

*Wprowadzenie do*

# JAVY

PROGRAMOWANIE  
I STRUKTURY DANYCH

WYDANIE XII



Y. DANIEL LIANG

Tytuł oryginału: Introduction to Java Programming and Data Structures, Comprehensive Version (12th Edition)

Tłumaczenie: Tomasz Walczak

ISBN: 978-83-283-7082-1

Authorized translation from the English language edition, entitled INTRODUCTION TO JAVA PROGRAMMING AND DATA STRUCTURES, COMPREHENSIVE VERSION, 12th Edition by Y. LIANG, published by Pearson Education, Inc, publishing as Pearson, Copyright © 2020, 2018, 2015 by Pearson Education, Inc. or its affiliates, 221 River Street, Hoboken, NJ 07030.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

POLISH language edition published by Helion SA, Copyright © 2021.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of the Microsoft Corporation in the U.S.A. and other countries. This book is not sponsored or endorsed by or affiliated with the Microsoft Corporation.

PEARSON, ALWAYS LEARNING, and MYLAB are exclusive trademarks owned by Pearson Education, Inc. or its affiliates in the U.S. and/or other countries.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Helion SA dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Helion SA nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Helion SA

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Materiały graficzne na okładce zostały wykorzystane za zgodą Shutterstock Images LLC.

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem: <ftp://ftp.helion.pl/przyklady/wpja12.zip>

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie/wpja12>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- [Lubię to!](#) » [Nasza społeczność](#)

# SPIS TREŚCI

---

<b>Przedmowa</b>	<b>19</b>
<b>Rozdział 1. Wprowadzenie do komputerów, programów i Javy™</b>	<b>27</b>
1.1. Wprowadzenie	28
1.2. Czym jest komputer?	28
1.3. Języki programowania	33
1.4. Systemy operacyjne	36
1.5. Java, sieć WWW i inne zagadnienia	37
1.6. Specyfikacja Javy, API, JDK, JRE i IDE	38
1.7. Prosty program w Javie	39
1.8. Tworzenie, kompilowanie i wykonywanie programu w Javie	42
1.9. Styl programowania i dokumentacja	46
1.10. Błędy w programach	47
1.11. Tworzenie programów za pomocą środowiska NetBeans	51
1.12. Tworzenie programów w Javie z użyciem środowiska Eclipse	54
<b>Rozdział 2. Podstawy programowania</b>	<b>61</b>
2.1. Wprowadzenie	62
2.2. Pisanie prostego programu	62
2.3. Wczytywanie danych wejściowych z konsoli	65
2.4. Identyfikatory	68
2.5. Zmienne	69
2.6. Instrukcje przypisania i wyrażenia przypisania	70
2.7. Stałe nazwane	72
2.8. Konwencje nazewnicze	73
2.9. Liczbowe typy danych i operacje na nich	73
2.10. Literały liczbowe	78
2.11. Narzędzie JShell	79
2.12. Obliczanie wyrażień i priorytety operatorów	82
2.13. Studium przypadku: wyświetlanie aktualnego czasu	83
2.14. Złożone operatory przypisania	85
2.15. Operatory inkrementacji i dekrementacji	86
2.16. Konwersje typów liczbowych	88
2.17. Proces rozwoju oprogramowania	91
2.18. Studium przypadku: przeliczanie kwot pieniędzy na mniejsze nominały	95
2.19. Często występujące błędy i pułapki	97

<b>Rozdział 3. Instrukcje sterujące</b>	<b>109</b>
3.1. Wprowadzenie	110
3.2. Typ danych boolean oraz wartości i wyrażenia logiczne	110
3.3. Instrukcje if	112
3.4. Instrukcje if-else z dwiema ścieżkami	115
3.5. Zagnieżdżone instrukcje if i instrukcje if-else z wieloma ścieżkami	116
3.6. Typowe błędy i pułapki	118
3.7. Generowanie liczb losowych	122
3.8. Studium przypadku: obliczanie wskaźnika BMI	124
3.9. Studium przypadku: obliczanie podatków	126
3.10. Operatory logiczne	129
3.11. Studium przypadku: wykrywanie roku przestępnego	133
3.12. Studium przypadku: loteria	134
3.13. Instrukcje switch	136
3.14. Operatory warunkowe	140
3.15. Priorytety i łączność operatorów	141
3.16. Debugowanie	142
<b>Rozdział 4. Funkcje matematyczne, znaki i łańcuchy znaków</b>	<b>157</b>
4.1. Wprowadzenie	158
4.2. Standardowe funkcje matematyczne	158
4.3. Typ danych char i jego operacje	163
4.4. Typ String	169
4.5. Studia przypadku	178
4.6. Formatowanie danych wyjściowych w konsoli	185
<b>Rozdział 5. Pętle</b>	<b>199</b>
5.1. Wprowadzenie	200
5.2. Pętla while	200
5.3. Studium przypadku: zgadywanie liczb	203
5.4. Strategie projektowania pętli	206
5.5. Sterowanie pętlą na podstawie potwierdzenia od użytkownika lub wartości wartownika	209
5.6. Pętla do-while	212
5.7. Pętla for	214
5.8. Której pętli użyć?	218
5.9. Pętle zagnieżdżone	220
5.10. Minimalizowanie błędów numerycznych	222
5.11. Studia przypadków	224
5.12. Słowa kluczowe break i continue	229
5.13. Studium przypadku: wykrywanie palindromów	232
5.14. Studium przypadku: wyświetlanie liczb pierwszych	234

<b>Rozdział 6. Metody</b>	<b>249</b>
6.1. Wprowadzenie	250
6.2. Definiowanie metody	251
6.3. Wywoływanie metody	252
6.4. Metody void i metody zwracające wartość	255
6.5. Przekazywanie argumentów przez wartość	258
6.6. Pisanie modułowego kodu	262
6.7. Studium przypadku: przekształcanie liczb szesnastkowych na dziesiętne	264
6.8. Przeciążanie metod	266
6.9. Zasięg zmiennych	269
6.10. Studium przypadku: generowanie losowych znaków	271
6.11. Abstrakcja w postaci metody i stopniowe uszczegóławianie kodu	273
<b>Rozdział 7. Tablice jednowymiarowe</b>	<b>295</b>
7.1. Wprowadzenie	296
7.2. Podstawowe informacje o tablicach	296
7.3. Studium przypadku: analizowanie liczb	303
7.4. Studium przypadku: talia kart	304
7.5. Kopiowanie tablic	306
7.6. Przekazywanie tablic do metod	308
7.7. Zwracanie tablicy przez metodę	311
7.8. Studium przypadku: zliczanie wystąpień każdej litery	312
7.9. Listy argumentów o zmiennej długości	315
7.10. Wyszukiwanie w tablicach	316
7.11. Sortowanie tablic	320
7.12. Klasa Arrays	322
7.13. Argumenty wiersza poleceń	324
<b>Rozdział 8. Tablice wielowymiarowe</b>	<b>339</b>
8.1. Wprowadzenie	340
8.2. Podstawy tablic dwuwymiarowych	340
8.3. Przetwarzanie tablic dwuwymiarowych	343
8.4. Przekazywanie tablic dwuwymiarowych do metod	345
8.5. Studium przypadku: ocena testu wielokrotnego wyboru	347
8.6. Studium przypadku: znajdowanie pary najbliższych punktów	349
8.7. Studium przypadku: sudoku	351
8.8. Tablice wielowymiarowe	354
<b>Rozdział 9. Obiekty i klasy</b>	<b>375</b>
9.1. Wprowadzenie	376
9.2. Definiowanie klas służących do tworzenia obiektów	376
9.3. Przykład: definiowanie klas i tworzenie obiektów	378

9.4. Tworzenie obiektów z użyciem konstruktorów	383
9.5. Używanie obiektów za pomocą zmiennych referencyjnych	385
9.6. Używanie klas z biblioteki Javy	389
9.7. Zmienne, stałe i metody statyczne	392
9.8. Modyfikatory widoczności	398
9.9. Hermetyzacja pól	400
9.10. Przekazywanie obiektów do metod	402
9.11. Tablica obiektów	407
9.12. Niemodyfikowalne obiekty i klasy	409
9.13. Zasięg zmiennych	411
9.14. Referencja this	412

### **Rozdział 10. Myślenie obiektowe** **421**

10.1. Wprowadzenie	422
10.2. Abstrakcja w postaci klasy i hermetyzacja	422
10.3. Myślenie w sposób obiektowy	426
10.4. Relacje między klasami	429
10.5. Studium przypadku: projektowanie klasy Course	432
10.6. Studium przypadku: projektowanie klasy reprezentującej stos	434
10.7. Przetwarzanie wartości typów podstawowych jako obiektów	437
10.8. Automatyczna konwersja między typami podstawowymi a typami nakładkowymi	441
10.9. Klasy BigInteger i BigDecimal	442
10.10. Klasa String	443
10.11. Klasy StringBuilder i StringBuffer	451

### **Rozdział 11. Dziedziczenie i polimorfizm** **467**

11.1. Wprowadzenie	468
11.2. Nadklasy i podklasy	468
11.3. Używanie słowa kluczowego super	474
11.4. Przesłanianie metod	478
11.5. Przesłanianie a przeciążanie	478
11.6. Klasa Object i metoda toString()	480
11.7. Polimorfizm	481
11.8. Wiązanie dynamiczne	482
11.9. Rzutowanie obiektów i operator instanceof	486
11.10. Metoda equals z klasy Object	490
11.11. Klasa ArrayList	491
11.12. Przydatne metody dotyczące list	497
11.13. Studium przypadku: niestandardowa klasa reprezentująca stos	498
11.14. Dane i metody z modyfikatorem protected	500
11.15. Zapobieganie rozszerzaniu klas i przesłanianiu metod	502

<b>Rozdział 12. Obsługa wyjątków i tekstowe operacje wejścia – wyjścia</b>	<b>511</b>
12.1. Wprowadzenie	512
12.2. Omówienie obsługi wyjątków	512
12.3. Typy wyjątków	518
12.4. Deklarowanie, zgłaszanie i przechwytywanie wyjątków	520
12.5. Klauzula finally	529
12.6. Kiedy stosować wyjątki?	531
12.7. Ponowne zgłaszanie wyjątków	532
12.8. Łańcuch wyjątków	532
12.9. Definiowanie niestandardowych klas wyjątków	533
12.10. Klasa File	537
12.11. Plikowe operacje wejścia – wyjścia	539
12.12. Wczytywanie danych z internetu	547
12.13. Studium przypadku: robot internetowy	549
<b>Rozdział 13. Klasy abstrakcyjne i interfejsy</b>	<b>559</b>
13.1. Wprowadzenie	560
13.2. Klasy abstrakcyjne	560
13.3. Studium przypadku: klasa abstrakcyjna Number	565
13.4. Studium przypadku: Calendar i GregorianCalendar	568
13.5. Interfejsy	570
13.6. Interfejs Comparable	575
13.7. Interfejs Cloneable	579
13.8. Interfejsy a klasy abstrakcyjne	584
13.9. Studium przypadku: klasa Rational	588
13.10. Wskazówki dotyczące projektowania klas	594
<b>Rozdział 14. Podstawy platformy JavaFX</b>	<b>603</b>
14.1. Wprowadzenie	604
14.2. JavaFX a Swing i AWT	604
14.3. Podstawowa struktura programu używającego JavaFX	604
14.4. Panele, grupy, kontrolki interfejsu użytkownika i kształty	607
14.5. Wiązanie właściwości	611
14.6. Wspólne właściwości i metody węzłów	614
14.7. Klasa Color	616
14.8. Klasa Font	617
14.9. Klasy Image i ImageView	619
14.10. Panele i grupy	622
14.11. Kształty	631
14.12. Studium przypadku: klasa ClockPane	645

<b>Rozdział 15. Programowanie sterowane zdarzeniami i animacje</b>	<b>659</b>
15.1. Wprowadzenie	660
15.2. Zdarzenia i źródła zdarzeń	662
15.3. Rejestrowanie obiektów obsługi zdarzeń i obsługa zdarzeń	664
15.4. Klasy wewnętrzne	668
15.5. Anonimowe wewnętrzne klasy obsługi zdarzeń	669
15.6. Upraszczenie obsługi zdarzeń z użyciem wyrażeń lambda	672
15.7. Studium przypadku: kalkulator kredytowy	677
15.8. Zdarzenia związane z myszą	679
15.9. Zdarzenia związane z klawiszami	680
15.10. Odbiorniki dla obiektów obserwowalnych	684
15.11. Animacje	687
15.12. Studium przypadku: odbijająca się kulka	695
15.13. Studium przypadku: mapa Stanów Zjednoczonych	699
<b>Rozdział 16. Kontrolki i multimedia JavaFX</b>	<b>713</b>
16.1. Wprowadzenie	714
16.2. Labeled i Label	714
16.3. Button	717
16.4. CheckBox	719
16.5. RadioButton	722
16.6. TextField	725
16.7. TextArea	727
16.8. ComboBox	730
16.9. ListView	733
16.10. ScrollBar	737
16.11. Slider	740
16.12. Studium przypadku: tworzenie gry w kółko i krzyżyk	743
16.13. Wideo i dźwięk	748
16.14. Studium przypadku: flagi i hymny narodowe	752
<b>Rozdział 17. Binarne operacje wejścia – wyjścia</b>	<b>765</b>
17.1. Wprowadzenie	766
17.2. Jak tekstowe operacje wejścia – wyjścia są obsługiwane w Javie?	766
17.3. Tekstowe a binarne operacje I/O	767
17.4. Klasy binarnych operacji I/O	768
17.5. Studium przypadku: kopiowanie plików	779
17.6. Zapis i odczyt obiektów	781
17.7. Pliki o dostępie swobodnym	786



<b>Rozdział 18. Rekurencja</b>	<b>795</b>
18.1. Wprowadzenie	796
18.2. Studium przypadku: obliczanie silni	796
18.3. Studium przypadku: obliczanie liczb Fibonacciego	800
18.4. Rozwiązywanie problemów z użyciem rekurencji	803
18.5. Rekurencyjne metody pomocnicze	804
18.6. Studium przypadku: obliczanie wielkości katalogu	807
18.7. Studium przypadku: wieże Hanoi	809
18.8. Studium przypadku: fraktale	813
18.9. Rozwiązania rekurencyjne i iteracyjne	816
18.10. Rekurencja ogonowa	817
<b>Rozdział 19. Typy generyczne</b>	<b>829</b>
19.1. Wprowadzenie	830
19.2. Powody i zalety stosowania typów generycznych	830
19.3. Definiowanie klas i interfejsów generycznych	833
19.4. Metody generyczne	834
19.5. Studium przypadku: sortowanie tablicy obiektów	836
19.6. Typy surowe i zgodność wstecz	838
19.7. Typy generyczne z wyrażeniami wieloznacznymi	840
19.8. Wymazywanie typów i zastrzeżenia dotyczące typów generycznych	842
19.9. Studium przypadku: generyczna klasa reprezentująca macierze	845
<b>Rozdział 20. Listy, stosy, kolejki i kolejki priorytetowe</b>	<b>853</b>
20.1. Wprowadzenie	854
20.2. Kolekcje	854
20.3. Iteratory	858
20.4. Używanie metody forEach	860
20.5. Listy	861
20.6. Interfejs Comparator	866
20.7. Statyczne metody list i kolekcji	871
20.8. Studium przypadku: odbijające się kulki	874
20.9. Klasy Vector i Stack	878
20.10. Kolejki i kolejki priorytetowe	880
20.11. Studium przypadku: przetwarzanie wyrażeń	883
<b>Rozdział 21. Zbiory i odwzorowania</b>	<b>895</b>
21.1. Wprowadzenie	896
21.2. Zbiory	896
21.3. Porównywanie wydajności zbiorów i list	905
21.4. Studium przypadku: zliczanie słów kluczowych	907

21.5. Odwzorowania	909
21.6. Studium przypadku: wystąpienia słów	914
21.7. Jednoelementowe i niemodyfikowalne kolekcje i odwzorowania	916

## **Rozdział 22. Pisanie wydajnych algorytmów** **921**

22.1. Wprowadzenie	922
22.2. Pomiar wydajności algorytmów za pomocą notacji dużego O	922
22.3. Przykłady: wyznaczanie dużego O	924
22.4. Analizowanie złożoności czasowej algorytmów	928
22.5. Wyznaczanie liczb Fibonacciego z wykorzystaniem programowania dynamicznego	931
22.6. Znajdowanie największych wspólnych dzielników za pomocą algorytmu Euklidesa	934
22.7. Wydajne algorytmy do znajdowania liczb pierwszych	938
22.8. Znajdowanie pary najbliższych punktów metodą dziel i rządź	945
22.9. Rozwiązywanie problemu ośmiu hetmanów za pomocą algorytmu z nawrotami	948
22.10. Geometria obliczeniowa: znajdowanie otoczki wypukłej	951
22.11. Dopasowywanie łańcuchów znaków	954

## **Rozdział 23. Sortowanie** **973**

23.1. Wprowadzenie	974
23.2. Sortowanie przez wstawianie	974
23.3. Sortowanie bąbelkowe	977
23.4. Sortowanie przez scalanie	979
23.5. Sortowanie szybkie	983
23.6. Sortowanie przez kopcowanie	987
23.7. Sortowanie kubełkowe i pozycyjne	996
23.8. Sortowanie zewnętrzne	997

## **Rozdział 24. Implementowanie list, stosów, kolejek i kolejek priorytetowych** **1011**

24.1. Wprowadzenie	1012
24.2. Standardowe operacje na listach	1012
24.3. Listy tablicowe	1016
24.4. Listy powiązane	1023
24.5. Stosy i kolejki	1038
24.6. Kolejki priorytetowe	1042

## **Rozdział 25. Binarne drzewa poszukiwań** **1049**

25.1. Wprowadzenie	1050
25.2. Podstawy binarnych drzew poszukiwań	1050
25.3. Reprezentowanie drzew BST	1051
25.4. Wyszukiwanie elementu	1052

25.5. Wstawianie elementu do drzewa BST	1052
25.6. Przechodzenie drzewa	1054
25.7. Klasa BST	1055
25.8. Usuwanie elementów z drzewa BST	1065
25.9. Wizualizowanie drzew i architektura MVC	1071
25.10. Iteratory	1075
25.11. Studium przypadku: kompresja danych	1077

## **Rozdział 26. Drzewa AVL** **1087**

26.1. Wprowadzenie	1088
26.2. Wyważanie drzew	1088
26.3. Projektowanie klas dla drzew AVL	1091
26.4. Przesłanie metody insert	1092
26.5. Implementowanie rotacji	1094
26.6. Implementowanie metody delete	1094
26.7. Klasa AVLTree	1095
26.8. Testowanie klasy AVLTree	1101
26.9. Analiza złożoności czasowej operacji w drzewach AVL	1104

## **Rozdział 27. Haszowanie** **1109**

27.1. Wprowadzenie	1110
27.2. Czym jest haszowanie?	1110
27.3. Funkcje haszujące i skróty	1111
27.4. Zarządzanie kolizjami z użyciem otwartego adresowania	1113
27.5. Zarządzanie kolizjami metodą łańcuchową	1117
27.6. Współczynnik wypełnienia i ponowne haszowanie	1118
27.7. Implementowanie odwzorowania z użyciem haszowania	1120
27.8. Implementowanie zbioru z użyciem haszowania	1130

## **Rozdział 28. Grafy i ich zastosowania** **1141**

28.1. Wprowadzenie	1142
28.2. Podstawowa terminologia z obszaru grafów	1143
28.3. Reprezentowanie grafów	1144
28.4. Modelowanie grafów	1151
28.5. Wizualizowanie grafów	1161
28.6. Przechodzenie grafu	1165
28.7. Przeszukiwanie w głąb	1166
28.8. Studium przypadku: problem połączonych kół	1170
28.9. Przeszukiwanie wszerek	1173
28.10. Studium przypadku: problem dziewięciu monet	1176

<b>Rozdział 29. Grafy ważone i ich zastosowania</b>	<b>1189</b>
29.1. Wprowadzenie	1190
29.2. Reprezentowanie grafów ważonych	1191
29.3. Klasa WeightedGraph	1193
29.4. Minimalne drzewa rozpinające	1201
29.5. Znajdowanie najkrótszych ścieżek	1209
29.6. Studium przypadku: problem dziewięciu monet z wagami	1217

<b>Rozdział 30. Operacje agregujące dla strumieni do przetwarzania kolekcji</b>	<b>1229</b>
30.1. Wprowadzenie	1230
30.2. Potoki	1230
30.3. IntStream, LongStream i DoubleStream	1237
30.4. Równoległe strumienie	1239
30.5. Redukcja strumienia z użyciem metody reduce	1242
30.6. Redukcja strumieni za pomocą metody collect	1245
30.7. Grupowanie elementów za pomocą kolektora groupingBy	1248
30.8. Studium przypadku	1251

### Rozdziały 31 - 37 są dostępne online pod adresem

*<https://ftp.helion.pl/przyklady/wpja12.zip>*

<b>Rozdział 31. Zaawansowane zagadnienia z obszaru JavaFX i FXML</b>	<b>1263</b>
31.1. Wprowadzenie	1264
31.2. Style CSS z JavaFX	1264
31.3. Klasy QuadCurve, CubicCurve i Path	1266
31.4. Modyfikowanie współrzędnych	1271
31.5. Pędzle	1276
31.6. Menu	1280
31.7. Menu kontekstowe	1285
31.8. Panele SplitPane	1287
31.9. Panele TabPane	1290
31.10. TableView	1292
31.11. Pisanie programów dla architektury JavaFX za pomocą języka FXML	1299

<b>Rozdział 32. Wielowątkowość i programowanie równoległe</b>	<b>1317</b>
32.1. Wprowadzenie	1318
32.2. Zagadnienia związane z wątkami	1318
32.3. Tworzenie zadań i wątków	1319
32.4. Klasa Thread	1322
32.5. Animacja z użyciem wątków i metody Platform.runLater	1325

32.6. Pule wątków	1327
32.7. Synchronizacja wątków	1329
32.8. Synchronizacja z użyciem blokad	1333
32.9. Współdziałanie między wątkami	1335
32.10. Studium przypadku: wzorzec producent/konsument	1340
32.11. Kolejki z blokowaniem	1343
32.12. Semafor	1346
32.13. Unikanie zakleszczenia	1347
32.14. Stany wątków	1348
32.15. Synchronizowane kolekcje	1349
32.16. Programowanie równoległe	1350

## **Rozdział 33. Sieci** **1361**

33.1. Wprowadzenie	1362
33.2. Model klient-serwer	1362
33.3. Klasa InetAddress	1370
33.4. Obsługa wielu klientów	1371
33.5. Wysyłanie i przyjmowanie obiektów	1374
33.6. Studium przypadku: kółko i krzyżyk w środowisku rozproszonym	1378

## **Rozdział 34. Umiejdzynarodowienie** **1397**

34.1. Wprowadzenie	1398
34.2. Klasa Locale	1398
34.3. Wyświetlanie daty i czasu	1401
34.4. Formatowanie liczb	1413
34.5. Pakiety zasobów	1420
34.6. Kodowanie znaków	1427

## **Rozdział 35. Drzewa 2-3-4 i B-drzewa** **1433**

35.1. Wprowadzenie	1434
35.2. Projektowanie klas na potrzeby drzew 2-3-4	1435
35.3. Wyszukiwanie elementu	1435
35.4. Wstawianie elementu w drzewie 2-3-4	1437
35.5. Usuwanie elementów z drzewa 2-3-4	1439
35.6. Odwiedzanie elementów w drzewie 2-3-4	1443
35.7. Implementowanie klasy Tree24	1445
35.8. Testowanie klasy Tree24	1453
35.9. Analiza złożoności czasowej	1455
35.10. B-drzewo	1457

<b>Rozdział 36. Drzewa czerwono-czarne</b>	<b>1463</b>
36.1. Wprowadzenie	1464
36.2. Konwersja między drzewami czerwono-czarnymi a drzewami 2-3-4	1464
36.3. Projektowanie klas drzew czerwono-czarnych	1466
36.4. Przesłanie metody insert	1467
36.5. Przesłanie metody delete	1472
36.6. Implementowanie klasy RBTree	1482
36.7. Testowanie klasy RBTree	1489
36.8. Wydajność klasy RBTree	1492
<b>Rozdział 37. Testy z użyciem JUnit</b>	<b>1497</b>
37.1. Wprowadzenie	1498
37.2. Podstawy JUnit	1498
37.3. Używanie JUnit w NetBeans	1504
37.4. Używanie JUnit w Eclipse	1507
<b>Dodatek A Słowa kluczowe i zarezerwowane w Javie</b>	<b>1513</b>
<b>Dodatek B Zestaw znaków ASCII</b>	<b>1515</b>
<b>Dodatek C Tabela priorytetów operatorów</b>	<b>1517</b>
<b>Dodatek D Modyfikatory w Javie</b>	<b>1519</b>
<b>Dodatek E Specjalne wartości zmiennoprzecinkowe</b>	<b>1521</b>
<b>Dodatek F Systemy liczbowe</b>	<b>1523</b>
<b>Dodatek G Operacje bitowe</b>	<b>1527</b>
<b>Dodatek H Wyrażenia regularne</b>	<b>1529</b>
<b>Dodatek I Typy wyliczeniowe</b>	<b>1537</b>
<b>Dodatek J Notacje dużego O, dużego omega i dużego theta</b>	<b>1543</b>

# SORTOWANIE

## Cele

- Zbadanie i przeanalizowanie złożoności czasowej różnych algorytmów sortowania (podrozdziały 23.2 – 23.7).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania przez wstawianie (podrozdział 23.2).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania bąbelkowego (podrozdział 23.3).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania przez scalamie (podrozdział 23.4).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania szybkiego (podrozdział 23.5).
- Zaprojektowanie i zaimplementowanie kopca binarnego (podrozdział 23.6).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania przez kopcowanie (podrozdział 23.6).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie sortowania kubelkowego oraz sortowania pozycyjnego (podrozdział 23.7).
- Zaprojektowanie, zaimplementowanie i przeanalizowanie zewnętrznego sortowania plików zawierających duże ilości danych (podrozdział 23.8).





## 23.1. Wprowadzenie

*Alгоритmy sortowania dobrze nadają się do badania projektowania i analiz algorytmów.*

Gdy prezydent Barack Obama odwiedził w 2007 r. firmę Google, CEO firmy, Eric Schmidt, zapytał prezydenta o najwydajniejszy sposób sortowania miliona 32-bitowych liczb całkowitych ([http://www.youtube.com/watch?v=k4RRi\\_ntQc8](http://www.youtube.com/watch?v=k4RRi_ntQc8)). Obama odpowiedział, że sortowanie bąbelkowe byłoby złym pomysłem. Czy miał rację? W tym rozdziale poznasz różne algorytmy sortowania i dowiesz się, czy odpowiedź Obamy była poprawna.

po co badać sortowanie?

Sortowanie jest klasycznym zagadnieniem w dziedzinie informatyki. Są trzy powody, dla których warto zbadać algorytmy sortowania.

- Po pierwsze, algorytmy sortowania ilustrują wiele pomysłowych technik rozwiązywania problemów. Techniki te można wykorzystać także do innych zadań.
- Po drugie, algorytmy sortowania dobrze nadają się do przećwiczenia podstawowych technik programowania z wykorzystaniem instrukcji sterujących, pętli, metod i tablic.
- Po trzecie, algorytmy sortowania doskonale nadają się do demonstrowania wydajności algorytmów.

jakie dane można sortować?

Sortowanymi danymi mogą być liczby całkowite, liczby zmiennoprzecinkowe, znaki lub obiekty. W podrozdziale 7.11, „Sortowanie tablic”, opisano sortowanie przez wybieranie. W podrozdziale 19.5, „Studium przypadku: sortowanie tablicy obiektów”, algorytm sortowania przez wybieranie został rozbudowany o sortowanie tablic obiektów. API Javy zawiera w klasach `java.util.Arrays` i `java.util.Collections` kilka przeciążonych metod do sortowania wartości typów podstawowych i obiektów. Dla uproszczenia w tym rozdziale przyjęto, że:

- 1) sortowanymi danymi są liczby całkowite,
- 2) dane są zapisane w tablicy,
- 3) dane są sortowane rosnąco.

Przedstawione programy można łatwo zmodyfikować, aby sortować inne typy danych, sortować dane malejąco lub sortować dane z listy `ArrayList` i `LinkedList`.

Istnieje wiele algorytmów sortowania. Poznałeś już sortowanie przez wybieranie. W tym rozdziale dowiesz się, jak działa sortowanie przez wstawianie, sortowanie bąbelkowe, sortowanie przez scalanie, sortowanie szybkie, sortowanie kubełkowe, sortowanie pozycyjne i sortowanie zewnętrzne.



## 23.2. Sortowanie przez wstawianie

*Algorytm sortowania przez wstawianie sortuje listę wartości, wielokrotnie wstawiając nowy element na posortowaną podlistę do czasu posortowania całej listy.*

animacja sortowania przez wstawianie w witrynie

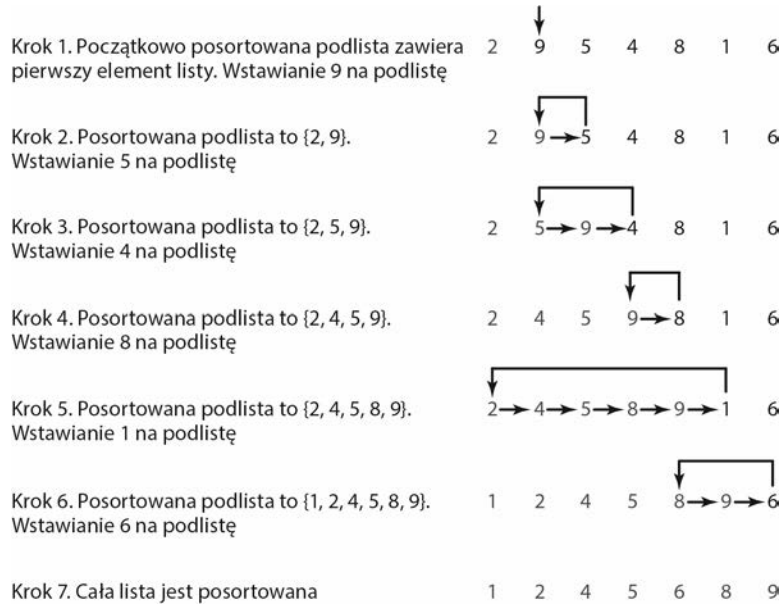
Na rysunku 23.1 pokazane jest, jak posortować listę {2, 9, 5, 4, 8, 1, 6} za pomocą sortowania przez wstawianie. Interaktywną ilustrację sortowania przez wstawianie znajdziesz na stronie <http://liveexample.pearsoncmg.com/dsanimation/InsertionSortNeweBook.html>.

Ten algorytm można opisać tak:

```
for (int i = 1; i < list.length; i++) {
    wstaw list[i] na posortowaną podlistę list[0..i-1] w taki sposób, aby
    elementy list[0..i] były posortowane.
}
```

Aby wstawić `list[i]` na listę `list[0..i-1]`, zapisz `list[i]` w zmiennej pomocniczej (na przykład `currentElement`). Przenieś `list[i-1]` do `list[i]`, jeśli `list[i-1] > currentElement`, `list[i-2]` do `list[i-1]`, jeśli





**RYСУNEK 23.1.** Sortowanie przez wstawianie wymaga wielokrotnego wstawiania nowego elementu na posortowaną podlistę

$list[i-2] > currentElement$  itd. — do czasu, gdy  $list[i-k] \leq currentElement$  lub  $k > i$  (algorytm wychodzi poza pierwszy element posortowanej listy). Przypisz  $currentElement$  do  $list[i-k+1]$ . Na przykład aby wstawić 4 na listę {2, 5, 9} w kroku 4. z rysunku 23.2, przenieś  $list[2]$  (czyli 9) do  $list[3]$ , ponieważ  $9 > 4$ , i przenieś  $list[1]$  (czyli 5) do  $list[2]$ , ponieważ  $5 > 4$ . W ostatnim kroku przenieś  $currentElement$  (4) do  $list[1]$ .

list 

[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
2	5	9	4			

 Krok 1. Zapisz 4 w zmiennej pomocniczej  $currentElement$   
 $currentElement$ : 

4
---

list 

[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
2	5		9			

 Krok 2. Przenieś  $list[2]$  do  $list[3]$

list 

[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
2		5	9			

 Krok 3. Przenieś  $list[1]$  do  $list[2]$

list 

[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
2	4	5	9			

 Krok 4. Przenieś  $currentElement$  do  $list[1]$

**RYСУNEK 23.2.** Nowy element jest wstawiany na posortowaną podlistę

Ten algorytm można rozwinąć i zaimplementować w sposób pokazany na listingu 23.1.

**LISTING 23.1.** InsertionSort.java

```

1 public class InsertionSort {
2     /** Metoda do sortowania liczb */
3     public static void insertionSort(int[] list) {
4         for (int i = 1; i < list.length; i++) {
5             /** Wstawianie list[i] na posortowaną podlistę list[0..i-1], aby
6                 fragment list[0..i] był posortowany. */
7             int currentElement = list[i];
8             int k;
9             for (k = i - 1; k >= 0 && list[k] > currentElement; k--) {
10                list[k + 1] = list[k];
11            }
12
13            // Przypisywanie bieżącego elementu do list[k + 1]
14            list[k + 1] = currentElement;
15        }
16    }
17 }

```

przesunięcie

wstawianie

Metoda `insertionSort(int[] list)` sortuje tablicę elementów typu `int`. Ta metoda jest zaimplementowana z użyciem zagnieżdżonej pętli `for`. Pętla zewnętrzna (ze zmienną sterującą `i`; wiersz 4.) powtarza iteracje, aby utworzyć posortowaną podlistę od `list[0]` do `list[i]`. Pętla wewnętrzna (ze zmienną sterującą `k`) wstawia `list[i]` na podlistę od `list[0]` do `list[i-1]`.

Aby lepiej zrozumieć tę metodę, prześledź jej działanie dla następujących instrukcji:

```
int[] list = {1, 9, 4, 6, 5, -4};
InsertionSort.insertionSort(list);
```

Zaprezentowany tu algorytm sortowania przez wstawianie sortuje listę elementów, wielokrotnie wstawiając nowy element do posortowanego fragmentu tablicy do czasu posortowania jej całej. W  $k$ -tej iteracji wstawianie elementu do tablicy o wielkości  $k$  może wymagać  $k$  porównań (aby znaleźć pozycję wstawiania) i  $k$  przesunięć (aby wstawić element). Niech  $T(n)$  oznacza złożoność sortowania przez wstawianie, a  $c$  — łączną liczbę innych operacji takich jak przypisania i dodatkowe porównania w każdej iteracji:

$$\begin{aligned}
 T(n) &= (2+c) + (2 \times 2+c) + \dots + (2 \times (n-1)+c) \\
 &= (2(1+2+\dots+n-1) + c(n-1)) \\
 &= 2 \frac{(n-1)n}{2} + cn - c = n^2 - n + cn - c \\
 &= O(n^2)
 \end{aligned}$$

Tak więc złożoność algorytmu sortowania przez wstawianie wynosi  $O(n^2)$ . Oznacza to, że złożoność czasowa sortowania przez wybieranie i sortowania przez wstawianie jest taka sama.



**23.2.1.** Opisz działanie sortowania przez wstawianie. Jaka jest złożoność czasowa tego algorytmu?

**23.2.2.** Na podstawie rysunku 23.1 przedstaw przebieg sortowania przez wstawianie listy {45, 11, 50, 59, 60, 2, 4, 7, 10}.

**23.2.3.** Ile porównań wykona metoda `insertionSort`, jeśli lista jest już posortowana?



## 23.3. Sortowanie bąbelkowe

Sortowanie bąbelkowe sortuje tablicę w wielu przebiegach. W każdym z nich sąsiednie elementy są ze sobą przestawiane, jeśli ich kolejność jest nieprawidłowa.

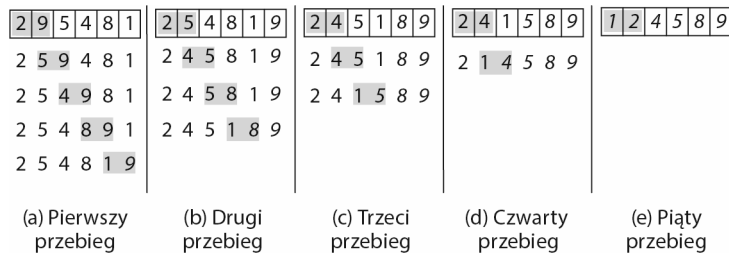
sortowanie bąbelkowe

ilustracja sortowania bąbelkowego

animacja sortowania bąbelkowego w witrynie

Algorytm sortowania bąbelkowego wykonuje kilka przebiegów przez tablicę. W każdym przebiegu porównywane są kolejne sąsiadujące pary. Jeśli elementy są uporządkowane w kolejności malejącej, należy je przestawić. W przeciwnym razie elementy pozostają bez zmian. Ta technika jest nazywana *sortowaniem bąbelkowym*, ponieważ mniejsze wartości stopniowo „wypływają” na powierzchnię, a większe wartości „opadają” na dno. Po pierwszym przebiegu największy element zajmuje ostatnią pozycję w tablicy. Po drugim przebiegu drugi największy element trafia na przedostatnią pozycję. Proces ten jest kontynuowany do czasu posortowania wszystkich elementów.

Na rysunku 23.3a pokazany jest pierwszy przebieg sortowania bąbelkowego tablicy sześciu elementów (2 9 5 4 8 1). Elementy pierwszej pary (2 i 9) nie wymagają przestawiania, ponieważ są uporządkowane. Elementy drugiej pary (9 i 5) wymagają przestawienia, ponieważ 9 jest większe niż 5. Elementy trzeciej pary (9 i 4) wymagają przestawienia 9 z 4. Elementy czwartej pary (9 i 8) wymagają przestawienia 9 z 8. Elementy piątej pary (9 i 1) wymagają przestawienia 9 z 1. Na rysunku 23.3 porównywane pary są wyróżnione, a już posortowane wartości są wyróżnione kursywą. Interaktywną ilustrację sortowania bąbelkowego znajdziesz na stronie <http://liveexample.pearsoncmg.com/dsanimation/BubbleSortNeweBook.html>.



**RYСУNEK 23.3.** W każdym przebiegu algorytm po kolei porównuje i porządkuje pary

W pierwszym przebiegu największa wartość (9) jest umieszczana na końcu tablicy. W drugim przebiegu (rysunek 23.3b) algorytm po kolei porównuje i porządkuje pary. Ostatniej pary nie trzeba sprawdzać, ponieważ ostatni element tablicy jest już największy. W trzecim przebiegu (rysunek 23.3c) algorytm porównuje i porządkuje pary oprócz dwóch ostatnich, ponieważ dwa końcowe elementy są już uporządkowane. W  $k$ -tym przebiegu nie trzeba uwzględniać ostatnich  $k - 1$  elementów, ponieważ są już uporządkowane.

algorytm

Algorytm sortowania bąbelkowego jest pokazany na listingu 23.2.

**LISTING 23.2.** Algorytm sortowania bąbelkowego

```

1 for (int k = 1; k < list.length; k++) {
2   // K-ty przebieg
3   for (int i = 0; i < list.length - k; i++) {
4     if (list[i] > list[i + 1])
5       swap list[i] with list[i + 1];
6   }
7 }
```

Zauważ, że jeśli w danym przebiegu nie przedstawiono żadnych elementów, dalsze przebiegi są zbędne, ponieważ wszystkie elementy zostały już posortowane. Możesz wykorzystać to spostrzeżenie, aby usprawnić algorytm z listingu 23.2 w sposób pokazany na listingu 23.3.

**LISTING 23.3.** Ulepszony algorytm sortowania bąbelkowego

```

1 boolean needNextPass = true;
2 for (int k = 1; k < list.length && needNextPass; k++) {
3     // Możliwe, że tablica jest posortowana i następny przebieg nie jest potrzebny
4     needNextPass = false;
5     // Wykonywanie k-tego przebiegu
6     for (int i = 0; i < list.length - k; i++) {
7         if (list[i] > list[i + 1]) {
8             swap list[i] with list[i + 1];
9             needNextPass = true; // Następny przebieg jest potrzebny
10        }
11    }
12 }
```

Implementację tego algorytmu przedstawia listing 23.4.

Listing 23.4. BubbleSort.java

```

1 public class BubbleSort {
2     /** Metoda wykonująca sortowanie bąbelkowe */
3     public static void bubbleSort(int[] list) {
4         boolean needNextPass = true;
5
6         for (int k = 1; k < list.length && needNextPass; k++) {
7             // Możliwe, że tablica jest posortowana i następny przebieg nie jest potrzebny
8             needNextPass = false;
9             for (int i = 0; i < list.length - k; i++) {
10                if (list[i] > list[i + 1]) {
11                    // Przystawianie list[i] z list[i + 1]
12                    int temp = list[i];
13                    list[i] = list[i + 1];
14                    list[i + 1] = temp;
15
16                    needNextPass = true; // Następny przebieg jest potrzebny
17                }
18            }
19        }
20    }
21
22    /** Metoda testowa */
23    public static void main(String[] args) {
24        int[] list = {2, 3, 2, 5, 6, 1, -2, 3, 14, 12};
25        bubbleSort(list);
26        for (int i = 0; i < list.length; i++)
27            System.out.print(list[i] + " ");
28    }
29 }
```

wykonanie jednego  
przebiegu



-2 1 2 2 3 3 5 6 12 14

złożoność czasowa  
sortowania bąbelkowego

W optymistycznym przypadku algorytm sortowania bąbelkowego wymaga tylko jednego przebiegu, aby wykryć, że tablica jest już posortowana. Dalsze przebiegi nie są potrzebne. Ponieważ liczba porównań w pierwszym przebiegu to  $n - 1$ , w optymistycznym przypadku sortowanie bąbelkowe ma złożoność  $O(n)$ .

W pesymistycznym przypadku algorytm sortowania bąbelkowego wymaga  $n - 1$  przebiegów. W pierwszym wykonywanych jest  $n - 1$  porównań, w drugim —  $n - 2$  porównań itd. Ostatni przebieg wymaga jednego porównania. Łączna liczba porównań wynosi więc:

$$\begin{aligned} & (n-1) + (n-2) + \dots + 2 + 1 \\ &= \frac{(n-1)n}{2} = \frac{n^2}{2} - \frac{n}{2} = O(n^2) \end{aligned}$$

Dlatego w pesymistycznym przypadku sortowanie bąbelkowe ma złożoność  $O(n^2)$ .



- 23.3.1.** Opisz działanie sortowania bąbelkowego. Jaka jest złożoność czasowa tego algorytmu?  
**23.3.2.** Wzorując się na rysunku 23.3, pokaż przebieg sortowania bąbelkowego liczb {45, 11, 50, 59, 60, 2, 4, 7, 10}.  
**23.3.3.** Ile porównań musi wykonać metoda `bubbleSort`, jeśli lista jest już posortowana?



## 23.4. Sortowanie przez scalanie

*Algorytm sortowania przez scalanie można opisać rekurencyjnie: podziel tablicę na dwie połowy i zastosuj rekurencyjnie sortowanie przez scalanie do każdej z nich; po posortowaniu obu połów scal je.*

sortowanie przez scalanie

Algorytm *sortowania przez scalanie* jest opisany na listingu 23.5.

### LISTING 23.5. Algorytm sortowania przez scalanie

```
1 public static void mergeSort(int[] list) {
2     if (list.length > 1) {
3         mergeSort(list[0 ... list.length / 2]);
4         mergeSort(list[list.length / 2 + 1 ... list.length]);
5         scal list[0 ... list.length / 2] z
6         list[list.length / 2 + 1 ... list.length];
7     }
8 }
```

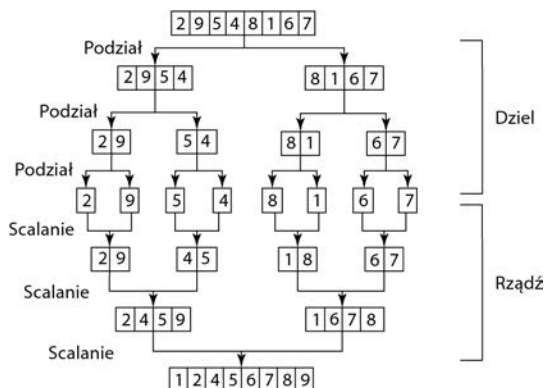
przypadek bazowy  
sortowanie pierwszej połowy  
sortowanie drugiej połowy  
scalanie obu połów

ilustracja sortowania przez  
scalanie

Na rysunku 23.4 pokazane jest sortowanie przez scalanie tablicy ośmiu elementów (2 9 5 4 8 1 6 7). Pierwotna tablica jest dzielona na fragmenty (2 9 5 4) i (8 1 6 7). Należy rekurencyjnie przeprowadzić sortowanie przez scalanie tych dwóch podtablic, dzieląc (2 9 5 4) na (2 9) i (5 4) oraz (8 1 6 7) na (8 1) i (6 7). Ten proces jest kontynuowany do momentu, gdy podtablica zawiera tylko jeden element. Na przykład tablica (2 9) jest dzielona na podtablice (2) i (9). Ponieważ tablica (2) zawiera jeden element, nie da się jej dalej podzielić. Teraz należy scalić (2) i (9) w nową posortowaną tablicę (2 9), a (5) i (4) w nową posortowaną tablicę (4 5). Następnie scal (2 9) i (4 5) w nową posortowaną tablicę (2 4 5 9), a w ostatnim kroku scal (2 4 5 9) i (1 6 7 8) w nową posortowaną tablicę (1 2 4 5 6 7 8 9).

Wywołania rekurencyjne dzielą tablicę na podtablice do momentu, gdy każda podtablica zawiera tylko jeden element. Następnie algorytm scala małe podtablice w większe posortowane podtablice do momentu uzyskania jednej posortowanej tablicy.

Implementacja algorytmu sortowania przez scalanie jest pokazana na listingu 23.6.



RYSUNEK 23.4. W sortowaniu przez scalanie tablica jest sortowana metodą dzieli i rządź

LISTING 23.6. MergeSort.java

```

1 public class MergeSort {
2     /** Metoda do sortowania liczb */
3     public static void mergeSort(int[] list) {
4         if (list.length > 1) {
5             // Sortowanie przez scalanie pierwszej połowy
6             int[] firstHalf = new int[list.length / 2];
7             System.arraycopy(list, 0, firstHalf, 0, list.length / 2);
8             mergeSort(firstHalf);
9
10            // Sortowanie przez scalanie drugiej połowy
11            int secondHalfLength = list.length - list.length / 2;
12            int[] secondHalf = new int[secondHalfLength];
13            System.arraycopy(list, list.length / 2,
14                secondHalf, 0, secondHalfLength);
15            mergeSort(secondHalf);
16
17            // Scalanie firstHalf z secondHalf w list
18            merge(firstHalf, secondHalf, list);
19        }
20    }
21
22    /** Scalanie dwóch posortowanych list */
23    public static void merge(int[] list1, int[] list2, int[] temp) {
24        int current1 = 0; // Indeks bieżącego elementu w list1
25        int current2 = 0; // Indeks bieżącego elementu w list2
26        int current3 = 0; // Indeks bieżącego elementu w temp
27
28        while(current1 < list1.length && current2 < list2.length) {
29            if (list1[current1] < list2[current2])
30                temp[current3++] = list1[current1++];
31            else
32                temp[current3++] = list2[current2++];
33        }
34
35        while (current1 < list1.length)
36            temp[current3++] = list1[current1++];

```

przypadek bazowy

sortowanie pierwszej połowy

sortowanie drugiej połowy

scalanie obu połów

z list1 do temp

z list2 do temp

reszta z list1 do temp

```

37
38     while (current2 < list2.length)
39         temp[current3++] = list2[current2++];
40     }
41
42     /** Metoda testowa */
43     public static void main(String[] args) {
44         int[] list = {2, 3, 2, 5, 6, 1, -2, 3, 14, 12};
45         mergeSort(list);
46         for (int i = 0; i < list.length; i++)
47             System.out.print(list[i] + " ");
48     }
49 }

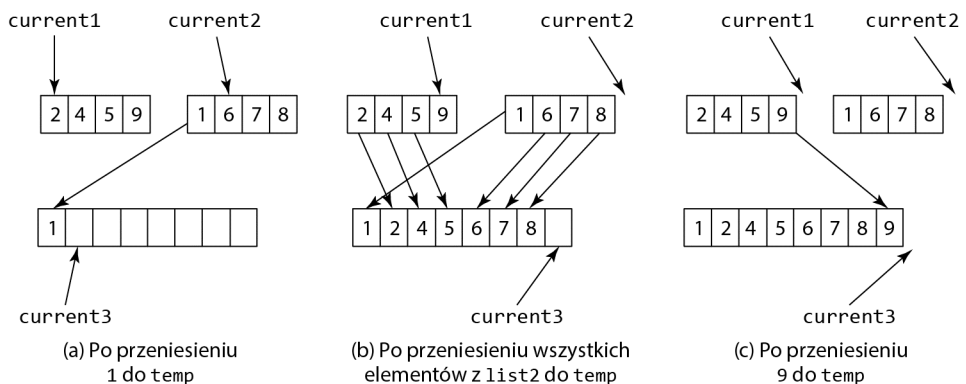
```

Metoda `mergeSort` (wiersze 3. – 20.) tworzy nową tablicę `firstHalf`, która jest kopią pierwszej połowy tablicy `list` (wiersz 7.). Algorytm rekurencyjnie wywołuje metodę `mergeSort` dla tablicy `firstHalf` (wiersz 8.). Długość tablicy `firstHalf` wynosi `list.length / 2`, a długość tablicy `secondHalf` to `list.length - list.length / 2`. Nowa tablica `secondHalf` zawiera drugą część pierwotnej tablicy `list`. Algorytm wywołuje metodę `mergeSort` rekurencyjnie dla tablicy `secondHalf` (wiersz 15.). Po posortowaniu tablic `firstHalf` i `secondHalf` kod scala je w tablicę `list` (wiersz 18.). Tablica `list` jest teraz posortowana.

Metoda `merge` (wiersze 23. – 40.) scala dwie posortowane tablice `list1` i `list2` w tablicę `temp`. `current1` i `current2` wskazują analizowane elementy z `list1` i `list2` (wiersze 24. – 26.). Metoda wielokrotnie porównuje bieżące elementy z `list1` i `list2` oraz przenosi mniejszy z nich do tablicy `temp`. Jeśli mniejszy element znajduje się w `list1`, kod zwiększa wartość `current1` o 1 (wiersz 30.). Jeżeli mniejszy element pochodzi z `list2`, algorytm zwiększa wartość `current2` o 1 (wiersz 32.). Ostatecznie wszystkie elementy z jednej z `list` zostają przeniesione do `temp`. Jeśli w `list1` znajdują się jeszcze jakieś elementy, należy je skopiować do `temp` (wiersze 35. i 36.). Jeżeli w `list2` występują nieprzeniesione elementy, kod kopiuje je do `temp` (wiersze 38. i 39.).

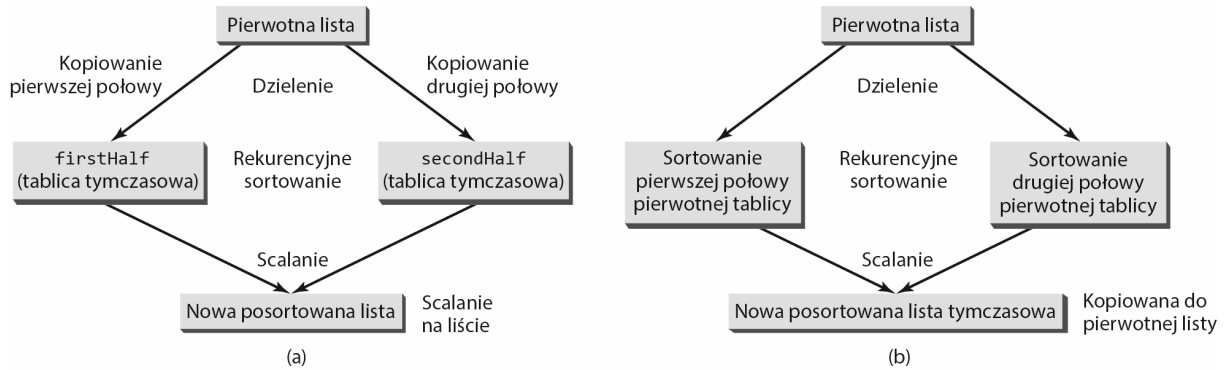
Na rysunku 23.5 pokazane jest, jak scalić dwie tablice, `list1` (2 4 5 9) i `list2` (1 6 7 8). Początkowe bieżące elementy sprawdzane w tablicach to 2 i 1. Po porównaniu mniejsza wartość (1) jest przenoszona do `temp` (rysunek 23.5a), a `current2` i `current3` są zwiększane o 1. Należy porównywać kolejne bieżące elementy z obu tablic i przenosić mniejszy z nich do `temp` do czasu całkowitego przeniesienia jednej z nich. Na rysunku 23.5b wszystkie elementy z `list2` zostały już przeniesione do `temp`, a `current1` wskazuje element 9 z `list1`. Trzeba więc skopiować 9 do `temp` (rysunek 23.5c). Interaktywną ilustrację scalania znajdziesz na stronie <http://liveexample.pearsoncmg.com/dsanimation/MergeSortNeweBook.html>.

animacja scalania w witrynie



**RYСУNEK 23.5.** Dwie posortowane tablice są scalane w jedną

Metoda mergeSort w procesie podziału tworzy dwie tablice tymczasowe (wiersze 6. i 12.), kopiuje pierwszą i drugą połowę do tymczasowych tablic (wiersze 7. i 13.), sortuje tymczasowe tablice (wiersze 8. i 15.), a następnie scala je (wiersz 18.). Ilustruje to rysunek 23.6a. Możesz zmodyfikować kod, aby rekurencyjnie sortować pierwszą i drugą połowę tablicy bez tworzenia nowych tablic tymczasowych, a następnie scalać obie tablice w tymczasową i kopiować jej zawartość do pierwotnej tablicy (rysunek 23.6b). Potraktuj to jako ćwiczenie (ćwiczenie 23.20).



**RYСУNEK 23.6.** Na potrzeby sortowania przez scalanie tworzone są tablice tymczasowe



#### Uwaga

Sortowanie przez scalanie można wydajnie zaimplementować z wykorzystaniem przetwarzania równoległego. Taką implementację znajdziesz w podrozdziale 32.16, „Programowanie równoległe”.

złożoność czasowa  
sortowania przez scalanie

Przeanalizuj teraz czas sortowania przez scalanie. Niech  $T(n)$  oznacza czas sortowania tablicy  $n$  elementów. Bez utraty ogólności można przyjąć, że  $n$  jest potęgą liczby 2. Algorytm sortowania przez scalanie dzieli tablicę na dwie podtablice, sortuje podtablice rekurencyjnie za pomocą tego samego algorytmu, a następnie scala podtablice. Mamy więc:

$$T(n) = T\left(\frac{n}{2}\right) + T\left(\frac{n}{2}\right) + \text{czas\_scalania}$$

Pierwsze  $T\left(\frac{n}{2}\right)$  to czas sortowania pierwszej połowy tablicy; drugie  $T\left(\frac{n}{2}\right)$  to czas sortowania drugiej połowy. Aby scalać podtablice, potrzeba najwyżej  $n - 1$  porównań elementów z obu podtablic i  $n$  przeniesień elementów do tablicy tymczasowej. Łączny czas wynosi więc  $2n - 1$ . Otrzymujemy zatem:

$$T(n) = T\left(\frac{n}{2}\right) + T\left(\frac{n}{2}\right) + 2n - 1 = O(n \log n)$$

sortowanie przez scalanie  
działa w czasie  $O(n \log n)$

Złożoność sortowania przez scalanie to  $O(n \log n)$ . Algorytm jest szybszy od sortowania przez wybieranie, sortowania przez scalanie i sortowania bąbelkowego, których złożoność to  $O(n^2)$ . Metoda sort z klasy `java.util.Arrays` jest zaimplementowana za pomocą zmodyfikowanego sortowania przez scalanie.



**23.4.1.** Opisz sortowanie przez scalanie. Jaka jest złożoność czasowa tego algorytmu?

**23.4.2.** Wzorując się na rysunku 23.4, pokaż przebieg sortowania przez scalanie dla listy {45, 11, 50, 59, 60, 2, 4, 7, 10}.



**23.4.3.** Jaki błąd się pojawi, jeśli wiersze 6. – 15. z listingu 23.6, *MergeSort.java*, zostaną zastąpione poniższym kodem?

```
// Sortowanie przez scalanie pierwszej połowy
int[] firstHalf = new int[list.length / 2 + 1];
System.arraycopy(list, 0, firstHalf, 0, list.length / 2 + 1);
mergeSort(firstHalf);

// Sortowanie przez scalanie drugiej połowy
int secondHalfLength = list.length - list.length / 2 - 1;
int[] secondHalf = new int[secondHalfLength];
System.arraycopy(list, list.length / 2 + 1,
    secondHalf, 0, secondHalfLength);
mergeSort(secondHalf);
```



## 23.5. Sortowanie szybkie

*Sortowanie szybkie działa tak: algorytm wybiera w tablicy element osiowy. Ten element dzieli tablicę na dwie części, gdzie w pierwszej części znajdują się elementy mniejsze od osiowego lub mu równe, a w drugiej — większe od osiowego. Algorytm jest następnie rekurencyjnie stosowany do obu części.*

sortowanie szybkie

Algorytm sortowania szybkiego, opracowany przez C.A.R Hoare a w 1962 r., jest opisany na listingu 23.7.

### LISTING 23.7. Algorytm sortowania szybkiego

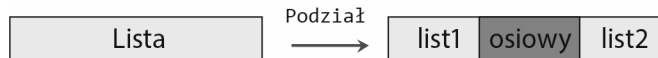
```
1 public static void quickSort(int[] list) {
2     if (list.length > 1) {
3         wybór elementu osiowego;
4         podział listy na list1 i list2, aby
5         wszystkie elementy w list1 <= osiowy i
6         wszystkie elementy w list2 > osiowy;
7         quickSort(list1);
8         quickSort(list2);
9     }
10 }
```

przypadek bazowy  
wybór elementu osiowego  
podział listy

sortowanie pierwszej części  
sortowanie drugiej części

jak podzielić listę?

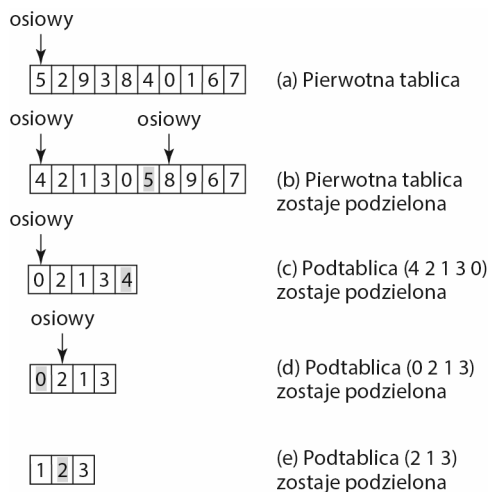
Każdy podział powoduje umieszczenie elementu osiowego w odpowiednim miejscu. Lista jest dzielona na dwie podlisty w następujący sposób:



Wydajność algorytmu zależy od wyboru elementu osiowego. W idealnym scenariuszu element osiowy powinien dzielić listę na dwie równe części. Dla uproszczenia przyjmij, że jako element osiowy wybierany jest pierwszy element tablicy (w ćwiczeniu 23.4 zaproponowana jest inna strategia).

ilustracja sortowania  
szybkiego

Na rysunku 23.7 pokazano, jak posortować tablicę (5 2 9 3 8 4 0 1 6 7) za pomocą sortowania szybkiego. Jako osiowy wybierany jest pierwszy element, 5. Tablica jest dzielona na dwie części (rysunek 23.7b). Wyróżniony element osiowy jest umieszczany w odpowiednim miejscu, a sortowanie szybkie jest stosowane do dwóch podtablic: (4 2 1 3 0) i (8 9 6 7). Element osiowy 4 dzieli (4 2 1 3 0) na tylko jedną podtablicę (0 2 1 3) (rysunek 23.7c). Przy sortowaniu szybkim tablica (0 2 1 3) jest dzielona przez 0 na jedną podtablicę (2 1 3) (rysunek 23.7d). Należy zastosować sortowanie szybkie do tablicy (2 1 3). Element osiowy 2 dzieli ją na (1) i (3) (rysunek 23.7e). Sortowanie szybkie jest stosowane do podtablicy (1). Ponieważ zawiera ona tylko jeden element, dalsze podziały nie są potrzebne.



**RYSUNEK 23.7.** Algorytm szybkiego sortowania jest rekurencyjnie stosowany do podtablic

Implementację algorytmu szybkiego sortowania przedstawia listing 23.8. W tej klasie znajdują się dwie przeciążone metody `quickSort`. Pierwsza z nich (wiersz 2.) sortuje tablicę. Druga to metoda pomocnicza (wiersz 6.), która sortuje podtablicę o określonym zakresie.

**LISTING 23.8.** `QuickSort.java`

```

1 public class QuickSort {
2     public static void quickSort(int[] list) {
3         quickSort(list, 0, list.length - 1);
4     }
5
6     public static void quickSort(int[] list, int first, int last) {
7         if (last > first) {
8             int pivotIndex = partition(list, first, last);
9             quickSort(list, first, pivotIndex - 1);
10            quickSort(list, pivotIndex + 1, last);
11        }
12    }
13
14    /** Podział tablicy list[first..last] */
15    public static int partition(int[] list, int first, int last) {
16        int pivot = list[first]; // Wybór pierwszego elementu jako osiowego
17        int low = first + 1; // Indeks do wyszukiwania do przodu
18        int high = last; // Indeks do wyszukiwania wstecz
19
20        while (high > low) {
21            // Przeszukiwanie od lewej do przodu
22            while (low <= high && list[low] <= pivot)
23                low++;
24
25            // Przeszukiwanie od prawej wstecz
26            while (low <= high && list[high] > pivot)
27                high--;

```

metoda sortująca

metoda pomocnicza

wywołanie rekurencyjne

do przodu

wstecz

```

28
29 // Przesławianie dwóch elementów listy
30 if (high > low) {
31     int temp = list[high];
32     list[high] = list[low];
33     list[low] = temp;
34 }
35 }
36
37 while (high > first && list[high] >= pivot)
38     high--;
39
40 // Przesławianie elementu osiowego z list[high]
41 if (pivot > list[high]) {
42     list[first] = list[high];
43     list[high] = pivot;
44     return high;
45 }
46 else {
47     return first;
48 }
49 }
50
51 /** Metoda testowa */
52 public static void main(String[] args) {
53     int[] list = {2, 3, 2, 5, 6, 1, -2, 3, 14, 12};
54     quickSort(list);
55     for (int i = 0; i < list.length; i++)
56         System.out.print(list[i] + " ");
57 }
58 }

```

przesławianie

umieszczanie elementu osiowego  
nowy indeks elementu osiowego

pierwotny indeks elementu osiowego



```
-2 1 2 2 3 3 5 6 12 14
```

Metoda `partition` (wiersze 15. – 49.) dzieli tablicę `list[first..last]` za pomocą elementu osiowego. Jako osiowy jest wybierany pierwszy element części tablicy (wiersz 16.). Początkowo `low` wskazuje drugi element podtablicy (wiersz 17.), a `high` — ostatni element podtablicy (wiersz 18.).

Począwszy od lewej, metoda przeszukuje tablicę do przodu, aby znaleźć w niej pierwszy element większy od osiowego (wiersze 22. i 23.). Następnie metoda przeszukuje tablicę od prawej wstecz, szukając pierwszego elementu mniejszego lub równego względem osiowego (wiersze 26. i 27.). Potem tablica przestawia te dwa elementy oraz powtarza wyszukiwanie i przestawianie do czasu sprawdzenia w pętli `while` wszystkich elementów (wiersze 20. – 35.).

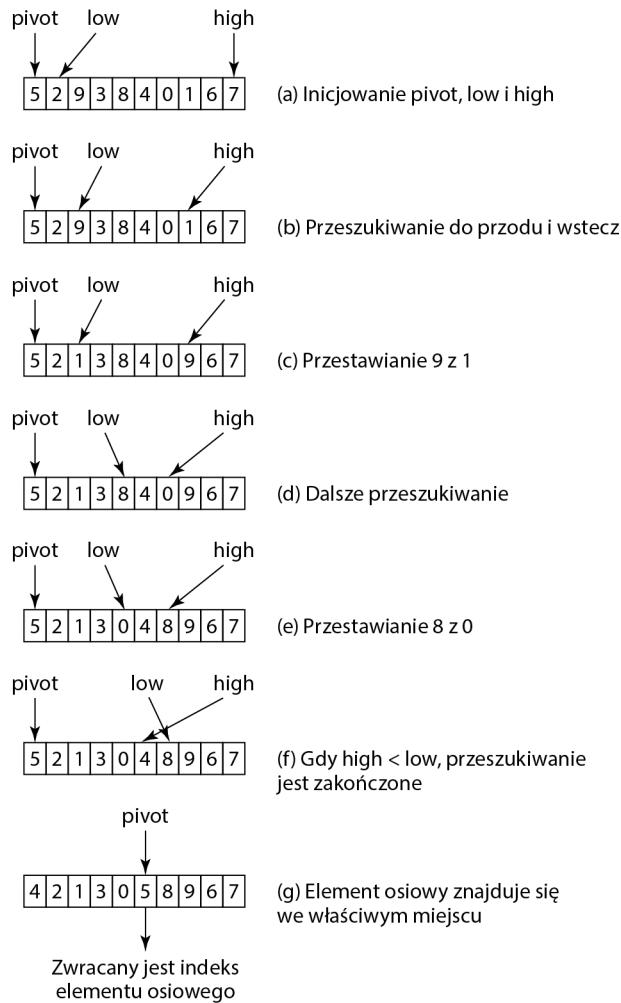
Jeśli element osiowy został przestawiony, metoda zwraca jego nowy indeks (wiersz 44.). W przeciwnym razie zwracany jest pierwotny indeks elementu osiowego (wiersz 47.).

ilustracja podziału

Na rysunku 23.8 pokazany jest podział tablicy (5 2 9 3 8 4 0 1 6 7). Jako osiowy (`pivot`) wybierany jest pierwszy element, 5. Początkowo `low` to indeks elementu 2, a `high` to indeks elementu 7 (rysunek 23.8a). Indeks `low` jest zwiększany, aby znaleźć pierwszy element (9) większy od osiowego, a indeks `high` jest zmniejszany w poszukiwaniu pierwszego elementu (1) mniejszego od osiowego lub mu równego (rysunek 23.8b). Należy przestawić 9 z 1 (rysunek 23.8c) i kontynuować wyszukiwanie. Na rysunku 23.8d indeks `low` wskazuje element 8, a indeks `high` — element 0, dlatego należy przestawić 8 z 0 (rysunek 23.8e). Proces jest kontynuowany do czasu, gdy `low` staje się

animacja podziału  
w witrynie

większe od high (rysunek 23.8f). Oznacza to, że wszystkie elementy zostały sprawdzone. Element osiowy należy przestawić z elementem 4 (o indeksie high). Ostateczny podział jest pokazany na rysunku 23.8g. Po zakończeniu pracy metoda zwraca indeks elementu osiowego. Interaktywną ilustrację podziału znajdziesz na stronie <http://liveexample.pearsoncmg.com/dsanimation/QuickSortNeweBook.html>.



**RYСУNEK 23.8.** Metoda partition zwraca indeks elementu osiowego po jego umieszczeniu we właściwym miejscu

złożoność podziału to  $O(n)$  Podział tablicy  $n$  elementów w pesymistycznym przypadku wymaga  $n$  porównań i  $n$  przeniesień. Czas podziału wynosi więc  $O(n)$ .

złożoność dla przypadku pesymistycznego to  $O(n^2)$  W pesymistycznym przypadku element osiowy za każdym razem dzieli tablicę na jedną dużą i jedną pustą podtablicę. Wielkość dużej podtablicy jest o 1 mniejsza od wersji sprzed podziału. Złożoność algorytmu wynosi więc  $(n - 1) + (n - 2) + \dots + 2 + 1 = O(n^2)$ .

W przypadku optymistycznym element osiowy za każdym razem dzieli tablicę na mniej więcej równe części. Niech  $T(n)$  oznacza czas potrzebny na posortowanie tablicy  $n$  elementów. Wtedy:

Rekurencyjne szybkie  
 sortowanie dwóch podtablic      Czas podziału

$$T(n) = T\left(\frac{n}{2}\right) + T\left(\frac{n}{2}\right) + n$$

złożoność dla przypadku  
średniego to  $O(n \log n)$

Podobnie jak w analizach sortowania przez scalanie otrzymujemy  $T(n) = O(n \log n)$ . Średnio element osiowy nie dzieli za każdym razem tablicy na podtablice tej samej wielkości lub na pustą i dużą podtablicę. Jednak statystycznie wielkości obu części są zbliżone. Dlatego średnio czas wynosi  $O(n \log n)$ . Szczegółowe analizy przypadku średniego wykraczają poza zakres tej książki.

sortowanie szybkie  
a sortowanie przez  
scalanie

Sortowanie przez scalanie i sortowanie szybkie są oparte na podejściu dziel i rządź. W sortowaniu przez scalanie większość pracy to scalanie dwóch podlist wykonywane *po* ich posortowaniu. W sortowaniu szybkim najbardziej wymagający jest podział listy na podlisty, co dzieje się *przed* sortowaniem podlist. W przypadku pesymistycznym sortowanie przez scalanie jest wydajniejsze od sortowania szybkiego, ale w przypadku średnim złożoność obu technik jest taka sama. Scalanie przez sortowanie wymaga tablicy tymczasowej do sortowania podtablic. W sortowaniu szybkim nie potrzeba pamięci na dodatkową tablicę. Dlatego sortowanie szybkie jest wydajniejsze ze względu na pamięć.



- 23.5.1.** Opisz sortowanie szybkie. Jaka jest złożoność czasowa tej techniki?
- 23.5.2.** Dlaczego sortowanie szybkie jest wydajniejsze pamięciowo od sortowania przez scalanie?
- 23.5.3.** Wzorując się na rysunku 23.7, pokaż przebieg sortowania szybkiego listy {45, 11, 50, 59, 60, 2, 4, 7, 10}.
- 23.5.4.** Czy kod będzie działał, jeśli usuniesz wiersze 37. i 38. z programu do sortowania szybkiego? Podaj kontrprzykład pokazujący, że kod nie zadziała.

## 23.6. Sortowanie przez kopcowanie



W sortowaniu przez kopcowanie używany jest binarny kopiec. Najpierw wszystkie elementy są dodawane do kopca, a następnie usuwane są kolejno największe elementy, aby uzyskać posortowaną listę.

sortowanie przez kopcowanie  
korzeń  
lewe poddrzewo  
prawe poddrzewo  
długość  
głębokość  
liść

W sortowaniu przez kopcowanie używany jest binarny kopiec, czyli kompletne drzewo binarne. Drzewo binarne jest strukturą hierarchiczną. Jest albo puste, albo zawiera element nazywany *korzeniem* i dwa różne drzewa binarne — *lewe poddrzewo* i *prawe poddrzewo*. Długość ścieżki to liczba krawędzi w drzewie. Głębokość węzła to długość ścieżki z korzenia do tego węzła. Węzeł, który nie ma poddrzew, to *liść*.

*Kopiec binarny* jest drzewem binarnym o następujących cechach:

- kształt — kompletne drzewo binarne,
- kopiec — każdy węzeł jest większy lub równy względem wszystkich jego podwęzłów.

kompletne drzewo binarne

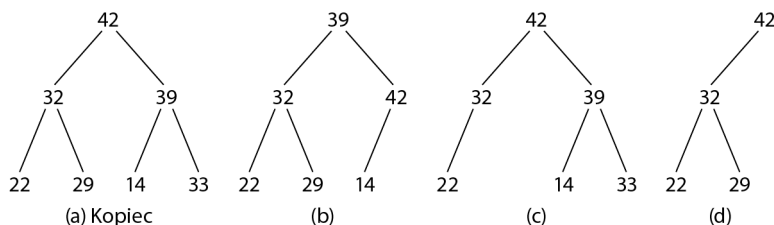
Drzewo binarne jest *kompletne*, jeśli jest na każdym poziomie pełne (wyjątkiem jest ostatni poziom) i wszystkie liście na ostatnim poziomie są umieszczone od lewej strony. Na rysunku 23.9 drzewa binarne (a) i (b) są kompletne, ale drzewa binarne (c) i (d) już nie. Ponadto drzewo binarne (a) jest kopcem, ale drzewo binarne (b) już nie, ponieważ korzeń (39) jest mniejszy niż prawe dziecko (42).



### Uwaga

*Kopiec* to pojęcie mające w informatyce wiele znaczeń. W tym rozdziale oznacza kopiec binarny.

kopiec

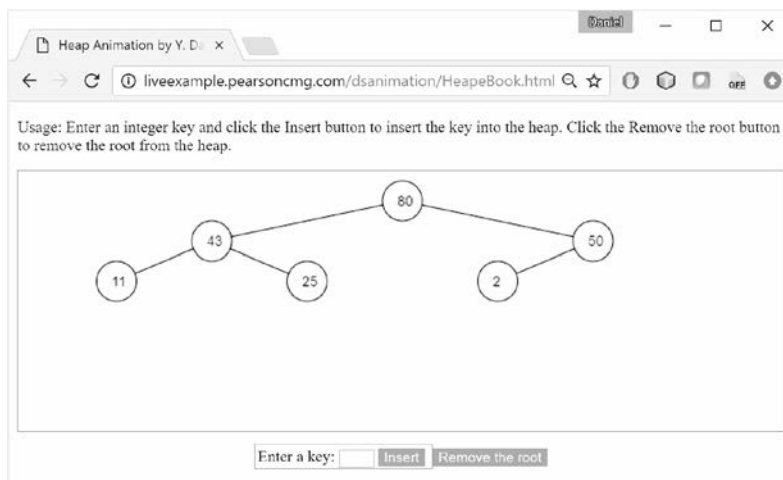


RYSUNEK 23.9. Kopiec binarny jest specjalną odmianą kompletnego drzewa binarnego

**Uwaga edukacyjna**

Kopiec można wydajnie zaimplementować na potrzeby wstawiania kluczy i usuwania korzenia. Interaktywną ilustrację działania kopca znajdziesz na stronie <http://liveexample.pearsoncmg.com/dsanimation/HeapeBook.html> (rysunek 23.10).

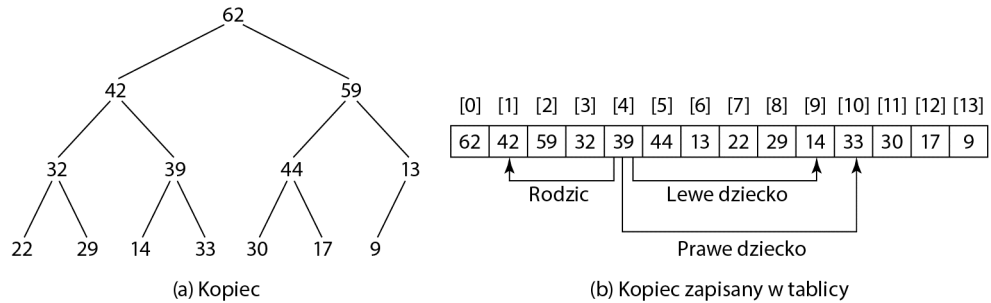
animacja działania kopca  
w witrynie



RYSUNEK 23.10. Narzędzie do animacji działania kopca umożliwia wstawianie kluczy i usuwanie korzenia

### 23.6.1. Przechowywanie kopca

Kopiec można przechowywać na liście `ArrayList` lub w tablicy, jeśli jego wielkość jest z góry znana. Kopiec z rysunku 23.11a można zapisać w tablicy z rysunku 23.11b. Korzeń znajduje się na pozycji 0, a dwójka jego dzieci — na pozycjach 1 i 2. Dla węzła z pozycji  $i$  jego lewe dziecko znajduje się na pozycji  $2i + 1$ , prawe dziecko na pozycji  $2i + 2$ , a rodzic na pozycji  $(i - 1)/2$ . Węzeł z elementem 39 znajduje się na pozycji 4, dlatego jego lewe dziecko (element 14) jest zapisany na pozycji 9 ( $2 \times 4 + 1$ ), prawe dziecko (element 33) na pozycji 10 ( $2 \times 4 + 2$ ), a rodzic (element 42) na pozycji 1 ( $(4 - 1)/2$ ).



RYSUNEK 23.11. Kopiec binarny można zaimplementować za pomocą tablicy

### 23.6.2. Dodawanie węzła

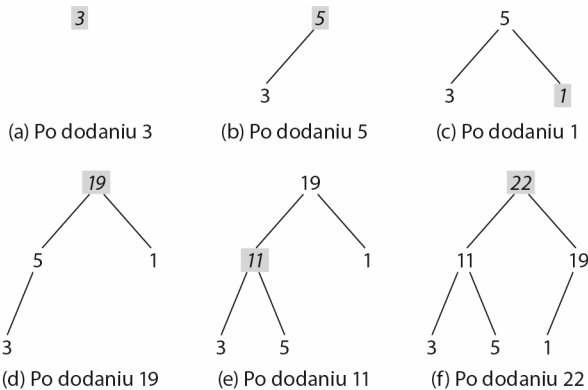
Aby dodać do kopca nowy węzeł, najpierw umieść go na końcu kopca, a następnie zmodyfikuj drzewo:

```

Użyj ostatniego węzła jako bieżącego;
while (bieżący węzeł jest większy niż jego rodzic) {
    Przetaw bieżący węzeł z rodzicem;
    Bieżący węzeł znajduje się o poziom wyżej;
}

```

Przyjmij, że początkowo kopiec jest pusty. Na rysunku 23.12 widać kopiec po dodaniu liczb 3, 5, 1, 19, 11 i 22 w tej kolejności.

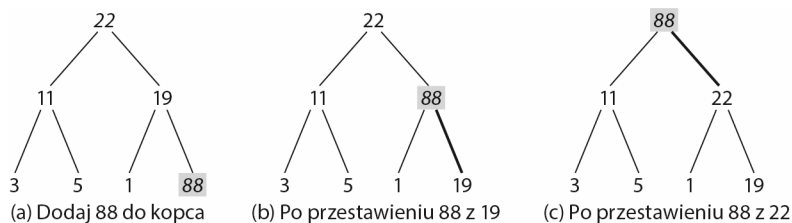


RYSUNEK 23.12. Elementy 3, 5, 1, 19, 11 i 22 są wstawiane do kopca

Teraz rozważ dodawanie 88 do kopca. Należy umieścić tę wartość na końcu drzewa (rysunek 23.13c), przestawić 88 z 19 (rysunek 23.13b) i przestawić 88 z 22 (rysunek 23.13c).

### 23.6.3. Usuwanie korzenia

Często trzeba usunąć znajdujący się w korzeniu maksymalny element. Po usunięciu korzenia drzewo trzeba zmodyfikować, by pozostało kopcem. Algorytm modyfikowania drzewa można opisać tak:



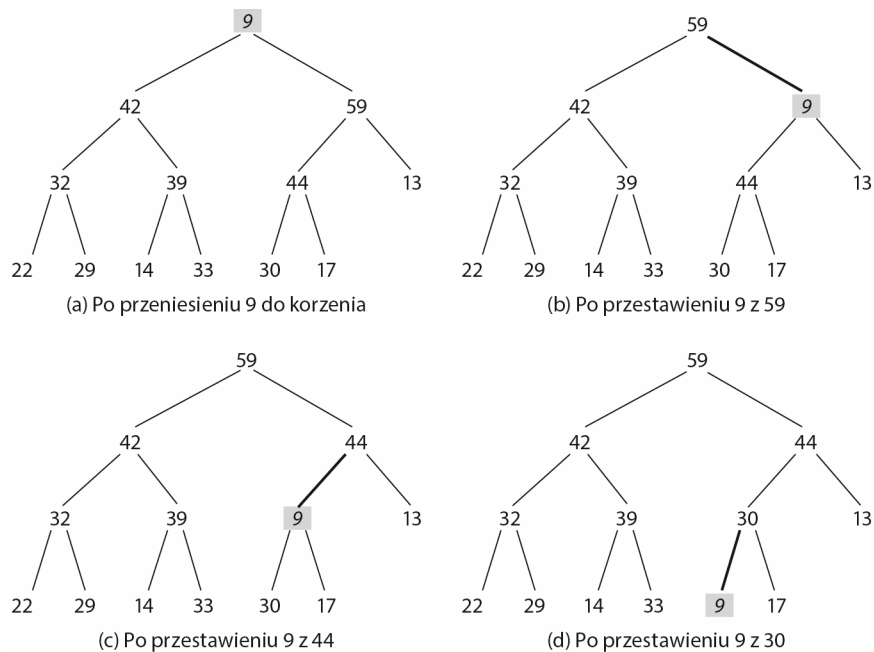
RYSUNEK 23.13. Modyfikowanie kopca po dodaniu nowego węzła

```

Przenieś ostatni węzeł, aby zastąpić korzeń;
Użyj korzenia jako bieżącego węzła;
while (bieżący węzeł ma dzieci
      i jest mniejszy od któregoś z dzieci) {
    Przetaw bieżący węzeł z większym z dzieci;
    Bieżący węzeł znajduje się poziom niżej;
}

```

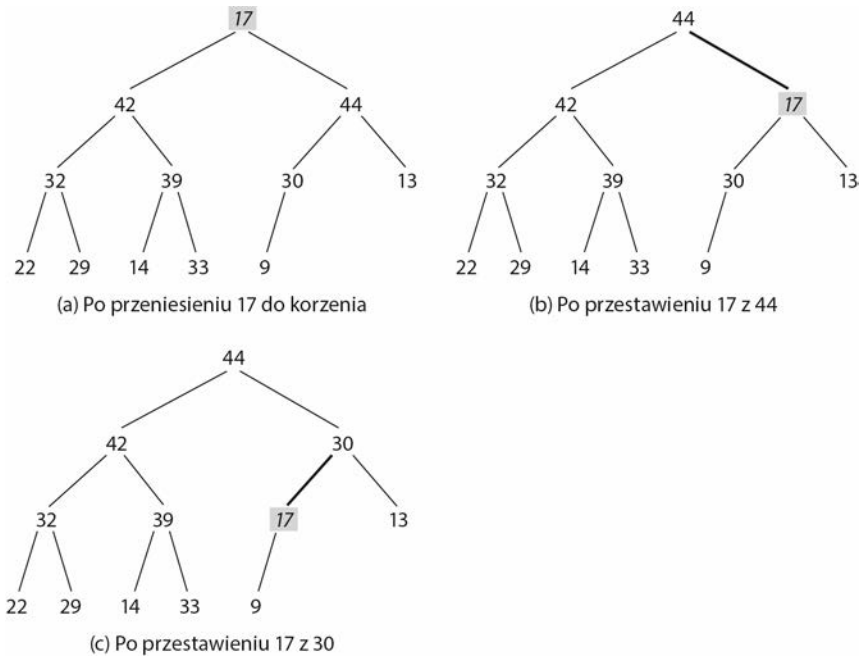
Na rysunku 23.14 pokazany jest proces modyfikowania kopca po usunięciu korzenia 62 z rysunku 23.11a. Jako korzeń ustawiany jest ostatni węzeł (9; rysunek 23.14a). Algorytm przestawia 9 z 59 (rysunek 23.14b), 9 z 44 (rysunek 23.14c) i 9 z 30 (rysunek 23.14d).



RYSUNEK 23.14. Modyfikowanie kopca po usunięciu korzenia 62

Rysunek 23.15 przedstawia modyfikowanie kopca po usunięciu korzenia 59 z rysunku 23.14d. Przenieś ostatni węzeł (17) do korzenia (rysunek 23.15a), przestaw 17 z 44 (rysunek 23.15b) i 17 z 30 (rysunek 23.15c).

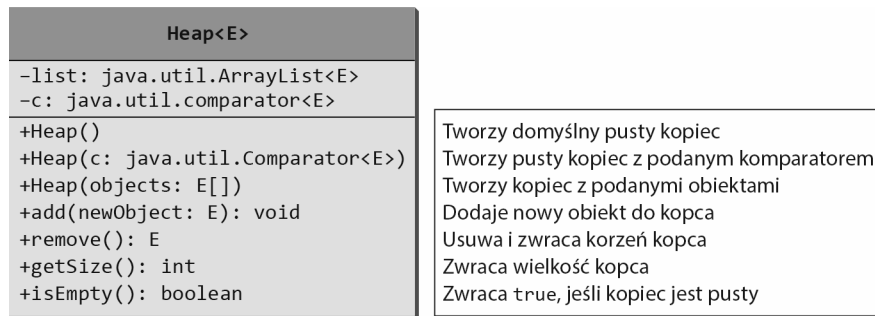




RYSUNEK 23.15. Modyfikowanie kopca po usunięciu korzenia 59

### 23.6.4. Klasa Heap

Teraz możesz zaprojektować i zaimplementować klasę Heap. Jej diagram jest pokazany na rysunku 23.16, a implementacja na listingu 23.9.



RYSUNEK 23.16. Klasa Heap udostępnia operacje do zarządzania kopcem

LISTING 23.9. Heap.java

```

1 public class Heap<E> {
2     private java.util.ArrayList<E> list = new java.util.ArrayList<>();
3     private java.util.Comparator<? super E> c;
4
5     /** Tworzy domyślny kopiec */

```

wewnętrzna reprezentacja  
kopca  
komparator

## 992 Rozdział 23. Sortowanie

```
konstruktor bezargumentowy 6 public Heap() {
tworzenie komparatora      7     this.c = (e1, e2) -> ((Comparable<E>)e1).compareTo(e2);
                             8 }
                             9
konstruktor                 10 /** Tworzy kopiec z podanym komparatorem */
                             11 public Heap(java.util.Comparator<E> c) {
                             12     this.c = c;
                             13 }
                             14
konstruktor                 15 /** Tworzy kopiec na podstawie tablicy obiektów */
                             16 public Heap(E[] objects) {
                             17     this.c = (e1, e2) -> ((Comparable<E>)e1).compareTo(e2);
                             18     for (int i = 0; i < objects.length; i++)
                             19         add(objects[i]);
                             20 }
                             21
                             22 /** Dodawanie nowego obiektu do kopca */
dodawanie nowego obiektu   23 public void add(E newObject) {
dołączanie obiektu         24     list.add(newObject); // Dołączanie obiektu do kopca
                             25     int currentIndex = list.size() - 1; // Indeks ostatniego węzła
                             26
                             27     while (currentIndex > 0) {
                             28         int parentIndex = (currentIndex - 1) / 2;
                             29         // Przesławianie, jeśli bieżący obiekt jest większy niż rodzic
                             30         if (c.compare(list.get(currentIndex),
                             31             list.get(parentIndex)) > 0) {
przestawianie z rodzicem   32             E temp = list.get(currentIndex);
                             33             list.set(currentIndex, list.get(parentIndex));
                             34             list.set(parentIndex, temp);
                             35         }
                             36         else
teraz to kopiec            37             break; // Drzewo jest teraz kopcem
                             38
                             39             currentIndex = parentIndex;
                             40         }
                             41     }
                             42
                             43     /** Usuwanie korzenia z kopca */
usuwanie korzenia          44     public E remove() {
opróżnianie kopca         45         if (list.size() == 0) return null;
                             46
                             47         E removedObject = list.get(0);
korzeń                     48         list.set(0, list.get(list.size() - 1));
nowy korzeń                49         list.remove(list.size() - 1);
usuwanie ostatniego       50         elementu
                             51         int currentIndex = 0;
dostosowanie drzewa       52         while (currentIndex < list.size()) {
                             53             int leftChildIndex = 2 * currentIndex + 1;
                             54             int rightChildIndex = 2 * currentIndex + 2;
                             55
                             56             // Znajdowanie maksymalnego dziecka
                             57             if (leftChildIndex >= list.size()) break; // Drzewo jest kopcem
                             58             int maxIndex = leftChildIndex;
                             59             if (rightChildIndex < list.size()) {
porównanie dwóch dzieci   60                 if (c.compare(list.get(maxIndex),
```

przestawianie z większym  
dzieckiem

```

61         list.get(rightChildIndex) < 0) {
62             maxIndex = rightChildIndex;
63         }
64     }
65
66     // Przestawianie, jeśli bieżący węzeł jest mniejszy od maksimum
67     if (c.compare(list.get(currentIndex),
68                 list.get(maxIndex)) < 0) {
69         E temp = list.get(maxIndex);
70         list.set(maxIndex, list.get(currentIndex));
71         list.set(currentIndex, temp);
72         currentIndex = maxIndex;
73     }
74     else
75         break; // Drzewo jest kopcem
76 }
77
78     return removedObject;
79 }
80
81 /** Pobieranie liczby węzłów w drzewie */
82 public int getSize() {
83     return list.size();
84 }
85
86 /** Zwraca true, jeśli kopiec jest pusty */
87 public boolean isEmpty() {
88     return list.size() == 0;
89 }
90 }

```

Kopiec jest reprezentowany wewnątrznie za pomocą listy (wiersz 2.). Można zastąpić klasę `ArrayList` inną strukturą danych, a kontrakt klasy `Heap` pozostanie bez zmian.

Elementy kopca można porównywać za pomocą komparatora lub (jeśli nie podasz komparatora) według porządku naturalnego.

Konstruktor bezargumentowy (wiersz 6.) tworzy pusty kopiec, a porównywanie odbywa się za pomocą komparatora opartego na porządku naturalnym. Ten komparator jest tworzony za pomocą wyrażenia lambda (wiersz 7.).

Metoda `add(E newObject)` (wiersze 23. – 41.) dołącza obiekt do drzewa, a następnie jeśli obiekt jest większy od jego rodzica, przestawia te elementy. Proces ten jest kontynuowany do czasu, gdy nowy obiekt stanie się korzeniem lub będzie nie większy niż rodzic.

Metoda `remove()` (wiersze 44. – 79.) usuwa i zwraca korzeń. Aby kopiec pozostał kopcem, metoda przenosi ostatni obiekt do korzenia i jeśli ów obiekt jest mniejszy od większego z dzieci, przestawia te elementy. Proces ten jest kontynuowany do czasu, gdy ostatni obiekt stanie się liściem lub będzie nie mniejszy od dzieci.

### 23.6.5. Sortowanie z użyciem klasy `Heap`

Aby posortować tablicę za pomocą kopca, najpierw utwórz obiekt klasy `Heap`, dodaj wszystkie elementy do kopca za pomocą metody `add` i usuń wszystkie elementy z kopca za pomocą metody `remove`. Elementy należy usuwać malejąco. Na listingu 23.10 przedstawiony jest program do sortowania tablicy za pomocą kopca.

LISTING 23.10. HeapSort.java

```

1 import java.util.Comparator;
2
3 public class HeapSort {
4     /** Metoda heapSort */
5     public static <E> void heapSort(E[] list) {
6         // Tworzenie kopca liczb całkowitych
7         heapSort(list, (e1, e2) -> ((Comparable<E>)e1).compareTo(e2));
8     }
9
10    /** Metoda heapSort */
11    public static <E> void heapSort(E[] list, Comparator<E> c) {
12        // Tworzenie kopca liczb całkowitych
13        Heap<E> heap = new Heap<>(c);
14
15        // Dodawanie elementów do kopca
16        for (int i = 0; i < list.length; i++)
17            heap.add(list[i]);
18
19        // Usuwanie elementów z kopca
20        for (int i = list.length - 1; i >= 0; i--)
21            list[i] = heap.remove();
22    }
23
24    /** Metoda testowa */
25    public static void main(String[] args) {
26        Integer[] list = {-44, -5, -3, 3, 3, 1, -4, 0, 1, 2, 4, 5, 53};
27        heapSort(list);
28        for (int i = 0; i < list.length; i++)
29            System.out.print(list[i] + " ");
30    }
31 }

```

domyślna metoda heapSort

metoda heapSort z komparatorem tworzenie kopca

dodawanie elementu

usuwanie elementu

wywołanie metody heapSort



```
-44 -5 -4 -3 0 1 1 2 3 3 4 5 53
```

Dostępne są dwie wersje metody heapSort. Wersja heapSort(E[] list) (wiersz 5.) sortuje listę w porządku naturalnym z wykorzystaniem interfejsu Comparable. Metoda heapSort(E[] list, Comparator<E> c) (wiersz 11.) sortuje listę z użyciem podanego komparatora.

### 23.6.6. Złożoność czasowa sortowania przez kopcowanie

wysokość kopca

Skup się teraz na analizie złożoności czasowej sortowania przez kopcowanie. Niech  $h$  oznacza wysokość kopca o  $n$  elementach. Wysokość niepełnego drzewa to długość ścieżki z korzenia do najdalszego węzła. Wysokość drzewa zawierającego 1 węzeł to 0. Zwyczajowo wysokość pustego drzewa jest podawana jako  $-1$ . Ponieważ kopiec jest kompletnym drzewem binarnym, na pierwszym poziomie znajduje się 1 węzeł ( $2^0$ ), na drugim poziomie mamy 2 węzły ( $2^1$ ), a na  $k$ -tym poziomie —  $2^{k-1}$  węzłów. Poziom  $h$  ma więc  $2^{h-1}$  węzłów, a ostatni poziom ( $h + 1$ ) przynajmniej 1 węzeł, a maksymalnie  $2^h$  węzłów. Tak więc:

$$1 + 2 + \dots + 2^{h-1} < n \leq 1 + 2 + \dots + 2^{h-1} + 2^h$$

sortowanie przez kopcowanie a sortowanie przez scalanie

Oznacza to, że:

$$2^{h-1} - 1 < n \leq 2^{h+1} - 1$$

$$2^h < n + 1 \leq 2^{h+1}$$

$$h < \log(n+1) \leq h + 1$$

Mamy więc  $h < \log(n+1)$  i  $h \geq \log(n+1) - 1$ . Z tego wynika, że  $\log(n+1) - 1 < h \leq \log(n+1)$ . Dlatego wysokość kopca to  $O(\log n)$ . Oto bardziej precyzyjne oszacowanie: można dowieść, że dla niepustego drzewa  $h = \lfloor \log n \rfloor$ .

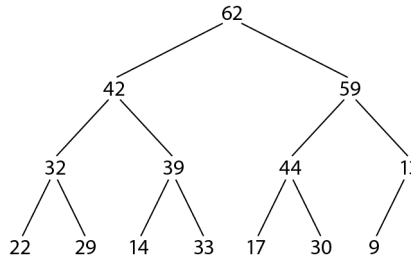
złożoność w przypadku pesymistycznym to  $O(n \log n)$

Ponieważ metoda `add` używa ścieżki z liścia do korzenia, dodanie nowego elementu do kopca zajmuje najwyżej  $h$  kroków. Dlatego łączny czas tworzenia początkowego kopca dla tablicy  $n$  elementów wynosi  $O(n \log n)$ . Metoda `remove` używa ścieżki z korzenia do liścia, dlatego zmodyfikowanie kopca po usunięciu korzenia wymaga najwyżej  $h$  kroków. Metoda `remove` jest wywoływana  $n$  razy, dlatego łączny czas uzyskania posortowanej tablicy na podstawie kopca to  $O(n \log n)$ .

Sortowanie przez scalanie i przez kopcowanie zajmuje  $O(n \log n)$  czasu. Sortowanie przez scalanie wymaga tablicy tymczasowej do scalania podtablic. Sortowanie przez kopcowanie nie wymaga pamięci na dodatkową tablicę. Dlatego sortowanie przez kopcowanie jest wydajniejsze pamięciowo niż sortowanie przez scalanie.



- 23.6.1.** Czym jest kompletne drzewo binarne? Czym jest kopiec? Opisz usuwanie korzenia z kopca i dodawanie nowego obiektu do kopca.
- 23.6.2.** Dodaj elementy 4, 5, 1, 2, 9 i 3 do kopca (w tej kolejności). Narysuj diagramy ilustrujące wygląd kopca po dodaniu każdego elementu.
- 23.6.3.** Pokaż kroki tworzenia kopca z elementami {45, 11, 50, 59, 60, 2, 4, 7, 10}.
- 23.6.4.** Przedstaw wygląd kopca po usunięciu korzenia z rysunku 23.15c.
- 23.6.5.** Pokaż kroki usuwania wszystkich węzłów z poniższego kopca:



- 23.6.6.** Które z poniższych instrukcji są błędne?
- ```

1 Heap<Object> heap1 = new Heap<>();
2 Heap<Number> heap2 = new Heap<>();
3 Heap<BigInteger> heap3 = new Heap<>();
4 Heap<Calendar> heap4 = new Heap<>();
5 Heap<String> heap5 = new Heap<>();

```
- 23.6.7.** Jaką wartość zwraca metoda `remove`, gdy kopiec jest pusty?
- 23.6.8.** Jaka jest złożoność czasowa dodawania nowego elementu do kopca? Jaka jest złożoność czasowa usuwania elementu z kopca?
- 23.6.9.** Jaka jest wysokość niepustego kopca? Jaka jest wysokość kopców zawierających 16, 17 i 512 elementów? Jeśli kopiec ma wysokość 5, ile maksymalnie węzłów może zawierać?



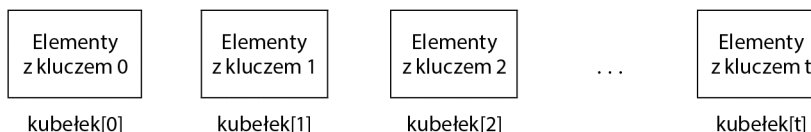
## 23.7. Sortowanie kbelkowe i pozycyjne

*Sortowanie kbelkowe i pozycyjne to wydajne algorytmy sortowania liczb całkowitych.*

Wszystkie algorytmy sortowania opisane do tej pory są algorytmami ogólnymi, działającymi dla kluczy dowolnego typu (liczb całkowitych, łańcuchów znaków i dowolnych obiektów umożliwiających porównywanie). Te algorytmy sortują elementy, porównując klucze. Udowodniono, że żaden algorytm oparty na porównaniach nie ma wydajności wyższej niż  $O(n \log n)$ . Jeśli jednak kluczami są liczby całkowite, można zastosować sortowanie kbelkowe bez konieczności porównywania kluczy.

Algorytm *sortowania kbelkowego* działa tak: przyjmij, że klucze należą do przedziału od 0 do  $t$ . Potrzebnych jest  $t + 1$  kbelków o oznaczeniach 0, 1, ...,  $t$ . Jeśli klucz elementu to  $i$ , element trafia do kbelka  $i$ . Każdy kbelkęk przechowuje elementy z kluczami o tej samej wartości.

sortowanie kbelkowe



Jako kbelków można użyć listy `ArrayList`. Algorytm sortowania kbelkowego listy elementów można opisać tak:

```
public static void bucketSort(E[] list) {
    E[] bucket = (E[])new java.util.ArrayList[t+1];

    // Rozdzielanie elementów listy do kbelków
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        int key = list[i].getKey(); // Przyjmij, że element udostępnia metodę getKey()

        if (bucket[key] == null)
            bucket[key] = new java.util.ArrayList<>();

        bucket[key].add(list[i]);
    }

    // Przenoszenie elementów z kbelków z powrotem na listę
    int k = 0; // k to indeks listy
    for (int i = 0; i < bucket.length; i++) {
        if (bucket[i] != null) {
            for (int j = 0; j < bucket[i].size(); j++)
                list[k++] = bucket[i].get(j);
        }
    }
}
```

Posortowanie listy wymaga  $O(n + t)$  czasu i  $O(n + t)$  pamięci ( $n$  to wielkość listy).

Zauważ, że dla zbyt dużego  $t$  sortowanie kbelkowe jest niewskazane. Lepiej jest użyć wtedy sortowania pozycyjnego, które jest oparte na sortowaniu kbelkowym, ale używa tylko 10 kbelków.

Warto zauważyć, że sortowanie kbelkowe jest *stabilne*. To oznacza, że jeśli dwa elementy pierwotnej listy mają ten sam klucz, ich kolejność na posortowanej liście się nie zmienia. Jeśli elementy  $e_1$  i  $e_2$  mają ten sam klucz i na pierwotnej liście  $e_1$  znajduje się przed  $e_2$ , na posortowanej liście  $e_1$  też znajdzie się przed  $e_2$ .

stabilność

sortowanie pozycyjne

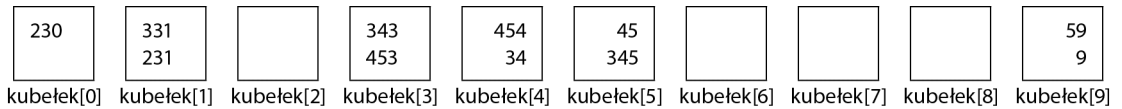
Przyjmij, że kluczami są dodatnie liczby całkowite. *Sortowanie pozycyjne* polega na podziale kluczy na podgrupy za pomocą kulek na podstawie cyfr z określonych pozycji. Należy wielokrotnie stosować sortowanie kulek na podstawie cyfr z określonych pozycji, począwszy od pozycji najmniej istotnej.

animacja sortowania  
pozycyjnego w witrynie

Rozważ sortowanie pozycyjne elementów o następujących kluczach:

331, 454, 230, 34, 343, 45, 59, 453, 345, 231, 9

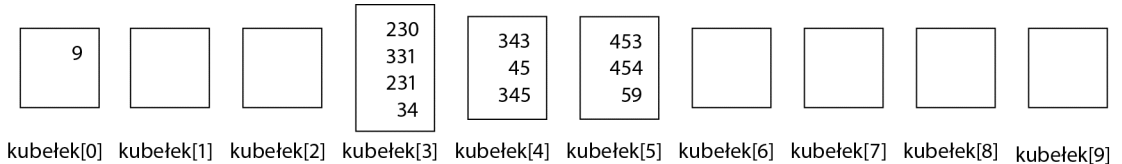
Należy wykonać sortowanie kulek według ostatniej pozycji. Elementy są umieszczane w kulekach:



Kolejność elementów pobranych z kulek jest taka:

230, 331, 231, 343, 453, 454, 34, 45, 345, 59, 9

Teraz sortowanie kulek jest stosowane według przedostatniej pozycji i elementy trafiają do kulek:

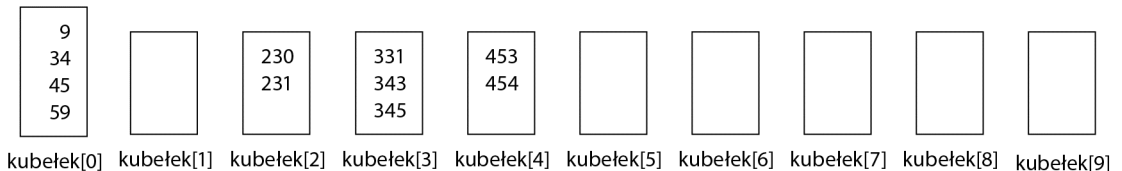


Kolejność elementów pobranych z kulek jest taka:

9, 230, 331, 231, 34, 343, 45, 345, 453, 454, 59

Zauważ, że 9 jest traktowane jak 009.

Następnie sortowanie kulek jest stosowane do pozycji trzeciej od końca. Elementy trafiają do kulek:



Oto kolejność elementów pobranych z kulek:

9, 34, 45, 59, 230, 231, 331, 343, 345, 453, 454

Elementy są teraz posortowane.

Sortowanie pozycyjne  $n$  elementów z kluczami całkowitoliczbowymi wymaga  $O(dn)$  czasu, gdzie  $d$  to maksymalna liczba pozycji w kluczach.



**23.7.1.** Czy za pomocą sortowania kulekowego można posortować listę łańcuchów znaków?

**23.7.2.** Przedstaw przebieg sortowania pozycyjnego liczb 454, 34, 23, 43, 74, 86 i 76.



## 23.8. Sortowanie zewnętrzne

Sortowanie zewnętrzne umożliwia sortowanie dużych ilości danych.

We wszystkich algorytmach sortowania omawianych w poprzednich podrozdziałach obowiązywało założenie, że całe sortowane dane mieszczą się w pamięci wewnętrznej, na przykład w tablicy. Aby posortować dane zapisane w zewnętrznym pliku, trzeba najpierw przenieść dane do pamięci i posortować je wewnętrznie. Jeśli jednak plik jest zbyt duży, nie da się jednocześnie umieścić wszystkich danych w pamięci. W tym podrozdziale opisane jest sortowanie danych z dużych zewnętrznych plików. Służy do tego *sortowanie zewnętrzne*.

Dla uproszczenia przyjmij, że w pliku binarnym *largedata.dat* zapisane są 2 miliony wartości typu `int`. Ten plik jest tworzony za pomocą programu z listingu 23.11.

**LISTING 23.11.** CreateLargeFile.java

```

1 import java.io.*;
2
3 public class CreateLargeFile {
4     public static void main(String[] args) throws Exception {
5         DataOutputStream output = new DataOutputStream(
6             new BufferedOutputStream(
7                 new FileOutputStream("largedata.dat"));
8
9         for (int i = 0; i < 2_000_000; i++)
10            output.writeInt((int)(Math.random() * 1000000));
11
12            output.close();
13
14            // Wyświetlanie pierwszych 100 liczb
15            DataInputStream input = new DataInputStream(
16                new BufferedInputStream(new FileInputStream("largedata.dat")));
17            for (int i = 0; i < 100; i++)
18                System.out.print(input.readInt() + " ");
19
20            input.close();
21        }
22    }

```

sortowanie zewnętrzne

binarny strumień wyjściowy

zapis wartości typu int

zamykanie pliku wyjściowego

odczyt wartości typu int

zamykanie pliku wejściowego



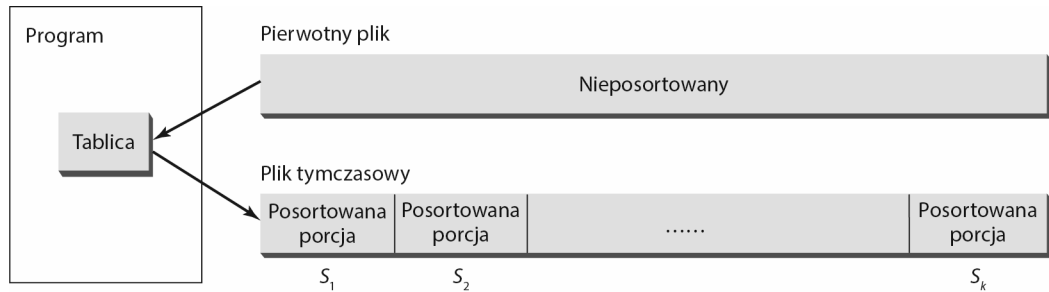
569193 131317 608695 776266 767910 624915 458599 5010 ... itd.

Do posortowania tego pliku w dwóch etapach można użyć odmiany sortowania przez scalanie:

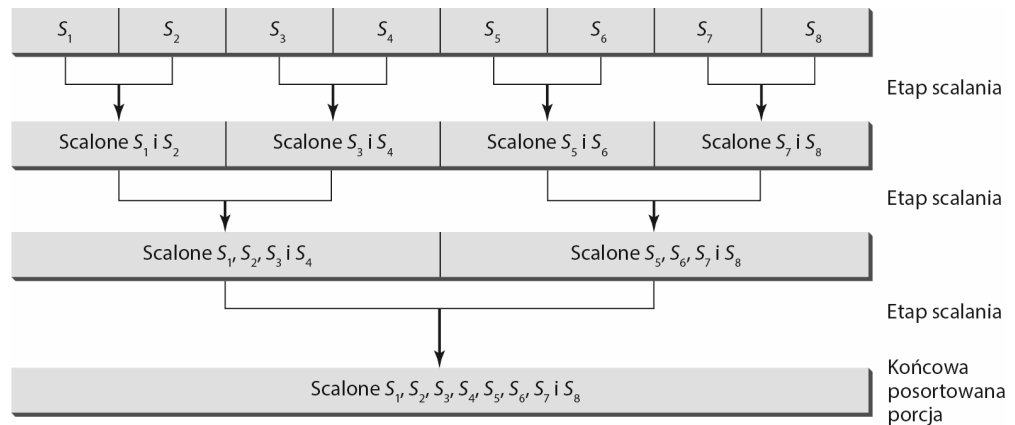
**Etap 1.** Wielokrotne wczytywanie danych z pliku do tablicy, sortowanie tablicy za pomocą wewnętrznego algorytmu sortowania i zapisywanie danych z tablicy w pliku tymczasowym. Ten proces jest pokazany na rysunku 23.17. Najlepiej jest utworzyć dużą tablicę, ale jej maksymalna wielkość zależy od ilości pamięci przydzielonej maszynie JVM przez system operacyjny. Przyjmij, że maksymalna wielkość tablicy to 100 000 wartości typu `int`. W pliku tymczasowym każde 100 000 takich wartości jest posortowanych. Te porcje są oznaczone jako  $S_1, S_2, \dots, S_k$ , przy czym ostatnia porcja,  $S_k$ , może zawierać mniej niż 100 000 wartości.

**Etap 2.** Scalane są pary posortowanych porcji ( $S_1$  z  $S_2, S_3$  z  $S_4$  itd.), aby uzyskać większą posortowaną porcję zapisywaną w nowym pliku tymczasowym. Proces ten jest kontynuowany do czasu otrzymania jednej dużej posortowanej porcji. Na rysunku 23.18 pokazano scalanie ośmiu porcji.





RYSUNEK 23.17. Pierwotny plik jest sortowany porcjami



RYSUNEK 23.18. Posortowane porcje są iteracyjnie scalane

**Uwaga**

Nie trzeba scalać dwóch kolejnych porcji. Możesz na przykład scalać  $S_1$  z  $S_5$ ,  $S_2$  z  $S_6$ ,  $S_3$  z  $S_7$  i  $S_4$  z  $S_8$ . Ta obserwacja przyda się do wydajnego zaimplementowania etapu 2.

### 23.8.1. Implementowanie etapu 1.

Na listingu 23.12 pokazana jest metoda, która wczytuje każdą porcję danych z pliku, sortuje porcję i zapisuje posortowane porcje w nowym pliku. Metoda zwraca liczbę porcji.

LISTING 23.12. Tworzenie posortowanych porcji

```

1 /** Sortowanie pierwotnego pliku w posortowane porcje */
2 private static int initializeSegments
3     (int segmentSize, String originalFile, String f1)
4     throws Exception {
5     int[] list = new int[segmentSize];
6     DataInputStream input = new DataInputStream(
7         new BufferedInputStream(new FileInputStream(originalFile)));
8     DataOutputStream output = new DataOutputStream(
9         new BufferedOutputStream(new FileOutputStream(f1)));
10

```

pierwotny plik

plik z posortowanymi  
porcjami

```

11  int numberOfSegments = 0;
12  while (input.available() > 0) {
13      numberOfSegments++;
14      int i = 0;
15      for ( ; input.available() > 0 && i < segmentSize; i++) {
16          list[i] = input.readInt();
17      }
18
19      // Sortowanie tablicy list[0..i-1]
20      java.util.Arrays.sort(list, 0, i);
21
22      // Zapis tablicy w pliku f1.dat
23      for (int j = 0; j < i; j++) {
24          output.writeInt(list[j]);
25      }
26  }
27
28  input.close();
29  output.close();
30
31  return numberOfSegments;
32 }

```

sortowanie porcji

zapis w pliku

zamykanie pliku

zwraca liczbę porcji

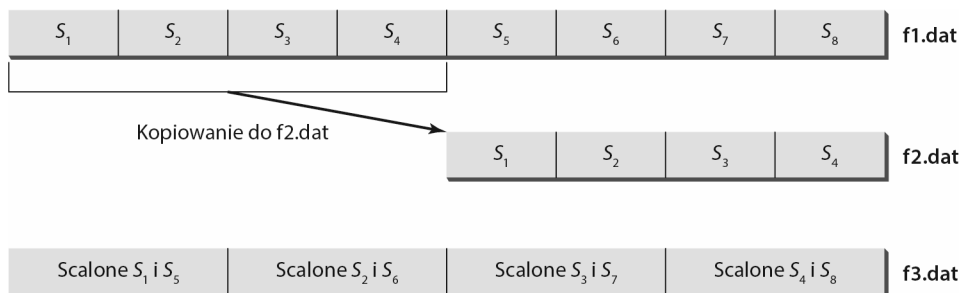
Ta metoda tworzy tablicę o maksymalnej wielkości (wiersz 5.), strumień wejściowy powiązany z pierwotnym plikiem (wiersz 6.) i strumień wyjściowy powiązany z plikiem tymczasowym (wiersz 8.). W celu poprawy wydajności używane są strumienie buforowane.

Kod z wierszy 14. – 17. wczytuje porcję danych z pliku do tablicy. W wierszu 20. tablica jest sortowana. Wiersze 23. – 25. zapisują dane z tablicy do pliku tymczasowego.

W wierszu 31. zwracana jest liczba porcji. Zauważ, że każda porcja oprócz ostatniej ma `MAX_ARRAY_SIZE` elementów (w ostatniej porcji elementów może być mniej).

### 23.8.2. Implementowanie etapu 2.

W każdym kroku scalania dwie posortowane porcje są scalane w nową porcję. Po każdym kroku scalania wielkość nowych porcji jest podwajana, a liczba porcji spada o połowę. Porcje stają się teraz za duże, aby je pomieścić w pamięci. Na etapie scalania należy skopiować połowę porcji z pliku *f1.dat* do pliku tymczasowego *f2.dat*, a następnie scalić pierwszą pozostałą porcję z *f1.dat* z pierwszą porcją z *f2.dat* i zapisać wynik w pliku tymczasowym *f3.dat*, co ilustruje rysunek 23.19.



RYСУNEK 23.19. Posortowane porcje są iteracyjnie scalane

**Uwaga**

W *f1.dat* może znajdować się jedna porcja więcej niż w *f2.dat*. Wtedy po scalaniu przenieś ostatnią porcję do *f3.dat*.

Metoda z listingu 23.13 kopiuje pierwszą połowę porcji z *f1.dat* do *f2.dat*. Metoda z listingu 23.14 scala wszystkie pary porcji z *f1.dat* i *f2.dat*. Metoda z listingu 23.15 scala dwie porcje.

**LISTING 23.13.** Kopiowanie pierwszej połowy porcji

```

1 private static void copyHalfToF2(int numberOfSegments,
2     int segmentSize, DataInputStream f1, DataOutputStream f2)
3     throws Exception {
4     for (int i = 0; i < (numberOfSegments / 2) * segmentSize; i++) {
5         f2.writeInt(f1.readInt());
6     }
7 }

```

strumień wejściowy f1  
kopiowanie porcji

**LISTING 23.14.** Scalanie wszystkich porcji

```

1 private static void mergeSegments(int numberOfSegments,
2     int segmentSize, DataInputStream f1, DataInputStream f2,
3     DataOutputStream f3) throws Exception {
4     for (int i = 0; i < numberOfSegments; i++) {
5         mergeTwoSegments(segmentSize, f1, f2, f3);
6     }
7
8     // Jeśli f1 zawiera dodatkową porcję, należy skopiować ją do f3
9     while (f1.available() > 0) {
10        f3.writeInt(f1.readInt());
11    }
12 }

```

strumienie wejściowe f1 i f2  
strumień wyjściowy f3  
scalanie 2 porcji  
dodatkowa porcja w f1?

**LISTING 23.15.** Scalanie dwóch porcji

```

1 private static void mergeTwoSegments(int segmentSize,
2     DataInputStream f1, DataInputStream f2,
3     DataOutputStream f3) throws Exception {
4     int intFromF1 = f1.readInt();
5     int intFromF2 = f2.readInt();
6     int f1Count = 1;
7     int f2Count = 1;
8
9     while (true) {
10        if (intFromF1 < intFromF2) {
11            f3.writeInt(intFromF1);
12            if (f1.available() == 0 || f1Count++ >= segmentSize) {
13                f3.writeInt(intFromF2);
14                break;
15            }
16        } else {
17            intFromF1 = f1.readInt();
18        }
19    }
20    else {
21        f3.writeInt(intFromF2);

```

strumienie wejściowe f1 i f2  
strumień wyjściowy f3  
odczyt z f1  
odczyt z f2  
zapis w f3  
koniec porcji z f1  
zapis w f3

```

22     if (f2.available() == 0 || f2Count++ >= segmentSize) {
23         f3.writeInt(intFromF1);
24         break;
25     }
26     else {
27         intFromF2 = f2.readInt();
28     }
29 }
30 }
31
32 while (f1.available() > 0 && f1Count++ < segmentSize) {
33     f3.writeInt(f1.readInt());
34 }
35
36 while (f2.available() > 0 && f2Count++ < segmentSize) {
37     f3.writeInt(f2.readInt());
38 }
39 }

```

koniec porcji z f2

reszta porcji z f1

reszta porcji z f2

### 23.8.3. Łączenie dwóch etapów

Na listingu 23.16 pokazany jest kompletny program do sortowania wartości typu `int` z pliku *largedata.dat* i zapisywania posortowanych danych w pliku *sortedfile.dat*.

**LISTING 23.16.** SortLargeFile.java

```

1 import java.io.*;
2
3 public class SortLargeFile {
4     public static final int MAX_ARRAY_SIZE = 100000;
5     public static final int BUFFER_SIZE = 100000;
6
7     public static void main(String[] args) throws Exception {
8         // Sortowanie danych z largedata.dat i zapisywanie ich w pliku sortedfile.dat
9         sort("largedata.dat", "sortedfile.dat");
10
11        // Wyświetlanie pierwszych 100 liczb z posortowanego pliku
12        displayFile("sortedfile.dat");
13    }
14
15    /** Sortowanie danych z pliku źródłowego i ich zapis w pliku docelowym */
16    public static void sort(String sourcefile, String targetfile)
17        throws Exception {
18        // Implementacja etapu 1. Tworzenie porcji
19        int numberOfSegments =
20            initializeSegments(MAX_ARRAY_SIZE, sourcefile, "f1.dat");
21
22        // Implementacja etapu 2. Rekurencyjne scalanie porcji
23        merge(numberOfSegments, MAX_ARRAY_SIZE,
24            "f1.dat", "f2.dat", "f3.dat", targetfile);
25    }
26
27    /** Dzieli pierwotny plik na posortowane porcje */
28    private static int initializeSegments
29        (int segmentSize, String originalFile, String f1)

```

maksymalna wielkość tablicy  
wielkość bufora strumienia  
I/O

tworzenie początkowych  
porcji

rekurencyjne scalanie

```

30     throws Exception {
31     // Pominięte (to samo co na listingu 23.12)
32     }
33
34     private static void merge(int numberOfSegments, int segmentSize,
35         String f1, String f2, String f3, String targetfile)
36         throws Exception {
37         if (numberOfSegments > 1) {
38             mergeOneStep(numberOfSegments, segmentSize, f1, f2, f3);
39             merge((numberOfSegments + 1) / 2, segmentSize * 2,
40                 f3, f1, f2, targetfile);
41         }
42         else { // Zmiana nazwy f1 na sortedfile.dat
43             File sortedFile = new File(targetfile);
44             if (sortedFile.exists()) sortedFile.delete();
45             new File(f1).renameTo(sortedFile);
46         }
47     }
48
49     private static void mergeOneStep(int numberOfSegments,
50         int segmentSize, String f1, String f2, String f3)
51         throws Exception {
52         DataInputStream f1Input = new DataInputStream(
53             new BufferedInputStream(new FileInputStream(f1), BUFFER_SIZE));
54         DataOutputStream f2Output = new DataOutputStream(
55             new BufferedOutputStream(new FileOutputStream(f2), BUFFER_SIZE));
56
57         // Kopiowanie połowy porcji z f1.dat do f2.dat
58         copyHalfToF2(numberOfSegments, segmentSize, f1Input, f2Output);
59         f2Output.close();
60
61         // Scalanie pozostałych porcji z f1 z porcjami z f2 w f3
62         DataInputStream f2Input = new DataInputStream(
63             new BufferedInputStream(new FileInputStream(f2), BUFFER_SIZE));
64         DataOutputStream f3Output = new DataOutputStream(
65             new BufferedOutputStream(new FileOutputStream(f3), BUFFER_SIZE));
66
67         mergeSegments(numberOfSegments / 2,
68             segmentSize, f1Input, f2Input, f3Output);
69
70         f1Input.close();
71         f2Input.close();
72         f3Output.close();
73     }
74
75     /** Kopiowanie pierwszej połowy porcji z f1.dat do f2.dat */
76     private static void copyHalfToF2(int numberOfSegments,
77         int segmentSize, DataInputStream f1, DataOutputStream f2)
78         throws Exception {
79         // Pominięte (to samo co na listingu 23.13)
80     }
81
82     /** Scalanie wszystkich porcji */
83     private static void mergeSegments(int numberOfSegments,
84         int segmentSize, DataInputStream f1, DataInputStream f2,

```

jeden etap scalania rekurencyjne scalanie

końcowy posortowany plik

strumień wejściowy f1Input

strumień wyjściowy f2Output

kopiowanie połowy porcji do f2

zamykanie f2Output

strumień wejściowy f2Input

strumień wyjściowy f3Output

scalanie dwóch porcji

zamykanie strumieni

wyświetlanie pliku

```

85     DataOutputStream f3) throws Exception {
86     // Pominięte (to samo co na listingu 23.14)
87     }
88
89     /** Scalanie dwóch porcji */
90     private static void mergeTwoSegments(int segmentSize,
91     DataInputStream f1, DataInputStream f2,
92     DataOutputStream f3) throws Exception {
93     // Pominięte (to samo co na listingu 23.15)
94     }
95
96     /** Wyświetlanie pierwszych 100 liczb z podanego pliku */
97     public static void displayFile(String filename) {
98     try {
99     DataInputStream input =
100     new DataInputStream(new FileInputStream(filename));
101     for (int i = 0; i < 100; i++)
102     System.out.print(input.readInt() + " ");
103     input.close();
104     }
105     catch (IOException ex) {
106     ex.printStackTrace();
107     }
108     }
109     }

```



```
0 1 1 1 2 2 2 3 3 4 5 6 8 8 9 9 9 10 10 11 itd.
```

Przed uruchomieniem tego programu wykonaj kod z listingu 23.11, *CreateLargeFile.java*, aby utworzyć plik *largedata.dat*. Wywołanie `sort("largedata.dat", "sortedfile.dat")` (wiersz 9.) wczytuje dane z pliku *largedata.dat* i zapisuje posortowane dane w pliku *sortedfile.dat*. Wywołanie `displayFile("sortedfile.dat")` (wiersz 12.) wyświetla pierwszych 100 liczb z podanego pliku. Zauważ, że pliki są tworzone za pomocą binarnych operacji I/O. Nie można ich wyświetlić za pomocą edytora tekstu takiego jak Notatnik.

Metoda `sort` najpierw tworzy początkowe porcje na podstawie pierwotnej tablicy i zapisuje posortowane porcje w nowym pliku, *f1.dat* (wiersze 19. i 20.), a następnie tworzy posortowany plik *targetfile* (wiersze 23. i 24.).

Metoda `merge`:

```
merge(int numberOfSegments, int segmentSize,
String f1, String f2, String f3, String targetfile)
```

scala porcje z *f1* w *f3*, używając pomocniczego pliku *f2*. Metoda `merge` jest wywoływana rekurencyjnie i działa w wielu krokach. Każdy krok powoduje zmniejszenie `numberOfSegments` o połowę i podwojenie wielkości posortowanych porcji. Po zakończeniu jednego kroku scalania następny krok powoduje scalenie nowych porcji z *f3* w *f2* z użyciem pliku pomocniczego *f1*. Nowe wywołanie metody `merge` wygląda tak:

```
merge((numberOfSegments + 1) / 2, segmentSize * 2,
f3, f1, f2, targetfile);
```

Liczba porcji (`numberOfSegments`) w następnym kroku scalania wynosi  $(\text{numberOfSegments} + 1) / 2$ . Gdy `numberOfSegments` to 5, w następnym kroku scalania `numberOfSegments` jest równe 3, ponieważ każda para porcji jest scalana i pozostaje jedna niescalona porcja.

Rekurencyjna metoda merge kończy pracę, gdy `numberOfSegments` to 1. Wtedy `f1` zawiera posortowane dane i nazwa pliku jest zmieniana na nazwę ze zmiennej `targetFile` (wiersz 45.).

### 23.8.4. Złożoność sortowania zewnętrznego

Przy sortowaniu zewnętrznym dominującym kosztem są operacje I/O. Przyjmij, że  $n$  to liczba sortowanych elementów z pliku. W etapie 1.  $n$  elementów jest wczytywanych z pierwotnego pliku i zapisywanych w pliku tymczasowym. Dlatego w etapie 1. złożoność operacji I/O wynosi  $O(n)$ .

W etapie 2., przed pierwszym krokiem scalania, liczba posortowanych porcji to  $\frac{n}{c}$ , gdzie  $c$  to `MAX_ARRAY_SIZE`. Każdy krok scalania zmniejsza liczbę porcji o połowę. Dlatego po pierwszym kroku scalania liczba porcji wynosi  $\frac{n}{2c}$ . Po drugim kroku scalania liczba porcji to  $\frac{n}{2^2c}$ , a po trzecim —  $\frac{n}{2^3c}$ . Po  $\log(\frac{n}{c})$  krokach scalania liczba porcji jest zredukowana do 1. Tak więc łączna liczba kroków scalania wynosi  $\log(\frac{n}{c})$ .

W każdym kroku scalania połowa porcji jest wczytywana z pliku `f1` i zapisywana w pliku tymczasowym `f2`. Porcje pozostawione w `f1` są scalane z porcjami z `f2`. Liczba operacji I/O w każdym kroku scalania wynosi  $O(n)$ . Ponieważ łączna liczba kroków scalania wynosi  $\log(\frac{n}{c})$ , łączna liczba operacji I/O to:

$$O(n) \times \log(\frac{n}{c}) = O(n \log n)$$

Tak więc złożoność sortowania zewnętrznego wynosi  $O(n \log n)$ .



**23.8.1.** Opisz działanie sortowania zewnętrznego. Jaka jest jego złożoność?

**23.8.2.** W pliku zewnętrznym `largedata.dat` przechowywanych jest 10 liczb: {2, 3, 4, 0, 5, 6, 7, 9, 8, 1}. Prześledź ręcznie działanie programu `SortLargeFile` przy `MAX_ARRAY_SIZE = 2`.

## NAJWAŻNIEJSZE POJĘCIA

---

sortowanie bąbelkowe  
sortowanie kulek  
kompletne drzewo binarne  
sortowanie zewnętrzne  
kopiec

sortowanie przez kopcowanie  
wysokość kopca  
sortowanie przez scalanie  
sortowanie szybkie  
sortowanie pozycyjne

## PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU

---

1. Złożoność pesymistyczna dla *sortowania przez wybieranie*, *sortowania przez wstawianie*, *sortowania bąbelkowego* i *sortowania szybkiego* wynosi  $O(n^2)$ .
2. Dla *sortowania przez scalanie* złożoność średnia i pesymistyczna wynoszą  $O(n \log n)$ . Średni czas działania sortowania szybkiego to  $O(n \log n)$ .
3. *Kopiec* to struktura danych przydatna do projektowania wydajnych algorytmów (na przykład sortowania). Nauczyłeś się, jak zdefiniować i zaimplementować klasę kopca oraz jak wstawiać i usuwać elementy w kopcu.
4. Złożoność czasowa *sortowania przez kopcowanie* to  $O(n \log n)$ .

5. *Sortowanie kubelkowe i pozycyjne* to specjalne algorytmy do sortowania kluczy całkowitoliczbowych. Sortują one klucze za pomocą kubelków, a nie na podstawie porównań. Są wydajniejsze od ogólnych algorytmów sortowania.
6. *Sortowanie zewnętrzne* (jest to odmiana sortowania przez scalanie) można zastosować do sortowania dużych zbiorów danych z plików zewnętrznych.



## Quiz

Rozwiąż dotyczący tego rozdziału quiz w witrynie powiązanej z oryginalnym wydaniem książki.

## ĆWICZENIA PROGRAMISTYCZNE

### Podrozdziały 23.3 – 23.5

- 23.1.** *Generyczne sortowanie bąbelkowe.* Napisz dwie pokazane poniżej metody generyczne do sortowania bąbelkowego. Pierwsza ma sortować elementy z użyciem interfejsu `Comparable`, a druga — z użyciem interfejsu `Comparator`.

```
public static <E extends Comparable<E>>
    void bubbleSort(E[] list)
public static <E> void bubbleSort(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)
```

- 23.2.** *Generyczne sortowanie przez scalanie.* Napisz dwie pokazane poniżej metody generyczne do sortowania przez scalanie. Pierwsza ma sortować elementy z użyciem interfejsu `Comparable`, a druga — z użyciem interfejsu `Comparator`.

```
public static <E extends Comparable<E>>
    void mergeSort(E[] list)
public static <E> void mergeSort(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)
```

- 23.3.** *Generyczne sortowanie szybkie.* Napisz dwie pokazane poniżej metody generyczne do sortowania szybkiego. Pierwsza ma sortować elementy z użyciem interfejsu `Comparable`, a druga — z użyciem interfejsu `Comparator`.

```
public static <E extends Comparable<E>>
    void quickSort(E[] list)
public static <E> void quickSort(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)
```

- 23.4.** *Ulepszone sortowanie szybkie.* Algorytm sortowania szybkiego przedstawiony w tej książce jako element osiowy wybiera pierwszy element z listy. Zmodyfikuj ten algorytm, aby używał środkowej wartości spośród pierwszego, środkowego i ostatniego elementu.

- \*23.5.** *Zmodyfikowane sortowanie przez scalanie.* Zmodyfikuj metodę `mergeSort`, aby rekurencyjnie sortowała pierwszą i drugą połowę tablicy bez tworzenia nowych tablic tymczasowych, a następnie scalała obie połowy w tablicy tymczasowej i kopiowała jej zawartość do pierwotnej tablicy (rysunek 23.6b).

- 23.6.** *Sprawdzanie kolejności.* Napisz wymienione niżej przeciążone metody, aby sprawdzały, czy tablica jest uporządkowana rosnąco, czy malejąco. Domyślnie metoda wykrywa kolejność rosnącą. Aby wykrywać kolejność malejącą, przypisz wartość `false` do parametru `ascending`.



```

public static boolean ordered(int[] list)
public static boolean ordered(int[] list, boolean ascending)
public static boolean ordered(double[] list)
public static boolean ordered
    (double[] list, boolean ascending)
public static <E extends Comparable<E>>
    boolean ordered(E[] list)
public static <E extends Comparable<E>> boolean ordered
    (E[] list, boolean ascending)
public static <E> boolean ordered(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)
public static <E> boolean ordered(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator, boolean ascending)

```

### Podrozdział 23.6

kopiec maksymalny  
kopiec minimalny

**23.7.** *Kopiec minimalny.* Kopiec opisany w tekście jest nazywany *maksymalnym*; każdy węzeł jest w nim większy lub równy względem dzieci. W *kopcu minimalnym* każdy węzeł jest mniejszy lub równy względem dzieci. Kopce minimalne często stosuje się do implementowania kolejek priorytetowych. Zmodyfikuj klasę `Heap` z listingu 23.9, aby zaimplementować kopiec minimalny.

**23.8.** *Generyczne sortowanie przez wstawianie.* Napisz dwie pokazane poniżej metody generyczne do sortowania przez wstawianie. Pierwsza ma sortować elementy z użyciem interfejsu `Comparable`, a druga — z użyciem interfejsu `Comparator`.

```

public static <E extends Comparable<E>>
    void insertionSort(E[] list)
public static <E> void insertionSort(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)

```

**\*23.9.** *Generyczne sortowanie przez kopcowanie.* Napisz dwie pokazane poniżej metody generyczne do sortowania przez kopcowanie. Pierwsza ma sortować elementy z użyciem interfejsu `Comparable`, a druga — z użyciem interfejsu `Comparator`. *Wskazówka:* użyj klasy `Heap` z ćwiczenia 23.5.

```

public static <E extends Comparable<E>>
    void heapSort(E[] list)
public static <E> void heapSort(E[] list,
    Comparator<? super E> comparator)

```

**\*\*23.10.** *Wizualizowanie kopca.* Napisz program, który wyświetla kopiec w formie graficznej (rysunek 23.10). Program ma umożliwiać wstawianie i usuwanie elementów kopca.

**23.11.** *Metody `clone` i `equals` w klasie `Heap`.* Zaimplementuj metody `clone` i `equals` w klasie `Heap`.

Użyj szablonu ze strony [http://liveexample.pearsoncmg.com/test/Exercise23\\_11.txt](http://liveexample.pearsoncmg.com/test/Exercise23_11.txt).

### Podrozdział 23.7

**\*23.12.** *Sortowanie pozycyjne.* Napisz program, który losowo generuje 1 000 000 liczb całkowitych i sortuje je za pomocą sortowania pozycyjnego.

**\*23.13.** *Czas sortowania.* Napisz program, który pobiera czas sortowania przez wybieranie, sortowania bąbelkowego, sortowania szybkiego, sortowania przez kopcowanie i sortowania pozycyjnego danych wejściowych liczących 50 000, 100 000, 150 000, 200 000, 250 000 i 300 000 elementów. Program powinien losowo generować dane i wyświetlać poniższą tabelę.

| Wielkość tablicy | Sortowanie przez wybieranie | Sortowanie bąbelkowe | Sortowanie przez scalanie | Sortowanie szybkie | Sortowanie przez kopcowanie | Sortowanie pozycyjne |
|------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| 50 000           |                             |                      |                           |                    |                             |                      |
| 100 000          |                             |                      |                           |                    |                             |                      |
| 150 000          |                             |                      |                           |                    |                             |                      |
| 200 000          |                             |                      |                           |                    |                             |                      |
| 250 000          |                             |                      |                           |                    |                             |                      |
| 300 000          |                             |                      |                           |                    |                             |                      |

*Wskazówka:* do uzyskania czasu sortowania możesz użyć następującego szablonu:

```
long startTime = System.nanoTime();
Wykonywanie operacji;
long endTime = System.nanoTime();
long executionTime = endTime - startTime;
```

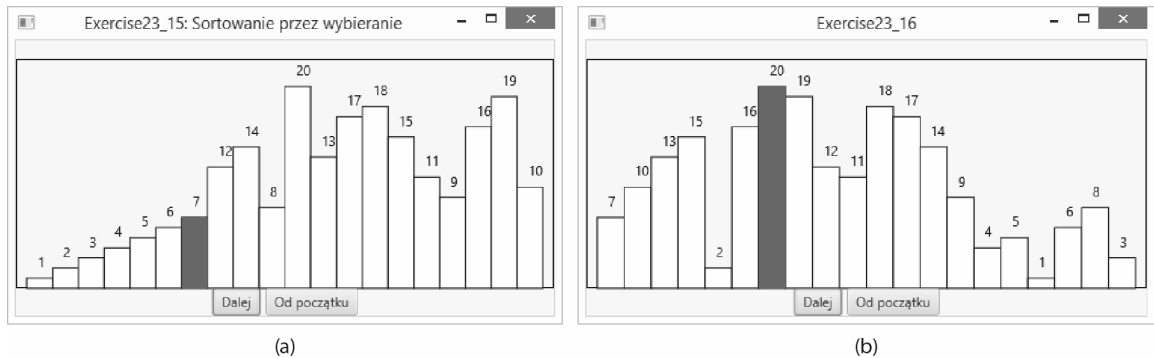
### Podrozdział 23.8

- \*23.14.** *Czas sortowania zewnętrznego.* Napisz program, który oblicza czas sortowania zewnętrznego 5 000 000, 10 000 000, 15 000 000, 20 000 000, 25 000 000 i 30 000 000 liczb całkowitych. Program powinien wyświetlać tabelę:

| Wielkość pliku | 5 000 000 | 10 000 000 | 15 000 000 | 20 000 000 | 25 000 000 | 30 000 000 |
|----------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Czas           |           |            |            |            |            |            |

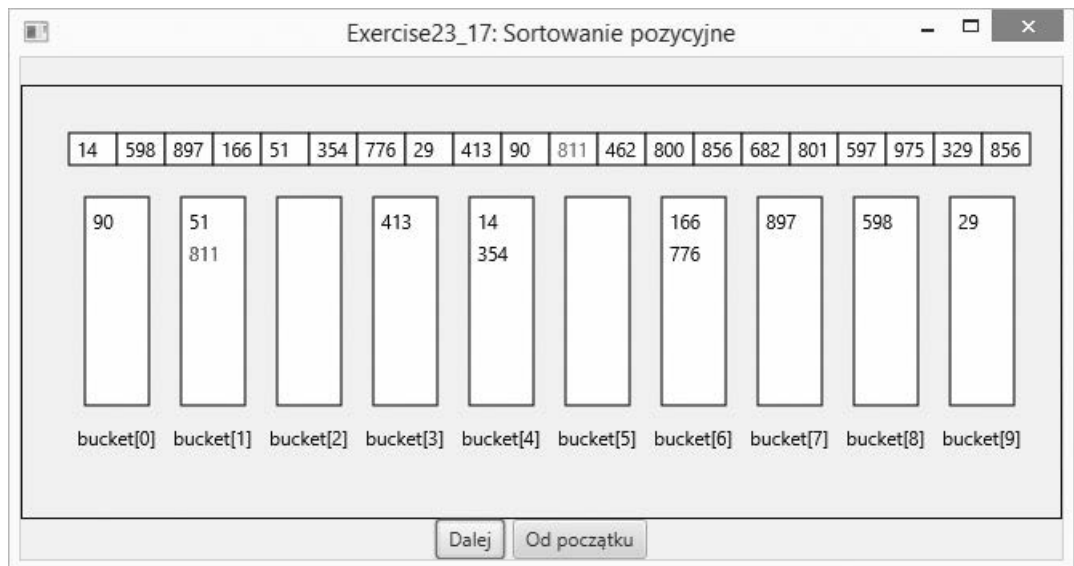
### Ogólne

- \*23.15.** *Animacja sortowania przez wybieranie.* Napisz program wyświetlający animację sortowania przez wybieranie. Utwórz tablicę uporządkowanych losowo 20 różnych liczb od 1 do 20. Elementy tablicy należy wyświetlić w formie histogramu (rysunek 23.20a). Kliknięcie przycisku *Dalej* ma skutkować iteracją zewnętrznej pętli algorytmu i wyświetleniem histogramu ze zmodyfikowaną tablicą. Wyróżnij kolorem ostatni słupek posortowanej podtablicy. Po zakończeniu pracy algorytmu wyświetl informacje dla użytkownika. Przycisk *Od początku* ma tworzyć nową losową tablicę i umożliwić rozpoczęcie pracy od nowa. Możesz łatwo zmodyfikować ten program, aby wyświetlał animację sortowania przez wstawianie.
- \*23.16.** *Animacja sortowania bąbelkowego.* Napisz program wyświetlający animację sortowania bąbelkowego. Utwórz tablicę uporządkowanych losowo 20 różnych liczb od 1 do 20. Elementy tablicy należy wyświetlić w formie histogramu (rysunek 23.20b). Kliknięcie przycisku *Dalej* ma skutkować jednym porównaniem w algorytmie i ponownym wyświetleniem histogramu ze zmodyfikowaną tablicą. Wyróżnij kolorem sprawdzaną wartość. Po zakończeniu pracy algorytmu wyświetl informacje dla użytkownika. Przycisk *Od początku* ma tworzyć nową losową tablicę i umożliwić rozpoczęcie pracy od nowa.



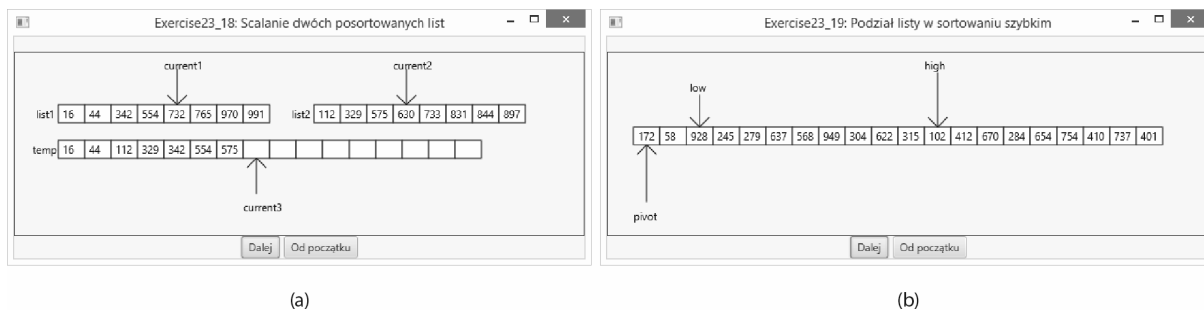
RYSUNEK 23.20. (a) Animacja sortowania przez wybieranie; (b) Animacja sortowania bąbelkowego

**\*23.17.** *Animacja sortowania pozycyjnego.* Napisz program wyświetlający animację sortowania pozycyjnego. Utwórz tablicę zawierającą 20 różnych liczb z przedziału od 0 do 1000. Elementy tablicy wyświetl w sposób pokazany na rysunku 23.21. Kliknięcie przycisku *Dalej* ma powodować umieszczenie liczby w kubelku. Ostatnią umieszczoną wartość należy wyróżnić kolorem czerwonym. Po umieszczeniu wszystkich liczb w kubelkach kliknięcie przycisku *Dalej* ma przenieść wszystkie wartości z kubelków z powrotem do tablicy. Po zakończeniu pracy algorytmu kliknięcie przycisku *Dalej* ma wyświetlać informacje dla użytkownika. Przycisk *Od początku* ma generować nową losową tablicę i umożliwiać rozpoczęcie pracy od początku.



RYSUNEK 23.21. Animacja sortowania pozycyjnego

- \*23.18.** *Animacja scalania.* Napisz program, który wyświetla animację scalania dwóch posortowanych list. Utwórz dwie tablice, `list1` i `list2`, z których każda zawiera osiem losowych liczb z przedziału od 1 do 999. Elementy tablicy wyświetl w sposób pokazany na rysunku 23.22a. Kliknięcie przycisku *Dalej* ma powodować przeniesienie elementu z `list1` lub `list2` do `temp`. Przycisk *Od początku* ma tworzyć dwie nowe losowe tablice i umożliwiać ponowne rozpoczęcie pracy. Po wykonaniu algorytmu przycisk *Dalej* ma wyświetlać informacje dla użytkownika.
- \*23.19.** *Animacja podziału w sortowaniu szybkim.* Napisz program, który wyświetla animację podziału w sortowaniu szybkim. Program ma tworzyć listę składającą się z 20 losowych liczb z przedziału od 1 do 999. Lista ma być wyświetlana w sposób pokazany na rysunku 23.22b. Przycisk *Dalej* ma powodować przesunięcie `low` w prawo lub `high` w lewo albo przestawienie elementów o indeksach `low` i `high`.



**RYСУNEK 23.22.** Animacja scalania dwóch posortowanych list; (b) Animacja podziału w sortowaniu szybkim

Kliknięcie przycisku *Od początku* ma tworzyć nową listę liczb losowych i umożliwić rozpoczęcie animacji od początku. Po zakończeniu pracy algorytmu przycisk *Dalej* ma powodować wyświetlenie informacji dla użytkownika.

# PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA  
**Helion** 

Mijają lata, dorastają kolejne pokolenia programistów, a Java wciąż zachwyca swoimi możliwościami. Jest językiem jednocześnie nowoczesnym, dojrzałym i... eleganckim. Twórcy Javy od jej pierwszego wydania starali się wdrażać awangardowe rozwiązania, pamiętając równocześnie o niezawodności i bezpieczeństwie kodu. Java wciąż pozostaje ulubionym narzędziem profesjonalistów tworzących aplikacje internetowe. Przy czym jej możliwości są o wiele większe. Aby jednak w przyszłości osiągać sukcesy jako programista Javy, trzeba gruntownie opanować podstawy tego języka i swobodnie operować instrukcjami sterującymi, pętlami, metodami i tablicami.

To dwunaste, rozszerzone wydanie znakomitego podręcznika do nauki Javy, w pełni przejrzone, poprawione i zaktualizowane (uwzględnia nowości wprowadzone w Javie SE 9, 10 i 11). Ułatwia zdobycie solidnych podstaw języka i płynne przejście do tworzenia programów służących do rozwiązywania konkretnych problemów z takich dziedzin jak matematyka, ekonomia, finanse, tworzenie gier i animacji. W książce precyzyjnie wyjaśniono zasady korzystania z różnych struktur danych i tworzenia algorytmów. Zamieszczono również wskazówki dotyczące ich implementacji i wydajności. Zrozumienie prezentowanych treści jest łatwiejsze dzięki licznym przykładom i ćwiczeniom do samodzielnego wykonania. Znakomitym uzupełnieniem materiału są także uwagi, ostrzeżenia i wskazówki programistyczne, zawierające cenne porady i przemyślenia.

W książce między innymi:

- solidne podstawy Javy
- programowanie zorientowane obiektowo
- projektowanie interfejsów użytkownika
- struktury danych i algorytmy
- wielowątkowość i programowanie równoległe

**DR Y. DANIEL LIANG** jest nagradzonym wykładowcą Uniwersytetu Purdue w Fort Wayne, autorem kilku książek o programowaniu i wielu artykułów publikowanych w periodykach naukowych. Specjalizuje się w projektowaniu algorytmów, przetwarzaniu typu klient – serwer oraz w zarządzaniu bazami danych.

## Zostań profesjonalnym programistą Javy!

|                                                                                                                                                                                       |                                                                                                               |                                             |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                    | <i>Sprawdź nasze szkolenia!</i>                                                                               | <b>KOD KORZYŚCI</b><br>Sięgnij po więcej! ▶ |  |
|  <a href="http://helion.pl">helion.pl</a>                                                          | <br>AKADEMIA IT & BUSINESS | ISBN 978-83-283-7082-1                      |  |
|  <b>HELION SA</b><br>ul. Kościuszki 1c<br>44-100 Gliwice<br>tel.: 32 230 98 63<br>helion@helion.pl | <a href="http://HELIONSZKOLENIA.PL">HELIONSZKOLENIA.PL</a>                                                    | 9 788328 370821                             |                                                                                      |
| <b>INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU</b>                                                                                                                                               |                                                                                                               | Cena: 199,00 zł                             |                                                                                      |