
Spis treści

Od Autora	13
1. Bakteryjny metabolizm w procesie oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych	15
1.1. Wprowadzenie	15
1.2. Ektoenzymy i egzoenzymy zewnątrzkomórkowe	17
1.3. Fermentacje węglowodanów	18
1.4. Fermentacja białek	20
1.5. Beztlenowa degradacja tłuszczów i lipidów	25
1.6. Metagenomy bakterii fermentujących ścieki	26
1.7. Produkcja metanu	27
Literatura	35
2. Fizykochemiczna charakterystyka ścieków	37
2.1. Wprowadzenie	37
2.2. Charakterystyka fizyczna ścieków	39
2.3. Chemiczna charakterystyka ścieków	40
2.3.1. Związki nieorganiczne	42
2.3.2. Związki organiczne	44
2.4. Priorytetowe zanieczyszczenia	45
2.5. Przykłady ilości produkowanych ścieków	46
2.6. Wody podgrzane	46
2.7. Ścieki radioaktywne	47
2.8. Typy ścieków przemysłowych	50
Literatura	51
3. Wspólnoty mikroorganizmów w biologicznych systemach oczyszczania ścieków	53
3.1. Wprowadzenie	53

3.2.	Kłaczki osadu czynnego	54
3.2.1.	Bakterie w osadzie czynnym	55
3.2.2.	Metagenomy bakterii w osadzie czynnym	56
3.2.3.	Analiza funkcjonalna wspólnoty mikroorganizmów osadu czynnego	58
3.2.4.	Grupy mikroorganizmów występujące w osadzie czynnym	59
3.2.5.	Charakterystyki osadu czynnego	64
3.2.6.	Gromadzenie substancji zapasowych w osadach czynnych	65
3.2.7.	Analiza metagenomiczna bakterii w beztlenowych osadach w komorach fermentacyjnych (<i>anaerobic sludge digester</i>)	67
3.3.	Biofilm	68
3.3.1.	Mikroorganizmy błony biologicznej	70
3.3.2.	Pierwotniaki w błonie biologicznej	71
3.3.3.	Zalety biofilmu	71
3.3.4.	Ograniczenia biofilmu	72
3.4.	Osady granularne	72
3.4.1.	Tlenowe osady granularne	73
3.5.	Beztlenowe osady granularne	79
3.5.1.	Inoculum do granulacji osadu w UASB	79
3.5.2.	Skład granul beztlenowego osadu	80
3.6.	Eukaryota w różnych bioreaktorach w procesie oczyszczania ścieków	81
	Literatura	84
4.	Bioreaktory powszechnie stosowane w hodowlach mikroorganizmów	87
4.1.	Wprowadzenie	87
4.2.	Bioreaktory rozproszonego wzrostu mikroorganizmów (zawiesina bakterii i/lub osad czynny sflokulowany)	88
4.2.1.	Bioreaktory osadu czynnego (<i>Activated Sludge</i>)	88
4.2.2.	Proces ACP	90
4.2.3.	Bioreaktory typu CSTR (<i>Continuous Stirred-Tank Reactor</i>)	91
4.2.4.	Bioreaktory typu ALR (<i>Airlift Reactors</i>)	92
4.2.5.	Bioreaktory typu SBR (<i>Sequencing Batch Reactor</i>)	93
4.3.	Bioreaktory do wzrostu mikroorganizmów w postaci osadu granularnego	95
4.3.1.	Bioreaktory typu UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)	95
4.3.2.	Bioreaktory typu EGSB (<i>Expanded Granular Sludge Bed</i>)	98
4.3.3.	Bioreaktory typu SPAC (<i>Spiral Automatic Circulation</i>)	100
4.3.4.	Bioreaktory typu SGBR (<i>Static Granular Bed Reactor</i>)	101
4.3.5.	Bioreaktory typu ABR (<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>)	102
4.4.	Bioreaktory stosowane do wzrostu mikroorganizmów na powierzchni fazy stałej w postaci biofilmu	104
4.4.1.	Złoża nieruchome	105

4.4.2. Złoża ruchome (<i>Moving Beds</i>)	108
4.4.3. Wetlandy inżynieryjne (<i>Constructed Wetland</i>)	112
4.5. Bioreaktory membranowe (<i>Membrane Bioreactors</i>)	113
Literatura	115
5. Usuwanie azotu i fosforu ze ścieków z zastosowaniem nowych technologii	117
5.1. Biologiczne usuwanie azotu	117
5.1.1. Wprowadzenie	117
5.1.2. Badania ilości azotu w ściekach	117
5.1.3. Rekomendowane systemy intensywnego usuwania azotu ze ścieków	120
5.2. Biologiczne usuwanie fosforu	138
5.2.1. Wprowadzenie	138
5.2.2. Opis procesu EBPR	139
5.2.3. Biochemiczne aspekty procesów EBPR	140
5.2.4. Mikroorganizmy PAO i GAO	142
5.2.5. Powstawanie struwitu	145
Literatura	146
6. Naturalne metody biologicznego oczyszczania ścieków	149
6.1. Wprowadzenie	149
6.1.1. Nawadnianie pól (<i>Irrigation of fields</i>)	149
6.1.2. Pola filtracyjne (<i>Filtration fields</i>)	155
6.1.3. Stawy biologiczne	155
6.1.4. Napowietrzane laguny (<i>Aeration lagoons</i>)	162
6.1.5. Filtry piaskowe	163
6.1.6. Wetlandy inżynieryjne	165
Literatura	166
7. Nowoczesne biologiczne systemy oczyszczania ścieków	171
7.1. Wprowadzenie	171
7.2. Konwencjonalne systemy beztlenowego oczyszczania ścieków	172
7.2.1. Fermentory osadów	173
7.2.2. Szamba	175
7.2.3. Rowy utleniające	175
7.3. Rozwój technologii reaktorów beztlenowych o wysokiej efektywności	177
7.4. Podsumowanie	179
7.5. Rodzaje beztlenowo-tlenowych systemów oczyszczania	180
7.5.1. Systemy beztlenowo-tlenowe z wykorzystaniem oddzielnych wysokowydajnych bioreaktorów	180
7.5.2. Systemy zintegrowane beztlenowo-tlenowych bioreaktorów	187
Literatura	197

8. Ścieki przemysłu spożywczego i ich oczyszczanie	201
8.1. Wprowadzenie	201
8.2. Ścieki rolno-spożywcze	201
8.3. Przemysłowe wykorzystanie kukurydzy	203
8.3.1. Ścieki i ich charakterystyka	205
8.3.2. Oczyszczanie ścieków z procesowania kukurydzy	205
8.4. Produkcja drożdży piekarniczych	206
8.4.1. Skład ścieków z produkcji drożdży i ich charakterystyka	207
8.4.2. Oczyszczanie ścieków z produkcji drożdży	208
8.5. Przemysł cukierniczy	209
8.5.1. Ścieki i ich charakterystyka	209
8.5.2. Oczyszczanie ścieków cukierniczych	210
8.6. Przetwórstwo ziemniaków	211
8.6.1. Ścieki i ich charakterystyka	211
8.6.2. Oczyszczanie ścieków z przeróbki ziemniaków	212
8.7. Przemysł mleczarski	214
8.7.1. Podatność ścieków mleczarskich na degradację	216
8.7.2. Oczyszczanie ścieków mleczarskich	217
8.8. Przemysł browarniczy	225
8.8.1. Ścieki browarnicze	226
8.8.2. Oczyszczanie ścieków browarniczych	228
8.9. Przemysł mięsny	229
8.9.1. Oczyszczanie ścieków przemysłu mięsnego	231
8.10. Produkcja soków z owoców i warzyw	233
8.10.1. Soki z owoców cytrusowych	233
8.10.2. Sok jabłkowy	234
8.10.3. Przetwórstwo pomidorów	235
8.10.4. Przetwórstwo marchwi	235
8.10.5. Nektary	236
8.10.6. Ścieki z przetwórstwa owoców i warzyw	236
8.10.7. Oczyszczanie ścieków z przetwórstwa owoców i warzyw	237
Literatura	238
9. Oczyszczanie ścieków farmaceutycznych	243
9.1. Wprowadzenie	243
9.2. Mikrobiologiczna produkcja antybiotyków	243
9.2.1. Historia penicyliny	244
9.3. Komercyjna produkcja penicylin	245
9.4. Ścieki farmaceutyczne	247
9.5. Oczyszczanie ścieków farmaceutycznych	250
9.5.1. Bioreaktor typu AnMBR (<i>Anaerobic Membrane Bioreactor</i>)	254
9.5.2. Bioreaktor UASB	255
9.5.3. Bioreaktor typu EGSB (<i>Expanded Granular Sludge Blanket</i>)	256

9.5.4. Bioreaktor UASR (hybryda – czterostopniowy system bioreaktorów UASB)	257
9.5.5. Bioreaktor typu AnSBR	257
9.5.6. Hybrydowe systemy beztlenowo-tlenowe	257
9.6. Kluczowa mikroflora w oczyszczaniu ścieków farmaceutycznych	258
9.6.1. Analiza metagenomiczna w biologicznej oczyszczalni ścieków farmaceutycznych	258
9.6.2. Analiza metagenomiczna wspólnot mikroorganizmów w beztlenowych bioreaktorach oczyszczających ścieki farmaceutyczne	259
Literatura	261
10. Oczyszczanie ścieków rafineryjno-petrochemicznych	265
10.1. Wprowadzenie	265
10.2. Skład ścieków rafineryjno-petrochemicznych	267
10.3. Oczyszczanie ścieków rafineryjno-petrochemicznych	269
10.3.1. Degradacja fotokatalityczna	270
10.3.2. Zasadnicze oczyszczanie ścieków rafineryjno-petrochemicznych	273
10.3.3. Analiza metagenomiczna osadów w komorach konwencjonalnych i reaktorach membranowych w procesie oczyszczania ścieków rafineryjno-petrochemicznych	275
10.3.4. Analiza metagenomiczna wspólnot bakterii oczyszczających ścieki petrochemiczne w dwustopniowym systemie mikroaerofilno/anoksy tlenowym	277
10.4. Szlaki degradacji węglowodorów przez mikroorganizmy obecne w osadach	279
10.4.1. Szlaki degradacji węglowodorów w warunkach tlenowych	279
10.4.2. Mikrobiologiczna degradacja węglowodorów w warunkach beztlenowych	282
10.5. Podsumowanie	284
Literatura	285
11. Oczyszczanie ścieków celulozowo-papierniczych	289
11.1. Wprowadzenie	289
11.2. Charakterystyka odpadów i ich źródło	292
11.3. Skład chemiczny ścieków	293
11.4. Minimalizacja odpadów	294
11.5. Oczyszczanie ścieków celulozowo-papierniczych	294
11.5.1. Laguny z napowietrzaniem (baseny stabilizacyjne)	297
11.5.2. Oczyszczanie ścieków w warunkach beztlenowych	297
11.6. Analiza metagenomiczna wspólnoty bakterii degradujących drewno	300
11.7. Usuwanie zanieczyszczeń w ściekach celulozowo-papierniczych z zastosowaniem grzybów	302

11.8.	Inne metody oczyszczania ścieków celulozowo-papierniczych	303
11.8.1.	Koagulacja/strącanie	303
11.8.2.	Adsorpcja	304
11.8.3.	Utlenianie chemiczne	304
11.8.4.	Filtracja membranowa	304
11.9.	Odpady stałe i ich utylizacja	305
11.9.1.	Fermentacja	305
11.9.2.	Kompostowanie	306
11.9.3.	Wprowadzanie do gruntu	306
11.9.4.	Spalanie odpadów	306
11.9.5.	Piroliza	306
11.9.6.	Reforming parowy	307
11.9.7.	Katalityczne utlenianie na mokro	308
11.9.8.	Emisja gazów	308
11.10.	Podsumowanie	309
	Literatura	309

12. Oczyszczanie wód kopalnianych przez bakterie redukujące siarczany(VI) 313

12.1.	Wprowadzenie	313
12.2.	Charakterystyka biotechnologiczna bakterii redukujących siarczany(VI)	314
12.3.	Skład fizyko-chemiczny AMD	321
12.4.	Wspólnota mikroorganizmów w kwaśnych wodach kopalnianych	323
12.5.	Biotechnologie usuwania zanieczyszczeń z AMD	324
12.5.1.	Ekstensywne biotechnologie	327
12.5.2.	Bioreaktory	330
12.5.3.	Mikroorganizmy występujące w systemach oczyszczających AMD	333
12.5.4.	Podsumowanie	334
	Literatura	334

13. Odpady organiczne i ich utylizacja 341

13.1.	Wprowadzenie	341
13.2.	Rodzaje odpadów	343
13.2.1.	Odpady komunalne	343
13.2.2.	Odpady przemysłowe	343
13.2.3.	Odpady niebezpieczne	343
13.2.4.	Odpady płynne	344
13.2.5.	Komunalne osady ściekowe	344
13.3.	Ilości produkowanych odpadów w Polsce	344
13.4.	Gospodarka odpadami stałymi	345
13.5.	Hierarchia w sektorze gospodarki odpadami	347
13.6.	Składowisko odpadów komunalnych	348
13.7.	Mikrobiomy składowisk odpadów komunalnych	350

13.8.	Technologie odzyskiwania materiałów i energii	351
13.8.1.	Kompostowanie	352
13.8.2.	Zgazowanie	360
13.8.3.	Piroliza	360
13.8.4.	Spalanie	361
13.8.5.	Zagospodarowywanie osadów ściekowych pierwotnych i wtórnych	362
13.9.	Akta prawne	363
13.10.	Podsumowanie	364
	Literatura	371
14.	Biologiczne oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów komunalnych	375
14.1.	Wprowadzenie	375
14.2.	Składowanie odpadów komunalnych	376
14.3.	Tworzenie odcieków składowiskowych	377
14.4.	Oczyszczanie odcieków ze składowisk komunalnych	382
14.4.1.	Fizykochemiczne usuwanie zanieczyszczeń w odciekach	383
14.4.2.	Biologiczne oczyszczanie odcieków składowiskowych	385
14.5.	Naturalna biologiczna oczyszczalnia odcieków	391
14.6.	Wspólnoty mikroorganizmów w procesie oczyszczania odcieków składowisk komunalnych	392
14.6.1.	Relacje między charakterystykami stawów oczyszczających odcieki a liczebnością OTU	393
14.6.2.	Bakterie w stawach doczyszczających z roślinnością	394
14.6.3.	Populacje archeonów w procesach oczyszczania odcieków	394
14.6.4.	Wspólnoty bakterii występujące w odciekach, w stawach biologicznych i w bioreaktorach oczyszczających odcieki	395
14.7.	Grzyby w oczyszczaniu odcieków	396
14.7.1.	Oczyszczanie odcieków w bioreaktorach z grzybami	396
	Literatura	397
15.	Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków komunalnych w Ostrzeszowie	401
15.1.	Wprowadzenie	401
15.2.	Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków	403
15.3.	Efektywność oczyszczania ścieków komunalnych	406
	Literatura	408