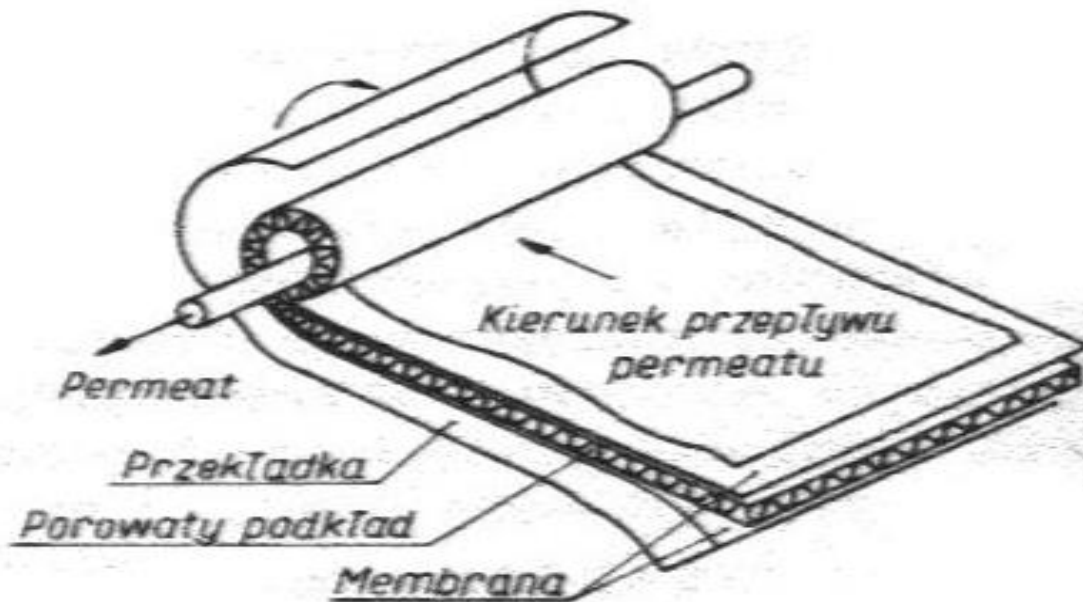
Moduł Płytowy



Moduł Kapilarny



Moduł spiralny



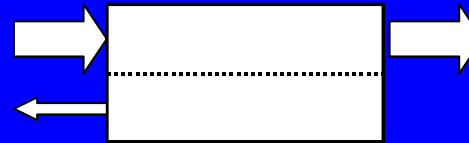
Moduł	Rurowy	Kapilarny	Płytowy	Spiralny
Metoda				
RO		◆		◆
PV			◆	
GS		◆		◆
ED			◆	
D		◆	◆	
UF	◆	◆	◆	
MF	◆			

Prowadzenie strumieni w modułach membranowych

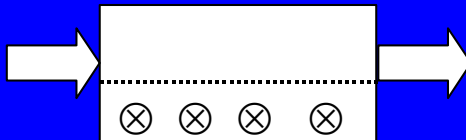
Współprąd



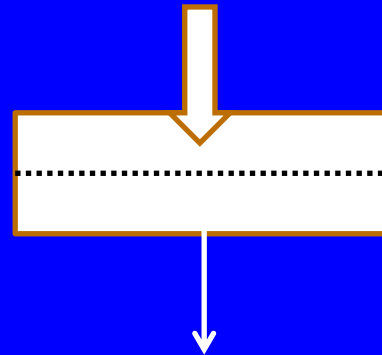
Przeciwprąd

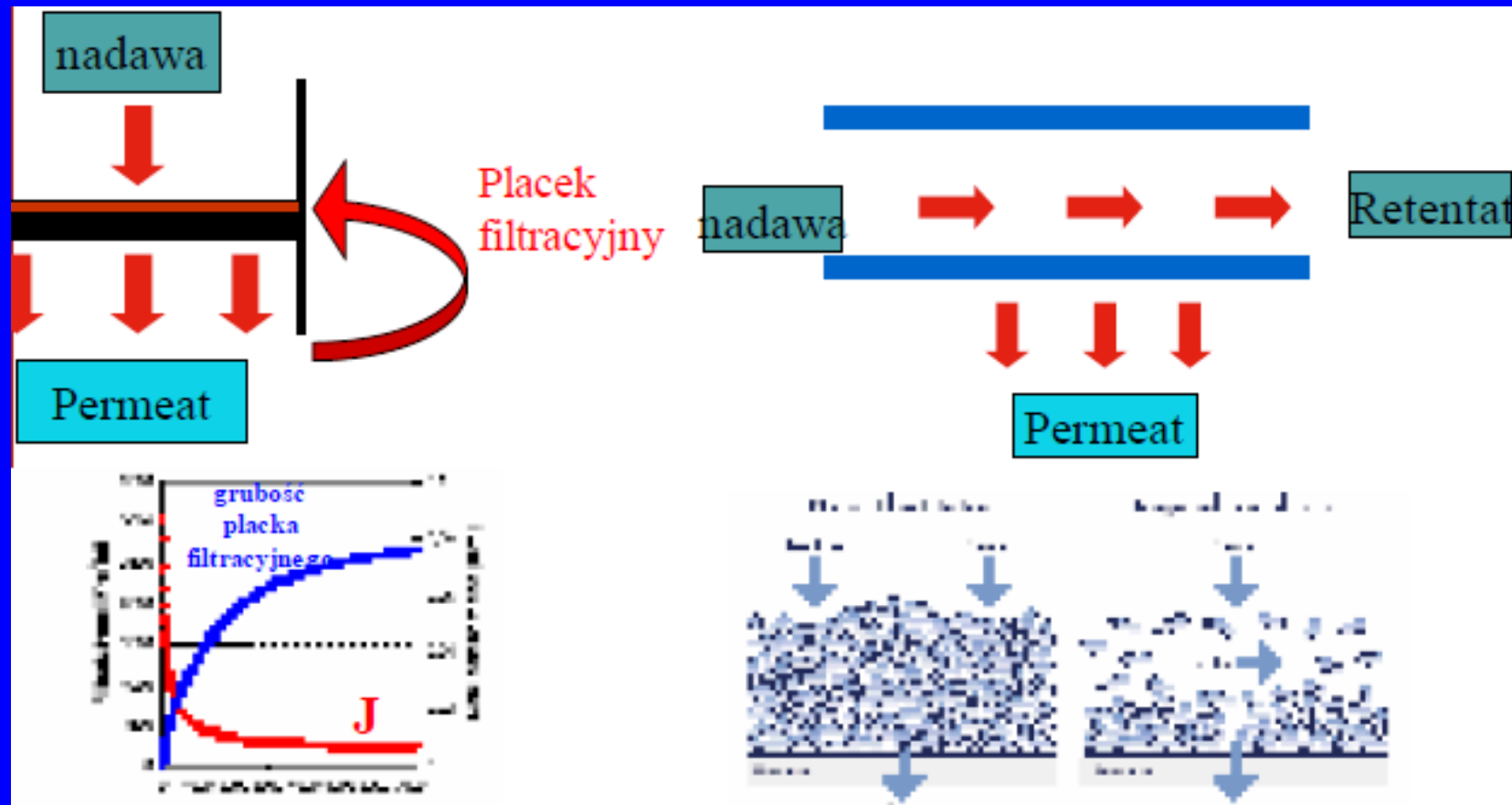


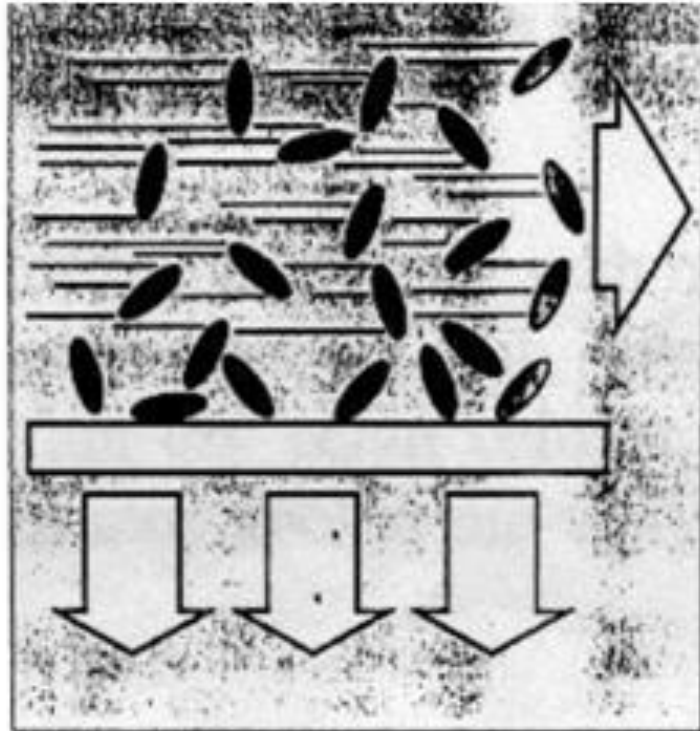
**Prąd krzyżowy
cross-flow**



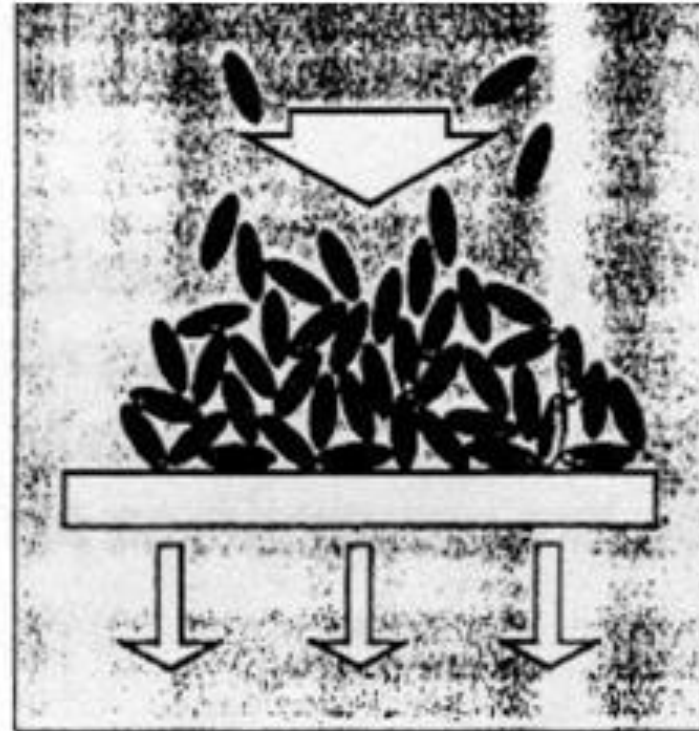
**Odływ swobodny
dead - end**







Cross-Flow Filtration



Conventional Filtration