

Zdzisław Orzechowski
Jerzy Prywer
Roman Zarzycki

ZADANIA
Z MECHANIKI
PŁYNÓW
w inżynierii środowiska



ZADANIA
Z MECHANIKI
PŁYNÓW

w inżynierii środowiska

INŻYNIERIA

I OCHRONA ŚRODOWISKA

W latach osiemdziesiątych XX wieku sformułowano ideę zrównoważonego rozwoju, tzw. ekorozwoju, zgodnie z którą rozwój społeczny, a także gospodarczy nie może odbywać się kosztem nieodwracalnego zniszczenia środowiska naturalnego.

Tematyka książek z serii *Inżynieria i ochrona środowiska* obejmuje zagadnienia zarówno teoretyczne, jak i praktyczne, dotyczące:

- zasad ekorozwoju;
- zarządzania środowiskiem;
- ekonomii środowiska;
- technologii ochrony wód, powietrza i litosfery;
- inżynierii i bezpieczeństwa ekologicznego i procesowego.

Wydawnictwo poleca tę serię podręczników studentom kierunków inżynieria i ochrona środowiska, którzy w życiu zawodowym będą wdrażali ideę ekorozwoju do przemysłu, rolnictwa i gospodarki komunalnej.

Zdzisław Orzechowski
Jerzy Prywer
Roman Zarzycki

ZADANIA Z MECHANIKI PŁYNÓW

w inżynierii środowiska

Opiniodawcy:
prof. dr inż. Marek Roman
prof. dr hab. inż. Leon Troniewski

Redaktor: *mgr inż. Marek Kośnik*
Projekt okładki i stron tytułowych: *Anna Gogolewska*
Zdjęcie na okładce: *Jozef Jankola/123rf*
Redaktor techniczny: *Grażyna Miazek*
Korekta: *Zespól*
Skład i łamanie: *ARTPRESS s.c. Studio Grafiki Komputerowej*

Wydawca: *Adam Filutowski*

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © by Wydawnictwo WNT
Warszawa 2001
Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2018

ISBN 978-83-01-19847-3

Wydanie I – 1 dodruk (PWN)
Warszawa 2018

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl; reklama@pwn.pl
www.pwn.pl

Druk i oprawa: OSDW Azymut Sp. z o.o.

Spis treści

Przedmowa 7

Wykaz ważniejszych oznaczeń 9

Część I

MECHANIKA PRZEPŁYWÓW JEDNOFAZOWYCH 15

- 1. Wiadomości wstępne 16**
- 2. Statyka płynów 30**
- 3. Kinematyka płynów 59**
- 4. Dynamika płynów doskonałych 68**
- 5. Dynamika płynów rzeczywistych 85**
- 6. Różniczkowe równania bilansowe dla płynów wieloskładnikowych 113**
- 7. Przepływy w przewodach zamkniętych 119**
- 8. Przepływy w kanałach otwartych 160**
- 9. Opływ ciał 174**
- 10. Zarys dynamiki gazów ściśliwych 184**
- 11. Czas przebywania płynu w zbiorniku 191**
- 12. Wybrane zagadnienia maszyn przepływowych 201**
- 13. Przepływy z wymianą ciepła 221**

Część II**MECHANIKA PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH 235**

- 14. Podstawowe problemy przepływów dwufazowych 236**
- 15. Modele przepływów dwufazowych 248**
- 16. Ruch rozproszonej fazy stałej 264**
- 17. Aerodynamika atmosfery 283**
- 18. Sedymentacja 289**
- 19. Przepływ przez warstwy sypkie i porowate 297**
- 20. Filtracja 315**
- 21. Fluidyzacja 322**
- 22. Rozpylanie cieczy 329**
- 23. Wznoszenie się pęcherzy w cieczy 340**
- DODATEK. Tablice i wykresy 352**
- Literatura 380**

Przedmowa

Podręcznik jest zbiorem 320 zadań z mechaniki płynów. W każdym rozdziale zamieszczono zadania w pełni rozwiązane oraz zadania do samodzielnego rozwiązania z podanymi wynikami końcowymi. Zadania są o różnym stopniu trudności, dlatego trudniejsze z nich zaznaczono odpowiednio jedną lub dwiema gwiazdkami.

Zadania w niniejszym zbiorze uzupełniają i ilustrują zastosowanie teorii zawartej w monografii Z. Orzechowskiego, J. Prywera, R. Zarzyckiego pt. „Mechanika płynów w inżynierii środowiska” (Warszawa, WNT 1997). Z tego powodu nie umieszczono w nim zagadnień teoretycznych. Utrzymano również ten sam podział na 23 rozdziały, jak w monografii, a liczba zadań w każdym rozdziale jest proporcjonalna do ilości materiału zawartego w jej poszczególnych rozdziałach.

Treść podręcznika zaczerpnięto z innych tego rodzaju podręczników, a zwłaszcza ze skryptu Z. Orzechowskiego, P. Wiewiórskiego pt. „Ćwiczenia audytoryjne z mechaniki płynów”, wyd. VI, dostosowanego do programu studiów magisterskich na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Dotyczy to jednak tylko zadań z przepływów jednofazowych, natomiast zadania z przepływów dwufazowych stanowią oryginalny, nigdzie nie publikowany materiał własny autorów.

Na końcu podręcznika zamieszczono zbiór tablic i wykresów pomocniczych, z których korzystano przy rozwiązywaniu zadań; mogą być one przydatne także do innych zadań podobnego typu.

Podręcznik jest przede wszystkim przeznaczony dla studentów inżynierii środowiska. Może również zainteresować studentów i inżynierów innych wydziałów, mających w swym programie nauczanie mechaniki płynów.

Autorzy

Wykaz ważniejszych oznaczeń

a	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	prędkość dźwięku
A	m^2	powierzchnia, powierzchnia przekroju przewodu, kanału lub strugi
Ar	—	liczba Archimedesesa
b	m	szerokość, szerokość kanału otwartego
c	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	ciepło właściwe
c	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	prędkość fali ciśnieniowej
c_x	—	współczynnik oporu
C	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	stężenie składnika
d	m	średnica cząstki, kropli i pęcherza
d_h	m	średnica hydrauliczna
D	m	średnica przewodu lub kanału
D_{AB}	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	współczynnik dyfuzji molekularnej, kinematyczny
		współczynnik dyfuzji
D_S	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	współczynnik dyspersji
E	—	zewnątrzna funkcja rozkładu czasu przebywania
Eu	—	liczba Eulera
F	N	siła ciśnieniowa, parcie
F_m	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	jednostkowa siła masowa
Fr	—	liczba Froude'a
g	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	przyspieszenie ziemskie
G	N	ciężar