

**Mechanika płynów w inżynierii środowiska / Zdzisław Orzechowski,  
Jerzy Prywer, Roman Zarzycki. – Wydanie I - 1 dodruk (PWN). –  
Warszawa, 2018**

Spis treści

<b>PRZEDMOWA</b>	<b>13</b>
<b>WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ</b>	<b>17</b>
<b>Część I</b>	
<b>MECHANIKA PRZEPŁYWÓW JEDNOFAZOWYCH</b>	
<b>1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE</b>	<b>26</b>
1.1. PRZEDMIOT MECHANIKI PRZEPŁYWÓW JEDNOFAZOWYCH	26
1.2. PŁYN JAKO OŚRODEK CIĄGŁY	28
1.3. SIŁY DZIAŁAJĄCE W PŁYNACH	29
1.4. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE PŁYNÓW	31
1.4.1. Temperatura	31
1.4.2. Ciśnienie	32
1.4.3. Gęstość	32
1.4.4. Zależność między podstawowymi parametrami płynu	33
1.4.5. Płyny newtonowskie i płyny nienewtonowskie	35
1.4.6. Właściwości dyssypatywne płynów	38
1.4.7. Napięcie powierzchniowe	42
1.4.8. Włokowatość	44
1.4.9. Ciśnienie wrzenia	46
1.5. PODSTAWOWE PRAWA GAZÓW	47
1.5.1. Gazy doskonałe	47
1.5.2. Gazy rzeczywiste	50
1.6. RODZAJE METOD BADAWCZYCH	52
1.7. PRZYKŁADY	54
<b>2. STATYKA PŁYNÓW</b>	<b>58</b>
2.1. RÓWNANIE RÓWNOWAGI PŁYNU	58
2.2. RÓWNOWAGA BEZWZGLĘDNA PŁYNU	61
2.2.1. Równowaga w potencjalnym polu sił masowych	61
2.2.2. Równowaga podczas braku sił masowych	62
2.2.3. Równowaga w polu sił ciężkości	63
2.2.4. Naczynia połączone	65
2.2.5. Zasada ciągu kominowego	68
2.2.6. Równowaga atmosfery ziemskiej	70
2.3. PARCIE CIECZY NA POWIERZCHNIE ŚCIAN	72
2.3.1. Powierzchnie płaskie	72

2.3.2. Powierzchnie zakrzywione	77
2.4. PARCIE PŁYNU NA CIAŁA ZANURZONE	80
2.4.1. Wypór hydrostatyczny	80
2.4.2. Pływanie ciał	81
2.5. RÓWNOWAGA WZGLĘDNA CIECZY	83
2.5.1. Ruch postępowy	84
2.5.2. Ruch obrotowy	85
2.5.3. Kształt swobodnej powierzchni cieczy	86
2.6. PRZYKŁADY	87
<b>3. KINEMATYKA PŁYNÓW</b>	<b>99</b>
3.1. METODY ANALIZY RUCHU PŁYNÓW	99
3.1.1. Metoda Lagrange'a	99
3.1.2. Metoda Eulera	100
3.2. POCHODNA SUBSTANCJALNA	101
3.3. POLA FIZYCZNE	102
3.4. LINIE PRĄDU	105
3.5. RÓWNANIE CIĄGŁOŚCI PRZEPŁYWU	107
3.6. PRĘDKOŚCI ODKSZTAŁCENIA I PRĘDKOŚCI OBROTU ELEMENTU PŁYNU	111
3.7. PRZYKŁADY	114
<b>4. DYNAMIKA PŁYNÓW DOSKONAŁYCH</b>	<b>119</b>
4.1. RÓWNANIE RUCHU PŁYNU DOSKONAŁEGO	119
4.2. DYNAMICZNE DZIAŁANIE PŁYNU	120
4.2.1. Strumień pędu i reakcja płynu	120
4.2.2. Reakcja płynu w przepływie wewnętrznym	124
4.3. RÓWNANIE BERNOULLIEGO	125
4.3.1. Całka równania Eulera	125
4.3.2. Różne formy równania Bernoulliego	127
4.3.3. Zastosowanie równania Bernoulliego do pomiarów prędkości	129
4.4. PŁASKIE PRZEPŁYWY PŁYNÓW DOSKONAŁYCH	131
4.5. PRZYKŁADY	135
<b>5. DYNAMIKA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH</b>	<b>141</b>
5.1. RÓWNANIE NAVIERA-STOKESA	141
5.2. RÓWNANIA RUCHU I CIĄGŁOŚCI W RÓŻNYCH UKŁADACH WSPÓLRZĘDNYCH	143
5.3. PODOBIEŃSTWO ZJAWISK PRZEPŁYWOWYCH	145
5.4. PRZEPŁYWY LAMINARNE	151
5.4.1. Istota przepływu laminarnego	151
5.4.2. Przepływ laminarny w przewodzie płaskim	152
5.4.3. Przepływ laminarny w przewodzie o przekroju kołowym	155
5.4.4. Spływ cieczy po ścianie pionowej	157
5.4.5. Krytyczna liczba Reynoldsa	159
5.5. PRZEPŁYWY TURBULENTNE	160

5.5.1. Istota przepływu turbulentnego	160
5.5.2. Rozkład prędkości	162
5.5.3. Turbulentna struga swobodna	164
5.6. WARSTWA PRZYŚCIENNA	167
5.6.1. Informacje ogólne	167
5.6.2. Laminarna i turbulentna warstwa przyścienna	170
5.6.3. Oderwanie warstwy przyściennej	174
5.7. PRZYKŁADY	178

## **6. RÓŻNICZKOWE RÓWNANIA BILANSOWE DLA PŁYNÓW WIELOSKŁADNIKOWYCH** **185**

6.1. RÓWNANIE BILANSU MASY	185
6.1.1. Sposób wyrażania składu chemicznego	185
6.1.2. Prędkości przepływu płynu wieloskładnikowego	187
6.1.3. Gęstość strumienia masowego i gęstość strumienia dyfuzji	188
6.1.4. Szybkość reakcji chemicznej	189
6.1.5. Równania bilansu ilości substancji. Równanie Naviera-Stokesa dla płynu wieloskładnikowego	190
6.2. BILANS ENERGII I GĘSTOŚCI STRUMIENIA CIEPŁA	192
6.3. PRZYKŁADY	193

## **7. PRZEPŁYWY W PRZEWODACH ZAMKNIĘTYCH** **196**

7.1. OPORY PRZEPŁYWU	196
7.1.1. Straty ciśnienia wskutek tarcia	197
7.1.2. Straty ciśnienia wskutek oporów miejscowych	202
7.2. PRZEPŁYWY W PRZEWODACH DŁUGICH	204
7.2.1. Przewód pojedynczy o stałej i zmiennej średnicy	204
7.2.2. Układy przewodów	207
7.2.3. Wybór średnicy przewodu	211
7.3. PRZEPŁYWY W PRZEWODACH WENTYLACYJNYCH	211
7.3.1. Wprowadzenie	211
7.3.2. Przewody rozdzielcze	213
7.4. NAWIEW I WYWIEW POWIETRZA	225
7.4.1. Otwory nawiewne	225
7.4.2. Otwory wywiewne (ssawne)	227
7.5. PRZEPŁYWY PRZY ZNACZNEJ ZMIANIE PRZEKROJU STRUGI	230
7.5.1. Ustalony wypływ cieczy ze zbiornika	230
7.5.2. Nieustalony wypływ cieczy ze zbiornika	233
7.5.3. Zwężki pomiarowe	237
7.5.4. Przepływ przez przewody o nagłej zmianie przekroju	240
7.5.5. Przystawki	244
7.6. PRZEWODY ZBIEŻNE I ROZBIEŻNE	246
7.7. NIEUSTALONY PRZEPŁYW WODY W PRZEWODZIE (UDERZENIE HYDRAULICZNE)	250
7.8. PRZYKŁADY	257

<b>8. PRZEPŁYWY W KANAŁACH OTWARTYCH</b>	<b>266</b>
8.1. INFORMACJE OGÓLNE	266
8.2. RUCH JEDNOSTAJNY	267
8.3. RUCH SPOKOJNY I RWĄCY	272
8.4. PRZELEWY	276
8.5. PRZYKŁADY	285
<b>9. OPŁYW CIAŁ</b>	<b>292</b>
9.1. SIŁY DZIAŁAJĄCE NA OPŁYWANE CIAŁO	292
9.2. ROTOMETRY	297
9.3. OPÓR TARCIA I OPÓR CIŚNIENIA	299
9.4. OPŁYW BUDYNKÓW	304
9.5. PRZYKŁADY	307
<b>10. ZARYS DYNAMIKI GAZÓW ŚCIŚLIWYCH</b>	<b>309</b>
10.1. PRĘDKOŚĆ DŹWIĘKU	309
10.2. PRZEPŁYW GAZU ŚCIŚLIWEGO	311
10.3. FALE ROZRZEDZENIOWE I ZGĘSZCZENIOWE	314
10.4. DYSZE POD- I NADDŹWIĘKOWE	316
10.5. PRZYKŁADY	318
<b>11. CZAS PRZEBYWANIA PŁYNU W ZBIORNIKU</b>	<b>321</b>
11.1. WPROWADZENIE	321
11.2. MODELE PRZEPŁYWU IDEALNEGO. PRZEPŁYWY RZECZYWISTE	322
11.3. FUNKCJE ROZKŁADU CZASU PRZEBYWANIA PŁYNU W ZBIORNIKU	323
11.4. METODY ZNACZNIKOWE W BADANIACH CZASU PRZEBYWANIA	325
11.5. KRZYWE ROZKŁADÓW CZASU PRZEBYWANIA DLA PRZEPŁYWÓW IDEALNYCH	327
11.6. MODELE PRZEPŁYWÓW W ZBIORNIKACH RZECZYWISTYCH	330
11.7. METODA MOMENTÓW	333
11.8. SEGREGACJA PŁYNU	334
11.9. PRZYKŁADY	335
<b>12. WYBRANE ZAGADNIENIA MASZYN PRZEPŁYWOWYCH</b>	<b>340</b>
12.1. UWAGI WSTĘPNE	340
12.2. REAKCJA PŁYNU W PRZEPŁYWIE ZEWNĘTRZNYM	341
12.2.1. Reakcja strugi swobodnej na powierzchni płaskie i zakrzywione	341
12.2.2. Reakcja płynu wypływającego ze zbiornika	346
12.3. RÓWNANIE ZACHOWANIA KRĘTU	347
12.3.1. Podstawowe równanie maszyn przepływowych	347
12.3.2. Równanie wiru swobodnego	349
12.4. WARUNKI DZIAŁANIA POMP WIRNIKOWYCH	350
12.4.1. Współdziałanie pompy z przewodem	350
12.4.2. Wysokość ssania pompy. Kawitacja	351
12.4.3. Moc pompy	354

12.5. STRUMIENICE	355
12.5.1. Zagadnienia ogólne	355
12.5.2. Istota działania strumienicy	356
12.5.3. Obliczenia strumienicy	359
12.6. PRZYKŁADY	362
<b>13. PRZEPŁYWY Z WYMIANĄ CIEPŁA</b>	<b>369</b>
13.1. WIADOMOŚCI OGÓLNE	369
13.2. SWOBODNA KONWEKCJA CIEPŁA	373
13.3. WYMUSZONA KONWEKCJA CIEPŁA	378
13.4. WYMIANA CIEPŁA PODCZAS POPRZECZNEGO OPŁYWU WALCA	381
13.5. WYMIENNIKI CIEPŁA	382
13.6. WNIKANIE CIEPŁA I MASY	385
13.7. PRZYKŁADY	386
<b>Część II</b>	
<b>MECHANIKA PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH</b>	
<b>14. PODSTAWOWE PROBLEMY PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH</b>	<b>392</b>
14.1. ISTOTA PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH	392
14.2. ZNACZENIE PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH W INŻYNIERII I OCHRONIE ŚRODOWISKA	393
14.3. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI FAZY ROZPROSZONEJ	395
14.3.1. Różne formy występowania fazy rozproszonej	395
14.3.2. Kształt cząstek	397
14.3.3. Rozmiary elementów fazy rozproszonej	399
14.3.4. Powierzchnia międzyfazowa	405
14.3.5. Udziały fazy rozproszonej i ciągłej	407
14.3.6. Gęstość	409
14.3.7. Lepkość	409
14.4. STRUKTURA PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH	411
14.4.1. Istota struktury przepływu	411
14.4.2. Przewód pionowy	412
14.4.3. Przewód poziomy	415
<b>15. MODELE PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH</b>	<b>418</b>
15.1. PARAMETRY PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO	418
15.2. JEDNOWYMIAROWY PRZEPŁYW WSPÓŁPRĄDOWY	423
15.2.1. Przepływy bezpoślizgowe	423
15.2.2. Przepływy z częściowym rozdzieleniem faz	427
15.2.3. Przepływy z całkowitym rozdzieleniem faz	430
15.2.4. Przepływy z unoszeniem fazy rozproszonej	431
15.3. PRZYKŁADY	433
<b>16. RUCH ROZPROSZONEJ FAZY STAŁEJ</b>	<b>438</b>
16.1. OPADANIE SWOBODNE CZĄSTEK	438

16.2. RUCH CZĄSTEK W POLU DZIAŁANIA RÓŻNYCH SIŁ	443
16.3. POMIARY ZAPYLENIA	451
16.4. PRZYKŁADY	456
<b>17. AERODYNAMIKA ATMOSFERY</b>	<b>460</b>
17.1. WPROWADZENIE	460
17.2. WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ	461
17.2.1. Czynniki meteorologiczne	462
17.2.2. Czynniki topograficzne	471
17.2.3. Czynniki technologiczne	473
17.3. PUNKTOWE ŹRÓDŁA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ	474
17.4. PRZYKŁADY	478
<b>18. SEDYMENTACJA</b>	<b>480</b>
18.1. ISTOTA SEDYMENTACJI	480
18.2. PRĘDKOŚĆ SEDYMENTACJI	482
18.3. POMIARY OPADANIA ZAWIESIN	484
18.4. OSADNIKI	487
18.5. WIRÓWKI SEDYMENTACYJNE	491
18.6. PRZYKŁADY	493
<b>19. PRZEPEŁYW PRZEZ WARSTWY SYPKIE I POROWATE</b>	<b>496</b>
19.1. STRUKTURA WARSTWY POROWATEJ	496
19.2. OPORY PRZEPEŁYWU PŁYNU JEDNOFAZOWEGO	498
19.3. RUCH WÓD GRUNTOWYCH	500
19.3.1. Wstęp	500
19.3.2. Prawo Darcy'ego	501
19.3.3. Równanie przepływu wód gruntowych	503
19.3.4. Dopływ wody gruntowej do rowu, drenu i studni	507
19.3.5. Współdziałanie zespołu studzien	511
19.4. PRZEPEŁYWY DWUFUZOWE W KOLUMNIE WYPEŁNIONEJ	513
19.4.1. Rozptył cieczy na wypełnieniu, rozkłady czasów przebywania płynów	514
19.4.2. Zatrzymanie cieczy na wypełnieniu	516
19.4.3. Spadek ciśnienia i zjawisko zalewania kolumn	518
19.4.4. Powierzchnie wymiany masy	520
19.4.5. Hydraulika współprądowego przepływu w kolumnach wypełnionych	523
19.5. PRZYKŁADY	524
<b>20. FILTRACJA</b>	<b>530</b>
20.1. INFORMACJE OGÓLNE	530
20.2. RÓWNANIE FILTRACJI	532
20.3. FILTRACJA OSADÓW NIEŚCIŚLIWYCH	537
20.4. FILTRACJA OSADÓW ŚCIŚLIWYCH	541

20.5. FILTRACJA POD DZIAŁANIEM SIŁY ODŚRODKOWEJ	544
20.6. SEPARACJA KROPEL	547
20.6.1. Separatory siatkowe	547
20.6.2. Separatory cyklonowe	549
20.6.3. Separatory żaluzjowe	550
20.7. PRZYKŁADY	552
<b>21. FLUIDYZACJA</b>	<b>554</b>
21.1. ISTOTA FLUIDYZACJI	554
21.2. PRZEBIEG PROCESU FLUIDYZACJI	555
21.3. WYKORZYSTANIE FLUIDYZACJI W INŻYNIERII I OCHRONIE ŚRODOWISKA	561
21.4. PRZYKŁADY	563
<b>22. ROZPYLANIE CIECZY</b>	<b>566</b>
22.1. ROZPAD STRUG, BŁON I KROPEL CIECZY	566
22.2. RUCH KROPEL W OŚRODKU GAZOWYM	569
22.2.1. Ruch kropli w nieruchomym gazie	569
22.2.2. Ruch kropli w ruchomym gazie	572
22.2.3. Ruch strugi kropeł	573
22.3. PARAMETRY STRUGI ROZPYLONEJ CIECZY	575
22.4. ROZPYLACZE	578
22.5. ZASTOSOWANIE ROZPYLANIA CIECZY W INŻYNIERII I OCHRONIE ŚRODOWISKA	584
22.6. POMIARY ROZPYLENIA	586
22.7. PRZYKŁADY	588
<b>23. WZNOŚCENIE SIĘ PĘCZERZY W CIECZY</b>	<b>589</b>
23.1. TWORZENIE SIĘ PĘCZERZY	589
23.2. PRĘDKOŚĆ WZNOŚCENIA SIĘ POJEDYNCZYCH PĘCZERZY	593
23.3. AERACJA	597
23.4. POMIARY PĘCZERZY	599
23.5. ZJAWISKO BARBOTAŻU W KOLUMNACH	601
23.5.1. Kolumny barbotażowe	601
23.5.2. Kolumny półkowe	605
23.6. PRZYKŁADY	613
<b>LITERATURA</b>	<b>615</b>
<b>SKOROWIDZ RZECZOWY</b>	<b>617</b>