

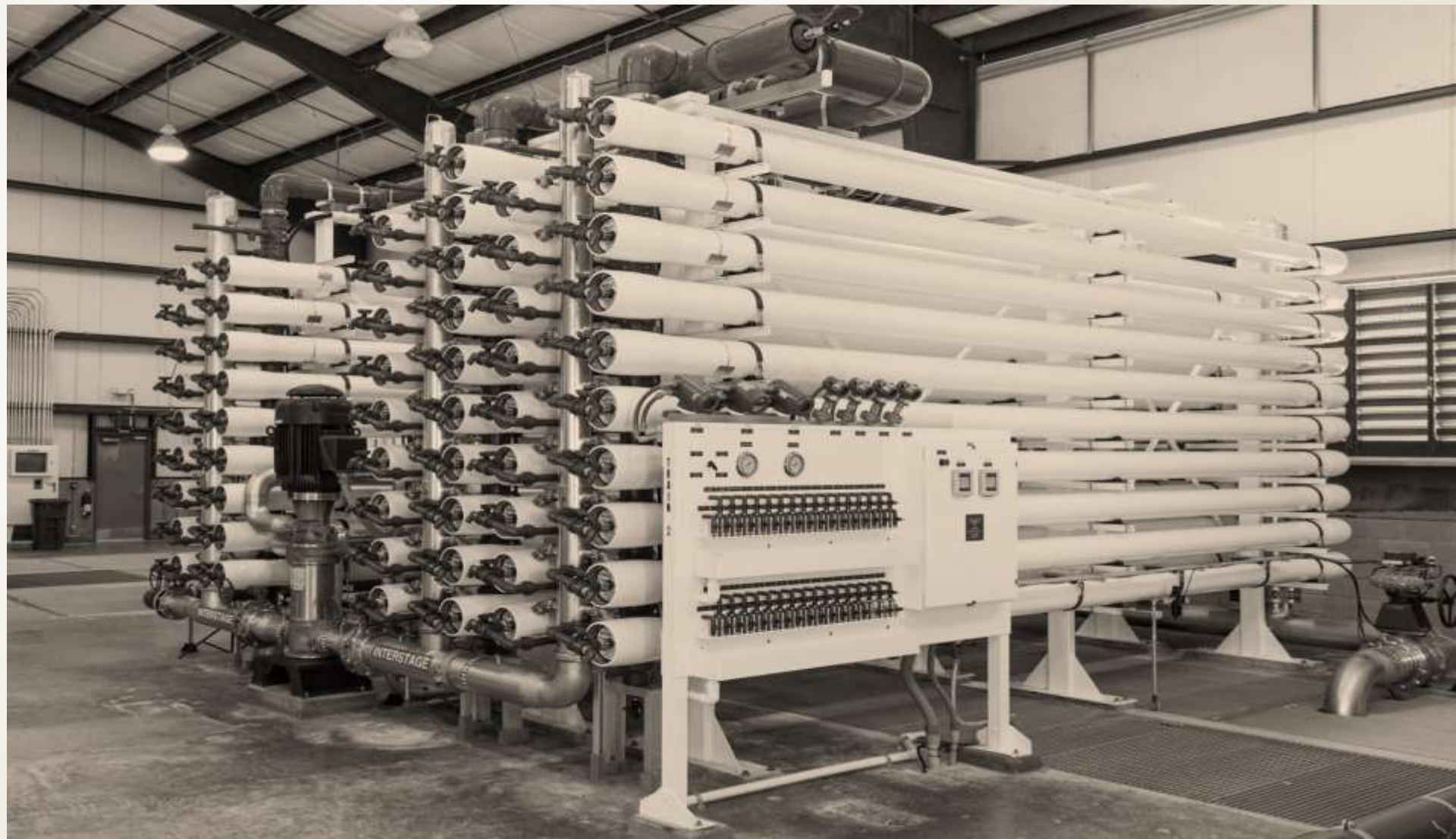
Мембранни технологии за пречистване на води

Национален семинар „Качество на питейните води“

Парк – хотел „Рибарица“ 23 – 24 юни 2022 г.

Гл. ас. др. инж. Ирина Ангелова

КЛАССИФИКАЦИЯ



Според механизма на филтрация

- Мембрани с пори и протичане на поток (за избистряне / *pore-flow membranes*)
- Мембрани работещи чрез дифузия (за обезсоляване / *solution – diffusion membranes*)

Според формата на модулите

- Тръбни мембрани
- Нишковидни мембрани
- Плоски мембрани
- Спираловидни мембрани



Според материала

- От синтетични органични полимери (*PVDF, PES, PSF*)
- Керамични
- Метални
- Стъклени
- Композитни



Според посоката на протичане на потока

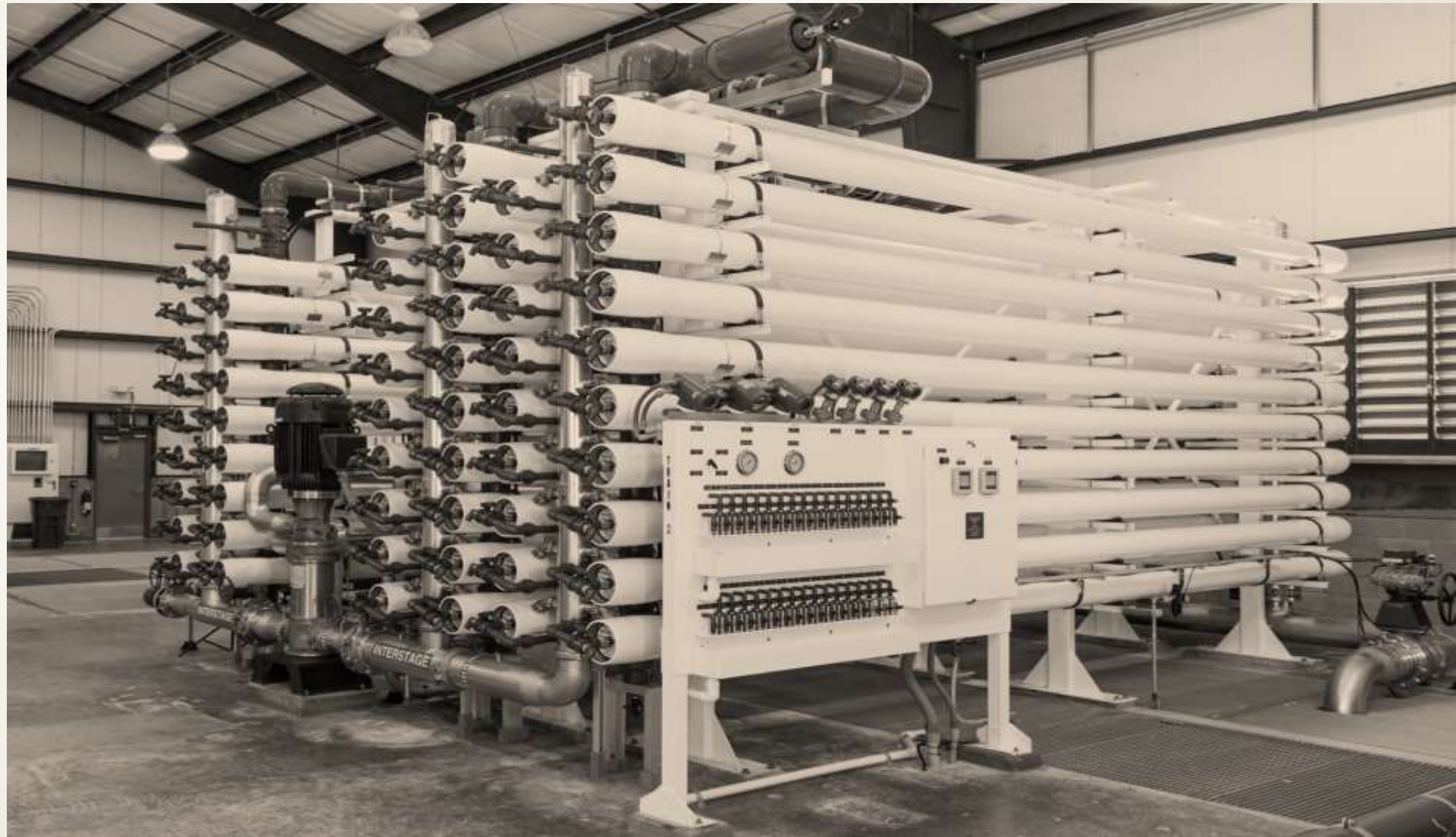
- Статична филтрация (задънен край)
- Динамична филтрация (напречен поток)



Според размера на порите

- Микрофилтрация (MF)
- Ультрафилтрация (UF)
- Нанофилтрация (NF)
- Електро –диализа (EDR)
- Обратна осмоза (RO)/Осмоза (FO)

ХАРАКТЕРИСТИКИ



Микрофилтрация (MF)

- **Размер на порите:** 0,1 – 5 μm
- **Налягане:** 0,1 – 0,50 bar (<2 bar)
- **Вакуум:** -0,20 – -0,80 bar
- **Материал:** органични полимери
(*polysulfones, PVDF*)
- **Модули:** нишковидни,
спираловидни, тръбни и плоски
- **Производителност:** 90 – 98 % от
суровата вода

Ултрафилтрация (UF)

- **Размер на порите:** 0,01 - 0,1 μm
- **Налягане:** 0,70 – 3 bar (<10 bar)
- **Вакуум:** -0,20 – -0,80 bar
- **Материал:** органични полимери
(*polysulfones, PVDF*)
- **Модули:** нишковидни,
спираловидни, тръбни и плоски
- **Производителност:** 90 – 98 % от
суровата вода

Някои основни характеристики на мембрани за ултрафилтрация

<u>Material</u>	<u>pH</u>	<u>Maximum Pressure</u> (bar)	<u>Maximum Temp.</u> (°C)
Polysulphone	2-12	15	70
Polyacrylonitrile	2-10	10	60
Cellulose Acetate	3-6	25	30
Polyethersulfone	2-12	30	70
Fluoropolymer	2-12	10	60
Polyvinylidene fluoride	2-12	10	70
Poly vinyl chloride	2-12	10	50

Нанофилтрация (NF)

- **Размер на порите:** 0,001 to 0,01 μm
- **Налягане:** 7 bar (5 - 35 bar)
- **Производителност:** 85 – 95 % от суровата вода
- **Материал:** полимери
(целулозен ацетат, полиамид)
- **Модули:** спираловидни

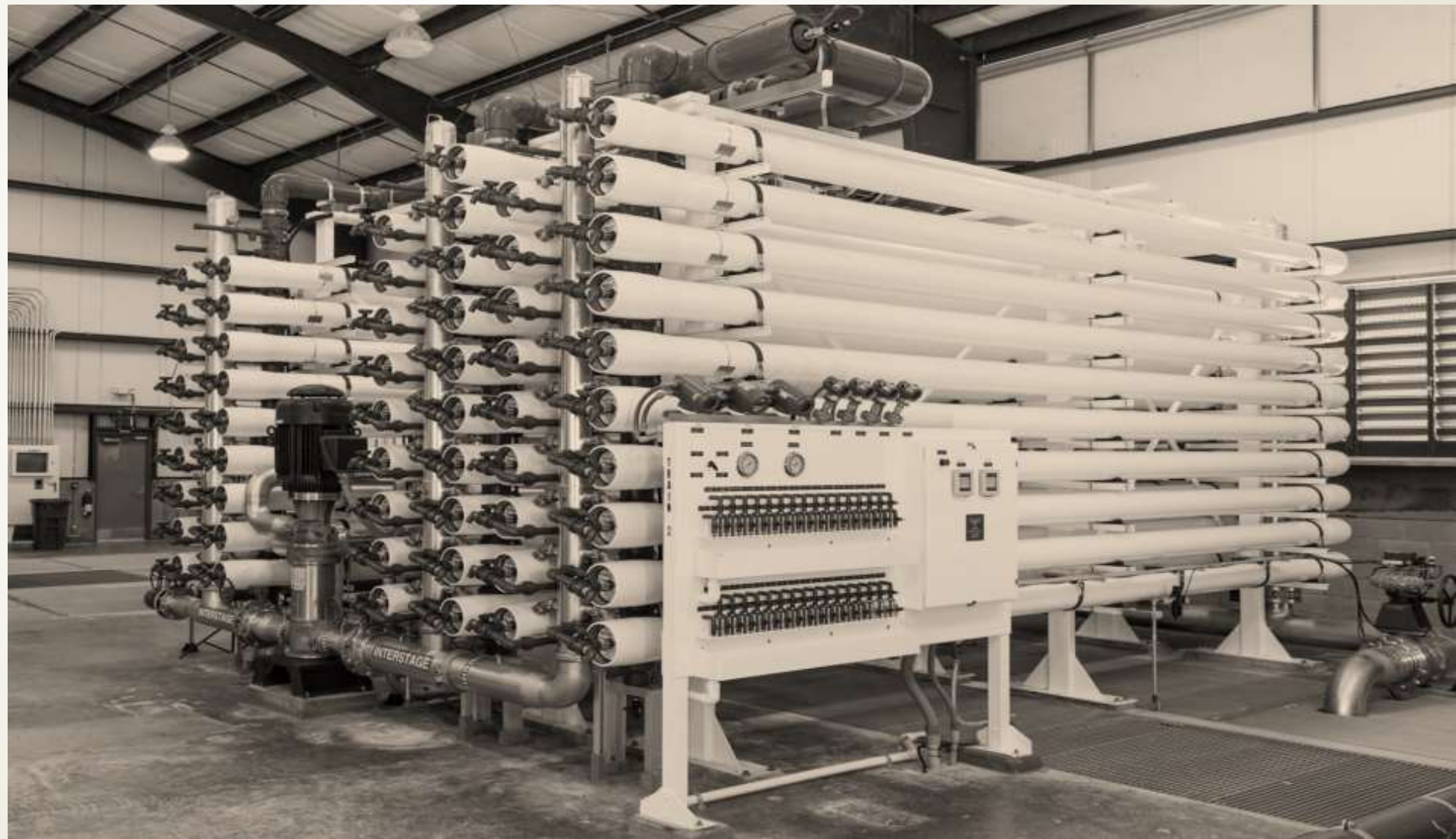
Електро – диализа (EDR)

- **Дефиниция:** електрохимичен процес, при който мембраните позволяват селективно преминаване на положително или отрицателно заредени йони, които се прикрепят към електроди с противоположен заряд
- **Налягане:** < 20 bar
- **Производителност:** 75 – 95 % от суровата вода
- **Материал:** полимери
(целулозен ацетат, полиамид)
- **Модули:** плоски

Обратна осмоза (RO)

- **Размер на порите:** - (< 1 nm)
- **Налягане:**
 - Леко солени води (*brackish water*) - 7 – 20 bar
 - Морска вода - 35 – 70 bar
- **Производителност:**
 - Леко солени води (*brackish water*) - 70 – 85 % от суровата вода
 - Морска вода – 40 – 60 % от суровата вода
- **Материал:** полимери
(целулозен ацетат, полиамид)
- **Модули:** спираловидни

ПРИЛОЖЕНИЕ



Микрофилтрация (MF)

- Мътност
- Алги
- Бактерии
- Giardia
- Cryptosporidium

Ультрафилтрация (UF)

- Азбест
- Вируси
- Органични макромолекули
- Бактерии, устойчиви на хлориране

Нанофилтрация (NF)

- Твърдост
- Цвят
- Нитрати, арсен
- Радиоактивни изотопи
- Органични химикали
- Трихалометани, пестициди, PFAS

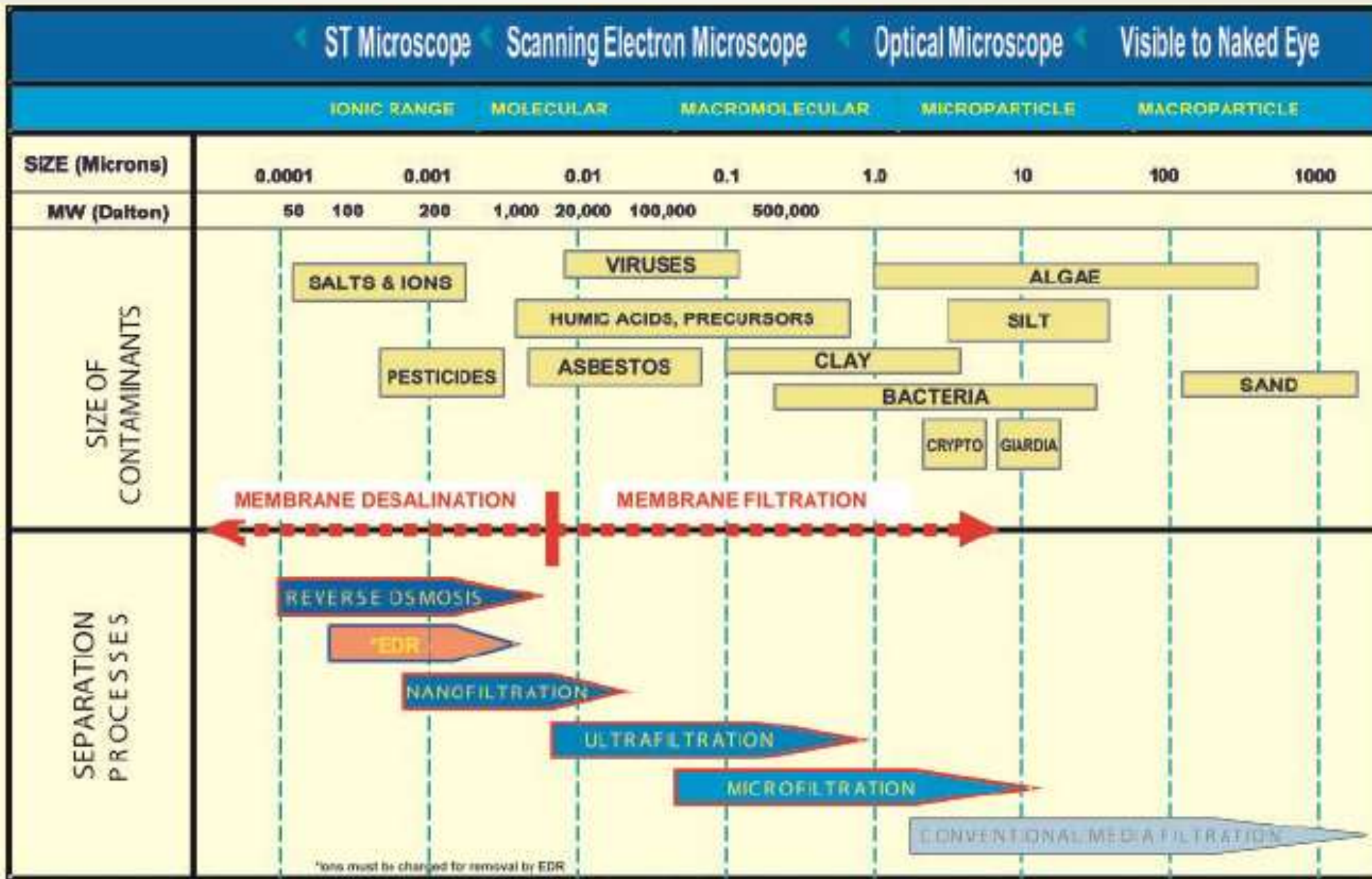
Обратна осмоза (RO)

- Разтворени молекули
- Соли
- Метални йони

Солена/морска
ВОДА



Деминерализирана
ВОДА



Източник: Американска асоциация по мембранни технологии (AMTA)

Микрофилтрация и ултрафилтрация

- Рядко е необходима предварителна химична (реагентна) обработка на суровата вода
- При необходимост от предварителна реагентна обработка на суровата вода дозите са по-ниски в сравнение с конвенционална филтрация

- Промени в качеството на суровата вода не оказват влияние върху качеството на филтратата
- Промени в температурата на водата влияят върху производителността
- Мътност на изходящия поток - 0,02 – 0,1 NTU
- Последваща обработка на пречистената вода за ПБН (*обеззаразяване, контрол на корозията*)

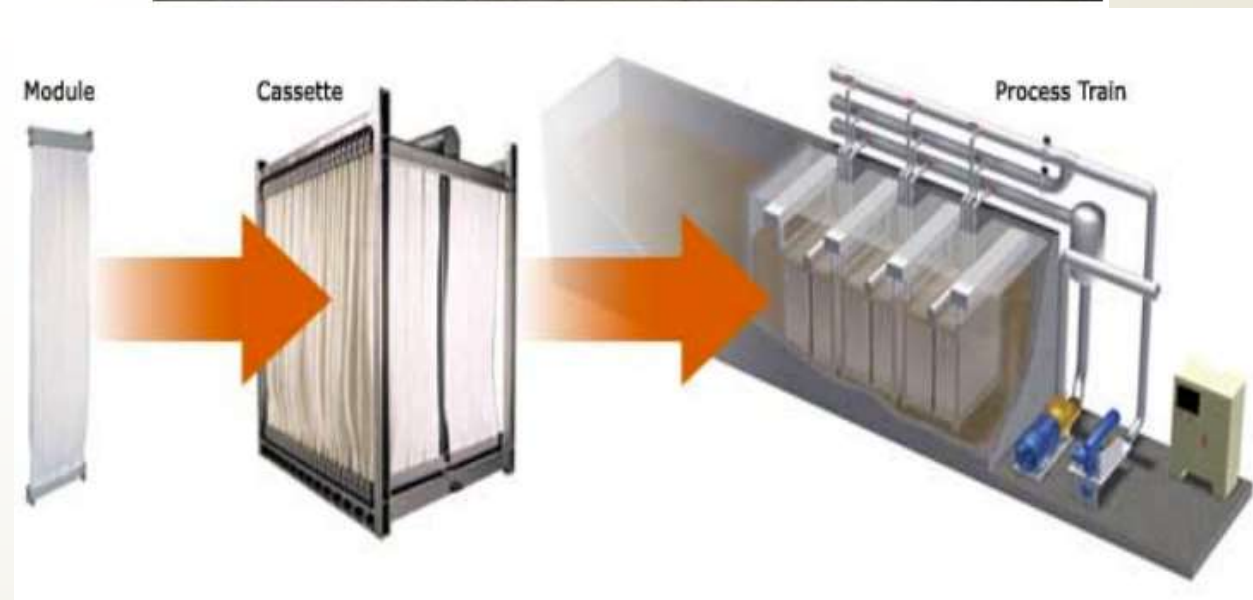
- Промивка с пречистена вода или вода и въздух (*при спад на производителността с 10 - 15%*)
- Вода с ниско налягане в посока обратна на основния поток
- Вода за обратна промивка $\approx 4 - 15\%$ от пречистената вода
- Необходимост от химическо почистване при определени условия (*на място / след демонтаж*)
Разтвор с високо рН – изплакване обратна промивка с вода – разтвор с високо рН –изплакване и промивка с въздух – обратна промивка с вода

- Затворени системи
- Отворени системи (потопени)

▶ Затворена система



▶ Отворена система



Нанофилтрация, електро-диализа и обратна осмоза

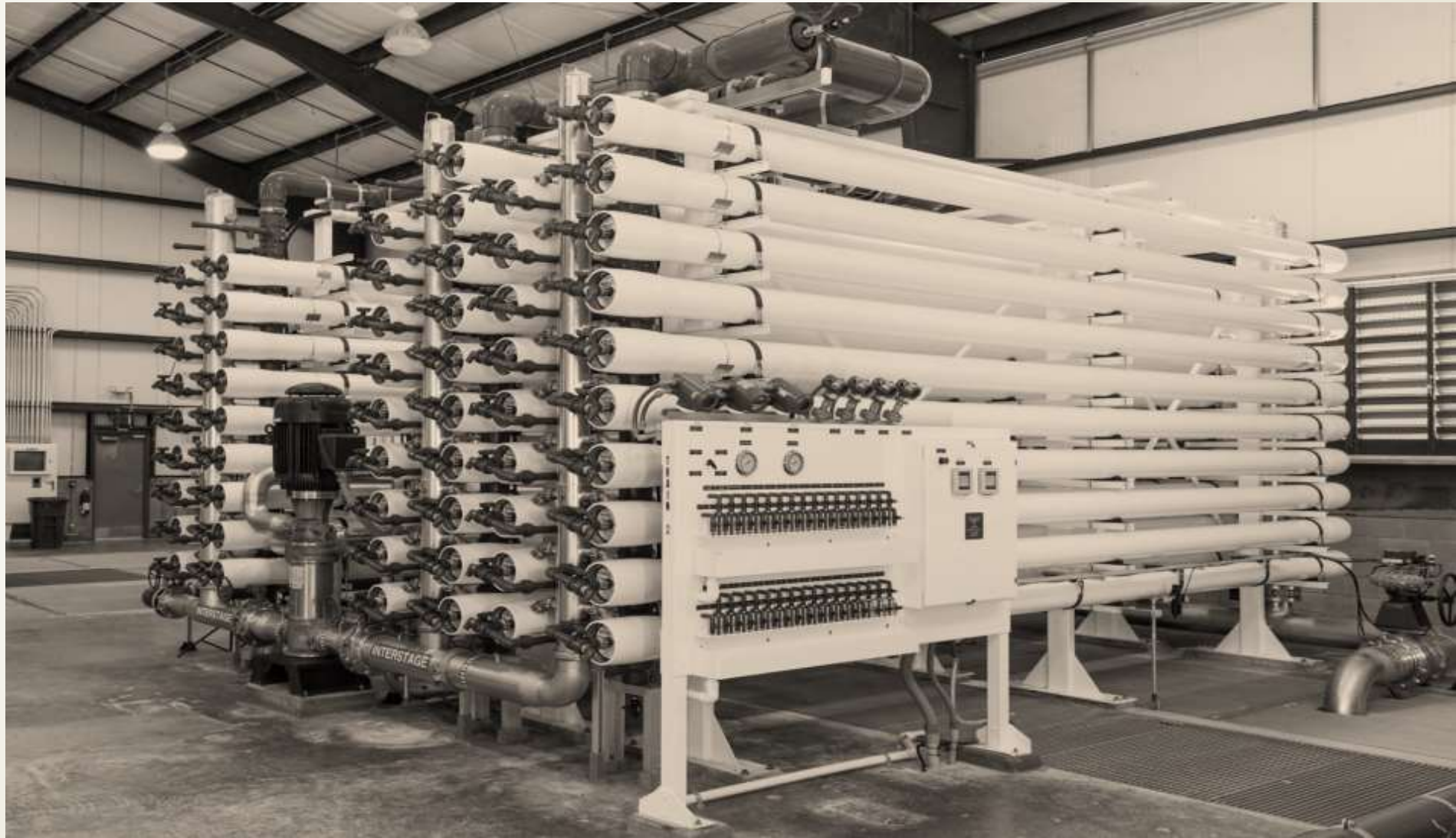
- Предварително третиране на суровата вода (*отстраняване на мътност, желязо и манган, стабилизационна обработка, подобряване на микробиологичните показатели, корекция на рН*)
- Предварителна филтрация през филтри с пори 1 - 5 μm

- Чувствителни към промени в качеството на суровата вода
- 85 – 99% ефект на отстраняване на йоните от суровата вода (*деминерализирана вода, често агресивна към елементите на водопроводната инфраструктура*)
- Смесване с част от суровата вода (*ако не съдържа патогени, вируси и други недопустими замърсители*)
- Последваща обработка на пречистената вода за ПБН (*отстраняване на газове като CO_2 и H_2S , корекция на рН, стабилизационна обработка, реминерализация, обеззаразяване*)

- Промивка на място
 - пречистена вода с голям дебит и ниско налягане - почистване с разтвор с високо рН (*промиване / наkisване*) – изплакване - почистване с разтвор с ниско рН (*промиване / наkisване*) – изплакване

! Температурата на почистващия разтвор се повишава по време на рециркулация (оптимално до 35 – 40 °C в края на промивката)

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА



Селективност

- Намалява консумацията на ел. енергия
- Повишава количеството третирана вода
- Повишава ефективността на пречистване
- Намалява площта на филтрация
- Решение
 - Композитни мембрани (*thin-film composite (TFC)*)
 - Композитни мембрани с алтернативни материали за активния и поддържащия слой (*графен и графенов оксид, аквапорин, материали със смесена структура*)

Пропускливост

- Характеризира се чрез коефициент на пропускливост (*3–5 L m⁻² h⁻¹ bar⁻¹ за мембрани за обезсоляване*)
- Повишаването на общата проводимост води до повишаване на проводимостта на разтворените вещества (*соли*)
- Намалява консумацията на ел. енергия и/или капиталните и експлоатационните разходи
- Не влияе върху площта на филтрация и ефективността на пречистване



Колматация

- Порьозни мембрани (*вътрешна (необратима) / външна (обратима)*)
- Биологична, колоидна, минерална, органична
- Решение
 - Предварително третиране на суровата вода
 - Оптимизиране на промивката (*добавяне на H₂O₂*)
 - Оптимизиране на материалите и структурата на мембраните



Нови замърсители

- Фармацевтични продукти (антибиотици/лекарства, репеленти, стероиди)
- Хормони
- Забавители на горенето
- Индустриални разтвори, продукти използвани в земеделието
- PFAS, токсини от алги



Интегрирано управление на водните ресурси

- Директна повторна употреба на питейни води
- Индиректна повторна употреба на питейни води
- Повторна употреба на пречистени отпадъчни води (напояване, промиване на тоалетни, измиване, охлаждане и др.)

Развитие

- Обратна промивка на NF мембрани
- Устойчиви на хлор NF и RO мембрани
- Още по-ефективно отстраняване на патогени
- Възстановяване на енергия от отпадъчния поток



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!

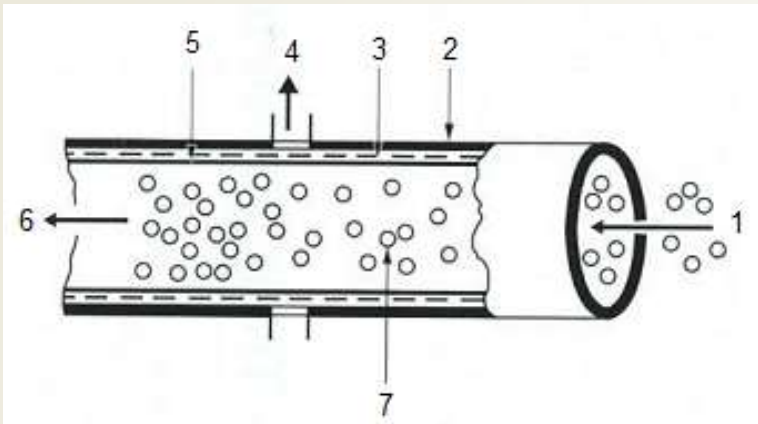
Основни източници:

Пречистване на природни води, Калинков П., Техника, 2013 г.

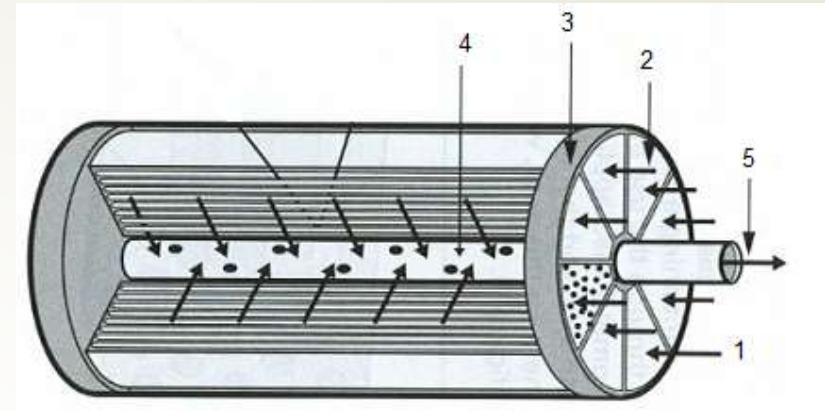
Американска асоциация по мембранни технологии (AMTA)

<https://www.amtaorg.com/>

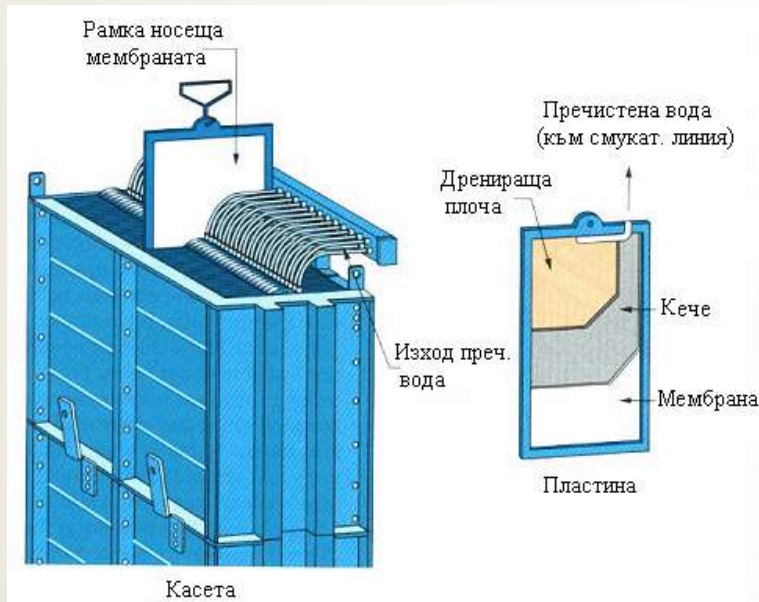
Cost-effective polymer-based membranes for drinking water purification, Xiaohan Xu et al., Giant 10, 2022



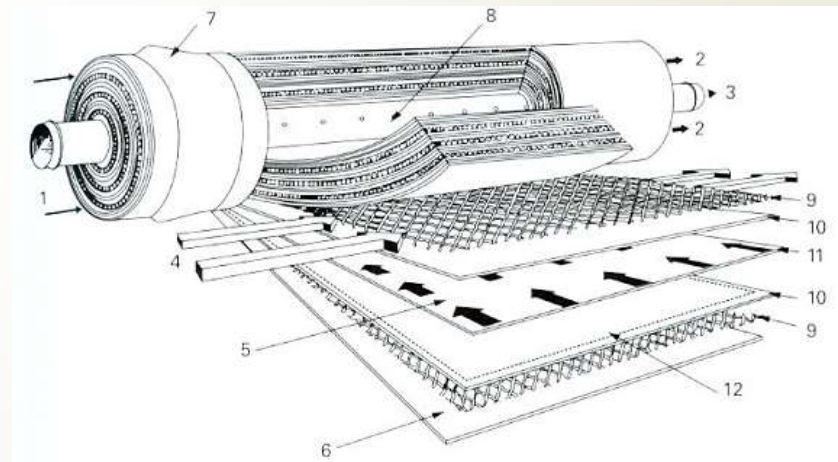
Фиг.1 Тръбни (цилиндрични) мембрани
 1. вход сурова вода, 2. тръба, 3. укрепващ мембраната материал, 4. изход пречистена вода, 5. мембрана, 6. изход отпадъчна вода, 7. суспендирани частици



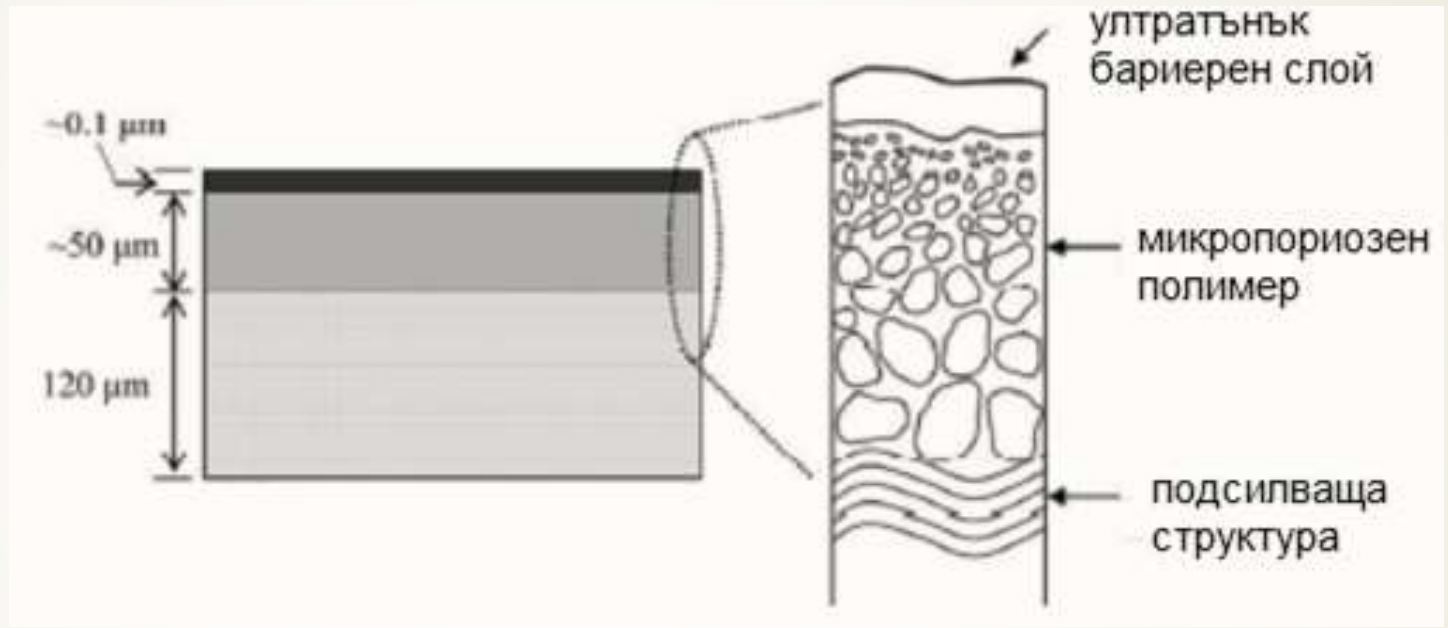
Фиг.2 Модул от нишковидни мембрани
 1. вход сурова вода, 2. пакет нишки, 3. укрепващ мембраната материал, 4. Централен събирателен колектор, 5. изход пречистена вода



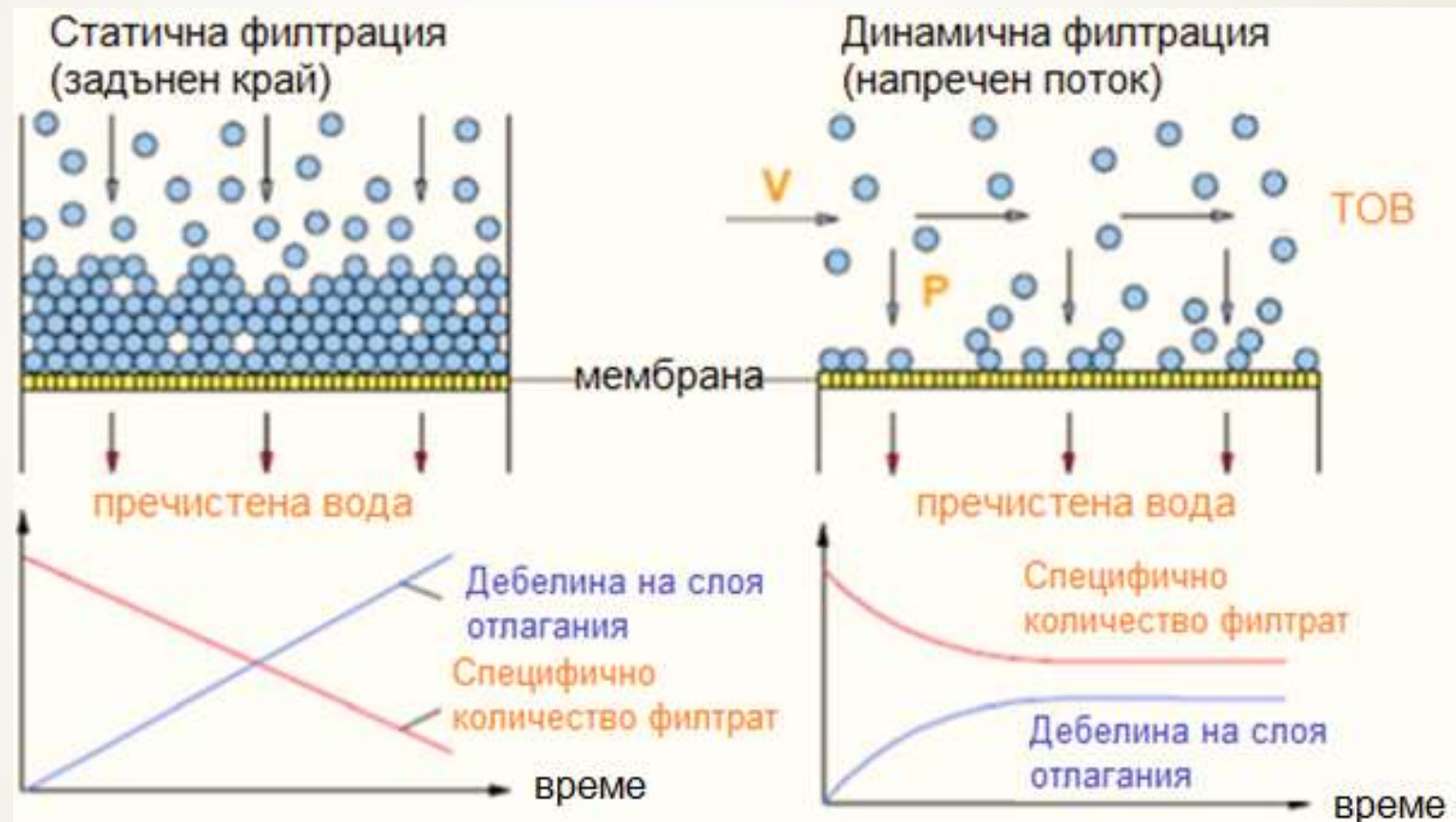
Фиг.3 Модул от плоски мембрани



Фиг.4. Спирални много слоеви модули
 1. вход сурова вода, 2. изход на отпадна вода, 3. тръба за отвеждане на пречистената вода, 4. посока на движение на суровата вода, 5. посока на движение на чистата вода, 6. защитна материя, 7. хидравлична изолация между отделните модули, 8. събирателна дренажна тръба, 9. материя осигуряваща свободно пространство, 10. плоска мембрана, 11. събирателен колектор за филтрирана вода, 12. граница на свързване м/у две мембрани

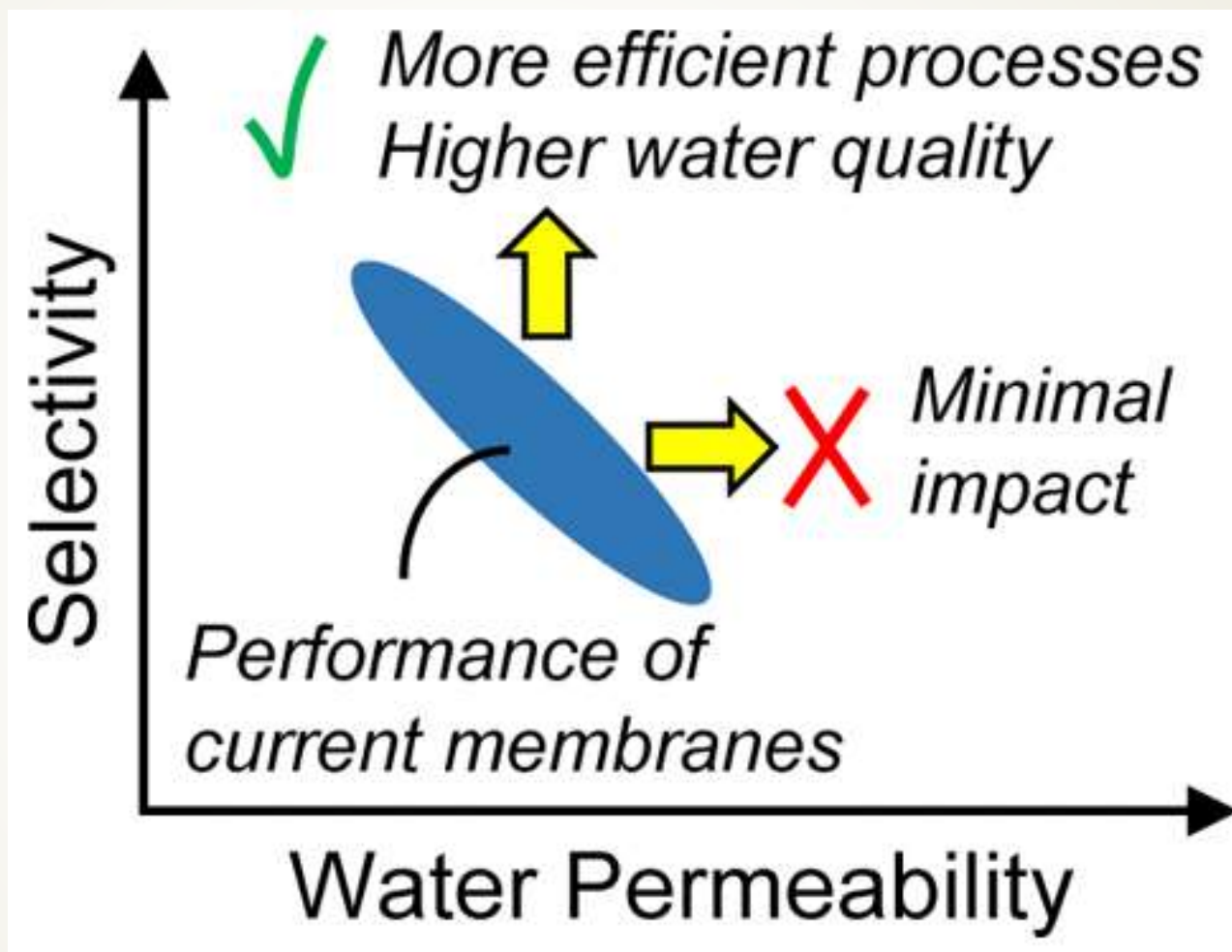


Фиг.5 Схема на стандартна тънкослойна композитна мембрана



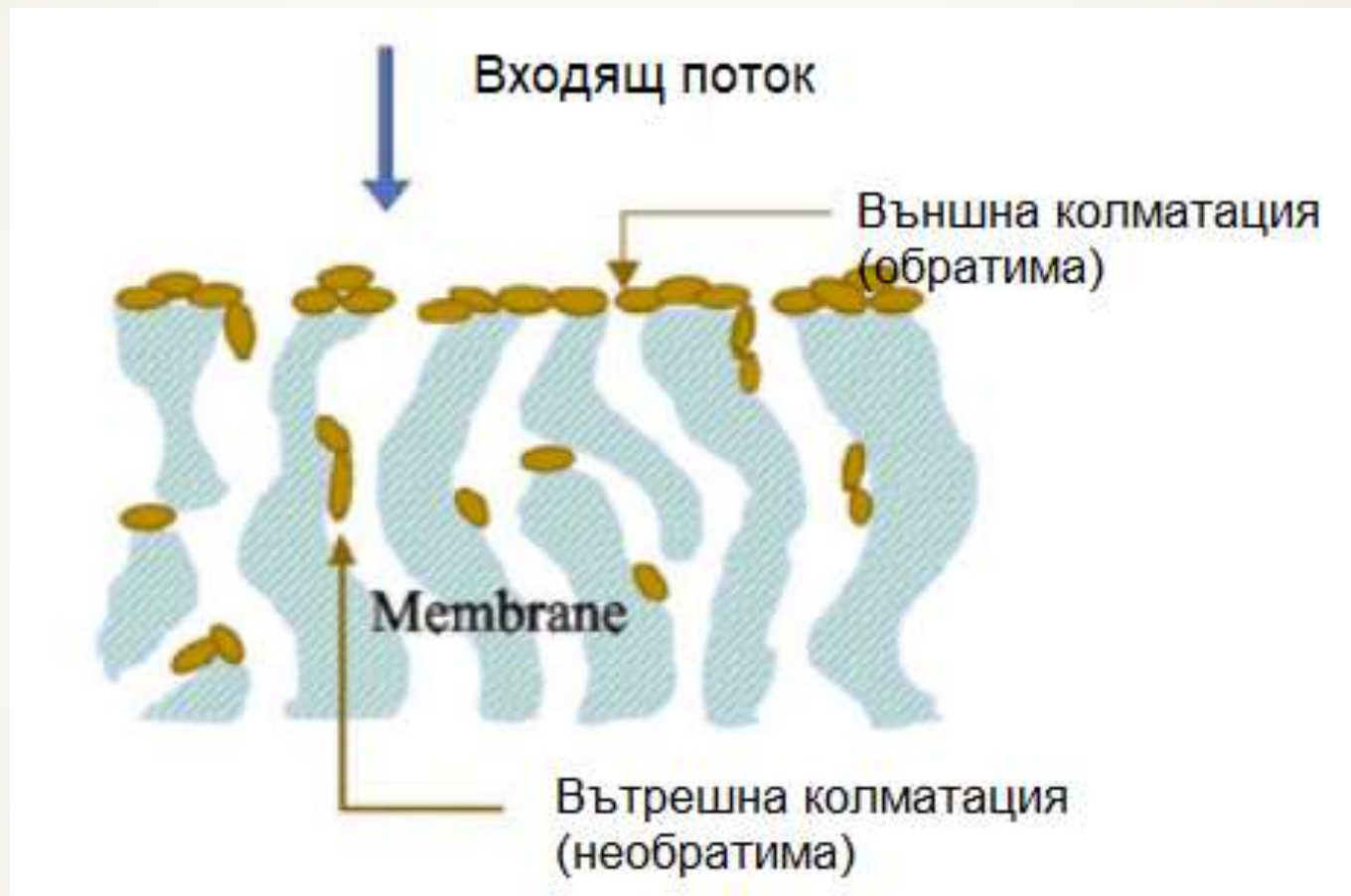
Фиг.6 Диаграми на потока през мембрана

- ▶ Селективност / пропускливост



Фиг.7 Диаграми на ефективността на селективността спрямо пропускливостта на мембрани за обезсоляване

► Колматация



Фиг.8 Схема на задържане на частици през порьозни мембрани

TABLE 2: NF and RO Treatment Effectiveness for Specific CECs

CHEMICAL	TYPE	REMOVAL (%) NF	REMOVAL (%) RO
Acetaminophen	Analgesics	30	>90
Ibuprofen		98	>98
Naproxen		23	>95
Trimethoprim	Antibiotic Muscle Relaxant Steroid Steroid	22	90
Diazepam		55	>95
17 β – Estradiol (Estrogen)		20	90
Testosterone (Androgen)		60	95
Triclosan	Antimicrobial Insecticide Surfactant	45	>98
DEET		75	>90
Nonylphenol		>99	>99
PFOA and PFOS	Industrial / Manufacturing / Aqueous Film-Forming Foam	>94	>98

Източник: Американска асоциация по мембранни технологии (AMTA)

Ефективност на MF & UF мембрани при отстраняване на различни микроорганизми/бактерии

Particle	Particle size (μm)	Log-elimination MF (pore size 0.2 μm)	Log-elimination UF (pore size 0.01 μm)
Protozoa			
- <i>Giardia Lamblia</i>	5-12	6	6
- <i>Cryptosporidium Parvum</i>	4-7	6	6
Bacteria			
- <i>E.coli</i>	0.5 - 2	5	5
- <i>Pseudomonas</i>	0.5 - 1.5	5	5
Viruses			
- <i>Enterovirus</i>	0.02	0	4
- <i>MS2 - virus</i>	0.025	0	4