

Ryszard Błażejowski

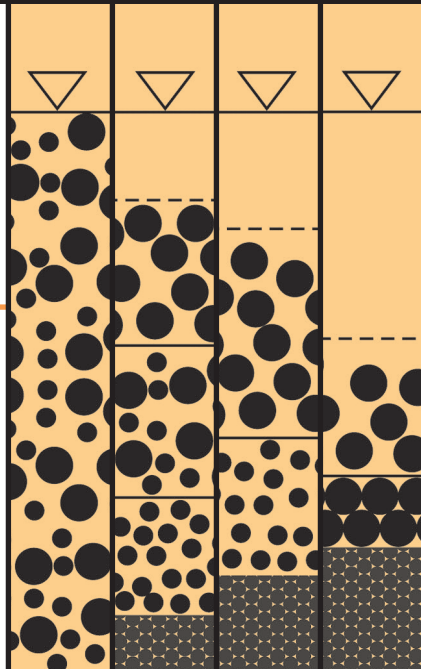


ŚRODOWISKO



SEDYMENTACJA CZĄSTEK CIAŁA STAŁEGO

Podstawy teorii
z przykładami zastosowań



Ryszard Błażejowski

**SEDYMENTACJA
CZĄSTEK
CIAŁA STAŁEGO**

**Podstawy teorii
z przykładami zastosowań**



ŚRODOWISKO

Ryszard Błażejowski

SEDYMENTACJA CZĄSTEK CIAŁA STAŁEGO

Podstawy teorii
z przykładami zastosowań

 PWN

[Kup książkę](#)

Projekt okładki i stron tytułowych *Joanna Sobieraj*

Ilustracja na okładce *Kekyalyaynen/Shutterstock*

Recenzenci prof. dr hab. inż. Włodzimierz P. Kowalski
dr hab. Piotr Szymczak

Wydawca *Izabela Ewa Mika*

Redaktor prowadzący *Irena Puchalska*

Redaktor *Maria Kasperska*

Produkcja *Mariola Grzywacka*

Łamanie *Ewa Szelatyńska, ScanSystem.pl*

Wydanie publikacji dofinansowane przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

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 Naukowe PWN SA
Warszawa 2015

ISBN: 978-83-01-18147-5

Wydanie pierwsze

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
infolinia 801 33 33 88
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288
e-mail: pwn@pwn.com.pl, www.pwn.pl

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

[Kup książkę](#)

Spis treści

Przedmowa	VII
Ważniejsze oznaczenia	IX
1. Wstęp	1
2. Opadanie pojedynczej cząstki ciała stałego w płynie	5
2.1. Charakterystyka cząstek stałych	5
2.2. Swobodne opadanie pojedynczej cząstki	7
2.2.1. Opadanie cząstki kulistej	7
2.2.2. Opadanie pojedynczych cząstek niekulistych o regularnych kształtach	23
2.2.3. Opadanie pojedynczych cząstek o nieregularnych kształtach	29
2.3. Opadanie sztywnej kuli w ruchu nieustalonym	30
2.4. Opadanie pojedynczej cząstki w płynie ograniczonym ścianami	32
2.4.1. Kula w cylindrze	32
2.4.2. Walec w cylindrze	38
2.4.3. Kula między równoległymi płytami	39
2.5. Sedymentacja w polu sił odśrodkowych	42
3. Swobodne opadanie kilku cząstek	45
3.1. Wprowadzenie	45
3.2. Opadanie dwóch cząstek kulistych	45
3.3. Opadanie trzech cząstek kulistych	52
3.4. Opadanie aglomeratów cząstek	54
3.4.1. Charakterystyka aglomeratów	54
3.4.2. Właściwości sedymentacyjne pojedynczych aglomeratów	60
4. Rodzaje zawiesin i ich właściwości	69
4.1. Definicja i rodzaje zawiesin	69
4.2. Właściwości zawiesin	70
4.2.1. Udziały faz w zawieszynie	70
4.2.2. Gęstość zawiesiny	72
4.2.3. Lepkość zawiesin	73
4.3. Rodzaje sedymentacji zawiesin	85

5. Opadanie cząstek ziarnistych w zawieszinie	87
5.1. Sedymentacja zawiesin monodispersyjnych w nieograniczonej przestrzeni	87
5.1.1. Zawiesiny z przypadkowym rozmieszczeniem cząstek	87
5.1.2. Modele sedymentacji zawiesiny jako regularnego układu kul	98
5.2. Ruch pojedynczych dużych cząstek w zawieszinie	102
5.3. Sedymentacja zawiesin polidispersyjnych w nieograniczonej przestrzeni	103
5.4. Sedymentacja zawiesiny monodispersyjnej w naczyniu o pionowych ściankach	104
5.4.1. Sedymentacja okresowa	104
5.4.2. Sedymentacja ciągła	112
5.5. Sedymentacja zawiesin polidispersyjnych w naczyniu o pionowych ściankach	115
5.6. Model osadnika prostopadłościennego o przepływie poziomym	118
5.7. Sedymentacja zawiesin w nachylonych naczyniach i przewodach	122
5.8. Sedymentacja zawiesin w naczyniu stożkowym	127
5.9. Sedymentacja zawiesiny w polu sił odśrodkowych	129
6. Opadanie cząstek kłaczkowatych w zawieszinie	132
6.1. Koagulacja i flokulacja	132
6.2. Opadanie kłaczków w zawieszinie	136
6.3. Jednowymiarowe modele osadników wtórnych o pracy ciągłej	141
6.3.1. Model granicznej gęstości strumienia osadu	141
6.3.2. Modele kinetyczne	144
Literatura	150
Skorowidz	162

Przedmowa

Książka jest adresowana do studentów kierunków: inżynieria środowiska oraz inżynieria chemiczna i procesowa, a także do doktorantów i wszystkich zainteresowanych zjawiskiem sedymentacji, czyli opadaniem cząstek ciała stałego w cieczy lub gazie.

Niniejsza praca jest próbą wypełnienia pewnej luki w polskim piśmiennictwie. Moim celem było przedstawienie elementarnej wiedzy na temat zjawiska sedymentacji cząstek ciała stałego w płynach – głównie w cieczach newtonowskich, i pokazanie niektórych istotnych zastosowań omawianych zjawisk fizycznych. Z uwagi na złożoność przepływów z wymianą ciepła z otoczeniem dodatkowo ograniczyłem zakres materiału do przepływów adiabatycznych. Z tego samego powodu książka traktuje głównie o jednowymiarowych przepływach dwufazowych i tylko w niewielkim stopniu odnosi się do zagadnień hydrotransportu zawieszin w rurociągach i teorii hydrocyklonów.

Materiał książki podzieliłem na pięć rozdziałów (nie licząc Wstępu) tak, aby prześledzić zjawiska sedymentacji i podać ich przybliżony opis matematyczny – zaczynając od najprostszych przypadków (ruch pojedynczej cząstki kulistej opadającej bardzo powoli w nieograniczonym płynie), a kończąc na najbardziej skomplikowanych (ruch cząstek ciała stałego o różnych wymiarach i kształtach w gęstych zawiesinach, opadających stosunkowo szybko w naczyniach lub zbiornikach).

Matematyczny opis sedymentacji bywa bardzo skomplikowany i wymaga specjalistycznego przygotowania, dlatego też wykorzystałem stosunkowo skromny aparat matematyczny, dostępny większości studentów studiów matematyczno-fizycznych i technicznych. Mimo względnej prostoty opisu matematycznego nie jest on miejscami łatwy do zrozumienia i wymaga wysiłku, choćby przy rozwiązywaniu przykładowych zadań, których tok obliczeń i wyniki Czytelnik może sprawdzić po próbie rozwiązania własnym sposobem.

Składam podziękowania osobom, które pomogły w przygotowaniu tej monografii: pani mgr Elżbiecie Zeyland za szybkie dostarczanie niezbędnej literatury, panu dr. Klausowi Rickertowi za umożliwienie korzystania ze zbiorów biblioteki Uniwersytetu Leibniza w Hanowerze, panu dr. inż. Janowi Borowskiemu za użyczenie literatury i dyskusje o sedymentacji i innych przepływach dwufazowych, a panu mgr. Grzegorzowi Jaszcza-kowi za wykonanie części rysunków.

Za umożliwienie kontaktów ze środowiskiem warszawskich fizyków zajmujących się sedymentacją i wnikliwą recenzję dziękuję panu dr. hab. Piotrowi Szymczakowi z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Panu prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi P. Kowalskiemu jestem wdzięczny za ukazanie siły teorii w zastosowaniach praktycznych, a także za życzliwą i konstruktywnie krytyczną recenzję. Dziękuję także pani prof. Marii L. Ekiel-Jeżewskiej za poprawki wniesione do niektórych fragmentów tekstu i zgodę na wykorzystanie dwóch rysunków. Wszelkie uwagi krytyczne i komentarze Czytelników chętnie przyjmę pod adresem rblaz@up.poznan.pl i postaram się na nie odpowiedzieć.

Panie redaktor Izabela Mika i Maria Kasperska pomogły mi skutecznie przezwyciężyć trudności formalne i edytorskie, a dofinansowanie druku okazało się możliwe dzięki pomocy finansowej Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, za co uprzejmie dziękuję.

Mojej Żonie, Sadżide, dziękuję za wszechstronne wsparcie, a szczególnie za wiarę oraz podtrzymywanie we mnie wiary w możliwość ukończenia tej książki.

Przeźmierowo-Poznań, styczeń 2015 r.

Ryszard Błazejewski