

**Procesy przenoszenia zanieczyszczeń w środowisku naturalnym /
Kazimierz Rup. – wyd. 2, 1 dodr. – Warszawa, 2017**

Spis treści

Słowo wstępne	XI
Ważniejsze oznaczenia	XIII
1. Podstawowe równania mechaniki płynów	1
1.1. Wprowadzenie	1
1.2. Prawa przenoszenia	2
1.2.1. Pochodna zupełna i substancjalna	2
1.2.2. Ogólne prawo przenoszenia i prawo przenoszenia Reynoldsa	3
1.2.3. Zasada zachowania masy i równanie ciągłości	6
1.2.4. Specjalna postać prawa przenoszenia Reynoldsa	8
1.3. Prawa Eulera	9
1.3.1. Pierwsze prawo Eulera	9
1.3.2. Drugie prawo Eulera	10
1.3.3. Tensor naprężenia w płynie	10
1.4. Prawa Cauchy'ego	13
1.4.1. Pierwsze prawo Cauchy'ego	13
1.4.2. Drugie prawo Cauchy'ego	14
1.5. Równania konstytutywne	17
1.5.1. Wprowadzenie	17
1.5.2. Podstawowe zasady mechaniki ośrodków ciągłych	18
1.5.3. Równania określające tensor naprężenia	18
1.6. Równania Naviera-Stokesa (N-S)	21
1.7. Liczba Reynoldsa (Re)	22
1.8. Równania ruchu płynu nielepkiego	23
1.8.1. Równania ruchu Eulera	23
1.8.2. Równanie ruchu płynu doskonałego zapisane w postaci Gromeki-Lamba	24
1.8.3. Całkowanie równań ruchu płynu doskonałego	25
1.8.4. Równanie Bernoulliego	27
1.9. Równanie zachowania energii	27
1.10. Wymiana masy	34
1.10.1. Równanie ciągłości składnika mieszaniny	34
1.10.2. Równanie dyfuzji nieustalonej	36
1.11. Uśrednione równania turbulentnej wymiany pędu	38
1.11.1. Wprowadzenie	38
1.11.2. Uśrednianie wielkości w czasie	40
1.11.3. Równania Reynoldsa uśrednionego ruchu turbulentnego cieczy	43

1.11.4. Modele matematyczne turbulencji	45
1.12. Turbulentny transport energii	48
1.12.1. Równanie energii przepływu burzliwego	48
1.12.2. Turbulentna liczba Prandtla (Pr_t)	51
1.13. Turbulentny transport masy	54
1.13.1. Równanie transportu masy przepływu burzliwego	54
1.13.2. Turbulentna liczba Schmidta $Sc^{(t)}$	55
Literatura	58
2. Zanieczyszczenia jezior i stawów	60
2.1. Stratyfikacja wód jeziora	60
2.2. Wodne rozcieńczone roztwory substancji lotnych	62
2.3. Dwuwarstwowy model oporu dla procesu wymiany masy na granicy powietrze-woda	63
Przykład 2.3.1 (parowanie wody jeziora)	68
Przykład 2.3.2 (odparowanie benzenu)	69
2.4. Jednostrefowy model jeziora	71
Przykład 2.4.1 (stężenie fosforu w wodzie)	73
Przykład 2.4.2 (stężenie fosforu przy zmniejszonych zanieczyszczeniach)	76
Przykład 2.4.3 (redukcja tlenu w wodzie zamrożonego stawu)	77
Przykład 2.4.4 (zwiększanie ilości tlenu w wodzie stawu)	79
2.5. Dwustrefowy model jeziora	80
2.6. Współczynniki wymiany w modelu dwustrefowym	83
Przykład 2.6.1 (wyznaczanie współczynnika dyfuzji turbulentnej)	86
Przykład 2.6.2 (współczynnik dyfuzji turbulentnej tetrachloroetanu)	90
tetrachloroetanu)	90
Przykład 2.6.3 (wyznaczenie strumienia NTA)	92
Przykład 2.6.4 (stężenie dichloroetanu - model dwustrefowy)	93
Przykład 2.6.5 (zmniejszenie stężenia dichloroetanu - model dwustrefowy)	96
Literatura	100
3. Ruch zanieczyszczeń w wodach rzek i kanałów otwartych	101
3.1. Wprowadzenie	101
3.1.1. Równanie Chezy'ego-Manninga	101
3.1.2. Efektywny przekrój kanału otwartego	104
Przykład 3.1.1 (wydatek przepływu rzeki)	105
Przykład 3.1.2 (wydatek rzeki w czasie powodzi)	106
3.2. Transport zanieczyszczeń w wodach rzek	108
3.2.1. Transport dyfuzyjny	108
3.2.2. Transport adwekcyjny i dyfuzyjny	110
Przykład 3.2.1 (stężenie tetrachloroetyleny w wodzie rzeki)	112
Przykład 3.2.2 (stężenie chlorku benzylu w wodzie rzeki)	114
Przykład 3.2.3 (zanieczyszczenia firmy farmaceutycznej)	117
Przykład 3.2.4 (zrzut ciepłej wody do rzeki)	120
Przykład 3.2.5 (bilans zużycia tlenu w wodzie rzeki)	123

3.2.3. Transport turbulentny	126
3.2.3.1. Dyfuzja turbulentna	126
Przykład 3.2.6 (skale turbulencji)	127
Przykład 3.2.7 (dyfuzja roztworu NaCl)	131
Przykład 3.2.8 (dyfuzja helu w azocie)	132
3.2.3.2. Dyspersja hydrodynamiczna	135
3.2.3.3. Rozwiązania analityczne (ściśle) równania transportu masy w przypadku jednowymiarowym	139
3.2.4. Wyznaczanie współczynników dyspersji w przepływach w kanałach otwartych	141
3.2.4.1. Eksperymentalne wyznaczanie współczynników dyspersji poprzecznej i podłużnej	141
3.2.4.2. Metoda momentów statystycznych	143
Przykład 3.2.9 (wyznaczanie współczynnika dyspersji podłużnej)	146
Przykład 3.2.10 (wypadek ciężarówki z transportem soli)	148
Przykład 3.2.11 (atrazyna w wodzie rzeki)	149
Przykład 3.2.12 (herbicydy w wodzie rzeki)	151
Przykład 3.2.13 (zanieczyszczenia firmy chemicznej w rzece)	153
Literatura	156
4. Przepływy zanieczyszczeń w gruncie	157
4.1. Podstawy filtracji wód podziemnych	157
4.1.1. Wprowadzenie	157
4.1.2. Właściwości gruntu	157
4.1.3. Prędkość filtracji	159
4.1.4. Prawo filtracji - prawo Darcy'ego	160
4.1.5. Współczynnik przepuszczalności k	163
4.1.6. Równomierna filtracja wód gruntowych	166
Przykład 4.1.1 (filtr piaskowy)	167
Przykład 4.1.2 (filtr z ziaren węgla aktywnego)	168
Przykład 4.1.3 (filtr trójwarstwowy)	169
4.1.7. Przepływ radialny	171
4.1.8. Dopływ wody gruntowej do studni i drenu	173
Przykład 4.1.4 (studnia ujmująca)	176
Przykład 4.1.5 (studnia doświadczalna)	177
Przykład 4.1.6 (studnia artezyjska)	178
Przykład 4.1.7 (studnia obok rzeki)	179
Przykład 4.1.8 (dren obok rzeki)	181
Przykład 4.1.9 (pompowanie wody z drenu)	182
Przykład 4.1.10 (zanieczyszczenia gruntu obok rzeki)	182
4.2. Dyspersja hydrodynamiczna w warstwie wodonośnej	184
4.2.1. Równanie jednowymiarowej dyspersji mechanicznej	186
Przykład 4.2.1 (współczynnik dyspersji w wodzie gruntowej)	187
4.2.2. Przypadki szczególne analitycznego całkowania równania dyspersji mechanicznej	188

Przykład 4.2.2 (nagłe wylanie zanieczyszczenia do rzeki)	190
Przykład 4.2.3 (powolne zanieczyszczanie wody rzeki)	192
4.2.3. Propagacja zanieczyszczeń w warstwie wodonośnej z uwzględnieniem procesu adsorpcji	195
Przykład 4.2.4 (wyznaczenie współczynnika retardacji)	197
Przykład 4.2.5 (czas przemieszczania się frontu zanieczyszczenia)	198
Przykład 4.2.6 (awaria zbiornika i wyciek zanieczyszczenia)	200
Przykład 4.2.7 (powolny wyciek zanieczyszczenia ze zbiornika)	201
Literatura	202

5. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w powietrzu	203
5.1. Ruch powietrza w atmosferze	203
5.2. Pionowy gradient temperatury i ciśnienia w atmosferze	205
Przykład 5.2.1 (wyznaczanie parametrów atmosfery)	211
Przykład 5.2.2 (przybliżona masa atmosfery)	212
5.3. Statyczna stabilność atmosfery	213
5.4. Powstawanie obłoków spalin	219
5.5. Charakterystyczne składniki obłoku spalin	222
Przykład 5.5.1 (stężenia równowagowe tlenków azotu)	224
Przykład 5.5.2 (stężenie CO)	227
Przykład 5.5.3 (oszacowanie ilości CO ₂)	227
5.6. Mechanizmy powstawania tlenków azotu	228
5.7. Sposoby zmniejszania ilości emitowanych NO _x	231
5.8. Powstawanie kwaśnych deszczów	233
Przykład 5.8.1 (czas powstawania HNO ₃)	234
5.9. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń wydalanych z komina	236
5.9.1. Substancje zanieczyszczające emitowane w postaci cząstek stałych	243
5.9.2. Substancje zanieczyszczające emitowane w postaci gazowej	244
5.10. Efektywna wysokość komina	246
Przykład 5.10.1 (efektywna wysokość komina)	249
Przykład 5.10.2 (stężenie SO ₂)	251
Przykład 5.10.3 (zanieczyszczenia z krematorium)	255
Przykład 5.10.4 (skażenie powierzchni gruntu)	257
5.11. Korekta emisji zanieczyszczenia w przypadku wielu kominów	259
Przykład 5.11.1 (cztery kominy elektrociepłowni)	260
Przykład 5.11.2 (dwa kominy elektrociepłowni)	262
5.12. Przeliczanie uśrednionych w czasie wartości stężenia zanieczyszczenia	265
Przykład 5.12.1 (stężenia godzinowe i dobowe)	265
5.13. Zanieczyszczenia powietrza związane z ruchem pojazdów samochodowych	266
5.13.1. Opis zanieczyszczeń w spalinach silników samochodowych	266
5.13.2. Zmniejszanie zawartości substancji zanieczyszczających w spalinach silnika o zapłonie iskrowym	267

Przykład 5.13.1 (pole powierzchni katalizatora)	270
Przykład 5.13.2 („korek” samochodowy)	273
Przykład 5.13.3 (chwilowe stężenie CO)	274
Przykład 5.13.4 (pojazdy w tunelu)	276
Przykład 5.13.5 (stężenie CO w spalinach pojazdu)	279
5.14. Jezdnia intensywnego ruchu pojazdów jako liniowe źródło zanieczyszczeń	281
Przykład 5.14.1 (ruch pojazdów na autostradzie)	283
5.15. Wybrane przyjazne dla środowiska naturalnego źródła energii	284
5.15.1. Wykorzystanie energii wiatru	284
5.15.1.1. Moc turbiny wiatrowej	285
5.15.1.2. Maksymalna sprawność turbiny wiatrowej	289
Przykład 5.15.1 (turbina wiatrowa)	290
5.15.2. Ogniwa paliwowe	292
Przykład 5.15.2 (siła elektromotoryczna ogniwa wodorotlenowego)	295
5.16. Spadanie cząstek w powietrzu	298
5.16.1. Ruch cząstki w dwuwymiarowym polu prędkości powietrza	302
5.16.2. Spadanie grawitacyjne cząstki w nieruchomym powietrzu	302
Przykład 5.16.1 (spadanie grawitacyjne cząstek)	303
Przykład 5.16.2 (składowe prędkości cząstki spadającej)	304
5.16.3. Opadanie gradu	310
Przykład 5.16.3 (prędkość strugi powietrza)	311
5.17. Spadanie odparowujących kropeł wody	313
5.17.1. Powstawanie kropeł deszczu	313
5.17.2. Odparowanie spadających małych kropeł wody	314
Przykład 5.17.1 (spadanie kropli wody - model jednorównaniowy)	320
Przykład 5.17.2 (spadanie kropli wody - model dwurównaniowy)	325
5.17.3. Odparowanie spadających kropeł deszczu	328
Przykład 5.17.3 (czas odparowania połowy objętości kropli deszczu)	331
Literatura	346
Skorowidz	348