

**Mechanika płynów dwufazowych / Marek Dziubiński, Jerzy Prywer. –  
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>WIADOMOŚCI PODSTAWOWE</b>	<b>21</b>
1. WPROWADZENIE	23
1.1. Istota przepływów dwufazowych	23
1.2. Dziedziny występowania przepływów dwufazowych	25
2. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI FAZY ROZPROSZONEJ	29
2.1. Rodzaje form fazy rozproszonej i definicje ich rozmiarów	29
2.2. Kształt różnych form fazy rozproszonej	31
2.2.1. Kształt cząstek	31
2.2.2. Kształt pęcherzy gazowych w cieczach newtonowskich i nienewtonowskich	36
2.2.3. Kształt kropeł	43
2.3. Rozmiary różnych form fazy rozproszonej	43
3. UDZIAŁY FAZ W MIESZANINIE DWUFAZOWEJ	53
4. PRĘDKOŚĆ PRZEPŁYWU MIESZANIN DWUFAZOWYCH	61
5. POWIERZCHNIA MIĘDZYFAZOWA	63
6. GĘSTOŚĆ MIESZANIN DWUFAZOWYCH	67
7. LEPKOŚĆ MIESZANIN DWUFAZOWYCH	69
7.1. Lepkość zawiesin	69
7.2. Lepkość mieszanin ciecz-gaz	77
7.3. Lepkość mieszanin ciecz-ciecz	78
8. MODUŁY BEZWYMIAROWE STOSOWANE W PRZEPŁYWACH DWUFAZOWYCH	87
LITERATURA	95
<b>Część II</b>	
<b>ZALEŻNOŚCI TEORETYCZNE</b>	<b>99</b>
9. PODSTAWY OPISU MECHANIKI PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH	101
9.1. Metody modelowania przepływów dwufazowych	101
9.1.1. Informacje ogólne	101
9.1.2. Metoda fenomenologiczna	102
9.1.3. Formułowanie i uśrednianie równań zachowania masy, pędu i energii	104
10. MODEL HOMOGENICZNY	111

11. MODEL PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO Z ROZDZIELENIEM FAZ	117
12. MODEL POŚLIZGOWY	121
13. PROFILE PRĘDKOŚCI I STĘŻEŃ OBJĘTOŚCIOWYCH FAZ W PRZEPŁYWACH DWUFAZOWYCH	125
13.1. Charakterystyka ogólna	125
13.2. Profil krzywoliniowy pojedynczy	127
13.3. Profil krzywoliniowy podwójny	129
14. PORÓWNANIE METOD MODELOWANIA PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO	133
LITERATURA	137

### **Część III**

#### **PRZEPŁYW MIESZANIN PŁYN-CZĄSTKI CIAŁA STAŁEGO 139**

15. OPADANIE SWOBODNE CZĄSTEK W PŁYNIE	141
15.1. Wprowadzenie	141
15.2. Współczynnik oporu ośrodka	144
15.3. Prędkość opadania cząstek kulistych	149
15.3.1. Równania opisujące prędkość opadania cząstek	149
15.3.2. Prędkość opadania cząstki o znanej średnicy i znanej gęstości	151
15.3.3. Średnica cząstki opadającej ze znaną prędkością	153
15.4. Prędkość opadania cząstek niekulistych	154
15.5. Nieustalone opadanie cząstek	156
15.6. Opadanie cząstek w płynach nienewtonowskich	159
15.6.1. Współczynnik oporu ośrodka	159
15.6.2. Prędkość opadania cząstki w płynie nienewtonowskim	165
15.6.3. Opadanie cząstek w płynach nienewtonowskich plastycznolepkich	166
15.7. Efekty przyścienne	170
15.7.1. Współczynnik efektów przyściennych	170
15.7.2. Efekty przyścienne podczas opadania cząstek w płynach newtonowskich	172
15.7.3. Efekty przyścienne podczas opadania cząstek w płynach nienewtonowskich	175
15.8. Ruch cząstek w polu sił elektrostatycznych	177
16. RUCH CZĄSTEK PO TORACH KRZYWOLINIOWYCH	181
16.1. Wprowadzenie	181
16.2. Równanie różniczkowe ruchu cząstki w krzywoliniowym polu prędkości płynu	181
16.3. Przepływ cząstki przez kolano	184
16.4. Odpylanie grawitacyjne i bezwładnościowe	186
16.4.1. Charakterystyka ogólna	186
16.4.2. Przepływ mieszanin dwufazowych gaz-cząstki ciała stałego w komorach osadczych	186
16.4.3. Przepływ mieszanin dwufazowych płyn-cząstki ciała stałego w odpylaczach bezwładnościowych	189

16.5. Przepływ mieszaniny gaz-cząstki ciała stałego w cyklonie	192
16.6. Klasyfikacja hydrauliczna	195
17. SEDYMENTACJA	197
17.1. Istota sedymentacji	197
17.2. Sedymentacja zawiesin monodispersyjnych	200
17.2.1. Metody określania prędkości sedymentacji	200
17.2.2. Prędkość sedymentacji cząstek w płynach nienewtonowskich	209
17.3. Sedymentacja zawiesin polidispersyjnych	210
17.3.1. Wprowadzenie	210
17.3.2. Model Richardsona-Shabi	211
17.3.3. Inne modele sedymentacji zawiesin polidispersyjnych	213
17.4. Teoria płytkiej sedymentacji wielostrumieniowej	214
17.5. Wirówki sedymentacyjne	222
18. FLUIDYZACJA	225
18.1. Wstęp	225
18.2. Wiadomości ogólne	226
18.2.1. Istota fluidyzacji	226
18.2.2. Podobieństwo złoża fluidalnego do cieczy	227
18.2.3. Zalety i wady fluidyzacji	227
18.2.4. Zastosowanie fluidyzacji	228
18.2.5. Kolumny fluidalne	229
18.2.6. Charakterystyka złóż fluidalnych	231
18.3. Prędkość początku fluidyzacji	234
18.3.1. Sposoby obliczania prędkości początku fluidyzacji	234
18.3.2. Model kapilarny	235
18.3.3. Model opływowy	240
18.3.4. Prędkość początku fluidyzacji dla złóż wielofrakcyjnych	241
18.4. Fluidyzacja jednorodna	243
18.4.1. Ekspansja złoża jednorodnego	243
18.4.2. Warunki stateczności fluidyzacji jednorodnej	246
18.5. Fluidyzacja niejednorodna	250
18.5.1. Klasyfikacja fazy stałej	250
18.5.2. Model fluidyzacji dwufazowej	251
18.5.3. Struktura fluidyzacji niejednorodnej	252
18.5.4. Powstawanie i ruch pęcherzy	253
18.5.5. Ruch fazy stałej	258
18.5.6. Fluidyzacja płytkich złóż gruboziarnistych	262
18.6. Fluidyzacja w cieczach nienewtonowskich	267
18.6.1. Prędkość początku fluidyzacji	267
18.6.2. Ekspansja złoża fluidalnego	269
19. TRANSPORT FAZY STAŁEJ W PRZEWODACH	277
19.1. Informacje podstawowe	277
19.1.1. Wprowadzenie	277
19.1.2. Ogólne równania transportu	278
19.2. Transport hydrauliczny	282

19.2.1. Charakterystyka ogólna	282
19.2.2. Przewody poziome	283
19.2.3. Przewody pionowe	291
19.3. Transport pneumatyczny	293
19.3.1. Wprowadzenie	293
19.3.2. Przewody poziome	293
19.3.3. Przewody pionowe	296
PRZYKŁADY OBLICZEŃ	301
LITERATURA	311

## **Część IV**

<b>PRZEPŁYW MIESZANIN CIECZ-GAZ</b>	<b>321</b>
20. FORMOWANIE SIĘ PĘCHERZY GAZOWYCH	323
20.1. Wprowadzenie	323
20.2. Modele formowania się pęcherzy w cieczach newtonowskich	324
20.2.1. Informacje wstępne	324
20.2.2. Model Davidsona-Schulera	325
20.2.3. Model Kumara-Kuloora	326
20.2.4. Model Pinczewskiego	328
20.3. Formowanie się pęcherzy w cieczach nienewtonowskich	329
21. PRĘDKOŚĆ PRZEPŁYWU PĘCHERZY GAZOWYCH	333
21.1. Wprowadzenie	333
21.2. Współczynnik oporu ośrodka przy przepływie pęcherzy w cieczach newtonowskich	340
21.3. Równania korelacyjne opisujące prędkość przepływu pęcherzy	344
21.4. Przepływ pęcherzy gazowych w cieczach newtonowskich	348
21.4.1. Mechanizm przepływu pęcherzy	348
21.4.2. Prędkość przepływu pęcherzy	352
21.5. Prędkość przepływu roju pęcherzy	356
21.5.1. Sposoby określania prędkości przepływu roju pęcherzy	356
21.5.2. Przepływ roju pęcherzy w cieczach nienewtonowskich	359
21.6. Efekty przyścienne	361
21.7. Przepływ pęcherzy gazowych w polu sił odśrodkowych	364
21.8. Podsumowanie	367
22. STRUKTURY PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO	369
22.1. Wprowadzenie	369
22.2. Struktury przepływu dwufazowego w przewodach poziomych	369
22.2.1. Rodzaje przepływów dwufazowych w przewodach poziomych	369
22.2.2. Mapy przepływu	372
22.3. Struktury przepływu dwufazowego w przewodach pionowych	384
22.3.1. Rodzaje przepływów dwufazowych w przewodach pionowych	384
22.3.2. Mapy przepływu	386
22.4. Mapy przepływu dwufazowego ciecz nienewtonowska-gaz	390
22.5. Struktury przepływu dwufazowego w przepływie nieadiabatyicznym	392

22.6. Podsumowanie	395
23. UDZIAŁY FAZ W PRZEPŁYWAJĄCEJ MIESZANINIE DWUFAZOWEJ	397
23.1. Wielkości określające udział faz	397
23.2. Model Zuber-Findlaya	398
23.3. Równania korelacyjne opisujące udział faz w przepływającej mieszaninie dwufazowej	402
23.4. Udział faz w przepływie w przewodach mieszaniny ciecz nienewtonowska-gaz	410
23.5. Podsumowanie	416
24. OPORY PRZEPŁYWU MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ-GAZ	417
24.1. Wprowadzenie	417
24.2. Model homogeniczny	419
24.3. Modele rozdzielonego przepływu faz	420
24.3.1. Wprowadzenie	420
24.3.2. Korelacja Lockharta-Martinellogo i jej modyfikacje	420
24.3.3. Korelacja Martinellogo-Nelsona	428
24.4. Modele opisujące opory przepływu dla poszczególnych struktur przepływu dwufazowego	431
24.5. Wybrane równania korelacyjne opisujące opory przepływu mieszaniny dwufazowej	436
24.6. Opory przepływu mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska-gaz	438
24.6.1. Wstęp	438
24.6.2. Mechanizm obniżenia oporów przepływu	439
24.6.3. Metody określania oporów przepływu dwufazowego	443
24.6.4. Oszczędności energetyczne w przepływie dwufazowym cieczy nienewtonowskich	456
24.7. Podsumowanie	460
25. TEORIA BARBOTAŻU	463
25.1. Teoria van Krevelena	463
25.2. Podstawy techniki i technologii napowietrzania cieczy	467
25.2.1. Znaczenie procesu napowietrzania i rodzaje napowietrzaczy	467
25.2.2. Parametry charakteryzujące proces napowietrzania	471
25.2.3. Porównanie systemów napowietrzania	473
25.2.4. Nowe tendencje w technologii napowietrzania cieczy	473
26. PRZEPŁYW MIESZANIN DWUFAZOWYCH W MIKROKANAŁACH	475
26.1. Informacje wprowadzające	475
26.2. Struktury przepływu	476
26.3. Udziały faz	481
26.4. Opory przepływu	483
27. PRZEPŁYW MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ-GAZ W WARUNKACH ZMNIJSZONEJ GRAWITACJI	487
28. PRZEPŁYW ROZPYLONEJ CIECZY	493
28.1. Wiadomości ogólne	493
28.2. Tworzenie się kropeł	493

28.3. Wtórny rozpad kropeł	497
28.4. Ruch kropeł	498
28.4.1. Wprowadzenie	498
28.4.2. Opadanie kropeł	498
28.4.3. Ruch pojedynczych kropeł	499
28.4.4. Ruch strugi kropeł	504
28.5. Klasyfikacja rozpylaczy	507
28.6. Parametry rozpylonej strugi cieczy	510
28.6.1. Informacje ogólne	510
28.6.2. Parametry makroskopowe	510
28.6.3. Parametry mikroskopowe	512
28.7. Dziedziny stosowania rozpylonej cieczy	513
PRZYKŁADY OBLICZEŃ	517
LITERATURA	535

## **Część V**

<b>PRZEPŁYW MIESZANIN CIECZ-CIECZ</b>	<b>549</b>
29. WŁAŚCIWOŚCI MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ-CIECZ	551
29.1. Klasyfikacja mieszanin dwufazowych ciecz-ciecz	551
29.2. Osobliwe właściwości mieszanin ciecz-ciecz	556
29.2.1. Wprowadzenie	556
29.2.2. Różnorodność wzajemnych relacji parametrów fizykochemicznych obu faz	556
29.2.3. Specyficzne warunki procesowe dla wytwarzania określonego typu mieszaniny ciecz-ciecz	557
29.2.4. Inwersja faz	559
29.2.5. Zmiana lepkości mieszaniny ciecz-ciecz podczas przepływu w przewodzie	563
30. PODSTAWOWE PARAMETRY PRZEPŁYWU MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ-CIECZ	565
30.1. Struktury przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-ciecz	565
30.2. Udziały faz w przepływie dwufazowym ciecz-ciecz	574
30.3. Opory przepływu mieszanin ciecz-ciecz	576
30.3.1. Informacje wprowadzające	576
30.3.2. Model homogeniczny	577
30.3.3. Model rozdzielonych faz	578
30.3.4. Równania korelacyjne spadków ciśnienia dla poszczególnych struktur przepływu ciecz-ciecz	582
30.3.5. Uniwersalne równanie korelacyjne	584
30.3.6. Efekt redukcji oporów przepływu mieszanin ciecz-ciecz	586
31. PRZEPŁYW MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ-CIECZ W MIKROKANAŁACH	589
32. METODY WYTWARZANIA EMULSJI	593
PRZYKŁADY OBLICZEŃ	597
LITERATURA	603

<b>Część VI</b>	
<b>POMIARY PARAMETRÓW PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO</b>	<b>609</b>
33. WPROWADZENIE	611
34. POMIARY PARAMETRÓW FAZY ROZPROSZONEJ	615
34.1. Parametry geometryczne i przepływowe pęcherzy	615
34.2. Parametry geometryczne i przepływowe kropel	621
34.2.1. Klasyfikacja metod pomiarowych	621
34.2.2. Metody kontaktowe	621
34.2.3. Metody bezkontaktowe	624
34.3. Parametry geometryczne i przepływowe cząstek ciała stałego	628
35. POMIARY UDZIAŁÓW FAZ W MIESZANINIE DWUFAZOWEJ	639
35.1. Parametry określające udziały faz	639
35.2. Mieszanina ciecz-gaz	639
35.3. Mieszanina gaz-cząstki ciała stałego	644
35.3.1. Wprowadzenie	644
35.3.2. Pomiary zapylenia w atmosferze	644
35.3.3. Pomiary w kanałach	646
36. POMIARY STRUMIENIA OBJĘTOŚCI I STRUMIENIA MASY MIESZANIN DWUFAZOWYCH	651
37. POMIARY STRUKTUR PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO	659
37.1. Warunki pomiarów	659
37.2. Identyfikacja struktur przepływu dwufazowego gaz-ciecz	659
37.3. Struktura przepływu w złożu fluidalnym gaz-cząstki ciała stałego	665
38. KOMPUTEROWA ANALIZA OBRAZU PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO	667
<b>LITERATURA</b>	<b>673</b>
<b>SŁOWNIK ANGIELSKO-POLSKI WYBRANYCH TERMINÓW Z ZAKRESU PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH</b>	<b>675</b>
<b>SŁOWNIK POLSKO-ANGIELSKI WYBRANYCH TERMINÓW Z ZAKRESU PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH</b>	<b>677</b>
<b>SKOROWIDZ</b>	<b>679</b>