
Spis treści

Przedmowa – 11

1 Procesy membranowe – 13

- 1.1 Procesy membranowe – siły napędowe i opory transportu – 13
 - 1.1.1 Wprowadzenie – 13
 - 1.1.2 Pojęcia podstawowe – selektywność, strumień, siła napędowa – 15
 - 1.1.3 Opory transportu na membranie – 23
 - 1.1.4 Podsumowanie – 25
- 1.2 Membrany – struktury, materiały, wytwarzanie – 25
 - 1.2.1 Wprowadzenie – 25
 - 1.2.2 Klasyfikacja membran – 25
 - 1.2.3 Membrany organiczne – 27
 - 1.2.4 Membrany nieorganiczne – 39
- Literatura – 42
- Wykaz oznaczeń – 42

2 Modelowanie transportu masy w membranie – 44

- 2.1 Wprowadzenie – 44
- 2.2 Model transportu w porach – 47
- 2.3 Model rozpuszczalnościowo-dyfuzyjny – 49
 - 2.3.1 Osmoza odwrócona rozcieńczonych roztworów soli – 55
 - 2.3.2 Permeacja gazów idealnych – 62
- 2.4 Przykłady obliczeniowe – 64
- 2.5 Podsumowanie – 66
- Literatura – 68
- Wykaz obliczeń – 68

3 Konstrukcja modułów – 70

- 3.1 Wprowadzenie – 70
- 3.2 Moduły z membranami o przekroju kołowym – 72

- 3.2.1 Moduł rurowy – 72
- 3.2.2 Moduł kapilarny – 74
- 3.2.3 Moduł z włóknami pustymi – 75
- 3.2.4 Przegląd modułów z membranami o przekroju kołowym – 78
- 3.3 Moduły z membranami płaskimi – 79
- 3.3.1 Moduł płytowy – 79
- 3.3.2 Moduł spiralny – 81
- 3.3.3 Moduł poduszkowy – 83
- 3.3.4 Przegląd modułów z membranami płaskimi – 84
- 3.4 Podsumowanie – 85

4 Opory transportu w modułach membranowych – 86

- 4.1 Efekty zmniejszające siłę napędową – 86
- 4.1.1 Lokalne opory transportu – 86
- 4.1.1.1 Polaryzacja stężeniowa po stronie zasilania – 87
- 4.1.1.2 Opór transportu porowatej warstwy nośnej – 93
- 4.1.1.3 Sposób postępowania w obliczaniu lokalnej wydajności membrany – 97
- 4.2 Wpływ kolejności warstw w membranach asymetrycznych – 100
- 4.3 Sposoby poprawiania wnikania masy na membranie – 103
- Literatura – 103
- Wykaz oznaczeń – 104

5 Projektowanie i optymalizacja modułów – 106

- 5.1 Zasady postępowania – 106
- 5.2 Prowadzenie strumieni w module – 107
- 5.3 Dyspersja osiowa – 109
- 5.4 Optymalizacja modułu, funkcje celu – 111
- 5.5 Optymalizacja modułu z włóknami pustymi do osmozy odwróconej – 112
- 5.6 Optymalizacja elementu modułu spiralnego – 117
- Literatura – 121
- Wykaz oznaczeń – 122

6 Projektowanie instalacji, układ i łączenie modułów – 124

- 6.1 Wprowadzenie – 124
- 6.2 Łączenie równoległe i szeregowo – 124
- 6.3 Układ modułów w ramach jednego stopnia – 125
- 6.4 Wielostopniowy układ instalacji – 128
- 6.4.1 Permeacja gazów – 131
- 6.4.2 Osmoza odwrócona – 134
- 6.5 Projektowanie instalacji – uproszczone sposoby obliczania (short-cut methods) powierzchni membran i jakości permeatu instalacji jednostopniowych – 135
- 6.5.1 „Idealny” odcinek procesu: całkowanie bilansów różniczkowych, rozwiązania przy założeniach upraszczających – 135

- 6.5.2 Szacowanie za pomocą bilansów całkowych – 138
- Literatura – 140
- Wykaz oznaczeń – 141

7 Koszty inwestycyjne – metody szacowania kosztów – 142

- 7.1 Metoda współczynników według H.J. Langa – 142
- 7.2 Wyznaczanie kosztów podstawowych agregatów – 144
- 7.3 Ulepszona metoda współczynników według Millera – 145
- 7.4 Metoda zdolności wytwórczej – 146
- 7.5 Koszty kapitałowe – 147
- Literatura – 150
- Wykaz oznaczeń – 150

186-205

8 Osmoza odwrócona – 151

- 8.1 Wprowadzenie – 151
- 8.2 Odporność membran – 153
- 8.2.1 Hydroliza – 153
- 8.2.2 Odporność na wolny chlor – 155
- 8.2.3 Wrażliwość membran na tlen i ozon – 156
- 8.2.4 Odporność na rozpuszczalniki – 157
- 8.3 Ciśnienie osmotyczne – 158
- 8.4 Wpływ lepkości – 159
- 8.5 Zablockowanie membran w wyniku krystalizacji (scaling) – 160
- 8.6 Zablockowanie membran wskutek zanieczyszczenia (fouling) – 163
- 8.7 Zapotrzebowanie powierzchni membran, mocy i jednostkowe zużycie energii – 166
- 8.8 Przykłady zastosowania osmozy odwróconej – 169
- 8.8.1 Odzyskiwanie ϵ -kaprolaktamu (ϵ -kap.) – 169
- 8.8.2 Oczyszczanie wody ze składowisk śmieci – 171
- 8.9 Przykład obliczeniowy. Zaprojektowanie instalacji do odsalania wody morskiej – 176
- 8.10 Podsumowanie – 181
- Literatura – 183
- Wykaz oznaczeń – 184

9 Nanofiltracja – 186

- 9.1 Zaszeregowanie w stosunku do osmozy odwróconej i ultrafiltracji – 186
- 9.2 Komercyjne membrany NF, dziedziny zastosowania – 188
- 9.3 Obliczanie efektu rozdzielania na membranach NF – 191
- 9.4 Efekt Donnana – 191
- 9.5 Zależność stopnia zatrzymania od ciśnienia i stężenia – 195
- 9.5.1 Zależność od ciśnienia – 196
- 9.5.2 Zależność od stężenia – 199
- 9.6 Porównanie nanofiltracji z osmozą odwróconą na przykładzie układu bioreaktor-membrana – 200
- 9.7 Podsumowanie – 204
- Literatura – 205
- Wykaz oznaczeń – 206

10 Ultrafiltracja i mikrofiltracja – 208

- 10.1 Opis metody – 208
- 10.2 Membrany w ultra- i mikrofiltracji – 212
 - 10.2.1 Membrany do mikrofiltracji – 212
 - 10.2.2 Membrany do ultrafiltracji – 213
- 10.3 Moduły w ultra- i mikrofiltracji – 215
- 10.4 Modelowanie transportu masy w ultra- i mikrofiltracji – 218
 - 10.4.1 Modele dyfuzyjne – 221
 - 10.4.2 Modele hydrodynamiczne – 228
- 10.5 Przykłady zastosowania – 234
- 10.6 Procesy myjące przy otrzymywaniu czystych substancji wielkocząsteczkowych (usuwanie substancji małocząsteczkowych) – 236
- 10.7 Zadania – 238
 - 10.7.1 Optymalizacja ultrafiltracji dla celów zateżania serwatki – 238
 - 10.7.2 Optymalizacja procesu mycia w celu uzyskania protein – 243
- Literatura – 248
- Wykaz oznaczeń – 249

11 Elektrodializa – 251

- 11.1 Opis metody – 251
- 11.2 Zasada działania, wytwarzanie i właściwości membran jonitowych – 253
- 11.3 Budowa i sposoby prowadzenia procesu w instalacjach elektrodializy – 258
- 11.4 Projektowanie instalacji ED – 262
- 11.5 Koszty i zastosowanie elektrodializy – 271
- 11.6 Warianty procesu – 272
- 11.7 Przykład obliczeniowy. Projekt elektrodializy wody słonawej – 278
- Literatura – 282
- Wykaz oznaczeń – 283

12 Perwaporacja – 285

- 12.1 Opis metody – 285
- 12.2 Membrany i moduły – 288
- 12.3 Dyskusja parametrów decydujących o wydajności procesu – 291
- 12.4 Modelowanie transportu masy w perwaporacji – 295
- 12.5 Projektowanie procesu – 299
 - 12.5.1 Projektowanie instalacji na podstawie empirycznego modelu transportu masy – 299
 - 12.5.2 Rozważania dotyczące projektowania i optymalizacji instalacji perwaporacyjnych – 301
- 12.6 Przykłady zastosowania – 304
- 12.7 Podsumowanie i perspektywy – 307
- 12.8 Zadanie. Odwadnianie etanolu – 307
- Literatura – 312
- Wykaz oznaczeń – 314

13 Permeacja gazów – 316

- 13.1 Wprowadzenie – 316
- 13.2 Membrany – 316

13.2.1	Mechanizmy rozdzielania – 316
13.2.2	Materiały membranowe – 321
13.3	Konstrukcja modułów – 325
13.3.1	Moduł z włóknami pustymi/moduł kapilarny – 325
13.3.2	Moduł spiralny – 327
13.3.3	Moduł poduszkowy (kieszeniowy) – 327
13.4	Charakterystyka rozdzielcza membran rozpuszczalnościowo-dyfuzyjnych – 327
13.4.1	Mieszaniny wieloskładnikowe – 330
13.4.2	Efekt Joule'a-Thomsona – 332
13.5	Projektowanie modułów i instalacji – 342
13.6	Przykłady zastosowań – 344
13.6.1	Wzbogacanie azotu – 346
13.6.2	Odzyskiwanie rozpuszczalników z powietrza odlotowego – 350
13.7	Przykłady obliczeniowe – 354
	Literatura – 356
	Wykaz oznaczeń – 357

Skorowidz rzeczowy – 359