

Słowo wstępne	5
Spis symboli.....	11
1. Ścieki i ich charakterystyka	17
1.1. Rodzaje ścieków	17
1.2. Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych	17
1.3. Wskaźniki organicznych zanieczyszczeń ścieków	19
1.3.1. Stosowane wskaźniki	19
1.3.2. Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT)	20
1.3.3. Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)	23
1.3.4. Ogólny węgiel organiczny	24
1.3.5. Zależność między TZT, ChZTCr, BZT i Corg	25
1.4. Samooczyszczanie wód	27
1.4.1. Wody stojące	28
1.4.2. Wody płynące	29
1.4.3. Organizmy biorące udział w procesie oczyszczania	30
1.5. Cele oczyszczania ścieków	32
1.5.1. Rodzaje odbiorników ścieków	33
1.5.2. Wpływ ścieków na odbiorniki wodne	33
Literatura	34
2. Przemiany związków organicznych w warunkach tlenowych	35
2.1. Wprowadzenie	35
2.2. Ścieki jako źródło substancji odżywczych dla mikroorganizmów	36
2.3. Tlenowe procesy przemiany materii	36
Literatura	39
3. Przemiany związków organicznych w warunkach beztlenowych	41
3.1. Wprowadzenie	41
3.2. Beztlenowe procesy przemiany materii	44
Księgarnia PWN: Korneliusz Miksch, Jan Sikora (red.) - Biotechnologia ścieków	
3.3. Mechanizm procesu fermentacji metanowej	44

3.4. Czynniki toksyczne	46
3.5. Parametry procesu fermentacji metanowej	47
3.6. Sterowanie procesem fermentacji metanowej	48
Literatura	49
4. Przemiany związków azotu	50
4.1. Wprowadzenie	50
4.2. Krążenie azotu w przyrodzie	50
4.3. Amonifikacja	52
4.4. Nitryfikacja	53
4.4.1. Mikrobiologiczny aspekt nitryfikacji	53
4.4.2. Zapotrzebowanie na tlen w trakcie nitryfikacji	55
4.4.3. Nitryfikacja heterotroficzna	56
4.4.4. Inhibicja nitryfikacji	56
4.5. Asymilacja związków azotu	60
4.6. Denitryfikacja	61
4.6.1. Denitryfikacja autotroficzna	63
4.6.2. Denitryfikacja aerobowa	63
4.7. Anammox	64
Literatura	66
5. Usuwanie związków fosforu ze ścieków	68
5.1. Wprowadzenie	68
5.2. Biologiczne usuwanie fosforu w wyniku „nadmiarowego pobierania”	70
5.2.1. Podstawy teoretyczne procesu	70
5.2.2. Parametry procesu	74
5.2.3. Intensyfikacja procesu biologicznego usuwania fosforu	77
5.3. Fizyczno–chemiczne usuwanie fosforu	78
5.3.1. Strącanie solami glinu i żelaza	79
5.3.2. Strącanie wapnem	80
5.3.3. Sposoby realizacji chemicznego strącania fosforu	80

5.4. Porównanie biologicznego i chemicznego usuwania fosforu	81
Literatura	82
6. Podstawy inżynierii bioreaktorów	84
6.1. Wprowadzenie	84
6.2. Zasady bilansowania wzrostu mikroorganizmów	84
6.3. Kinetyka wzrostu mikroorganizmów	85
6.4. Kinetyka procesów oczyszczania ścieków	89
6.4.1. Kinetyka rozkładu związków organicznych	89
6.4.2. Kinetyka nitryfikacji	90
6.4.3. Kinetyka denitryfikacji	92
6.4.4. Kinetyka nadmiarowej akumulacji fosforanów(V)	93
6.5. Tryby pracy bioreaktorów	93
6.5.1. Reaktory o działaniu okresowym	94
6.5.2. Reaktory o działaniu ciągłym	94
6.5.3. Wpływ charakteru przepływu ścieków na szybkość rozkładu zanieczyszczeń	99
8 Spis treści	
6.6. Mieszanie i napowietrzanie bioreaktorów	103
6.6.1. Urządzenia do mieszania ścieków	103
6.6.2. Urządzenia do napowietrzania ścieków	105
6.6.3. Wymiarowanie urządzeń napowietrzających	107
Literatura	110
7. Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego	111
7.1. Zasada oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego	111
7.2. Wpływ charakteru oczyszczanych ścieków na proces osadu czynnego	113
7.3. Struktura fizyczna osadu czynnego – pęcznienie osadu	114
7.4. Parametry technologiczne procesu osadu czynnego	115
7.4.1. Czas napowietrzania	115
7.4.2. Stężenie zawiesin osadu czynnego w reaktorze i recyrkulacja osadu	115
7.4.3. Stężenie rozpuszczonego tlenu w reaktorze	116

7.4.4. Obciążenie komór napowietrzania ładunkiem zanieczyszczeń	116
7.4.5. Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń	116
7.4.6. Wiek osadu	117
7.4.7. Hydrauliczne i masowe obciążenie osadników wtórnych	117
7.5. Modele osadu czynnego	118
7.5.1. Struktura zanieczyszczeń w modelach biokinetycznych	119
7.5.2. Procesy jednostkowe uwzględniane w modelach biokinetycznych	122
7.5.3. Charakterystyka równań kinetycznych	122
Literatura	130
8. Oczyszczanie ścieków w złożach biologicznych	131
8.1. Wprowadzenie	131
8.2. Tworzenie biofilmu	131
8.3. Zastosowanie biofilmów w biotechnologii środowiskowej	137
8.4. Warunki oczyszczania ścieków w złożach biologicznych	138
8.5. Parametry pracy złoż biologicznych	138
8.6. Typy reaktorów z biofilmem stosowane w oczyszczaniu ścieków	142
8.6.1. Złoża zraszane, splukiwane i wieżowe	142
8.6.2. Złoża obrotowe zanurzane.	144
8.6.3. Złoża fluidalne.	146
8.6.4. Reaktory typu airlift – Biofilm Airlift Suspension (BAS).	146
8.7. Zasady obliczania złoż biologicznych	147
Literatura	149
9. Rozwiązania techniczne i systemy technologiczne bioreaktorów stosowanych w procesach oczyszczania ścieków	150
9.1. Systemy osadu czynnego	150
9.1.1. Podział reaktorów ze względu na obciążenie	150
9.1.2. Reaktory zasilane czołowo	151
9.1.3. Reaktory stopniowego zasilania	151
9.1.4. Systemy wielostopniowe	152

9.1.5. System kontaktowo–stabilizacyjny	153
9.1.6. Reaktory o działaniu sekwencyjnym (SBR)	153
9.1.7. Reaktory stosowane w procesach beztlenowych	154

Spis treści 9

9.2. Systemy złoż biologicznych	157
9.2.1. Złoża dwustopniowe	157
9.2.2. Złoża biologiczne aktywowane	157
9.2.3. Złoża stosowane do usuwania związków biogenych	158
9.2.4. Systemy hybrydowe, wykorzystujące biocenozę osiadłą i osad czynny	158
9.3. Bioreaktory membranowe	161
9.3.1. Techniki membranowe w oczyszczaniu ścieków	162
9.3.2. Oczyszczanie ścieków w układach z bioreaktorami membranowymi	163

Literatura	165
----------------------	-----

10. Zintegrowane systemy biologicznego usuwania zanieczyszczeń organicznych i związków biogenych ze ścieków	167
10.1. Wprowadzenie	167
10.2. Zintegrowane systemy biologiczne	168
10.2.1. Systemy do usuwania C i P ze ścieków komunalnych	168
10.2.2. Systemy do usuwania C i N ze ścieków komunalnych	170
10.2.3. Systemy do usuwania C, N i P ze ścieków komunalnych	173
10.2.4. Systemy oczyszczania ścieków o wysokiej zawartości azotu	180
10.3. Zintegrowane systemy biologiczno–chemiczne	187
10.4. Zasady wyboru optymalnego systemu biologicznego oczyszczania ścieków	190
10.5. Zasady obliczania reaktorów do biologicznego usuwania związków biogenych	193
10.6. Sterowanie procesem usuwania związków biogenych	198
10.6.1. Kontrola procesu usuwania związków biogenych	198
10.6.2. Regulacja procesu usuwania związków biogenych	199
Literatura	208
11. Gospodarka osadami ściekowymi	210

11.1. Podział i właściwości osadów	210
11.2. Fizyczne procesy przeróbki osadów	213
11.2.1. Zagęszczanie osadów	213
11.2.2. Odwadnianie osadów	214
11.3. Biochemiczne procesy stabilizacyjne osadów	217
11.3.1. Fermentacja osadów	218
11.3.2. Stabilizacja tlenowa	223
11.3.3. Kompostowanie osadów	224
11.3.4. Chemiczna stabilizacja osadów	224
11.4. Ostateczne unieszkodliwianie osadów	225
11.4.1. Przyrodnicze i gospodarcze zagospodarowanie osadów	226
11.4.2. Procesy termiczne przeróbki i utylizacji osadów	227
11.4.3. Składowanie osadów	230
Literatura	230