

Spis treści

1. Wstęp	11
2. Woda w przyrodzie	17
2.1. Zasoby wodne	17
2.2. Zasoby wodne Polski	21
2.3. Wody naturalne – ich charakterystyka, znaczenie i zanieczyszczenie	23
2.4. Ilościowe i jakościowe podstawy wyboru wód do zaopatrzenia w wodę do picia	26
2.5. Jakość wody do picia w przepisach WHO i UE oraz w przepisach polskich	35
2.6. Stan wiedzy i tendencje rozwojowe technologii uzdatniania wody	41
2.6.1. Główne uwarunkowania w oczyszczaniu wody do picia	41
2.6.2. Poziom rozwoju technologii uzdatniania wody	44
2.6.3. Systemy technologiczne współczesnych zakładów uzdatniania wody oraz tendencje rozwojowe	46
2.6.3.1. Wody powierzchniowe	46
2.6.3.2. Wody infiltracyjne	50
2.6.3.3. Wody podziemne	52
2.6.4. Dezynfekcja i jakość wody w sieci wodociągowej	55
2.6.5. Wnioski końcowe	58
3. Membranowe techniki separacji mieszanin	65
3.1. Wprowadzenie	65
3.2. Procesy separacji w inżynierii środowiska	67
3.3. Membrany i procesy membranowe	72

3.3.1.	Membrany.....	75
3.3.2.	Procesy membranowe	88
3.3.2.1.	Ciśnieniowe techniki membranowe	90
3.3.2.2.	Dyfuzyjne techniki membranowe	101
3.3.2.3.	Prądowe techniki membranowe	109
3.4.	Konstrukcja modułów membranowych	112
3.4.1.	Moduły z membranami o przekroju kołowym	113
3.4.2.	Moduły z membranami płaskimi	119
3.4.3.	Podsumowanie.....	123
3.5.	Projektowanie systemów membranowych	125
3.6.	Transport masy w ciśnieniowych procesach membranowych.....	131
3.6.1.	Permeacja cieczy przez membrany półprzepuszczalne.....	131
3.6.2.	Transport masy w warstewkach przymembranowych	141
3.6.2.1.	Polaryzacja stężeniowa.....	143
3.6.2.2.	Zjawisko powlekania (blokowania) membran – „fouling”	149
3.6.2.3.	Transport i „fouling” koloidów i zawiesin.....	155
3.6.2.4.	Osady substancji mineralnych w procesach filtracji membranowej (skaling)	161
3.6.3.	Modele transportu masy w warstewkach przymembranowych wykorzystywane w filtracji membranowej wód naturalnych.....	164
3.6.3.1.	Model Hermii	164
3.6.3.2.	Model „strumienia krytycznego”	168
3.6.3.3.	Model odnawiania powierzchni	171
3.6.4.	Metody zapobiegania niekorzystnym zjawiskom powodującym zmniejszenie wydajności membrany.....	175
3.6.4.1.	Ocena stopnia powlekania membran („foulingu”)	176
3.6.4.2.	Wstępne przygotowanie nadawy przed filtracją membranową.....	177
3.6.4.3.	Czyszczenie i mycie membran.....	181
3.6.4.4.	Optymalizacja parametrów procesowych filtracji membranowej.....	184
3.6.4.5.	Modyfikacja własności powierzchniowych membrany.....	185
3.6.4.6.	Podsumowanie.....	187
4.	Systemy membranowe w uzdatnianiu wód naturalnych	199
4.1.	Wprowadzenie	199
4.2.	Odsalanie wód powierzchniowych i podziemnych	209
4.2.1.	Metody odsalania	210
4.2.1.1.	Metody termiczne	212

4.2.1.2.	Odwrócona osmoza	214
•	Wstępne oczyszczanie wody przed odsalaniem.....	215
•	System membranowy.....	219
•	Końcowe uzdatnianie wody odsolonej.....	222
•	Odzysk energii.....	222
4.2.1.3.	Elektrodializa	222
4.2.1.4.	Destylacja membranowa.....	225
4.2.1.5.	Hybrydowe procesy odsalania.....	228
4.2.2.	Rozważania energetyczne procesu odsalania	231
4.2.3.	Koszty odsalania	234
4.2.4.	Odsalanie a środowisko	238
4.2.5.	Rozwój przemysłu do odsalania	239
4.2.6.	Podsumowanie.....	242
4.3.	Wykorzystanie nanofiltracji i odwróconej osmozy w uzdatnianiu wody do picia i na potrzeby gospodarcze	250
4.3.1.	Nanofiltracja i odwrócona osmoza a mechanizmy separacji składników roztworów	251
4.3.2.	Modele matematyczne w analizie wysokociśnieniowych procesów membranowych	258
4.3.2.1.	Równanie Kedem-Katchalsky'ego i jego modyfikacje	259
4.3.2.2.	Model Nernsta-Plancka	264
4.3.3.	Nanofiltracja i odwrócona osmoza w uzdatnianiu wody	268
4.3.3.1.	Zmiękczenie wody.....	268
•	Zmiękczenie wody gruntowej	272
•	Zmiękczenie wody powierzchniowej.....	273
•	Badania prowadzone w Politechnice Śląskiej	273
4.3.3.2.	Usuwanie związków organicznych.....	278
4.3.3.3.	Usuwanie mikrozanieczyszczeń	283
•	Pestycydy	283
•	Trihalometany i inne chlorowcopochodne węglowodorów	286
•	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	288
•	Usuwanie ftalanów	290
•	Endocrine disruptors – steroidowe hormony płciowe.....	292
4.3.3.4.	Zastosowania specjalne	295
4.3.4.	Przykłady zastosowania nanofiltracji w procesie uzdatniania wody	301
4.3.5.	Koszty.....	309
4.3.6.	Wnioski.....	310

4.4.	Ultrafiltracja i mikrofiltracja w uzdatnianiu wód podziemnych i powierzchniowych	323
4.4.1.	Wprowadzenie	323
4.4.2.	Ultrafiltracja.....	325
4.4.3.	Mikrofiltracja	328
4.4.4.	Usuwanie zanieczyszczeń z wody metodą bezpośredniej ultrafiltracji i mikrofiltracji.....	331
4.4.4.1.	Usuwanie substancji rozproszonych i mikroorganizmów.....	331
4.4.4.2.	Usuwanie naturalnej substancji organicznej (NOM)	334
4.4.4.3.	Usuwanie toksycznych mikrozanieczyszczeń i lotnych związków organicznych.....	343
4.4.4.4.	Metale.....	349
4.4.5.	Fouling membran UF i MF	353
4.4.5.1.	Wpływ właściwości naturalnej substancji organicznej na „fouling”	354
4.4.5.2.	Wpływ substancji nieorganicznej na „fouling”	355
4.4.5.3.	Wpływ materiału membrany na „fouling”	356
4.4.5.4.	Zapobieganie „foulingowi” membrany	356
4.4.5.5.	Podsumowanie.....	357
4.4.6.	Badania ultrafiltracji i mikrofiltracji wód naturalnych w różnych układach modułów i membran wykonane w Politechnice Śląskiej	358
4.4.6.1.	Wydajność procesu	358
4.4.6.2.	Modelowanie wydajności procesu	361
4.4.6.3.	Efekty uzdatniania wody w procesach filtracji membranowej	367
4.4.7.	Schematy prowadzenia procesu UF/MF wód naturalnych na skalę przemysłową.....	369
4.4.8.	Proces hybrydowy koagulacja – ultrafiltracja/mikrofiltracja.....	374
4.4.8.1.	Wprowadzenie	374
4.4.8.2.	Proces hybrydowy koagulacja – UF/MF.....	377
4.4.8.3.	Mechanizm polepszenia wydajności w układzie koagulacja – UF/MF	379
4.4.8.4.	Sposoby prowadzenia procesu hybrydowego koagulacja – UF/MF	383
4.4.8.5.	Badania prowadzone w Politechnice Śląskiej	390
4.4.8.6.	Podsumowanie.....	402
4.4.9.	Proces hybrydowy adsorpcja na węglu aktywnym – ultrafiltracja/mikrofiltracja	404

4.4.9.1. Zalety stosowania PAC w porównaniu z adsorpcją na granulowanym węglu aktywnym	405
4.4.9.2. Sposoby prowadzenia procesu hybrydowego adsorpcja PAC – UF/MF	406
4.4.9.3. Rola węgla aktywnego w procesie hybrydowym	408
4.4.9.4. Kryteria wyboru pylistego węgla aktywnego	414
4.4.9.5. Modelowanie adsorpcji substancji organicznej i mikrozanieczyszczeń w procesie hybrydowym PAC-UF/MF	418
4.4.9.6. Badania wykonane w Politechnice Śląskiej	424
4.4.9.7. Uwagi końcowe	429
4.4.10. Inne procesy hybrydowe	430
4.4.10.1. Bioreaktory membranowe – usuwanie azotanów	430
4.4.10.2. Układ hybrydowy filtracja biologiczna – ultrafiltracja/mikrofiltracja	447
4.4.10.3. Układ hybrydowy ozonowanie – ultrafiltracja/mikrofiltracja	450
4.4.10.4. Zmiękczenie jako metoda ograniczenia „foulingu” przed ultrafiltracją lub mikrofiltracją	458
4.4.11. Pracujące instalacje w pełnej skali technicznej	460
4.4.11.1. Technologia Aquasource	461
4.4.11.2. Efektywność wybranych, dużych instalacji technicznych	466
4.4.12. Koszty produkcji wody do picia za pomocą niskociśnieniowych technik membranowych	473
4.4.12.1. Czynniki określające wielkość kosztów produkcji wody	473
4.4.12.2. Modelowanie kosztów niskociśnieniowych procesów membranowych	479
4.4.13. Podsumowanie	485
5. Zaawansowane techniki membranowe w przygotowaniu wody dla energetyki	503
5.1. Wprowadzenie	503
5.2. Układ hybrydowy odwrócona osmoza-wymiana jonowa	507
5.3. Układ hybrydowy odwrócona osmoza-elektrodejonizacja	512
5.4. Układ hybrydowy elektrodializa odwracalna-wymiana jonowa	515
5.5. Układ kilkustopniowej odwróconej osmozy	517
5.5.1. Elektrociepłownia „Żerań”	519
5.5.2. Elektrociepłownia „Grudziądz”	521
5.5.3. Elektrociepłownia „Energotor Toruń”	523

5.5.4.	Elektrociepłownia „Rydułtowy”	525
5.5.5.	OPEC „Gliwice”	526
5.6.	Wykorzystanie ultrafiltracji i mikrofiltracji	529
5.6.1.	Układy hybrydowe z wykorzystaniem ultrafiltracji, odwróconej osmozy i wymiany jonowej	529
5.6.2.	Układy hybrydowe z wykorzystaniem ultrafiltracji, odwróconej osmozy i elektrodejonizacji	532
5.6.3.	Wykorzystanie ultrafiltracji/mikrofiltracji w obiegach chłodzących w energetyce	533
5.6.4.	Wykorzystanie ultrafiltracji/mikrofiltracji do usuwania krzemionki koloidalnej	536
5.7.	Trójmembranowy system demineralizacyjny	537
5.8.	Podsumowanie	538
6.	Uzdatnianie wód kopalnianych	543
6.1.	Wprowadzenie	543
6.2.	Otrzymywanie wody do picia	545
6.2.1.	Stacja uzdatniania KWK „Pokój”	545
6.2.2.	Stacja uzdatniania „Rydułtowy”	549
6.2.3.	Stacja uzdatniania wody dołowej KWK „Piast” dla celów pitnych	552
6.3.	Utylizacja wód kopalnianych silnie zasolonych	554
6.3.1.	Utylizacja wód kopalnianych metodą odsalania z wykorzystaniem odwróconej osmozy	556
6.3.2.	Wykorzystanie nanofiltracji jako metody usuwania jonów dwuwartościowych z wody kopalnianej przed odsalaniem ..	559
6.3.3.	Filtracja membranowa słonych wód kopalnianych z równoczesną krystalizacją soli siarczanowych	560
6.4.	Podsumowanie	567