

**PRZYKŁADY
I ZADANIA
Z PODSTAW
INŻYNIERII
CHEMICZNEJ
I PROCESOWEJ**

pod redakcją Iwony Hołowacz

Gdańsk 2024

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
Janusz T. Cieśliński

RECENZENT
Paweł Sobieszuk

REDAKCJA JĘZYKOWA
Agnieszka Frankiewicz

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI
Wioleta Lipska-Kamińska

Wydanie I – 2017

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://www.sklep.pg.edu.pl>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2024

ISBN 978-83-7348-916-5

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie IV. Ark. wyd. 9,0, ark. druku 11,5, 1262/1302

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
1. Przepływy płynów (Donata Konopacka-Łyskawa, Iwona Hołowacz)	9
Wykaz ważniejszych oznaczeń	9
1.1. Przykłady	10
1.1.1. Strata ciśnienia powietrza w przewodzie wentylacyjnym	10
1.1.2. Średnica przewężenia w przewodzie niezbędna do pojawienia się kavitacji	11
1.1.3. Skraplacz barometryczny	12
1.1.4. Czas opróżniania zbiornika	14
1.1.5. Poziom zamontowania zbiornika zasilającego instalację	16
1.1.6. Moc pompy dla przykładowej instalacji	17
1.1.7. Straty ciśnienia na filtrze piaskowym	20
1.1.8. Opory przepływu fazy gazowej w kolumnie absorpcyjnej	21
1.2. Zadania	24
2. Opadanie cząstek w płynach (Jacek Gębicki, Donata Konopacka-Łyskawa)	30
Wykaz ważniejszych oznaczeń	30
2.1. Przykłady	30
2.1.1. Prędkość opadania cząstki o danej średnicy	30
2.1.2. Średnica cząstki opadającej ze znaną prędkością	31
2.1.3. Oszacowanie strefy zapylenia	32
2.1.4. Klasyfikator hydrauliczny	33
2.1.5. Komora pyłowa	36
2.2. Zadania	38
3. Filtracja (Jacek Gębicki, Iwona Hołowacz)	41
Wykaz ważniejszych oznaczeń	41
3.1. Przykłady	42
3.1.1. Czas filtracji i czas przemywania dla filtracji pod stałym ciśnieniem	42
3.1.2. Objętość filtratu uzyskanego podczas filtracji pod stałym ciśnieniem	42
3.1.3. Filtracja dwustopniowa	43

3.1.4. Prasa filtracyjna	45
3.1.5. Filtr obrotowy	46
3.1.6. Wydajność filtracji	48
3.2. Zadania	50
4. Wymiana ciepła (Tomasz Andrzejewski, Jacek Gębicki, Iwona Hołowacz, Donata Konopacka-Łyskawa)	53
Wykaz ważniejszych oznaczeń	53
4.1. Przykłady	54
4.1.1. Konwekcja swobodna i promieniowanie	54
4.1.2. Konwekcja wymuszona	55
4.1.3. Przenikanie ciepła przez ściankę płaską wielowarstwową	57
4.1.4. Przenikanie ciepła w płaszczowo-rurowym wymienniku ciepła	59
4.1.5. Poziomy płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła	61
4.2. Zadania	65
5. Destylacja (Iwona Hołowacz, Donata Konopacka-Łyskawa)	69
Wykaz ważniejszych oznaczeń	69
5.1. Przykłady	70
5.1.1. Sporządzanie wykresów fazowych w układach współrzędnych $t = f(x, y)$ i $y = f(x)$	70
5.1.2. Temperatura procesu destylacji równowagowej	73
5.1.3. Destylacja równowagowa	75
5.1.4. Destylacja równowagowa do dwóch odbieralników	76
5.1.5. Równanie Rayleigha, metoda graficzna i analityczna	78
5.1.6. Destylacja różniczkowa (prosta)	80
5.2. Zadania	81
6. Rektyfikacja (Iwona Hołowacz, Donata Konopacka-Łyskawa)	84
Wykaz ważniejszych oznaczeń	84
6.1. Przykłady	85
6.1.1. Przebieg linii operacyjnych oraz przepływy cieczy i oparów w kolumnie rektyfikacyjnej	85
6.1.2. Wyznaczanie liczby pól teoretycznych metodą McCabe-Thiele'a ...	90
6.1.3. Wyznaczanie liczby pól teoretycznych metodą Savarit-Ponchona	92
6.1.4. Wyznaczanie powierzchni wymiany ciepła w kotle i skraplaczu kolumny rektyfikacyjnej	96
6.1.5. Obliczanie wymiarów kolumny rektyfikacyjnej	100
6.2. Zadania	105
7. Absorpcja (Donata Konopacka-Łyskawa, Iwona Hołowacz)	109
Wykaz ważniejszych oznaczeń	109
7.1. Przykłady	110

7.1.1. Wysokość wypełnienia przeciwprądowej kolumny absorpcyjnej	110
7.1.2. Porównanie pracy absorbera przeciwprądowego i współprądowego	114
7.1.3. Wysokość wypełnienia przeciwprądowej kolumny absorpcyjnej z recyrkulacją	118
7.1.4. Liczba pólek rzeczywistych w kolumnie absorpcyjnej	121
7.1.5. Średnica wypełnionej kolumny absorpcyjnej	123
7.1.6. Bateria absorpcyjna	125
7.2. Zadania	129
8. Ekstrakcja (Tomasz Andrzejewski, Iwona Hołowacz, Donata Konopacka-Łyskawa) ...	134
Wykaz ważniejszych oznaczeń	134
8.1. Przykłady	134
8.1.1. Równowaga ekstrakcyjna dana na trójkącie Gibbsa	134
8.1.1.1. Ekstrakcja jednostopniowa	134
8.1.1.2. Ekstrakcja wielostopniowa współprądowa	136
8.1.1.3. Ekstrakcja wielostopniowa przeciwprądowa	139
8.1.2. Równowaga ekstrakcyjna dana w układzie prostokątnym – z brakiem lub pomijalnie małą rozpuszczalnością ekstrahenta w rozpuszczalniku pierwotnym	141
8.1.2.1. Ekstrakcja jednostopniowa	141
8.1.2.2. Ekstrakcja wielostopniowa współprądowa	144
8.1.2.3. Ekstrakcja wielostopniowa przeciwprądowa	148
8.2. Zadania	150
9. Suszenie (Grzegorz Boczkaj, Donata Konopacka-Łyskawa, Iwona Hołowacz)	154
Wykaz ważniejszych oznaczeń	154
9.1. Przykłady	154
9.1.1. Wyznaczanie wilgotności powietrza na podstawie wskazań temperatury wilgotnego termometru.....	155
9.1.2. Mieszanie strumieni powietrza wilgotnego	156
9.1.3. Czas suszenia materiału wilgotnego	161
9.1.4. Bilans masowy suszarki	164
9.1.5. Zużycie czynnika suszącego	164
9.1.6. Zapotrzebowanie na ciepło w suszarce	165
9.2. Zadania	167
10. Tablice	169
Bibliografia	183
Streszczenia w języku polskim i angielskim	184

PRZEDMOWA

Skrypt *Przykłady i zadania z podstaw inżynierii chemicznej i procesowej* jest przeznaczony dla studentów Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej jako pomoc do zajęć realizowanych w ramach kursu *inżynierii chemicznej* oraz *inżynierii i aparatury procesowej*. Oddawana do rąk czytelników pozycja, zawierająca usystematyzowany zbiór przykładów obliczeniowych z wybranych operacji jednostkowych i procesów stosowanych w inżynierii chemicznej i procesowej, stanowi uzupełnienie podręcznika *Podstawy inżynierii chemicznej i procesowej*.

Zamieszczone w kolejnych rozdziałach przykłady przygotowano w taki sposób, aby ilustrowały zastosowanie teorii do ilościowego opisu zagadnień z zakresu podstaw przepływu płynów, procesów wymiany ciepła i procesów wymiany masy. Szczegółowo omówiony tok postępowania przy rozwiązywaniu przykładów ma ułatwić zrozumienie i utrwalenie wiedzy ogólnej i dostarczyć wskazówek do sposobu wykorzystania tej wiedzy przy samodzielnym rozwiązywaniu konkretnych problemów. W tym celu na końcu każdego rozdziału zamieszczono zadania, dla których podano jedynie wyniki końcowe.

W ostatnim rozdziale skryptu zestawiono tablice pomocnicze, ułatwiające samodzielne rozwiązywanie zadań, natomiast na końcu książki czytelnik chcący poszerzyć swoją wiedzę z zaprezentowanego w opracowaniu zakresu inżynierii chemicznej i procesowej znajdzie wybraną literaturę przedmiotu.

Mamy nadzieję, że niniejszy skrypt zachęci przyszłych inżynierów do pogłębiania wiedzy i zdobywania praktycznych umiejętności niezbędnych do prawidłowego projektowania operacji jednostkowych i procesów realizowanych w przemyśle chemicznym i ochronie środowiska.

Iwona Hołowacz

*Tomasz Andrzejewski, Grzegorz Boczkaj,
Jacek Gębicki, Donata Konopacka-Łyskawa*