

# BJARNE STROUSTRUP

*Zaczerpnij wiedzę o C++ od samego twórcy tego języka!*



# *Programowanie*

*Teoria i praktyka  
z wykorzystaniem C++*

Wydanie II poprawione

  
Addison  
Wesley

Jak zacząć pracę w zintegrowanym środowisku programistycznym?  
Jak profesjonalnie tworzyć programy użytkowe?  
Jak korzystać z biblioteki graficznego interfejsu użytkownika?



Tytuł oryginału: Programming: Principles and Practice Using C++, First Edition

Tłumaczenie: Łukasz Piwko

ISBN: 978-83-246-7720-7

Authorized translation from the English language edition, entitled: Programming: Principles and Practice Using C++, First Edition, ISBN 0321543726, by Bjarne Stroustrup, published by Pearson Education, Inc, publishing as Addison Wesley, Copyright © 2009 by Pearson Education, Inc.

Polish language edition published by Helion S.A.  
Copyright © 2013.

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.

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 Wydawnictwo HELION 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 Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION  
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)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres  
<http://helion.pl/user/opinie/pcppt2>  
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:  
<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/pcppt2.zip>

Printed in Poland.

• [Kup książkę](#)  
• [Poleć książkę](#)  
• [Oceń książkę](#)

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

# Spis treści

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Wstęp</b>                               | <b>19</b> |
| Słowo do studentów                         | 21        |
| Słowo do nauczycieli                       | 22        |
| Pomoc                                      | 23        |
| Podziękowania                              | 23        |
| <br>                                       |           |
| <b>Uwagi do czytelnika</b>                 | <b>25</b> |
| 0.1. Struktura książki                     | 26        |
| 0.1.1. Informacje ogólne                   | 27        |
| 0.1.2. Ćwiczenia, praca domowa itp.        | 28        |
| 0.1.3. Po przeczytaniu tej książki         | 29        |
| 0.2. Filozofia nauczania i uczenia się     | 29        |
| 0.2.1. Kolejność tematów                   | 32        |
| 0.2.2. Programowanie a język programowania | 34        |
| 0.2.3. Przenośność                         | 34        |
| 0.3. Programowanie a informatyka           | 35        |
| 0.4. Kreatywność i rozwiązywanie problemów | 35        |
| 0.5. Uwagi dla autorów                     | 35        |
| 0.6. Bibliografia                          | 36        |
| 0.7. Noty biograficzne                     | 37        |
| Bjarne Stroustrup                          | 37        |
| Lawrence „Pete” Petersen                   | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Rozdział 1. Komputery, ludzie i programowanie</b> | <b>39</b> |
| 1.1. Wstęp   | 40        |
| 1.2. Oprogramowanie                                  | 40        |
| 1.3. Ludzie  | 42        |
| 1.4. Informatyka                                     | 45        |
| 1.5. Komputery są wszędzie                           | 46        |
| 1.5.1. Komputery z ekranem i bez                     | 46        |
| 1.5.2. Transport                                     | 47        |
| 1.5.3. Telekomunikacja                               | 48        |
| 1.5.4. Medycyna                                      | 50        |
| 1.5.5. Informacja                                    | 51        |
| 1.5.6. Sięgamy w kosmos                              | 52        |
| 1.5.7. I co z tego                                   | 53        |
| 1.6. Ideały dla programistów                         | 54        |
| <br>   |           |
| <b>Część I Podstawy</b>                              | <b>61</b> |
| <br>   |           |
| <b>Rozdział 2. Witaj, świecie!</b>                   | <b>63</b> |
| 2.1. Programy  | 64        |
| 2.2. Klasyczny pierwszy program                      | 64        |
| 2.3. Kompilacja                                      | 67        |
| 2.4. Łączenie  | 69        |
| 2.5. Środowiska programistyczne                      | 70        |
| <br>   |           |
| <b>Rozdział 3. Obiekty, typy i wartości</b>          | <b>77</b> |
| 3.1. Dane wejściowe                                  | 78        |
| 3.2. Zmienne   | 80        |
| 3.3. Typy danych wejściowych                         | 81        |
| 3.4. Operacje i operatory                            | 82        |
| 3.5. Przypisanie i inicjacja                         | 85        |
| 3.5.1. Przykład wykrywania powtarzających się słów   | 87        |
| 3.6. Złożone operatory przypisania                   | 89        |
| 3.6.1. Przykład zliczania powtarzających się słów    | 89        |
| 3.7. Nazwy   | 90        |
| 3.8. Typy i obiekty                                  | 92        |
| 3.9. Kontrola typów                                  | 94        |
| 3.9.1. Konwersje bezpieczne dla typów                | 95        |
| 3.9.2. Konwersje niebezpieczne dla typów             | 96        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Rozdział 4. Wykonywanie obliczeń</b>       | <b>103</b> |
| 4.1. Wykonywanie obliczeń                     | 104        |
| 4.2. Cele i narzędzia                         | 105        |
| 4.3. Wyrażenia                                | 107        |
| 4.3.1. Wyrażenia stałe                        | 108        |
| 4.3.2. Operatory                              | 109        |
| 4.3.3. Konwersje                              | 111        |
| 4.4. Instrukcje                               | 112        |
| 4.4.1. Selekcja                               | 113        |
| 4.4.2. Iteracja                               | 119        |
| 4.5. Funkcje                                  | 122        |
| 4.5.1. Po co zaprzętać sobie głowę funkcjami  | 124        |
| 4.5.2. Deklarowanie funkcji                   | 125        |
| 4.6. Wektor                                   | 126        |
| 4.6.1. Powiększanie wektora                   | 127        |
| 4.6.2. Przykład wczytywania liczb do programu | 128        |
| 4.6.3. Przykład z użyciem tekstu              | 130        |
| 4.7. Właściwości języka                       | 132        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Rozdział 5. Błędy</b>                         | <b>139</b> |
| 5.1. Wstęp                                       | 140        |
| 5.2. Źródła błędów                               | 141        |
| 5.3. Błędy kompilacji                            | 142        |
| 5.3.1. Błędy składni                             | 142        |
| 5.3.2. Błędy typów                               | 143        |
| 5.3.3. Nie błędy                                 | 144        |
| 5.4. Błędy konsolidacji                          | 145        |
| 5.5. Błędy czasu wykonania                       | 146        |
| 5.5.1. Rozwiązywanie problemu przez wywołującego | 147        |
| 5.5.2. Rozwiązywanie problemu przez wywołowanego | 148        |
| 5.5.3. Raportowanie błędów                       | 149        |
| 5.6. Wyjątki                                     | 151        |
| 5.6.1. Nieprawidłowe argumenty                   | 151        |
| 5.6.2. Błędy zakresu                             | 152        |
| 5.6.3. Nieprawidłowe dane wejściowe              | 154        |
| 5.6.4. Błędy zawężania zakresu                   | 156        |
| 5.7. Błędy logiczne                              | 157        |
| 5.8. Szacowanie                                  | 159        |
| 5.9. Debugowanie                                 | 161        |
| 5.9.1. Praktyczna rada dotycząca debugowania     | 162        |
| 5.10. Warunki wstępne i końcowe                  | 165        |
| 5.10.1. Warunki końcowe                          | 167        |
| 5.11. Testowanie                                 | 168        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Rozdział 6. Pisanie programu</b>                 | <b>175</b> |
| 6.1. Problem  | 176        |
| 6.2. Przemyślenie problemu                          | 176        |
| 6.2.1. Etapy rozwoju oprogramowania                 | 177        |
| 6.2.2. Strategia                                    | 177        |
| 6.3. Wracając do kalkulatora                        | 179        |
| 6.3.1. Pierwsza próba                               | 180        |
| 6.3.2. Tokeny                                       | 182        |
| 6.3.3. Implementowanie tokenów                      | 183        |
| 6.3.4. Używanie tokenów                             | 185        |
| 6.3.5. Powrót do tablicy                            | 186        |
| 6.4. Gramatyki                                      | 188        |
| 6.4.1. Dygresja — gramatyka języka angielskiego     | 192        |
| 6.4.2. Pisanie gramatyki                            | 193        |
| 6.5. Zamiana gramatyki w kod                        | 194        |
| 6.5.1. Implementowanie zasad gramatyki              | 194        |
| 6.5.2. Wyrażenia                                    | 195        |
| 6.5.3. Składniki                                    | 199        |
| 6.5.4. Podstawowe elementy wyrażeń                  | 200        |
| 6.6. Wypóbowywanie pierwszej wersji                 | 201        |
| 6.7. Wypóbowywanie drugiej wersji                   | 205        |
| 6.8. Strumienie tokenów                             | 206        |
| 6.8.1. Implementacja typu <code>Token_stream</code> | 207        |
| 6.8.2. Wczytywanie tokenów                          | 209        |
| 6.8.3. Wczytywanie liczb                            | 210        |
| 6.9. Struktura programu                             | 211        |
| <br>  |            |
| <b>Rozdział 7. Kończenie programu</b>               | <b>217</b> |
| 7.1. Wprowadzenie                                   | 218        |
| 7.2. Wejście i wyjście                              | 218        |
| 7.3. Obsługa błędów                                 | 220        |
| 7.4. Liczby ujemne                                  | 224        |
| 7.5. Reszta z dzielenia                             | 225        |
| 7.6. Oczyszczanie kodu                              | 227        |
| 7.6.1. Stałe symboliczne                            | 227        |
| 7.6.2. Użycie funkcji                               | 229        |
| 7.6.3. Układ kodu                                   | 230        |
| 7.6.4. Komentarze                                   | 231        |
| 7.7. Odzyskiwanie sprawności po wystąpieniu błędu   | 233        |
| 7.8. Zmienne  | 236        |
| 7.8.1. Zmienne i definicje                          | 236        |
| 7.8.2. Wprowadzanie nazw                            | 240        |
| 7.8.3. Nazwy predefiniowane                         | 242        |
| 7.8.4. Czy to już koniec?                           | 243        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Rozdział 8. Szczegóły techniczne — funkcje itp.</b> | <b>247</b> |
| 8.1. Szczegóły techniczne                              | 248        |
| 8.2. Deklaracje i definicje                            | 249        |
| 8.2.1. Rodzaje deklaracji                              | 252        |
| 8.2.2. Deklaracje stałych i zmiennych                  | 252        |
| 8.2.3. Domyślna inicjacja                              | 254        |
| 8.3. Pliki nagłówkowe                                  | 254        |
| 8.4. Zakres  | 256        |
| 8.5. Wywoływanie i wartość zwrotna funkcji             | 261        |
| 8.5.1. Deklarowanie argumentów i typu zwrotnego        | 261        |
| 8.5.2. Zwracanie wartości                              | 263        |
| 8.5.3. Przekazywanie przez wartość                     | 264        |
| 8.5.4. Przekazywanie argumentów przez stałą referencję | 265        |
| 8.5.5. Przekazywanie przez referencję                  | 267        |
| 8.5.6. Przekazywanie przez wartość a przez referencję  | 269        |
| 8.5.7. Sprawdzanie argumentów i konwersja              | 271        |
| 8.5.8. Implementacja wywołań funkcji                   | 272        |
| 8.6. Porządek wykonywania instrukcji                   | 276        |
| 8.6.1. Wartościowanie wyrażeń                          | 277        |
| 8.6.2. Globalna inicjacja                              | 277        |
| 8.7. Przestrzenie nazw                                 | 279        |
| 8.7.1. Dyrektywy i deklaracje using                    | 280        |
| <br>   |            |
| <b>Rozdział 9. Szczegóły techniczne — klasy itp.</b>   | <b>287</b> |
| 9.1. Typy zdefiniowane przez użytkownika               | 288        |
| 9.2. Klasy i składowe klas                             | 289        |
| 9.3. Interfejs i implementacja                         | 289        |
| 9.4. Tworzenie klas                                    | 291        |
| 9.4.1. Struktury i funkcje                             | 291        |
| 9.4.2. Funkcje składowe i konstruktory                 | 293        |
| 9.4.3. Ukrywanie szczegółów                            | 294        |
| 9.4.4. Definiowanie funkcji składowych                 | 296        |
| 9.4.5. Odwoływanie się do bieżącego obiektu            | 298        |
| 9.4.6. Raportowanie błędów                             | 299        |
| 9.5. Wyliczenia  | 300        |
| 9.6. Przeciążanie operatorów                           | 302        |
| 9.7. Interfejsy klas                                   | 303        |
| 9.7.1. Typy argumentów                                 | 304        |
| 9.7.2. Kopiowanie                                      | 306        |
| 9.7.3. Konstruktory domyślne                           | 306        |
| 9.7.4. Stałe funkcje składowe                          | 309        |
| 9.7.5. Składowe i funkcje pomocnicze                   | 310        |
| 9.8. Klasa Date  | 312        |

## Część II Wejście i wyjście 319

### Rozdział 10. Strumienie wejścia i wyjścia 321

|   |     |
|---|-----|
| 10.1. Wejście i wyjście                               | 322 |
| 10.2. Model strumieni wejścia i wyjścia               | 323 |
| 10.3. Pliki   | 325 |
| 10.4. Otwieranie pliku                                | 326 |
| 10.5. Odczytywanie i zapisywanie plików               | 328 |
| 10.6. Obsługa błędów wejścia i wyjścia                | 330 |
| 10.7. Wczytywanie pojedynczej wartości                | 332 |
| 10.7.1. Rozłożenie problemu na mniejsze części        | 334 |
| 10.7.2. Oddzielenie warstwy komunikacyjnej od funkcji | 337 |
| 10.8. Definiowanie operatorów wyjściowych             | 338 |
| 10.9. Definiowanie operatorów wejściowych             | 339 |
| 10.10. Standardowa pętla wejściowa                    | 340 |
| 10.11. Wczytywanie pliku strukturalnego               | 341 |
| 10.11.1. Reprezentacja danych w pamięci               | 342 |
| 10.11.2. Odczytywanie struktur wartości               | 343 |
| 10.11.3. Zmienianie reprezentacji                     | 347 |

### Rozdział 11. Indywidualizacja operacji wejścia i wyjścia 353

|   |     |
|---|-----|
| 11.1. Regularność i nieregularność                      | 354 |
| 11.2. Formatowanie danych wyjściowych                   | 354 |
| 11.2.1. Wysyłanie na wyjście liczb całkowitych          | 355 |
| 11.2.2. Przyjmowanie na wejściu liczb całkowitych       | 356 |
| 11.2.3. Wysyłanie na wyjście liczb zmiennoprzecinkowych | 357 |
| 11.2.4. Precyzja  | 358 |
| 11.2.5. Pola  | 360 |
| 11.3. Otwieranie plików i pozycjonowanie                | 361 |
| 11.3.1. Tryby otwierania plików                         | 361 |
| 11.3.2. Pliki binarne                                   | 362 |
| 11.3.3. Pozycjonowanie w plikach                        | 365 |
| 11.4. Strumienie łańcuchowe                             | 365 |
| 11.5. Wprowadzanie danych wierszami                     | 367 |
| 11.6. Klasyfikowanie znaków                             | 368 |
| 11.7. Stosowanie niestandardowych separatorów           | 370 |
| 11.8. Zostało jeszcze tyle do poznania                  | 376 |

### Rozdział 12. Model graficzny 381

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 12.1. Czemu grafika?    | 382 |
| 12.2. Model graficzny   | 383 |
| 12.3. Pierwszy przykład | 384 |



|   |     |
|---|-----|
| 12.4. Biblioteka GUI                      | 387 |
| 12.5. Współrzędne                         | 388 |
| 12.6. Figury geometryczne                 | 388 |
| 12.7. Używanie klas figur geometrycznych  | 389 |
| 12.7.1. Nagłówki graficzne i funkcja main | 390 |
| 12.7.2. Prawie puste okno                 | 390 |
| 12.7.3. Klasa Axis                        | 392 |
| 12.7.4. Rysowanie wykresu funkcji         | 394 |
| 12.7.5. Wielokąty                         | 394 |
| 12.7.6. Prostokąty                        | 395 |
| 12.7.7. Wypełnianie kolorem               | 397 |
| 12.7.8. Tekst                             | 398 |
| 12.7.9. Obrazy                            | 399 |
| 12.7.10. Jeszcze więcej grafik            | 400 |
| 12.8. Uruchamianie programu               | 401 |
| 12.8.1. Pliki źródłowe                    | 402 |

## **Rozdział 13. Klasy graficzne** **407**

|  |     |
|--|-----|
| 13.1. Przegląd klas graficznych          | 408 |
| 13.2. Klasy Point i Line                 | 410 |
| 13.3. Klasa Lines                        | 412 |
| 13.4. Klasa Color                        | 414 |
| 13.5. Typ Line_style                     | 416 |
| 13.6. Typ Open_polyline                  | 418 |
| 13.7. Typ Closed_polyline                | 419 |
| 13.8. Typ Polygon                        | 420 |
| 13.9. Typ Rectangle                      | 422 |
| 13.10. Wykorzystywanie obiektów bez nazw | 426 |
| 13.11. Typ Text                          | 428 |
| 13.12. Typ Circle                        | 430 |
| 13.13. Typ Ellipse                       | 431 |
| 13.14. Typ Marked_polyline               | 433 |
| 13.15. Typ Marks                         | 434 |
| 13.16. Typ Mark                          | 435 |
| 13.17. Typ Image                         | 436 |

## **Rozdział 14. Projektowanie klas graficznych** **443**

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 14.1. Zasady projektowania | 444 |
| 14.1.1. Typy               | 444 |
| 14.1.2. Operacje           | 445 |
| 14.1.3. Nazewnictwo        | 446 |
| 14.1.4. Zmienność          | 448 |

|  |     |
|--|-----|
| 14.2. Klasa Shape  | 448 |
| 14.2.1. Klasa abstrakcyjna                                   | 450 |
| 14.2.2. Kontrola dostępu                                     | 451 |
| 14.2.3. Rysowanie figur                                      | 454 |
| 14.2.4. Kopiowanie i zmienność                               | 456 |
| 14.3. Klasy bazowe i pochodne                                | 458 |
| 14.3.1. Układ obiektu  | 459 |
| 14.3.2. Tworzenie podklas i definiowanie funkcji wirtualnych | 461 |
| 14.3.3. Przesłanianie  | 461 |
| 14.3.4. Dostęp   | 463 |
| 14.3.5. Czyste funkcje wirtualne                             | 464 |
| 14.4. Zalety programowania obiektowego                       | 465 |

## **Rozdział 15. Graficzne przedstawienie funkcji i danych** **471**

|  |     |
|--|-----|
| 15.1. Wprowadzenie                             | 472 |
| 15.2. Rysowanie wykresów prostych funkcji      | 472 |
| 15.3. Typ Function                             | 476 |
| 15.3.1. Argumenty domyślne                     | 477 |
| 15.3.2. Więcej przykładów                      | 478 |
| 15.4. Typ Axis                                 | 479 |
| 15.5. Wartość przybliżona funkcji wykładniczej | 481 |
| 15.6. Przedstawianie danych na wykresach       | 486 |
| 15.6.1. Odczyt danych z pliku                  | 487 |
| 15.6.2. Układ ogólny                           | 488 |
| 15.6.3. Skalowanie danych                      | 489 |
| 15.6.4. Budowanie wykresu                      | 490 |

## **Rozdział 16. Graficzne interfejsy użytkownika** **497**

|  |     |
|--|-----|
| 16.1. Różne rodzaje interfejsów użytkownika  | 498 |
| 16.2. Przycisk Next                          | 499 |
| 16.3. Proste okno                            | 500 |
| 16.3.1. Funkcje zwrotne                      | 501 |
| 16.3.2. Pętla oczekująca                     | 504 |
| 16.4. Typ Button i inne pochodne typu Widget | 505 |
| 16.4.1. Widżety                              | 505 |
| 16.4.2. Przyciski                            | 506 |
| 16.4.3. Widżety In_box i Out_box             | 507 |
| 16.4.4. Menu                                 | 507 |
| 16.5. Przykład                               | 508 |
| 16.6. Inwersja kontroli                      | 511 |
| 16.7. Dodawanie menu                         | 513 |
| 16.8. Debugowanie kodu GUI                   | 517 |

## Część III Dane i algorytmy 523

### Rozdział 17. Wektory i pamięć wolna 525

|  |     |
|--|-----|
| 17.1. Wprowadzenie                               | 526 |
| 17.2. Podstawowe wiadomości na temat typu vector | 527 |
| 17.3. Pamięć, adresy i wskaźniki                 | 529 |
| 17.3.1. Operator sizeof                          | 531 |
| 17.4. Pamięć wolna a wskaźniki                   | 532 |
| 17.4.1. Alokacja obiektów w pamięci wolnej       | 533 |
| 17.4.2. Dostęp poprzez wskaźniki                 | 534 |
| 17.4.3. Zakresy                                  | 535 |
| 17.4.4. Inicjacja                                | 536 |
| 17.4.5. Wskaźnik zerowy                          | 537 |
| 17.4.6. Dealokacja pamięci wolnej                | 538 |
| 17.5. Destruktory                                | 540 |
| 17.5.1. Generowanie destruktorów                 | 542 |
| 17.5.2. Destruktory a pamięć wolna               | 542 |
| 17.6. Dostęp do elementów                        | 544 |
| 17.7. Wskaźniki na obiekty klas                  | 545 |
| 17.8. Babranie się w typach — void* i rzutowanie | 546 |
| 17.9. Wskaźniki i referencje                     | 548 |
| 17.9.1. Wskaźniki i referencje jako parametry    | 549 |
| 17.9.2. Wskaźniki, referencje i dziedziczenie    | 550 |
| 17.9.3. Przykład — listy                         | 551 |
| 17.9.4. Operacje na listach                      | 552 |
| 17.9.5. Zastosowania list                        | 554 |
| 17.10. Wskaźnik this                             | 555 |
| 17.10.1. Więcej przykładów użycia typu Link      | 557 |

### Rozdział 18. Wektory i tablice 563

|  |     |
|--|-----|
| 18.1. Wprowadzenie                               | 564 |
| 18.2. Kopiowanie                                 | 564 |
| 18.2.1. Konstruktory kopiujące                   | 566 |
| 18.2.2. Przypisywanie z kopiowaniem              | 567 |
| 18.2.3. Terminologia związana z kopiowaniem      | 569 |
| 18.3. Podstawowe operacje                        | 570 |
| 18.3.1. Konstruktory jawne                       | 571 |
| 18.3.2. Debugowanie konstruktorów i destruktorów | 573 |
| 18.4. Uzyskiwanie dostępu do elementów wektora   | 575 |
| 18.4.1. Problem stałych wektorów                 | 576 |
| 18.5. Tablice                                    | 577 |
| 18.5.1. Wskaźniki na elementy tablicy            | 578 |
| 18.5.2. Wskaźniki i tablice                      | 580 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 18.5.3. Inicjowanie tablic       | 582 |
| 18.5.4. Problemy ze wskaźnikami  | 583 |
| 18.6. Przykłady — palindrom      | 586 |
| 18.6.1. Wykorzystanie łańcuchów  | 586 |
| 18.6.2. Wykorzystanie tablic     | 587 |
| 18.6.3. Wykorzystanie wskaźników | 588 |

## **Rozdział 19. Wektory, szablony i wyjątki** **593**

|  |     |
|--|-----|
| 19.1. Analiza problemów                                    | 594 |
| 19.2. Zmienianie rozmiaru                                  | 596 |
| 19.2.1. Reprezentacja                                      | 597 |
| 19.2.2. Rezerwacja pamięci i pojemność kontenera           | 598 |
| 19.2.3. Zmienianie rozmiaru                                | 599 |
| 19.2.4. Funkcja push_back()                                | 599 |
| 19.2.5. Przypisywanie                                      | 600 |
| 19.2.6. Podsumowanie dotychczasowej pracy nad typem vector | 602 |
| 19.3. Szablony   | 602 |
| 19.3.1. Typy jako parametry szablonów                      | 603 |
| 19.3.2. Programowanie ogólne                               | 605 |
| 19.3.3. Kontenery a dziedziczenie                          | 607 |
| 19.3.4. Liczby całkowite jako parametry szablonów          | 608 |
| 19.3.5. Dedukcja argumentów szablonu                       | 610 |
| 19.3.6. Uogólnianie wektora                                | 610 |
| 19.4. Sprawdzanie zakresu i wyjątki                        | 613 |
| 19.4.1. Dygresja — uwagi projektowe                        | 614 |
| 19.4.2. Wyznanie na temat makr                             | 615 |
| 19.5. Zasoby i wyjątki                                     | 617 |
| 19.5.1. Potencjalne problemy z zarządzaniem zasobami       | 617 |
| 19.5.2. Zajmowanie zasobów jest inicjacją                  | 619 |
| 19.5.3. Gwarancje  | 620 |
| 19.5.4. Obiekt auto_ptr                                    | 621 |
| 19.5.5. Technika RAII dla wektora                          | 622 |

## **Rozdział 20. Kontenery i iteratory** **629**

|   |     |
|---|-----|
| 20.1. Przechowywanie i przetwarzanie danych | 630 |
| 20.1.1. Praca na danych                     | 630 |
| 20.1.2. Uogólnianie kodu                    | 631 |
| 20.2. Ideały twórcy biblioteki STL          | 634 |
| 20.3. Sekwencje i iteratory                 | 637 |
| 20.3.1. Powrót do przykładu                 | 639 |
| 20.4. Listy powiązane                       | 641 |
| 20.4.1. Operacje list                       | 642 |
| 20.4.2. Iteracja                            | 643 |
| 20.5. Jeszcze raz uogólnianie wektora       | 645 |

|  |     |
|--|-----|
| 20.6. Przykład — prosty edytor tekstu          | 647 |
| 20.6.1. Wiersze                                | 649 |
| 20.6.2. Iteracja                               | 650 |
| 20.7. Typy vector, list oraz string            | 653 |
| 20.7.1. Funkcje insert() i erase()             | 654 |
| 20.8. Dostosowanie wektora do biblioteki STL   | 656 |
| 20.9. Dostosowywanie wbudowanych tablic do STL | 658 |
| 20.10. Przegląd kontenerów                     | 660 |
| 20.10.1. Kategorie iteratorów                  | 662 |

## **Rozdział 21. Algorytmy i słowniki** **667**

|   |     |
|---|-----|
| 21.1. Algorytmy biblioteki standardowej                 | 668 |
| 21.2. Najprostszy algorytm — find()                     | 669 |
| 21.2.1. Kilka przykładów z programowania ogólnego       | 670 |
| 21.3. Ogólny algorytm wyszukiwania — find_if()          | 671 |
| 21.4. Obiekty funkcyjne                                 | 673 |
| 21.4.1. Abstrakcyjne spojrzenie na obiekty funkcyjne    | 674 |
| 21.4.2. Predykaty składowych klas                       | 675 |
| 21.5. Algorytmy numeryczne                              | 676 |
| 21.5.1. Akumulacja                                      | 677 |
| 21.5.2. Uogólnianie funkcji accumulate()                | 678 |
| 21.5.3. Iloczyn skalarny                                | 679 |
| 21.5.4. Uogólnianie funkcji inner_product()             | 681 |
| 21.6. Kontenery asocjacyjne                             | 681 |
| 21.6.1. Słowniki  | 682 |
| 21.6.2. Opis ogólny kontenera map                       | 684 |
| 21.6.3. Jeszcze jeden przykład zastosowania słownika    | 687 |
| 21.6.4. Kontener unordered_map                          | 689 |
| 21.6.5. Zbiory  | 691 |
| 21.7. Kopiowanie  | 693 |
| 21.7.1. Funkcja copy()                                  | 693 |
| 21.7.2. Iteratory strumieni                             | 694 |
| 21.7.3. Utrzymywanie porządku przy użyciu kontenera set | 696 |
| 21.7.4. Funkcja copy_if()                               | 696 |
| 21.8. Sortowanie i wyszukiwanie                         | 697 |

## **Część IV Poszerzanie horyzontów** **703**

### **Rozdział 22. Ideały i historia** **705**

|  |     |
|--|-----|
| 22.1. Historia, ideały i profesjonalizm        | 706 |
| 22.1.1. Cele i filozofie języków programowania | 706 |
| 22.1.2. Ideały programistyczne                 | 708 |
| 22.1.3. Style i paradygmaty                    | 714 |

|   |     |
|---|-----|
| 22.2. Krótka historia języków programowania         | 717 |
| 22.2.1. Pierwsze języki                             | 718 |
| 22.2.2. Korzenie nowoczesnych języków programowania | 719 |
| 22.2.3. Rodzina Algol                               | 724 |
| 22.2.4. Simula                                      | 731 |
| 22.2.5. C   | 733 |
| 22.2.6. C++   | 736 |
| 22.2.7. Dziś  | 738 |
| 22.2.8. Źródła informacji                           | 740 |

## **Rozdział 23. Przetwarzanie tekstu** **745**

|   |     |
|---|-----|
| 23.1. Tekst   | 746 |
| 23.2. Łańcuchy                                      | 746 |
| 23.3. Strumienie wejścia i wyjścia                  | 750 |
| 23.4. Słowniki                                      | 750 |
| 23.4.1. Szczegóły implementacyjne                   | 755 |
| 23.5. Problem                                       | 757 |
| 23.6. Wyrażenia regularne                           | 759 |
| 23.7. Wyszukiwanie przy użyciu wyrażeń regularnych  | 761 |
| 23.8. Składnia wyrażeń regularnych                  | 764 |
| 23.8.1. Znaki i znaki specjalne                     | 764 |
| 23.8.2. Rodzaje znaków                              | 765 |
| 23.8.3. Powtórzenia                                 | 766 |
| 23.8.4. Grupowanie                                  | 767 |
| 23.8.5. Alternatywa                                 | 767 |
| 23.8.6. Zbiory i przedziały znaków                  | 768 |
| 23.8.7. Błędy w wyrażeniach regularnych             | 769 |
| 23.9. Dopasowywanie przy użyciu wyrażeń regularnych | 770 |
| 23.10. Źródła                                       | 775 |

## **Rozdział 24. Działania na liczbach** **779**

|   |     |
|---|-----|
| 24.1. Wprowadzenie                              | 780 |
| 24.2. Rozmiar, precyzja i przekroczenie zakresu | 780 |
| 24.2.1. Ograniczenia typów liczbowych           | 783 |
| 24.3. Tablice                                   | 784 |
| 24.4. Tablice wielowymiarowe w stylu języka C   | 785 |
| 24.5. Biblioteka Matrix                         | 786 |
| 24.5.1. Wymiary i dostęp                        | 787 |
| 24.5.2. Macierze jednowymiarowe                 | 789 |
| 24.5.3. Macierze dwuwymiarowe                   | 792 |
| 24.5.4. Wejście i wyjście macierzy              | 794 |
| 24.5.5. Macierze trójwymiarowe                  | 795 |

|   |     |
|---|-----|
| 24.6. Przykład — rozwiązywanie równań liniowych | 796 |
| 24.6.1. Klasyczna eliminacja Gaussa             | 797 |
| 24.6.2. Wybór elementu centralnego              | 798 |
| 24.6.3. Testowanie                              | 799 |
| 24.7. Liczby losowe                             | 800 |
| 24.8. Standardowe funkcje matematyczne          | 802 |
| 24.9. Liczby zespolone                          | 803 |
| 24.10. Źródła                                   | 804 |

## **Rozdział 25. Programowanie systemów wbudowanych** **809**

|  |     |
|--|-----|
| 25.1. Systemy wbudowane                        | 810 |
| 25.2. Podstawy                                 | 813 |
| 25.2.1. Przewidywalność                        | 815 |
| 25.2.2. Ideały                                 | 815 |
| 25.2.3. Życie z awarią                         | 816 |
| 25.3. Zarządzanie pamięcią                     | 818 |
| 25.3.1. Problemy z pamięcią wolną              | 819 |
| 25.3.2. Alternatywy dla ogólnej pamięci wolnej | 822 |
| 25.3.3. Przykład zastosowania puli             | 823 |
| 25.3.4. Przykład użycia stosu                  | 824 |
| 25.4. Adresy, wskaźniki i tablice              | 825 |
| 25.4.1. Niekontrolowane konwersje              | 825 |
| 25.4.2. Problem — źle działające interfejsy    | 826 |
| 25.4.3. Rozwiązanie — klasa interfejsu         | 829 |
| 25.4.4. Dziedziczenie a kontenery              | 832 |
| 25.5. Bity, bajty i słowa                      | 834 |
| 25.5.1. Bity i operacje na bitach              | 835 |
| 25.5.2. Klasa bitset                           | 839 |
| 25.5.3. Liczby ze znakiem i bez znaku          | 840 |
| 25.5.4. Manipulowanie bitami                   | 844 |
| 25.5.5. Pola bitowe                            | 846 |
| 25.5.6. Przykład — proste szyfrowanie          | 847 |
| 25.6. Standardy pisania kodu                   | 851 |
| 25.6.1. Jaki powinien być standard kodowania   | 852 |
| 25.6.2. Przykładowe zasady                     | 854 |
| 25.6.3. Prawdziwe standardy kodowania          | 859 |

## **Rozdział 26. Testowanie** **865**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 26.1. Czego chcemy             | 866 |
| 26.1.1. Zastrzeżenie           | 867 |
| 26.2. Dowody                   | 867 |
| 26.3. Testowanie               | 867 |
| 26.3.1. Testowanie regresyjne  | 868 |
| 26.3.2. Testowanie jednostkowe | 869 |

|   |     |
|---|-----|
| 26.3.3. Algorytmy i nie-algorytmy                       | 875 |
| 26.3.4. Testy systemowe                                 | 882 |
| 26.3.5. Testowanie klas                                 | 886 |
| 26.3.6. Znajdowanie założeń, które się nie potwierdzają | 889 |
| 26.4. Projektowanie pod kątem testowania                | 890 |
| 26.5. Debugowanie                                       | 891 |
| 26.6. Wydajność   | 891 |
| 26.6.1. Kontrolowanie czasu                             | 893 |
| 26.7. Źródła  | 895 |

## Rozdział 27. Język C

899

|   |     |
|---|-----|
| 27.1. C i C++ to rodzeństwo                           | 900 |
| 27.1.1. Zgodność języków C i C++                      | 901 |
| 27.1.2. Co jest w języku C++, czego nie ma w C        | 903 |
| 27.1.3. Biblioteka standardowa języka C               | 904 |
| 27.2. Funkcje   | 905 |
| 27.2.1. Brak możliwości przeciążania nazw funkcji     | 906 |
| 27.2.2. Sprawdzanie typów argumentów funkcji          | 906 |
| 27.2.3. Definicje funkcji                             | 907 |
| 27.2.4. Wywoływanie C z poziomu C++ i C++ z poziomu C | 909 |
| 27.2.5. Wskaźniki na funkcje                          | 911 |
| 27.3. Mniej ważne różnice między językami             | 912 |
| 27.3.1. Przestrzeń znaczników struktur                | 912 |
| 27.3.2. Słowa kluczowe                                | 913 |
| 27.3.3. Definicje                                     | 914 |
| 27.3.4. Rzutowanie w stylu języka C                   | 915 |
| 27.3.5. Konwersja typu void*                          | 916 |
| 27.3.6. Typ enum                                      | 917 |
| 27.3.7. Przestrzenie nazw                             | 917 |
| 27.4. Pamięć wolna                                    | 918 |
| 27.5. Łańcuchy w stylu języka C                       | 919 |
| 27.5.1. Łańcuchy w stylu języka C i const             | 922 |
| 27.5.2. Operacje na bajtach                           | 922 |
| 27.5.3. Przykład — funkcja strcpy()                   | 923 |
| 27.5.4. Kwestia stylu                                 | 923 |
| 27.6. Wejście i wyjście — nagłówek stdio              | 924 |
| 27.6.1. Wyjście                                       | 924 |
| 27.6.2. Wejście                                       | 925 |
| 27.6.3. Pliki   | 927 |
| 27.7. Stałe i makra                                   | 927 |
| 27.8. Makra   | 928 |
| 27.8.1. Makra podobne do funkcji                      | 929 |
| 27.8.2. Makra składniowe                              | 930 |
| 27.8.3. Kompilacja warunkowa                          | 931 |
| 27.9. Przykład — kontenery intruzyjne                 | 932 |



**Dodatki** **941****Dodatek A Zestawienie własności języka** **943**

|   |     |
|---|-----|
| A.1. Opis ogólny                          | 944 |
| A.2. Literały                             | 946 |
| A.3. Identyfikatory                       | 950 |
| A.4. Zakres, pamięć oraz czas trwania     | 950 |
| A.5. Wyrażenia                            | 953 |
| A.6. Instrukcje                           | 962 |
| A.7. Deklaracje                           | 964 |
| A.8. Typy wbudowane                       | 965 |
| A.9. Funkcje                              | 968 |
| A.10. Typy zdefiniowane przez użytkownika | 971 |
| A.11. Wyliczenia                          | 972 |
| A.12. Klasy                               | 972 |
| A.13. Szablony                            | 983 |
| A.14. Wyjątki                             | 986 |
| A.15. Przestrzenie nazw                   | 988 |
| A.16. Aliasy                              | 988 |
| A.17. Dyrektywy preprocesora              | 989 |

**Dodatek B Biblioteka standardowa** **991**

|   |      |
|---|------|
| B.1. Przegląd                           | 992  |
| B.2. Obsługa błędów                     | 995  |
| B.3. Iteratory                          | 997  |
| B.4. Kontenery                          | 1001 |
| B.5. Algorytmy                          | 1008 |
| B.6. Biblioteka STL                     | 1016 |
| B.7. Strumienie wejścia i wyjścia       | 1018 |
| B.8. Przetwarzanie łańcuchów            | 1024 |
| B.9. Obliczenia                         | 1028 |
| B.10. Funkcje biblioteki standardowej C | 1032 |
| B.11. Inne biblioteki                   | 1040 |

**Dodatek C Podstawy środowiska Visual Studio** **1043**

|  |      |
|--|------|
| C.1. Uruchamianie programu                 | 1044 |
| C.2. Instalowanie środowiska Visual Studio | 1044 |
| C.3. Tworzenie i uruchamianie programu     | 1044 |
| C.4. Później                               | 1046 |

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Dodatek D Instalowanie biblioteki FLTK</b>      | <b>1047</b> |
| D.1. Wprowadzenie                                  | 1048        |
| D.2. Pobieranie biblioteki FLTK z internetu        | 1048        |
| D.3. Instalowanie biblioteki FLTK                  | 1048        |
| D.4. Korzystanie z biblioteki FLTK w Visual Studio | 1049        |
| D.5. Sprawdzanie, czy wszystko działa              | 1050        |
| <br>   |             |
| <b>Dodatek E Implementacja GUI</b>                 | <b>1051</b> |
| E.1. Implementacja wywołań zwrotnych               | 1052        |
| E.2. Implementacja klasy Widget                    | 1053        |
| E.3. Implementacja klasy Window                    | 1054        |
| E.4. Klasa Vector_ref                              | 1055        |
| E.5. Przykład — widgety                            | 1056        |
| <br>   |             |
| <b>Słowniczek</b>                                  | <b>1059</b> |
| <br>   |             |
| <b>Bibliografia</b>                                | <b>1065</b> |
| <br>   |             |
| <b>Skorowidz</b>                                   | <b>1069</b> |
| <br>   |             |
| <b>Zdjęcia</b>                                     | <b>1095</b> |

# Pisanie programu

Pisać program, znaczy rozumieć.

— Kristen Nygaard

**P**isanie programu polega na stopniowym modyfikowaniu swojego wyobrażenia na temat tego, co się chce zrobić i jak się chce to wyrazić. W tym i następnym rozdziale zbudujemy program. Zaczniemy od pierwszego mglistego pomysłu, przejdziemy etapy analizy, projektowania, implementacji, testowania, ponownego projektowania, na ponownej implementacji kończąc. Chcemy pokazać proces myślowy, który ma miejsce podczas tworzenia oprogramowania. W międzyczasie omówimy organizację programu, typy definiowane przez użytkownika oraz techniki przetwarzania danych wejściowych.

## 6.1. Problem

## 6.2. Przemyślenie problemu

6.2.1. Etapy rozwoju oprogramowania

6.2.2. Strategia

## 6.3. Wracając do kalkulatora

6.3.1. Pierwsza próba

6.3.2. Tokeny

6.3.3. Implementowanie tokenów

6.3.4. Używanie tokenów

6.3.5. Powrót do tablicy

## 6.4. Gramatyki

6.4.1. Dygresja — gramatyka języka angielskiego

6.4.2. Pisanie gramatyki

## 6.5. Zamiana gramatyki w kod

6.5.1. Implementowanie zasad gramatyki

6.5.2. Wyrażenia

6.5.3. Składniki

6.5.4. Podstawowe elementy wyrażeń

## 6.6. Wypróbowywanie pierwszej wersji

## 6.7. Wypróbowywanie drugiej wersji

## 6.8. Strumienie tokenów

6.8.1. Implementacja typu `Token_stream`

6.8.2. Wczytywanie tokenów

6.8.3. Wczytywanie liczb

## 6.9. Struktura programu



## 6.1. Problem

Pisanie programu zaczyna się od postawienia problemu. To znaczy, jest problem, do rozwiązania którego chcemy napisać program. Aby ten program był dobry, należy dokładnie zrozumieć problem. Jeśli program będzie rozwiązywał nie ten problem, co trzeba, to nie będzie przydatny bez względu na to, jak może być elegancki. Czasami zdarzają się szczęśliwe przypadki, że program spełnia jakieś przypadkowe pożyteczne zadanie, mimo że został napisany w całkiem innym celu. Lepiej jednak nie liczyć na takie szczęście. My chcemy napisać taki program, który będzie w prosty i jasny sposób rozwiązywał dokładnie ten problem, dla którego został napisany.

Jaki program byłoby najlepiej napisać na tym etapie nauki? Taki, który:

- Ilustruje techniki projektowania i pisania programów.
- Umożliwia zapoznanie się z charakterem decyzji, które programista musi podejmować, oraz implikacjami, które te decyzje pociągają.
- Nie wymaga zastosowania zbyt wielu nowych konstrukcji programistycznych.
- Jest wystarczająco skomplikowany, aby zmusić nas do przemyślenia jego projektu.
- Można napisać na kilka sposobów.
- Rozwiązuje łatwy do zrozumienia problem.
- Rozwiązuje problem wart uwagi.
- Jest na tyle mały, że można go w całości przedstawić i zrozumieć.

Wybór padł na program „zmuszający komputer do wykonywania typowych działań arytmetycznych na wyrażeniach, które mu podamy” — tzn. chcemy napisać prosty kalkulator. Programy tego typu są użyteczne. Można je znaleźć w każdym komputerze biurkowym, a nawet można znaleźć takie komputery, które pozwalają uruchamiać tylko tego typu programy — kalkulatory kieszonkowe.

Jeśli np. wpiszemy

$$2+3.1*4$$

będziemy oczekiwać, że program zwróci wynik

$$14.4$$

Niestety kalkulator taki nie będzie miał żadnych funkcji, których już nie spełnia nasz komputer, ale to by było zbyt wysokie wymaganie wobec pierwszego programu.

## 6.2. Przemyślenie problemu

Od czego więc zacząć? Pomyśl o postawionym problemie i tym, jak go rozwiązać. Po pierwsze zdecyduj się, co program ma robić i w jaki sposób będziesz się z nim komunikować. Później będziesz mógł zastanowić się nad tym, jak napisać odpowiedni kod. Opisz wstępną wersję swojego rozwiązania i zastanów się, co należy poprawić. Możesz spróbować przedyskutować problem i jego rozwiązanie z kolegą lub koleżanką. Próba przedstawienia komuś własnych myśli jest doskonałym sposobem na znalezienie słabych punktów własnego rozumowania,

nawet lepszym niż napisanie ich. Papier (lub komputer) nie będzie z Tobą dyskutować i krytycznie oceniać Twoich poglądów. Idealny etap projektowania to taki, który przeprowadza się w towarzystwie.

Niestety nie ma takiej ogólnej strategii rozwiązywania problemów, która odpowiadałaby wszystkim ludziom i pozwalała rozwiązać każdy problem. Istnieje mnóstwo książek, których autorzy twierdzą, że pomogą Ci efektywniej rozwiązywać problemy, oraz cała masa publikacji na temat projektowania programów. Nasza droga nie wiedzie poprzez nie. W zamian opiszemy garść ogólnych wskazówek, które mogą być pomocne w rozwiązywaniu mniejszych problemów. Następnie szybko przejdziemy do wypróbowywania tych sugestii na naszym małym kalkulatorze.

Czytając treść naszych rozważań na temat kalkulatora, oceniaj to, co widzisz, bardzo sceptycznym okiem. Aby zachować realizm, przedstawimy ewolucję naszego programu poprzez szereg wersji. Opiszemy argumenty, które doprowadziły nas do powstania każdej z nich. Oczywiście znaczna część tej argumentacji musi być niekompletna lub błędna, inaczej szybko byśmy skończyli ten rozdział. Naszym celem jest pokazanie przykładowych problemów i procesów myślowych charakterystycznych dla procesu projektowania i implementowania programu. Wersja, z której jesteśmy ostatecznie zadowoleni, zostanie przedstawiona dopiero na końcu następnego rozdziału.

Pamiętaj, że w tym i następnym rozdziale proces dochodzenia do finalnej wersji programu — droga wiodąca przez niepełne rozwiązania, pomysły i błędy — jest co najmniej tak samo ważny, jak wersja ostateczna i ważniejszy niż narzędzia techniczne języka programowania, których będziemy używać (wrócimy do nich później).

### 6.2.1. Etapy rozwoju oprogramowania

Poniżej przedstawimy nieco terminologii związanej z tworzeniem oprogramowania. Pracując nad rozwiązaniem problemu, wielokrotnie powtarza się następujące fazy:

- *Analiza* — przemyśl, co masz zrobić, i opisz, jak to aktualnie rozumiesz. Taki opis nazywa się **zestawem wymagań** lub **specyfikacją**. Nie będziemy szczegółowo opisywać technik opracowywania i opisywania takich wymogów. Temat tej książki tego nie obejmuje, ale należy pamiętać, że w miarę zwiększania się rozmiaru problemu techniki te nabierają wagi.
- *Projektowanie* — utworzenie ogólnej struktury systemu i podjęcie decyzji, na jakie części podzielić implementację oraz jak powinny się one ze sobą komunikować. W ramach projektowania zastanów się jakie narzędzia — np. biblioteki — możesz wykorzystać do opracowania struktury programu.
- *Implementacja* — napisz kod, usuń błędy oraz sprawdź za pomocą testów, czy robi to, co powinien.



### 6.2.2. Strategia

Oto garść wskazówek, które — jeśli zostaną zastosowane z rozwagą i wyobraźnią — będą pomocne w wielu projektach programistycznych:

- Jaki problem jest do rozwiązania? Przed wszystkim należy starać się dokładnie opisać, co chce się zrobić. Najczęściej oznacza to sporządzenie opisu problemu lub, jeśli ktoś



inny dał nam zadanie do wykonania, próbę odszyfrowania, co dokładnie to oznacza. W tym momencie należy przyjąć punkt widzenia użytkownika (nie programisty czy implementatora). To znaczy, zamiast zastanawiać się, jak rozwiązać problem, pomyśl, co program ma w ogóle robić. Zadawaj pytania typu: „Co ten program może dla mnie zrobić?” albo „W jaki sposób chciałbym komunikować się z tym programem?”. Pamiętaj, że większość z nas może korzystać z własnego bogatego doświadczenia jako użytkownika komputerów.

- Czy problem został jasno nakreślony? W realnym świecie nigdy nie jest. Nawet w takim ćwiczeniu trudno jest opisać go wystarczająco precyzyjnie. Dlatego staramy się wszystko wyjaśnić. Szkoda by było, gdybyśmy rozwiązali nie ten problem, co trzeba. Inna pułapka to wygórowane wymagania. Obmyślając, co byśmy chcieli, łatwo możemy ulec chciwości lub nadmiernym ambicjom. Zawsze lepiej jest obniżyć wymagania, aby ułatwić napisanie specyfikacji programu, jego zrozumienie, użytkowanie oraz (taką trzeba mieć nadzieję) implementację. Gdy zadziała, zawsze można napisać wzbogaconą wersję 2.0.
- Czy problem wydaje się możliwy do rozwiązania w przewidzianym czasie oraz przy określonym zasobie umiejętności i dostępnych narzędziach? Nie ma sensu rozpoczynać projektu, którego nie mamy szans ukończyć. Jeśli jest za mało czasu na implementację (włącznie z testowaniem) wszystkich wymaganych funkcji programu, zazwyczaj lepiej jest go w ogóle nie zaczynać. Lepiej zamiast tego zdobyć więcej zasobów (zwłaszcza czasu) lub (idealnie) zmienić wymagania, aby ułatwić zadanie.
- Spróbuj podzielić program na dające się ogarnąć myślami części. Nawet najmniejszy program rozwiązujący realny problem można podzielić na części.
  - Znasz jakieś narzędzia, biblioteki itp., które mogą być pomocne? Odpowiedź prawie zawsze brzmi: tak. Od samego początku nauki programowania masz do dyspozycji zawartość standardowej biblioteki C++. Później poznasz znaczną jej część i dowiesz się, jak poszukiwać jeszcze więcej. Będziesz korzystać z bibliotek graficznych, macierzy itp. Mając odrobinę doświadczenia, będziesz w stanie znaleźć tysiące bibliotek w internecie. Pamiętaj — nie ma sensu wyważać otwartych drzwi, jeśli tworzy się oprogramowanie do realnego użytku. Co innego w czasie nauki programowania. Wówczas takie działania w celu sprawdzenia, jak to zrobili inni, mają głęboki sens. Cały czas, który oszczędzisz dzięki wykorzystaniu istniejących bibliotek, możesz poświęcić na pracę nad innymi częściami problemu albo na odpoczynek. Skąd wiadomo, czy dana biblioteka spełnia nasze wymagania i prezentuje odpowiednią jakość? To trudne pytanie. Można spytać znajomych, popytać na grupach dyskusyjnych i wypróbować kilka krótkich przykładów, zanim się zdecydujemy.
- Wyodrębnij takie części rozwiązania, które można opisać oddzielnie od reszty (i potencjalnie wykorzystać w kilku miejscach programu, a nawet w innych programach). Umiejętność znajdowania takich części przychodzi z doświadczeniem, dlatego w książce tej przedstawiamy wiele takich przykładów. Używaliśmy już wektorów, łańcuchów i strumieni (cin i cout). W tym rozdziale po raz pierwszy przedstawimy przykłady projektów, implementacji i wykorzystania części programów dostępnych jako typy

zdefiniowane przez użytkownika (Token i Token\_stream). Jeszcze więcej takich przykładów znajduje się w rozdziałach 8. oraz 13. – 15., w których zostaną opisane techniki ich tworzenia. Na razie zastanów się nad taką analogią — gdybyśmy projektowali samochód, zaczęlibyśmy od opisu jego podzespołów, takich jak koła, silnik, fotele, klamki do drzwi itp. Każdą z nich wyprodukowalibyśmy osobno, aby następnie użyć jej do złożenia całego pojazdu. W nowoczesnym samochodzie wykorzystuje się dziesiątki tysięcy takich części. Realne programy nie różnią się w niczym od samochodów pod tym względem (poza tym, że częściami są fragmenty kodu). Nie przyszło by nam do głowy budować samochodu z surowych materiałów, jak żelazo, plastik i drewno. Analogicznie nie tworzymy poważnych programów, bezpośrednio używając wyrażień, instrukcji typów wbudowanych w język. Projektowanie i implementowanie takich części jest najważniejszym tematem tej książki, a nawet w ogólnie programowania. Zajrzyj też do rozdziałów 9. (typy definiowane przez użytkownika), 14. (hierarchie klas) oraz 20. (typy ogólne).

- Zbuduj niewielką wersję programu z ograniczoną funkcjonalnością, która rozwiązuje najważniejszą część problemu. Rzadko się zdarza, abyśmy od samego początku dokładnie znali charakter problemu. Często nam się tak wydaje (chyba wiadomo, co to jest program kalkulator?), ale w rzeczywistości jest inaczej. Tylko dzięki wytężonemu myśleniu o problemie (analiza) i eksperymentowaniu (projekt i implementacja) można na tyle dokładnie zrozumieć problem, aby napisać dobry program. Dlatego tworzymy ograniczoną wersję, aby:
  - Odkryć własne braki w rozumowaniu, pojmowaniu problemu oraz narzędziach.
  - Sprawdzić, czy nie trzeba zmienić niektórych szczegółów w specyfikacji problemu, aby zadanie było wykonalne. Rzadko się zdarza, aby w czasie analizy i we wstępnej fazie projektowania udało się przewidzieć wszystkie możliwe trudności. Należy skorzystać z informacji, które zyskujemy podczas pisania i testowania kodu.

Taką wstępną wersję o ograniczonej funkcjonalności czasami nazywa się **prototypem**. Jeśli (co jest prawdopodobne) ta pierwsza wersja nie działa lub jest tak brzydka, że nie mamy ochoty się nią dłużej zajmować, wyrzucamy ją i tworzymy nowy prototyp, tym razem wzbogaceni o nowe doświadczenia. Powtarzamy ten proces aż do uzyskania zadowalającego wyniku. Nie kontynuuj pracy w bałaganie, który z czasem tylko się pogorszy.

- Zbuduj pełną wersję, najlepiej wykorzystując w tym celu części z wersji wstępnej. Chodzi o to, aby program tworzyć z działających części, a nie pisać cały kod na raz. Można oczywiście mieć nadzieję, że jakimś cudem nieprzetestowane fragmenty kodu będą działać i na dodatek robić to, co zaplanowano.

## 6.3. Wracając do kalkulatora

W jaki sposób będziemy komunikować się z kalkulatorem? To łatwe — wiemy już, jak posługiwać się strumieniami `cin` i `cout`, a graficzne interfejsy użytkownika (GUI) zostaną opisane dopiero w rozdziale 16. W związku z tym wybór padł na okno konsoli. Program będzie pobierał z klawiatury wyrażenia, obliczał ich wartość i drukował wynik na ekranie. Na przykład:

Wyrażenie: 2+2  
 Wynik: 4  
 Wyrażenie: 2+2\*3  
 Wynik: 8  
 Wyrażenie: 2+3-25/5  
 Wynik: 0

Wyrażenia, tzn. 2+2 i 2+2\*3, powinien wpisywać użytkownik. Reszta należy do programu. Wyświetlenie słowa *Wyrażenie:* będzie zachętą dla użytkownika do wpisania wyrażenia. Moglibyśmy napisać *Proszę wpisać wyrażenie i znak nowego wiersza:*, ale to wydawało nam się zbyt rozwlekłe. Z drugiej strony taki przyjemny znaczek > byłby chyba za bardzo tajemniczy. Takie szkicowanie przykładów użycia we wczesnej fazie pracy jest bardzo ważne. Dzięki temu można się dowiedzieć, jaki jest minimalny zestaw funkcji programu. W projektowaniu i analizie przykłady takie nazywają się **przypadkami użycia**.

Większość ludzi, którzy po raz pierwszy stykają się z problemem kalkulatora, wpada na następujący pomysł, jeśli chodzi o główną logikę programu:

```
wczytaj_wiersz
oblicz      // wykonuje pracę
wydrukuj_wynik
```

Takie zapiski to oczywiście nie jest prawdziwy kod, tylko tzw. *pseudokod*. Stosuje się go we wczesnych fazach projektowania, gdy nie ma jeszcze pewności co do tego, jaką zastosować notację. Np., czy obliczenia ma być wywołaniem funkcji? Jeśli tak, to jakie będzie przyjmować argumenty? Jest po prostu za wcześnie na zadawanie takich pytań.

### 6.3.1. Pierwsza próba

Na tym etapie nie jesteśmy jeszcze gotowi napisać programu kalkulatora. Nie przemyśleliśmy jeszcze wszystkiego, ale myślenie to ciężka praca i — jak większość programistów — nie możemy się doczekać, żeby już coś napisać. Spróbujemy więc swoich sił i napiszemy prosty kalkulator, aby zobaczyć, do czego nas to doprowadzi. Nasz pierwszy pomysł wygląda tak:

```
#include "std_lib_facilities.h"
int main()
{
    cout << "Wpisz wyrażenie (obsługujemy operatory + i -): ";
    int lval = 0;
    int rval;
    char op;
    int res;
    cin >> lval >> op >> rval; // Wczytuje coś w rodzaju 1 + 3.
    if (op == '+')
        res = lval + rval; // dodawanie
    else if (op == '-')
        res = lval - rval; // odejmowanie
    cout << "Wynik: " << res << '\n';
    keep_window_open();
    return 0;
}
```



Wczytujemy parę wartości oddzielonych operatorem, np. 2+2, obliczamy wynik (tu 4) i drukujemy go na ekranie. Zmienną przechowującą wartość z lewej strony operatora nazwaliśmy `lval`, a z prawej strony `rval`.

To nawet działa! Co z tego, że program nie jest ukończony? To wspaniałe uczucie zrobić coś, co działa! Może to programowanie i informatyka są łatwiejsze, niż głoszą plotki? Możliwe, ale nie dajmy się ponieść emocjom z powodu tego pierwszego sukcesu. Oto lista czynności:

1. Oczyszczyć kod.
2. Dodać obsługę dzielenia i mnożenia (np. **2\*3**).
3. Dodać obsługę wyrażeń zawierających więcej niż jeden operand (np. **1+2+3**).

W szczególności pamiętamy, że zawsze należy sprawdzać, czy użytkownik podał sensowne dane (zapomnieliśmy z pośpiechu wcześniej), oraz że porównywanie jednej wartości z wieloma stałymi lepiej wykonać za pomocą instrukcji `switch` niż `if`.

Łączenie działań w łańcuchy, np. 1+2+3+4, obsłużymy, sumując wartości w czasie wczytywania. Tzn. wczytujemy 1, widzimy +2, więc dodajemy 2 do 1 (uzyskując w ten sposób wynik 3). Dalej widzimy +3, a więc dodajemy 3 do poprzedniego wyniku itd. Po kilku falstartach i poprawieniu kilku błędów składni uzyskaliśmy następujący rezultat:

```
#include "std_lib_facilities.h"
int main()
{
    cout << "Wpisz wyrażenie (obsługujemy operatory +, -, * oraz /): ";
    int lval = 0;
    int rval;
    char op;
    cin>>lval; // Wczytywanie pierwszego argumentu wyrażenia z lewej.
    if (!cin) error("Na początku nie ma argumentu wyrażenia.");
    while (cin>>op) { // Wczytywanie operatora i prawego argumentu wyrażenia na zmianę.
        cin>>rval;
        if (!cin) error("Nie ma drugiego argumentu wyrażenia.");
        switch(op) {
            case '+':
                lval += rval; // Dodawanie: lval = lval + rval
                break;
            case '-':
                lval -= rval; // Odejmowanie: lval = lval - rval
                break;
            case '*':
                lval *= rval; // Mnożenie: lval = lval * rval
                break;
            case '/':
                lval /= rval; // Dzielenie: lval = lval / rval
                break;
            default: // Koniec operatorów — drukowanie wyniku.
                cout << "Wynik: " << lval << '\n';
                keep_window_open();
                return 0;
        }
    }
}
```

```

    }
    error("Nieprawidłowe wyrażenie.");
}

```

Wygląda niezłe, ale gdy wpisujemy wyrażenie  $1+2*3$ , to ujrzymy wynik 9 zamiast 7, którego spodziewalibyśmy się na podstawie wiedzy zdobytej w szkole podstawowej. Analogicznie wynikiem wyrażenia  $1-2*3$  będzie -3 zamiast spodziewanego -5. Kalkulator wykonuje działania w złej kolejności — wyrażenie  $1+2*3$  jest liczone jako  $(1+2)*3$  zamiast  $1+(2*3)$ . Analogicznie  $1-2*3$  jest liczone jako  $(1-2)*3$  zamiast  $1-(2*3)$ . Lipa! Moglibyśmy uznać, że zasada, iż „mnożenie wiąże mocniej niż dodawanie” jest głupią i przestarzałą konwencją, ale nie możemy zignorować wielowiekowej tradycji, aby ułatwić sobie programowanie.

### 6.3.2. Tokeny

Musimy zatem znaleźć sposób na wczytywanie części wiersza „na zapas”, aby sprawdzić, czy nie ma tam gdzieś operatora  $*$  (albo  $/$ ). Jeśli jest, musimy zmienić kolejność wykonywania działań. Niestety próbując wczytać nieco danych z wyprzedzeniem, napotkamy kilka trudności:

1. Nie wymagamy, aby wyrażenie znajdowało się w jednym wierszu. Na przykład poniższe też jest poprawne:

```

1
+
2

```

2. Jak znaleźć znaki  $*$  i  $/$  wśród cyfr, plusów, minusów i nawiasów w kilku wierszach danych wejściowych?
3. Jak zapamiętać, gdzie znajdował się znaleziony znak  $*$ ?
4. Jak wykonać obliczenia, które nie są ściśle typu „od lewej do prawej”?

Postanowiliśmy być wielkimi optymistami i zająć się tylko punktami 1 – 3. Ostatnim zajmniemy się trochę później.

Poszukamy pomocy. Przecież ktoś na pewno zna typowy sposób wczytywania danych typu liczby i operatory i zapisywania ich w taki sposób, aby można je było łatwo wykorzystać w obliczeniach. Ta konwencjonalna i przydatna technika nazywa się rozbiorem na składniki, czyli tokeny (ang. *tokenize*) — wczytuje się dane i dzieli je na **tokeny**. Na przykład wyrażenie


```
45+11.5/7
```

zostałoby rozłożone na tokeny

```

45
+
11.5
/
7

```

 **Token** to sekwencja znaków, która reprezentuje pewną całość, np. liczbę lub operator. Kompilator C++ dzieli na tokeny kod źródłowy. W istocie różne formy rozkładu na czynniki są podstawą analizy większości rodzajów tekstów. W wyrażeniach matematycznych w języku C++ potrzebujemy trzech rodzajów tokenów:

- literały zmiennoprzecinkowe — zgodnie z definicją w C++, np. 3.14, 0.274e2 i 42;
- operatory — +, -, \*, / oraz %;
- nawiasy — ( i ).

Wydaje się, że trudności mogą nastęrczać literały zmiennoprzecinkowe. Wczytanie liczby 12 wydaje się znacznie łatwiejsze niż 12.3e-3. Ale kalkulatory zazwyczaj wykonują działania na liczbach zmiennoprzecinkowych. Analogicznie podejrzewamy, że aby nasz kalkulator był przydatny, musi obsługiwać nawiasy.

W jaki sposób reprezentuje się takie tokeny w programie? Można spróbować zapamiętywać, gdzie każdy token się zaczyna, a gdzie kończy, ale to może być uciążliwe (zwłaszcza jeśli pozwolimy na wpisywanie wyrażeń obejmujących więcej niż jeden wiersz). Dodatkowo, jeśli będziemy zapisywać wartości jako sekwencje znaków, będziemy musieli później znaleźć sposób na odczytanie tych wartości. To znaczy, jeśli liczbę 42 zapiszemy jako znaki 4 i 2, później będziemy musieli odgadnąć, że te dwa znaki reprezentują liczbę 42 (tzn.  $4 \cdot 10 + 2$ ). Oczywistym i konwencjonalnym rozwiązaniem tego problemu jest przedstawienie każdego tokenu jako pary (**rodzaj, wartość**). Pierwszy element informuje o rodzaju tokenu — liczba, operator, nawias. Drugi natomiast np. w przypadku liczb określa dokładną wartość.

Jak więc wykorzystać pomysł par (**rodzaj, wartość**) w kodzie? Zdefiniujemy typ Token do reprezentowania tokenów. Po co? Przypomnij sobie, po co używamy typów: przechowują potrzebne nam dane i pozwalają wykonywać na nich różne operacje. Na przykład typ `int` pozwala przechowywać liczby całkowite i umożliwia dodawanie, odejmowanie, mnożenie oraz dzielenie tych liczb. Natomiast typ `string` przechowuje łańcuchy znaków i pozwala je np. łączyć. W języku C++ i jego bibliotece standardowej dostępnych jest wiele typów, np. `char`, `int`, `double`, `string`, `vector` i `ostream`. Nie ma jednak typu `Token`. W istocie można wymienić mnóstwo typów — tysiące, a nawet dziesiątki tysięcy — które chcielibyśmy mieć do dyspozycji, a których nie ma w języku ani jego bibliotece standardowej. Do naszych ulubionych typów, które nie są standardowo dostępne, należą `Matrix` (zobacz rozdział 24.), `Date` (zobacz rozdział 9.) oraz reprezentujące go liczby całkowite nieskończonej precyzji (poszukaj w internecie informacji na temat typu `BigNum`). Jeśli przemyślisz to, dojdiesz do wniosku, że język nie może standardowo obsługiwać dziesiątek tysięcy typów — kto by je zdefiniował i zaimplementował, kto by je potem znalazł, nie mówiąc już o tym, jak gruby musiałby być podręcznik do nauki takiego języka. Język C++ wzorem innych nowoczesnych języków programowania rozwiązuje ten problem, pozwalając użytkownikowi definiować własne (niestandardowe) typy (ang. *user-defined type* — typ zdefiniowany przez użytkownika).



### 6.3.3. Implementowanie tokenów

Jak powinien wyglądać token? To znaczy, jakie właściwości powinien mieć nasz typ `Token`? Musi nadawać się do reprezentowania operatorów (np. + i -) i wartości liczbowych (np. 42 i 3.14). Oczywistym rozwiązaniem jest zaimplementowanie czegoś takiego, co może zawierać informację na temat rodzaju tokenu i w razie potrzeby jego wartość:

|        |      |        |        |
|--------|------|--------|--------|
| Token: |      | Token: |        |
| kind:  | plus | kind:  | liczba |
| value: |      | value: | 3.14   |

Pomysł ten można zaimplementować w języku C++ na wiele sposobów. Przedstawiamy najprostszy, który wydaje nam się użyteczny:

```
class Token { // Bardzo prosty typ zdefiniowany przez użytkownika.
public:
    char kind;
    double value;
};
```

Token to typ (tak samo jak `int` czy `char`), a więc można go używać do definiowania zmiennych i przechowywania wartości. Składa się z dwóch części (nazywanych składowymi) — `kind` (rodzaj) oraz `value` (wartość). Słowo kluczowe `class` oznacza „typ zdefiniowany przez użytkownika”. Wskazuje definicję typu z zerem lub większą liczbą składowych. Pierwsza składowa o nazwie `kind` jest znakiem `char`, a więc można jej użyć do przechowywania znaków `'+'` i `'*'`, które będą reprezentowały operatory. Przy użyciu tego typu można tworzyć następujące instrukcje:

```
Token t; // Zmienna t jest typu Token.
t.kind = '+'; // Zmienna t reprezentuje znak +.
Token t2; // Zmienna t2 jest innym obiektem typu Token.
t2.kind = '8'; // Cyfra 8 oznacza rodzaj (kind) tokenu będący liczbą.
t2.value = 3.14;
```

Aby uzyskać dostęp do składowej, posługujemy się odpowiednią notacją — **nazwa\_obiektu.nazwa\_składowej**. Tekst `t.kind` można przeczytać jako „rodzaj obiektu `t`”, a `t2.value` jako „wartość obiektu `t2`”. Obiekty typu `Token` można kopiować tak samo jak typu `int`:

```
Token tt = t; // Inicjacja kopii
if (tt.kind != t.kind) error("To niemożliwe!");
t = t2; // przypisanie
cout << t.value; // wydrukuje 3.14
```

Mając typ `Token`, wyrażenie  $(1.5+4)*11$  można przedstawić za pomocą siedmiu tokenów:

|     |     |     |     |    |     |
|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| '(' | '8' | '+' | '8' | *) | '8' |
|     | 1.5 |     | 4   |    | 11  |

Należy zauważyć, że proste tokeny, jak `+`, nie mają wartości, a więc do ich reprezentowania niepotrzebna jest składowa `value`. Potrzebowaliśmy znaku, który oznaczałby liczbę. Wybór padł na `'8'`, ponieważ nie jest to operator ani znak interpunkcyjny. Wykorzystanie `'8'` w taki sposób jest dosyć tajemnicze, ale na razie może być.

`Token` jest przykładem typu zdefiniowanego przez użytkownika w języku C++. Typy takie poza danymi składowymi mogą też zawierać funkcje (operacje) składowe. Istnieje wiele powodów, dla których się je definiuje. My zdefiniujemy tylko dwie, aby ułatwić sobie inicjowanie obiektów typu `Token`:

```
class Token {
public:
    char kind; // Rodzaj tokenu
    double value; // Dla liczb: wartość.
```

```

Token(char ch) // Tworzy Token ze znaku.
    :kind(ch), value(0) { }
Token(char ch, double val) // Tworzy Token ze znaku i wartości typu double.
    :kind(ch), value(val) { }
};

```

Nie są to zwykle funkcje składowe, tylko tzw. **konstruktory**. Mają taką samą nazwę jak ich typ i służą do inicjalizowania (tworzenia) obiektów typu Token. Na przykład:

```

Token t1('+'); // Inicjacja zmiennej t1 — t1.kind = '+'
Token t2('8',11.5); // Inicjacja zmiennej t2 — t2.kind = '8' i t2.value = 11.5.

```

Tekst `:kind(ch), value(0)` w pierwszym konstruktorze oznacza: „Zainicjuj składową `kind` wartością `ch`, a `value` ustaw na 0”. W drugim konstruktorze znajduje się tekst `:kind(ch), value(val)`, który oznacza: „Zainicjuj składową `kind` wartością `ch`, a `value` ustaw na `val`”. W obu przypadkach nie trzeba robić nic więcej, aby utworzyć obiekt typu Token, dlatego treść funkcji jest pusta — `{ }`. Specjalna składnia inicjująca (ang. *member initializer list* — **lista wartości inicjujących składowe**), która zaczyna się dwukropkiem, jest używana tylko w konstruktorach.

Zauważ, że konstruktor nie zwraca wartości. Dlatego nie trzeba (a nawet nie można) definiować typu zwrotnego konstruktora. Więcej na temat konstruktorów napiszemy w rozdziałach 9.4.2 i 9.7.

### 6.3.4. Używanie tokenów

Może spróbujemy dokończyć nasz kalkulator! Chociaż warto by było najpierw opracować jakiś plan działania. Jak będziemy wykorzystywać obiekty typu Token w programie? Możemy wczytać dane wejściowe do wektora takich obiektów:

```

Token get_token(); // Wczytuje token ze strumienia cin.
vector<Token> tok; // Tutaj będziemy zapisywać tokeny.
int main()
{
    while (cin) {
        Token t = get_token();
        tok.push_back(t);
    }
    // ...
}

```

Teraz możemy wczytać wyrażenie w całości i dopiero po tym obliczyć jego wartość. W przypadku `11*12` otrzymamy coś takiego:

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| '8' | '*' | '8' |
| 11  |     | 12  |

W strukturze tej możemy znaleźć operator i jego operandy. Gdy to zrobimy, z łatwością wykonamy działanie mnożenia, ponieważ liczby 11 i 12 zostały zapisane jako wartości liczbowe, a nie łańcuchy.

Teraz przeanalizujemy bardziej skomplikowane wyrażenie. Dla wyrażenia `1+2*3` tok będzie zawierać pięć obiektów typu Token:

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| '8' | '+' | '8' | '*' | '8' |
| 1   |     | 2   |     | 3   |

W tym przypadku operator mnożenia można znaleźć za pomocą prostej pętli:

```
for (int i = 0; i<tok.size(); ++i) {
    if (tok[i].kind=='*') { // Znaleźliśmy operator mnożenia!
        double d = tok[i-1].value*tok[i+1].value;
        // Co teraz?
    }
}
```

No dobrze, ale co teraz? Co zrobimy z iloczynem  $d$ ? Jak określić kolejność wykonywania działań w wyrażeniu? Operator  $+$  znajduje się przed  $*$ , a więc nie możemy po prostu wykonać wszystkich działań od lewej do prawej. Możemy spróbować od prawej do lewej! To by się sprawdziło w przypadku wyrażenia  $1+2*3$ , ale już nie dla wyrażenia  $1*2+3$ . Nie wspominając już o takim czymś, jak  $1+2*3+4$ . To wyrażenie trzeba obliczyć „od środka” —  $1+(2*3)+4$ . Jak poradzimy sobie z nawiasami? Wydaje się, że utknęliśmy. Musimy się wycofać, przestać na chwilę programować i pomyśleć nad wczytywaniem oraz tym, jak rozumiemy łańcuch wejściowy i jak obliczamy jego wartość jako wyrażenia.



Pierwsza entuzjastyczna próba rozwiązania problemu (napisania kalkulatora) zakończyła się kląpą. Pierwsze podejścia często tak się kończą i sytuacje takie są nam potrzebne, ponieważ dzięki nim możemy lepiej zrozumieć naturę problemu. W tym przypadku nawet poznaliśmy przydatne pojęcie tokenu, które samo jest przykładem pojęcia pary (**nazwa, wartość**), z którym będziemy jeszcze wielokrotnie się spotykać. Musisz jednak pamiętać, że takie bezmyślne i nieplanowane pisanie kodu nie powinno zajmować zbyt dużo czasu. Przed dokonaniem analizy (próbą zrozumienia problemu) i opracowaniem projektu (opracowaniem ogólnej struktury rozwiązania) powinno się napisać bardzo mało kodu.

## WYPRÓBUJ



Z drugiej strony, czemu nie moglibyśmy znaleźć prostego rozwiązania tego problemu? Nie wydaje się aż taki trudny. Podjęcie próby rozwiązania problemu, nawet zakończone fiaskiem, może doprowadzić nas do lepszego zrozumienia problemu i opracowania rozwiązania. Pomyśl, co możesz zrobić od razu. Jako przykład niech posłuży wyrażenie  $12.5+2$ . Możemy rozbić je na tokeny, dojść do wniosku, że to bardzo proste wyrażenie i obliczyć wynik. Może byłoby trochę bałaganu, ale rozwiązanie jest proste, więc może warto podążyć w tym kierunku i znaleźć coś, co wystarczy! Pomyśl, co byś zrobił, gdybyś znalazł operatory  $+$  i  $*$  w wierszu  $2+3*4$ . To także można obliczyć „na piechotę”. Jak byśmy sobie poradzili ze skomplikowanym wyrażeniem typu  $1+2*3/4*5+(6-7*(8))$ ? Jak byśmy radzili sobie z błędami, np.  $2+*3$  albo  $2&3$ ? Pomyśl nad tym przez chwilę. Możesz zrobić sobie notatki na kartce, nakreślić możliwe rozwiązania oraz wypisz interesujące lub ważne wyrażenia.

### 6.3.5. Powrót do tablicy

Jeszcze raz przeanalizujemy problem, tym razem starając się nie wrywać z nieprzemysłanymi pomysłami. Jedyne, co odkryliśmy, to fakt, że obliczenie przez program tylko jednego

wyrażenia sprawia nam trudności. Chcielibyśmy mieć możliwość obliczenia wielu wyrażeń w jednym uruchomieniu programu. W związku z tym wzbogacamy nasz pseudokod w następujący sposób:

```
while (nie_skończone) {
    wczytaj_wiersz
    oblicz          // wykonaj pracę
    wydrukuj_wynik
}
```

To z pewnością komplikuje sprawę, ale musimy wziąć pod uwagę fakt, że kalkulatorów zazwyczaj używa się do wykonywania kilku obliczeń po kolei. Czy mamy kazać użytkownikowi uruchamiać nasz program ponownie, aby wykonać każde obliczenie? Moglibyśmy, ale w wielu nowoczesnych systemach operacyjnych uruchamianie programów trwa za długo, a więc lepiej tego nie robić.

Kiedy patrzymy na nasz pseudokod, nasze początkowe próby rozwiązania problemu i przykłady użycia, nasuwa się nam kilka pytań (i kilka nieśmiałych odpowiedzi):

1. Jeśli użytkownik wpisze  $45+5/7$ , jak znajdziemy poszczególne elementy — 45, 5, / i 7? Odpowiedź: podzielimy na tokeny!
2. W jaki sposób oznaczymy koniec wyrażenia? Oczywiście znakiem nowego wiersza (zawsze podejrzliwie traktuj zwroty typu „oczywiście” — „oczywiście” to nie żaden powód!
3. Jak zaprezentujemy wyrażenie  $45+5/7$  jako dane, aby można było obliczyć wynik? Przed wykonaniem dodawania musimy w jakiś sposób zamienić znaki 4 i 5 w liczbę całkowitą 45 (tj.  $4*10+5$ ). Zatem podział na tokeny jest częścią rozwiązania.
4. Jak sprawić, aby wyrażenie  $45+5/7$  było obliczane jako  $45+(5/7)$ , a nie  $(45+5)/7$ ?
5. Ile wynosi  $5/7$ ? Około .71, a więc to nie jest liczba całkowita. Z doświadczenia wiemy, że użytkownicy kalkulatorów oczekują wyników zmiennoprzecinkowych. Czy powinniśmy pozwolić na wpisywanie liczb zmiennoprzecinkowych? Oczywiście!
6. Czy możemy pozwolić na używanie zmiennych? Moglibyśmy na przykład napisać:

```
v=7
m=9
v*m
```


Dobry pomysł, ale zostawimy to na później. Na razie zajmiemy się podstawową funkcjonalnością.

Najważniejsza decyzja to prawdopodobnie odpowiedź na pytanie w punkcie 6. W rozdziale 7.8 zobaczysz, że odpowiedź ta pociągnie za sobą prawie podwojenie rozmiaru wstępnej wersji projektu. To podwoiłoby czas potrzebny na uruchomienie wstępnej wersji programu. Podejrzewamy, że początkujący potrzebowałby nawet cztery razy więcej czasu i niewykluczone, że straciłby w końcu cierpliwość. We wczesnych fazach prac nad projektem należy zawsze unikać przesady z liczbą funkcji. Wstępna wersja zawsze powinna być prosta i zawierać tylko najważniejsze funkcje. Kiedy uda Ci się zmusić coś do działania, możesz postawić sobie bardziej ambitne wymagania. Budowa programu etapami jest znacznie łatwiejsza niż wszystkiego na raz. Odpowiedź „tak” na pytanie 6. miałyby jeszcze jeden zły wynik: mogłoby być trudno oprzeć



się pokusie dodania jeszcze innych funkcji. Może warto pomyśleć o funkcjach matematycznych albo o pętlach? Gdy zacznie się dodawać kolejne „fajne” funkcje, trudno przestać.

Z programistycznego punktu widzenia najbardziej kłopotliwe są punkty 1, 3 i 4. Ponadto są ze sobą powiązane, ponieważ gdy znajdziemy już 45 i +, co mamy z nimi zrobić? Tzn., jak zapisać je w programie? Oczywiście częściowym rozwiązaniem tego problemu jest podział na tokeny, ale tylko częściowym.



Co zrobiłby doświadczony programista? Gdy mamy do rozwiązania jakiś trudny techniczny problem, często można znaleźć jakieś standardowe rozwiązanie. Wiemy, że ludzie piszą kalkulatory, przynajmniej od kiedy istnieją komputery przyjmujące dane symboliczne z klawiatury, a więc od 50 lat. Musi być jakieś standardowe rozwiązanie! W takiej sytuacji doświadczony programista konsultuje się z kolegami i przeszukuje dostępną literaturę. Byłoby głupstwem myśleć, że w jeden dzień uda się wymyśleć coś lepszego, niż inni wymyślili przez 50 lat.

## 6.4. Gramatyki

Istnieje standardowa odpowiedź na pytanie, jak rozszyfrować znaczenie wyrażenia: najpierw wprowadzone znaki należy zebrać i podzielić na tokeny (to już sami odkryliśmy). Jeśli użytkownik wpisze:

```
45+11.5/7
```

program powinien utworzyć następującą listę tokenów:

```
45
+
11.5
/
7
```

Token to sekwencja znaków, którą uważamy za jakąś jednostkę, np. operator lub liczbę.

Po utworzeniu tokenów program musi upewniać się, że całe wyrażenie jest poprawnie rozumiane. Na przykład wiemy, że wyrażenie 45+11.5/7 oznacza 45+(11.5/7), a nie (45+11.5)/7. Sęk w tym, jak nauczyć program tej przydatnej zasady (dzielenie „wiąże mocniej” niż dodawanie)? Standardowa odpowiedź jest taka, że piszemy **gramatykę** definiującą składnię naszych danych wejściowych, a następnie piszemy program, w którym implementujemy zasady tej gramatyki. Na przykład:

*// Prosta gramatyka wyrażeń:*

Expression:

Term

Expression "+" Term // dodawanie

Expression "-" Term // odejmowanie

Term:

Primary

Term "\*" Primary // mnożenie

Term "/" Primary // dzielenie

Term "%" Primary // reszta z dzielenia (modulo)

Primary:

Number





```
"(" Expression ")" // grupowanie
Number:
    floating-point-literal
```

Jest to zestaw prostych zasad. Ostatnią należy czytać następująco: „Number (liczba) to literał zmiennoprzecinkowy”. Natomiast treść przedostatniej jest taka: „Primary (czynnik) jest liczbą lub znakiem '(', po którym jest wyrażenie i znak ')’”. Reguły dla Expression (wyrażenia) i Term (składnika) są podobne. Każda z nich jest zdefiniowana z uwzględnieniem jednej z reguł, które znajdują się dalej.

Jak pamiętamy z podrozdziału 6.3.2, nasze tokeny — zgodnie z definicją w języku C++ — to:

- literał zmiennoprzecinkowy (zgodny z definicją w języku C++, np. 3.14, 0.274e2 lub 42);
- +, -, \*, / oraz % — operatory;
- ( i ) — nawiasy.

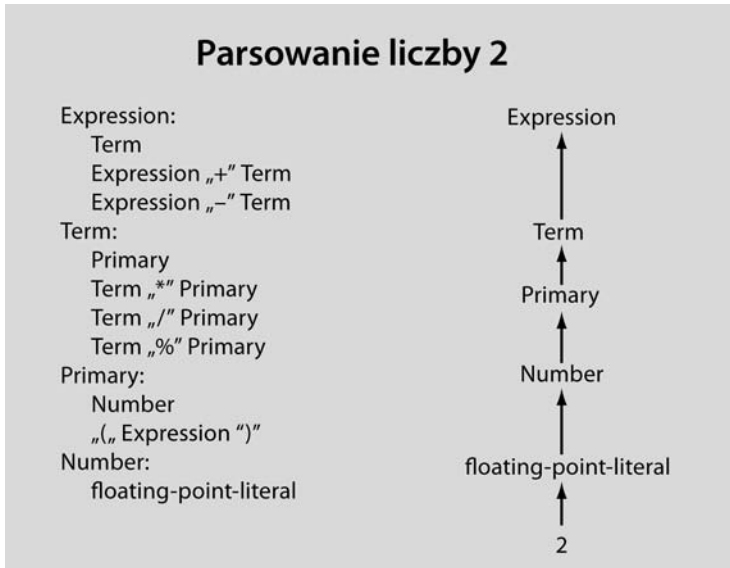
Używając gramatyki i tokenów, zrobiliśmy bardzo duży pojęciowy skok w stosunku do naszego początkowego pseudokodu. Tego rodzaju postępy chcielibyśmy robić zawsze, ale rzadko się to udaje bez pomocy. Do tego właśnie służą doświadczenie, literatura i mentorzy.

Na pierwszy rzut oka gramatyka ta wydaje się bezsensowna. Często tak jest z notacją techniczną. Pamiętaj jednak, że jest to ogólna i elegancka (co w końcu docenisz) notacja do opisu czegoś, co potrafisz robić przynajmniej od czasów szkoły podstawowej. Nie masz problemu z obliczeniem wyrażenia  $1-2*3$  albo  $1+2-3$  lub  $3*2+4/2$ . Potrafisz jednak wyjaśnić, jak to robisz? Umiesz to tak wyjaśnić, aby zrozumiał to nawet ktoś, kto nigdy nie miał styczności z konwencjonalną arytmetyką? Czy Twoje wyjaśnienia będą miały zastosowanie dla wszystkich kombinacji operatorów i argumentów? Aby wystarczająco szczegółowo i precyzyjnie objaśnić coś komputerowi, potrzebna jest odpowiednia notacja — a gramatyka należy do najlepszych konwencjonalnych narzędzi do jej tworzenia.

Jak czyta się gramatykę? Mając pewne dane wejściowe, zaczyna się od pierwszej reguły, Expression (wyrażenie), i przeszukuje kolejne, znajdując te, które pasują do tokenów w miarę ich wczytywania. Wczytywanie strumienia tokenów zgodnie z zasadami gramatyki nazywa się **parsowaniem** (analizą składniową), a program, który to robi, nazywamy **parserem** (ang. *parser*) lub **analizatorem składni** (ang. *syntax analyzer*). Nasz analizator odczytuje tokeny od lewej do prawej, dokładnie w takiej kolejności, jak je wpisujemy i czytamy. Wypróbujemy jakiś bardzo prosty przykład: czy 2 jest wyrażeniem?

1. Wyrażenie (Expression) musi być składnikiem (Term) lub kończyć się składnikiem. Składnik musi być czynnikiem (Primary) lub kończyć się czynnikiem. Ten czynnik musi zaczynać się znakiem ( lub być liczbą (Number). Oczywiście 2 nie jest znakiem (, tylko literałem zmiennoprzecinkowym, a więc liczbą, która jest czynnikiem.
2. Przed tym czynnikiem (liczba 2) nie ma znaku /, \* ani %, a więc jest to kompletny składnik (a nie zakończenie wyrażenia z operatorem /, \* lub %).
3. Przed składnikiem tym (Primary 2) nie ma znaku + ani -, a więc jest to pełne wyrażenie (Expression), a nie zakończenie wyrażenia z operatorem + lub -.

W związku z tym zgodnie z naszą gramatyką 2 jest wyrażeniem. Przegląd gramatyki można przedstawić graficznie:

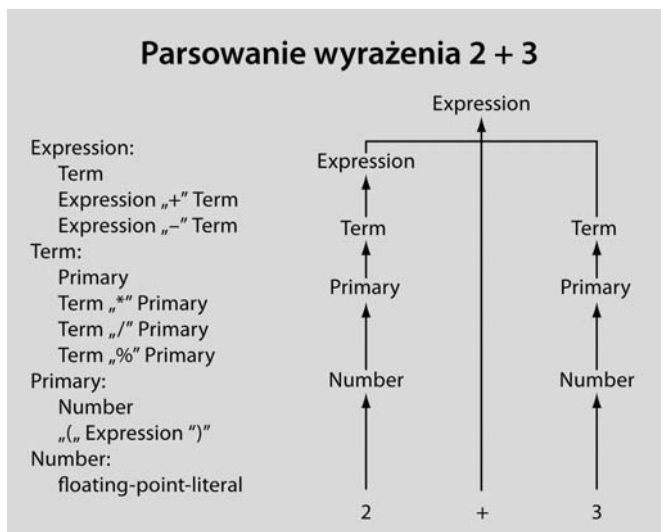


Na rysunku została przedstawiona ścieżka, którą przemierzaliśmy przez definicje. Odwracając nasze rozumowanie, możemy powiedzieć, że 2 jest wyrażeniem, ponieważ jest literałem zmiennoprzecinkowym, który jest liczbą, liczba jest czynnikiem, czynnik jest składnikiem, a składnik wyrażeniem.

Spróbujmy czegoś bardziej skomplikowanego. Czy  $2+3$  jest wyrażeniem? Naturalnie znaczna część rozumowania będzie taka sam jak dla 2:

1. Wyrażenie musi być składnikiem lub mieć go na końcu. Składnik musi być czynnikiem lub kończyć się czynnikiem, który z kolei musi zaczynać się od znaku ( lub być liczbą. Oczywiście 2 nie jest znakiem (, ale jest literałem zmiennoprzecinkowym, który jest liczbą, ta z kolei jest czynnikiem.
2. Przed tym czynnikiem (liczba 2) nie ma znaku /, \* ani %, a więc jest to kompletny składnik (a nie zakończenie wyrażenia z operatorem /, \* lub %).
3. Za składnikiem tym (Primary 2) jest znak +, a więc jest to koniec pierwszej części wyrażenia i musimy poszukać składnika za tym znakiem. Dokładnie w taki sam sposób, jak w przypadku 2 dowiadujemy się, że 3 jest składnikiem. Ponieważ za 3 nie ma znaku + ani -, uznajemy, że jest to pełny składnik, a nie pierwsza część wyrażenia z operatorem + lub -. W związku z tym  $2+3$  spełnia zasadę `Expression+Term`, a więc jest wyrażeniem.

Znowu nasz tok rozumowania możemy przedstawić graficznie (pomijamy zasadę literału zmiennoprzecinkowego jako liczby dla uproszczenia):

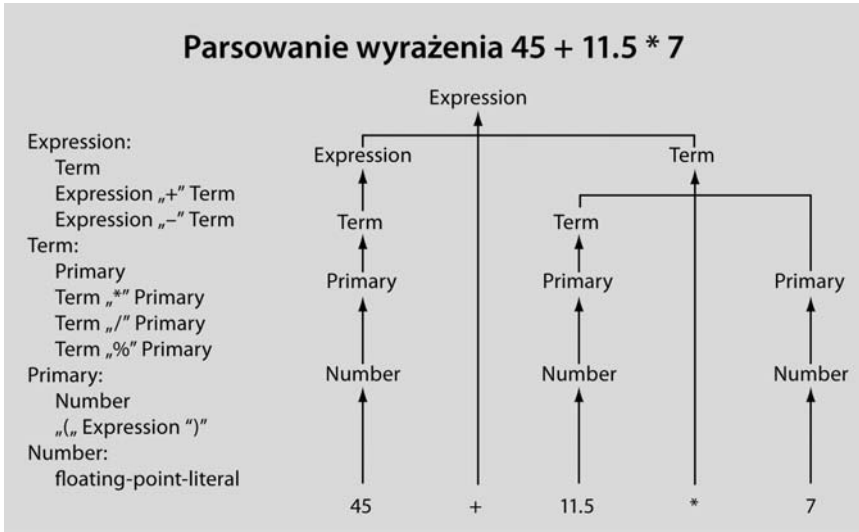


Na rysunku przedstawiliśmy ścieżkę, którą przemierzaliśmy przez definicje. Odwracając nasze rozumowanie, możemy powiedzieć, że  $2+3$  jest wyrażeniem, ponieważ 2 jest składnikiem, który jest wyrażeniem, 3 jest składnikiem oraz wyrażenie ze znakiem + i składnikiem również jest wyrażeniem.

Prawdziwym powodem, dla którego zainteresowaliśmy się gramatykami, jest fakt, że mogą one nam pomóc w rozwiązaniu problemu poprawnego przetwarzania wyrażeń z operatorami \* i +. Spróbujemy zatem przeanalizować wyrażenie  $45+11.5*7$ . Zabawa w komputer szczegółowo sprawdzający wszystkie reguły byłaby żmudna. Dlatego pominiemy niektóre pośrednie etapy, które opisaliśmy już przy analizie 2 i  $2+3$ . Oczywiście 45, 11.5 i 7 to literały zmiennoprzecinkowe, które są liczbami, liczby zaś są czynnikami, a więc możemy zignorować wszystkie reguły poniżej czynnika (Primary). Otrzymujemy:

1. 45 jest wyrażeniem, po którym znajduje się znak +, a więc szukamy wyrazu zamykającego regułę Expression+Term.
2. 11.5 jest składnikiem, po którym znajduje się znak \*, a więc szukamy czynnika kończącego regułę Term\*Primary.
3. 7 jest czynnikiem, a więc  $11.5*7$  jest składnikiem zgodnie z regułą Term\*Primary. Teraz widzimy, że  $45+11.5*7$  jest wyrażeniem zgodnie z regułą Expression+Term. Mówiąc dokładniej, jest to wyrażenie, w którym najpierw jest wykonywane mnożenie  $11.5*7$ , a potem dodawanie  $45+11.5*7$ , dokładnie tak, jak gdybyśmy napisali  $45+(11.5*7)$ .

Na następnej stronie przedstawiamy graficzną ilustrację naszego rozumowania (znowu pomijamy zasadę literału zmiennoprzecinkowego jako liczby dla uproszczenia).



Powyższy rysunek obrazuje nasz tok rozumowania. Zauważ, jak reguła  $\text{Term} * \text{Primary}$  zapewnia, że 11.5 zostanie pomnożone przez 7 zamiast dodane do 45.

Początkowo może wydawać Ci się to trudne do zrozumienia, ale ludzie czytają gramatyki, a te prostsze łatwo zrozumieć. Naszym celem nie było jednak nauczyć Cię rozumieć wyrażań  $2+2$  czy  $45+11.5*7$ . To już każdy potrafi. Szukaliśmy sposobu na objaśnienie komputerowi, co oznacza wyrażenie  $45+11.5*7$  i wiele innych skomplikowanych wyrażań, które mogą zostać mu podsunęte do obliczenia. Skomplikowane gramatyki nie nadają się do odczytu przez człowieka, ale komputery radzą sobie z nimi doskonale. Analizują ich reguły szybko i prawidłowo, a przychodzi im to z łatwością. W tym właśnie komputery są dobre — w dokładnym wykonywaniu poleceń.

### 6.4.1. Dygresja — gramatyka języka angielskiego

Jeśli nigdy dotąd nie miałeś do czynienia z gramatykami, to pewnie czujesz się oszołomiony. W istocie możesz czuć się niepewnie, nawet jeśli już się z czymś takim spotkałeś wcześniej. Spójrz na poniższy fragment gramatyki języka angielskiego:

```

Sentence :
  Noun Verb                               // np. C++ rules
  Sentence Conjunction Sentence           // np. Birds fly but fish swim
Conjunction :
  "and"
  "or"
  "but"
Noun :
  "birds"
  "fish"
  "C++"
Verb :
  "rules"
  "fly"
  "swim"

```

Zdania są zbudowane z części mowy (np. rzeczowników, czasowników i łączników). Można je przeanalizować pod kątem tych reguł, aby sprawdzić, które słowa są rzeczownikami, czasownikami itd. Ta prosta gramatyka zawiera także semantycznie bezsensowne zdania, tj. „C++ fly and birds rules”, ale poprawienie tego to całkiem inna kwestia, którą należałoby się zająć w znacznie bardziej zaawansowanej książce.

Wiele osób uczono tych podstawowych zasad na zajęciach z języka angielskiego w szkole. Istnieją nawet poważne dowody neurologiczne potwierdzające, że takie zasady są zakodowane w naszych mózgach.

Spójrz na podobne do wcześniejszych drzewo parsowania, ale tym razem przedstawiające proste angielskie zdanie:



To nie jest takie skomplikowane. Jeśli miałeś problemy ze zrozumieniem podrozdziału 6.4, wróć do niego teraz i przeczytaj go ponownie. Za drugim razem może być o wiele bardziej zrozumiały!

### 6.4.2. Pisanie gramatyki

Skąd wzięliśmy te zasady gramatyki wyrażań? Trzeba przyznać, że pomogło nam w tym doświadczenie. Robimy to w taki sposób, w jaki ludzie zazwyczaj piszą gramatyki wyrażań. Napisanie prostej gramatyki jest łatwe. Wystarczy wiedzieć, jak:

1. Odróżnić zasadę od tokenu.
2. Wstawić jedną zasadę za drugą (**sekwencja**).
3. Wyrazić alternatywne wzorce (**alternacja**).
4. Wyrażać powtarzające się wzorce (**repetycja**).
5. Rozpoznać pierwszą zasadę gramatyki.



W różnych książkach i różnych systemach parsowania stosuje się różne notacje i terminologię. Na przykład niektórzy nazywają tokeny **znakami terminalnymi**, a zasady **znakami nieterminalnymi** lub **produkcjami**. My umieszczamy tokeny w podwójnych cudzysłowach i zaczynamy od pierwszej zasady. Alternatywy znajdują się w osobnych wierszach, np.:

```
List:
    "{" Sequence "}"
Sequence:
    Element
    Element " ," Sequence
Element:
    "A"
    "B"
```

Zatem sekwencja (Sequence) jest elementem (Element) lub elementem i sekwencją oddzielnymi od siebie przecinkiem. Element to litera A lub B. Lista (List) to sekwencja w nawiasach klamrowych. Możemy generować te listy (jak?):

```
{ A }
{ B }
{ A,B }
{A,A,A,A,B }
```

Poniższe natomiast nie są listami (dlaczego?):

```
{ }
A
{ A,A,A,A,B
{A,A,C,A,B }
{ A B C }
{A,A,A,A,B, }
```

Tej sekwencji nie nauczyłeś się w przedszkolu ani nie zakodowałeś w mózgu, chociaż nadal nie jest to nauka najwyższych lotów. W rozdziałach 7.4 i 7.8.1 objaśnimy sposoby wyrażania zasad syntaktycznych za pomocą gramatyk.

## 6.5. Zamiana gramatyki w kod

Istnieje wiele sposobów na zmuszenie komputera do respektowania zasad gramatyki. Użyjemy najprostszego — napiszemy po jednej funkcji dla każdej zasady i wykorzystamy nasz typ `Token` do reprezentowania tokenów. Program implementujący gramatykę często nazywa się **parserem**.

### 6.5.1. Implementowanie zasad gramatyki

Do zaimplementowania naszego kalkulatora potrzebujemy czterech funkcji — jednej do wczytywania tokenów i po jednej dla każdej zasady w gramatyce:

```
get_token()    // Wczytuje znaki i tworzy tokeny.
               // Wykorzystuje strumień cin.
expression()  // Obsługuje operatory + i -.
```

```

term()           // Wywołuje funkcje term() i get_token().
                // Obsługuje operatory *, /, i %.
primary()       // Wywołuje funkcje primary() i get_token().
                // Obsługuje liczby i nawiasy.
                // Wywołuje funkcje expression() i get_token().

```

Uwaga: każda funkcja zajmuje się określoną częścią wyrażenia i resztę zostawia pozostałym funkcjom. To radykalnie upraszcza kod funkcji. Metodę tę można porównać ze współpracą grupy ludzi, gdzie każdy wykonuje swoje zadanie, a problemy znajdujące się poza jego specjalnością przekazuje do rozwiązania innym.

Co powinny te funkcje robić? Każda funkcja powinna wywoływać inne funkcje gramatyki zgodnie z zasadą, którą implementuje, oraz funkcję `get_token()`, jeśli wymagany jest token. Jeśli na przykład funkcja `primary()` ma postąpić zgodnie ze swoją zasadą (`Expression`), musi wywołać:

```

get_token()     // Do obsługi znaków ( i ).
expression()    // Do obsługi wyrażenia.

```

Co powinny takie funkcje zwracać? Co z odpowiedzią, której w rzeczywistości oczekujemy? Dla wyrażenia  $2+3$  funkcja `expression()` mogłaby zwrócić 5. Istotnie, wszystkie potrzebne informacje są dostępne. Tego spróbujemy! Dzięki temu unikniemy odpowiedzi na jedno z naszych najtrudniejszych pytań: „Jak zaprezentować wyrażenie  $45+5/7$  w postaci danych, aby można było obliczyć jego wartość?”. Zamiast zapisywać reprezentację  $45+5/7$  w pamięci, obliczamy wartość tego wyrażenia przy wczytywaniu. Ten mały pomysł stanowi prawdziwy przełom! Dzięki temu czterokrotnie zmniejszy się objętość kodu w stosunku do tego, co uzyskalibyśmy, gdyby funkcja `expression()` zwracała coś skomplikowanego do obliczenia później. Właśnie zaoszczędziliśmy sobie około 80 procent pracy.

Do towarzystwa nie pasuje funkcja `get_token()` — ponieważ obsługuje tokeny, a nie wyrażenia, nie może zwracać wartości podwyrażeń. Na przykład znaki `(` i `+` nie są wyrażeniami. Musi zatem zwracać typ `Token`. Dochodzimy do wniosku, że potrzebujemy następujących funkcji:

```

// Funkcje realizujące zasady gramatyczne:
Token get_token() // Wczytuje znaki i tworzy tokeny.
double expression() // Obsługuje znaki + i -.
double term() // Obsługuje znaki *, / i %.
double primary() // Obsługuje liczby i nawiasy.

```

### 6.5.2. Wyrażenia

Najpierw napiszemy funkcję `expression()`. Gramatyka dla niej jest następująca:

```

Expression:
  Term
  Expression '+' Term
  Expression '-' Term

```

Ponieważ to jest nasza pierwsza próba zamiany zasad gramatyki na kod, przedstawimy kilka błędnych rozwiązań. Tak to zazwyczaj wygląda przy stosowaniu nowych technik, a poza tym jest to dobry sposób na nauczenie się wielu rzeczy. W szczególności początkujący programista

może nauczyć się bardzo dużo, patrząc na dramatycznie różne zachowania podobnych fragmentów kodu. Czytanie kodu to przydatna umiejętność, którą należy pielęgnować.

### 6.5.2.1. Wyrażenia — pierwsza próba

Patrząc na zasadę **Expression** + **Term**, najpierw próbujemy wywołać funkcję `expression()`, następnie znaleźć znak + (i -) oraz wywołać funkcję `term()`:

```
double expression()
{
    double left = expression(); // Wczytuje i oblicza wartość wyrażenia.
    Token t = get_token();      // następny token
    switch (t.kind) {          // Sprawdza, jaki to jest rodzaj tokenu.
        case '+':
            return left + term(); // Wczytuje i sprawdza wartość składnika,
                                // następnie wykonuje dodawanie.
        case '-':
            return left - term(); // Wczytuje i sprawdza wartość składnika,
                                // następnie wykonuje odejmowanie.
        default:
            return left;        // Zwraca wartość wyrażenia.
    }
}
```

Wygląda dobrze. To jest prawie naiwna transkrypcja gramatyki. Jest dość prosta — najpierw wczytuje wyrażenie, a następnie sprawdza, czy za nim znajduje się znak + lub - i jeśli tak, wczytuje składnik (`Term`).

Niestety w rzeczywistości to jest bez sensu. Skąd wiadomo, gdzie kończy się wyrażenie, dzięki czemu można poszukać znaków + i -? Przypominam, że nasz program czyta od lewej do prawej i nie może wybiec do przodu, aby sprawdzić, czy nie ma dalej znaku +. W istocie ta wersja funkcji `expression()` nigdy nie wyjdzie poza pierwszy wiersz — zaczyna od wywołania funkcji `expression()`, która zaczyna od wywołania funkcji `expression()` itd. w nieskończoność. Nazywa się to **nieskończoną rekurencją** (ang. *infinite recursion*), która jednak będzie miała koniec — gdy skończy się w komputerze pamięć do przechowywania nigdy niekończących się wywołań funkcji `expression()`. Pojęcie **rekurencji** oznacza wywoływanie funkcji przez siebie samą. Nie wszystkie rekurencje są nieskończone, poza tym technika ta jest bardzo przydatna w programowaniu (zobacz rozdział 8.5.8).

### 6.5.2.2. Wyrażenia — druga próba

Co w takim razie robimy? Każdy składnik jest wyrażeniem, ale nie każde wyrażenie jest składnikiem. Możemy więc zacząć od szukania składnika i przejść do szukania pełnego wyrażenia tylko wówczas, gdy znajdziemy znak + lub -. Na przykład:

```
double expression()
{
    double left = term(); // Wczytuje składnik i oblicza jego wartość.
    Token t = get_token(); // następny token
    switch (t.kind) { // Sprawdza, jaki to rodzaj tokenu.
        case '+':
```



```

    return left + expression(); // Wczytuje wyrażenie i sprawdza jego wartość,
                                // a następnie wykonuje dodawanie.
case '-':
    return left - expression(); // Wczytuje wyrażenie i oblicza jego wartość,
                                // a następnie wykonuje odejmowanie.
default:
    return left;                // Zwraca wartość składnika.
}
}

```

To jakoś działa. Wypróbowaliśmy ten kod w ukończonym programie i stwierdziliśmy, że przetwarza wszystkie poprawne wyrażenia (i ani jednego niepoprawnego). W większości przypadków nawet zwraca prawidłowe wyniki. Na przykład wyrażenie  $1+2$  jest wczytywane jako składnik (o wartości 1), po którym jest znak  $+$  i wyrażenie (które w tym przypadku jest składnikiem o wartości 2) — zwracany wynik to 3. Analogicznie dla wyrażenia  $1+2+3$  zwracana jest wartość 6. Możemy długo ciągnąć listę przypadków, w których kod ten zwraca prawidłowe wyniki, ale do rzeczy — co stanie się z wyrażeniem  $1-2-3$ ? Funkcja `expression()` wczyta 1 jako składnik i przejdzie do  $2-3$  jako wyrażenia (składającego się ze składnika 2 i wyrażenia 3). Następnie odejmie wartość wyrażenia  $2-3$  od 1. Innymi słowy obliczy wartość wyrażenia  $1-(2-3)$ , która wynosi 2 (liczba dodatnia). Nas jednak w szkole uczono (a może i wcześniej), że  $1-2-3$  oznacza tyle, co  $(1-2)-3$ , a więc wynik powinien być  $-4$  (liczba ujemna).

W ten sposób utworzyliśmy bardzo fajny program, który nie robi tego, co trzeba. Sytuację pogarsza fakt, że w wielu przypadkach zwraca prawidłowy wynik. Na przykład dla wyrażenia  $1+2+3$  zostanie zwrócony wynik 6, ponieważ  $1+(2+3)$  jest równoważne z  $(1+2)+3$ . Jaki był nasz podstawowy z programistycznego punktu widzenia błąd? Zawsze należy zadać sobie to pytanie, gdy znajdzie się błąd. Dzięki temu będzie można uniknąć powtórzenia go innym razem.



Naszym problemem jest to, że popatrzyliśmy na kod i postanowiliśmy zgadywać. To rzadko wystarcza! Musimy rozumieć, co robi nasz kod, i umieć wyjaśnić, czemu robi to, co trzeba.

Ponadto analizowanie błędów jest często najlepszym sposobem na znalezienie poprawnego rozwiązania. Nasza funkcja `expression()` szuka najpierw składnika, a następnie, jeśli znajduje się za nim znak  $+$  lub  $-$ , wyrażenia. Jest to w rzeczywistości implementacja nieco innej gramatyki:

```

Expression:
  Term
  Term '+' Expression // dodawanie
  Term '-' Expression // odejmowanie

```

Różnica między tą a naszą gramatyką polega na tym, że my chcieliśmy, aby wyrażenie  $1-2-3$  było traktowane jako wyrażenie  $1-2$ , po którym jest znak  $-$  i składnik 3. Natomiast uzyskaliśmy składnik 1, po którym znajduje się znak  $-$  i wyrażenie  $2-3$ . Innymi słowy chcieliśmy, aby  $1-2-3$  oznaczało  $(1-2)-3$ , a nie  $1-(2-3)$ .

Tak, debugowanie bywa żmudne, trudne i czasochłonne, ale w tym przypadku pracujemy nad zasadami wyuczonymi w podstawówce. Sęk w tym, że musimy „wpoić” je komputerowi, który uczy się znacznie wolniej od nas.

Zauważ, że moglibyśmy zdefiniować  $1-2-3$  jako  $1-(2-3)$  zamiast  $(1-2)-3$  i uniknąć całej tej dyskusji. Często najtrudniejszymi problemami w programowaniu są zasady, które zostały ustalone dla ludzi wiele lat przed tym, jak zaczęliśmy używać komputerów.

### 6.5.2.3. Wyrażenia — do trzech razy sztuka

Co teraz? Spójrz jeszcze raz na gramatykę (tę poprawną w podrozdziale 6.5.2) — każde wyrażenie zaczyna się składnikiem, po którym może znajdować się znak + lub -. Musimy więc poszukać składnika, sprawdzić, czy znajduje się za nim jeden z tych znaków, i robić tak aż do wyczerpania plusów i minusów. Na przykład:

```
double expression()
{
    double left = term();           // Wczytuje składnik i oblicza jego wartość.
    Token t = get_token();         // następny token
    while ( t.kind=='+' || t.kind=='-' ) { // Szuka znaków + i -.
        if (t.kind == '+')
            left += term();        // Oblicza wartość składnika i wykonuje dodawanie.
        else
            left -= term();        // Oblicza wartość składnika i wykonuje odejmowanie.
        t = get_token();
    }
    return left; // Jeśli nie ma więcej znaków + lub -, zwraca odpowiedź.
}
```

Ten kod jest nieco bardziej skomplikowany, ponieważ musieliśmy wprowadzić pętlę, aby móc wyszukać wszystkie plusy i minusy. Ponadto powtarzamy się trochę — dwa razy sprawdzamy znaki + i - oraz dwa razy wywołujemy funkcję `get_token()`. Ponieważ to tylko zaciemnia kod, pozbędziemy się nadmiarowego testu znaków + i -:

```
double expression()
{
    double left = term(); // Wczytuje składnik i oblicza jego wartość.
    Token t = get_token(); // następny token
    while(true) {
        switch(t.kind) {
            case '+':
                left += term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje dodawanie.
                t = get_token();
                break;
            case '-':
                left -= term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje odejmowanie.
                t = get_token();
                break;
            default:
                return left; // Jeśli nie ma więcej znaków + lub -, zwraca odpowiedź.
        }
    }
}
```

Warto zauważyć, że pomijając pętlę, ta wersja kodu jest podobna do pierwszej próby (podrozdział 6.5.2.1). Usunęliśmy wywołanie funkcji `expression()` wewnątrz funkcji `expression()` i zastąpiliśmy je pętlą. Innymi słowy przekonwertowaliśmy wyrażenie z zasad gramatyki na pętlę szukającą składnika ze znakiem + lub -.

### 6.5.3. Składniki

Zasada dotycząca składnika (Term) w gramatyce jest bardzo podobna do zasady wyrażenia (Expression):

```
Term:
  Primary
  Term '*' Primary
  Term '/' Primary
  Term '%' Primary
```

W konsekwencji kod również powinien być bardzo podobny. Oto pierwsza wersja:

```
double term()
{
  double left = primary();
  Token t = get_token();
  while(true) {
    switch (t.kind) {
      case '*':
        left *= primary();
        t = get_token();
        break;
      case '/':
        left /= primary();
        t = get_token();
        break;
      case '%':
        left %= primary();
        t = get_token();
        break;
      default:
        return left;
    }
  }
}
```

Niestety ten kod nie da się skompilować — operator reszty z dzielenia (%) nie jest zdefiniowany dla liczb zmiennoprzecinkowych. Zostaniemy o tym uprzejmie poinformowani. Odpowiadając wcześniej „oczywiście” na pytanie dotyczące tego, czy pozwolić też na wpisywanie liczb zmiennoprzecinkowych, nie przemyśleliśmy sprawy dokładnie i padliśmy ofiarą własnej **zachłanności na funkcje**. Tak jest **zawsze!** Co z tym zrobimy? Możemy sprawdzać, czy argumenty operatora % są liczbami całkowitymi i jeśli nie, zgłaszać błąd. Możemy też usunąć ten operator z kalkulatora. Wybierzemy najprostsze rozwiązanie. Dodamy ten operator później (rozdział 7.5).

Po usunięciu operatora % funkcja działa — tzn. prawidłowo analizuje składniki i oblicza ich wartości. Jednak doświadczony programista zauważy pewien niepożądany szczegół, który sprawia, że funkcja term() jest nie do przyjęcia. Co się stanie, jeśli ktoś wpisze 2/0? Nie można dzielić przez zero. Jeśli do tego dopuścimy, komputer wykryje to i zamknie program, wyświetlając raczej mało pomocny komunikat o błędzie. Niedoświadczony programista przekona się o tym na własnej skórze. Dlatego lepiej dodać odpowiedni test i wyświetlić lepszy komunikat o błędzie:



```

double term()
{
    double left = primary();
    Token t = get_token();
    while(true) {
        switch (t.kind) {
            case '*':
                left *= primary();
                t = get_token();
                break;
            case '/':
                { double d = primary();
                  if (d == 0) error("Dzielenie przez zero.");
                  left /= d;
                  t = get_token();
                  break;
                }
            default:
                return left;
        }
    }
}

```

Dlaczego umieściliśmy instrukcje obsługujące operator / w bloku? Ponieważ kompilator nalegał. Jeśli chcesz definiować i inicjować zmienne w instrukcjach switch, musisz umieścić je w blokach.

#### 6.5.4. Podstawowe elementy wyrażeń

Zasada gramatyczna definiująca podstawowe czynniki wyrażeń również jest prosta:

```

Primary:
    Number
    '(' Expression ')'

```

Kod służący do jej implementacji jest nieco zagmatwany, ponieważ jest tu więcej okazji do popełnienia błędu składni:

```

double primary()
{
    Token t = get_token();
    switch (t.kind) {
        case '(': // Obsługa reguły '(' expression ')'.
            { double d = expression();
              t = get_token();
              if (t.kind != ')') error("Oczekiwano ')'.");
              return d;
            }
        case '8': // Za pomocą znaku '8' reprezentujemy liczby.
            return t.value; // Zwraca wartość liczby.
        default:
            error("Oczekiwano czynnika.");
    }
}

```

W zasadzie nie ma tu nic nowego, czego nie ma w funkcjach `expression()` i `term()`. Użyliśmy tych samych narzędzi językowych, zastosowaliśmy tę samą technikę wyodrębniania tokenów oraz te same techniki programistyczne.

## 6.6. Wypróbowywanie pierwszej wersji

Aby sprawdzić działanie tych funkcji, musimy zaimplementować funkcję `get_token()` i utworzyć funkcję `main()`. To drugie zadanie jest banalne — będziemy wywoływać funkcję `expression()` i drukować zwracany przez nią wynik:

```
int main()
try {
    while (cin)
        cout << expression() << '\n';
    keep_window_open();
}
catch (exception& e) {
    cerr << e.what() << endl;
    keep_window_open ();
    return 1;
}
catch (...) {
    cerr << "Wyjątek \n";
    keep_window_open ();
    return 2;
}
```

Błędy zostaną obsłużone w typowy sposób (rozdział 5.6.3). Opis implementacji funkcji `get_token()` odłożymy do podrozdziału 6.8, a teraz przetestujemy pierwszą wersję naszego kalkulatora.

### WYPRÓBUJ

Pierwsza wersja kalkulatora (z funkcją `get_token()`) znajduje się w pliku o nazwie `calculator00.cpp`. Pobierz go i uruchom.

Wcale nie jesteśmy zaskoczeni tym, że program nie działa dokładnie tak, jak oczekiwaliśmy. Wzruszamy tylko ramionami i pytamy sami siebie: „Czemu nie?” albo lepiej: „Dlaczego działa tak, a nie inaczej?”. Wpisz liczbę 2 i znak nowego wiersza. Brak jakiegokolwiek reakcji. Daj jeszcze jeden znak nowego wiersza, aby sprawdzić, czy może zasnął. Nadal nic. Wpisz 3 i znak nowego wiersza. Zero reakcji! Wpisz 4 i znak nowego wiersza. Jest odpowiedź — 2! Teraz ekran wygląda tak:

```
2
3
4
2
```

Kontynuujemy, wpisując 5+6. Program zwraca w odpowiedzi 5, a więc na ekranie widzimy:

```
2
3
4
2
5+6
5
```

Jeśli nie masz doświadczenia programistycznego, pewnie jesteś bardzo skonsternowany! W istocie nawet doświadczony programista mógłby osłupieć. Co tam się dzieje? W tym momencie chcemy zamknąć program. Jak to zrobić? Zapomnieliśmy zaprogramować polecenie zamykające program, ale można go zmusić do zamknięcia za pomocą błędu. Wpisujemy więc `x` i program zakończy działanie komunikatem *Nieprawidłowy token*. W końcu coś zadziałało zgodnie z planem!

Zapomnieliśmy odróżnić na ekranie dane wejściowe od wyjściowych. Zanim przejdziemy do rozwiązywania zagadki, poprawimy to niedociągnięcie, aby lepiej widzieć, co się dzieje. Na razie wystarczy dodanie do danych wyjściowych znaku `=`:

```
while (cin) cout << "= " << expression() << '\n'; // Wersja 1
```

Teraz po wprowadzeniu dokładnie takiej samej sekwencji znaków, jak wcześniej otrzymamy następujący wynik:

```
2
3
4
= 2
5+6
= 5
x
Nieprawidłowy token
```

Dziwne! Spróbuj odgadnąć, co zrobił program. My wypróbowaliśmy jeszcze kilka innych liczb, ale poprzestaśmy na tych, które mamy. To jest zagadka:

Dlaczego program nie zareagował na pierwsze liczby 2 i 3 i znaki nowego wiersza?

Dlaczego program zwrócił wynik 2 zamiast 4, gdy wpisaliśmy 4?

Dlaczego program zwrócił wynik 5 zamiast 11, gdy wpisaliśmy 5+6?

Jest wiele procedur postępowania w takich tajemniczych sytuacjach. Opiszemy je szczegółowo w następnym rozdziale, a na razie tylko pomyślimy. Czy możliwe, żeby program wykonywał nieprawidłowe działania arytmetyczne? To bardzo mało prawdopodobne. Wartość 4 to nie 2, a wyrażenia 5+6 to 11, a nie 5. Sprawdźmy, co się stanie, gdy wpisujemy 1 2 3 4+5 6+7 8+9 10 11 12 i nowy wiersz:

```

1 2 3 4+5 6+7 8+9 10 11 12
= 1
= 4
= 6
= 8
= 10

```

Co takiego? Nie 2 ani 3? Czemu 4, a nie 9 (bo 4+5)? Czemu 6, a nie 13 (bo 6+7)? Przyjrzyj się uważnie — program zwraca co trzeci token! Może „pożera” część wprowadzonych danych bez obliczania ich wartości? Tak właśnie robi. Spójrz na funkcję `expression()`:

```

double expression()
{
    double left = term(); // Wczytuje składnik i oblicza jego wartość.
    Token t = get_token(); // następny token
    while(true) {
        switch(t.kind) {
            case '+':
                left += term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje dodawanie.
                t = get_token();
                break;
            case '-':
                left -= term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje odejmowanie.
                t = get_token();
                break;
            default:
                return left; // Jeśli nie ma więcej znaków + lub -, zwraca odpowiedź.
        }
    }
}

```

Gdy funkcja `get_token()` zwróci inny Token niż `+` lub `-`, po prostu zwracamy wartość. Nie używamy tego tokenu i nie zapisujemy go do użytku przez inną funkcję. To nie było zbyt mądre. Odrzucanie danych wejściowych bez sprawdzenia nawet, co to dokładnie jest, to niezbyt dobry pomysł. Łatwo można się przekonać, że ten sam defekt ma funkcja `term()`. To wyjaśnia, dlaczego nasz kalkulator zjadał dwa tokeny na trzy.

Poprawimy funkcję `expression()`, aby nie zjadała tokenów. Gdzie możemy zapisać następny token (`t`), jeśli program go nie potrzebuje? Moglibyśmy opracować wiele różnych skomplikowanych rozwiązań, ale zastosujemy najbardziej oczywiste (wydaje się oczywiste, gdy się je już zobaczy) — ten token zostanie wykorzystany przez jakąś inną funkcję, a więc umieścimy go z powrotem w strumieniu wejściowym, aby mógł zostać stamtąd ponownie wczytany! W istocie można by było wstawiać znaki do strumienia `istream`, ale nie o to nam chodzi. My chcemy mieć tokeny, a nie bawić się ze znakami. Potrzebujemy strumienia wejściowego, w którym będzie można zapisywać tokeny.

Założmy więc, że mamy strumień tokenów — `Token_stream` — o nazwie `ts`. Przyjmijmy też, że ma on funkcję składową o nazwie `get()`, która zwraca następny token i funkcję składową `putback(t)`, ta zaś wstawia token `t` z powrotem do strumienia. Implementację strumienia `Token_stream` przedstawimy w podrozdziale 6.8, gdy będziemy już wiedzieli, jak go użyć.

Mając strumień `Token_stream`, możemy zmodyfikować funkcję `expression()` w taki sposób, żeby niepotrzebne tokeny zapisywała właśnie w nim:

```
double expression()
{
    double left = term(); // Wczytuje składnik i oblicza jego wartość.
    Token t = ts.get();   // Pobiera następny token ze strumienia tokenów.
    while(true) {
        switch(t.kind) {
            case '+':
                left += term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje dodawanie.
                t = ts.get();
                break;
            case '-':
                left -= term(); // Oblicza wartość składnika i wykonuje odejmowanie.
                t = ts.get();
                break;
            default:
                ts.putback(t); // Wstawia token t z powrotem do strumienia tokenów.
                return left;   // Jeśli nie ma więcej znaków + lub -, zwraca odpowiedź.
        }
    }
}
```

Takie same zmiany muszą zostać wprowadzone w funkcji `term()`:

```
double term()
{
    double left = primary();
    Token t = ts.get(); // Pobiera następny token ze strumienia tokenów.

    while(true) {
        switch (t.kind) {
            case '*':
                left *= primary();
                t = ts.get();
                break;
            case '/':
                { double d = primary();
                  if (d == 0) error("Dzielenie przez zero.");
                  left /= d;
                  t = ts.get();
                  break;
                }
            default:
                ts.putback(t); // Wstawia token t z powrotem do strumienia tokenów.
                return left;
        }
    }
}
```

W ostatniej funkcji naszego parsera, `primary()`, musimy tylko zmienić `get_token()` na `ts.get()`. Funkcja ta używa każdego wczytanego przez siebie tokenu.



## 6.7. Wypróbowywanie drugiej wersji

Możemy przetestować naszą drugą wersję programu. Wpisz 2 i znak nowego wiersza. Brak reakcji. Wpisz jeszcze jeden znak nowego wiersza, aby sprawdzić, czy program nie zasnął. Nadal nic. Wpisz 3 i znak nowego wiersza. Jest odpowiedź — 2. Spróbuj wyrażenia 2+2 ze znakiem nowego wiersza. Odpowiedź brzmi 3. Teraz na ekranie znajdują się następujące dane:

```
2
3
=2
2+2
=3
```

Hmm. Może wprowadzenie funkcji `putback()` i użycie jej w funkcjach `expression()` i `term()` nie pomogło w rozwiązaniu problemu? Spróbujmy czegoś innego:

```
2 3 4 2+3 2*3
=2
=3
=4
=5
```

Tak, to są poprawne odpowiedzi! Ale brakuje ostatniej (6). Wciąż mamy problem z tokenami, ale tym razem nie chodzi o ich zjadanie, lecz o to, że wynik jest zwracany dopiero po wpisaniu kolejnego wyrażenia. Program nie drukuje od razu wyniku. Opóźnia to do momentu wczytania pierwszego tokenu następnego wyrażenia. Niestety nie widzi go, dopóki nie naciśniemy klawisza *Enter* po wpisaniu następnego wyrażenia. Wniosek taki, że program nie działa źle, tylko odpowiada z opóźnieniem.

Jak to poprawić? Jednym z oczywistych rozwiązań jest wprowadzenie „polecenia drukowania”. Rolę tę niech pełni średnik, którego pojawienie się będzie oznaczało koniec wyrażenia i wymuszało wydruk wyniku. Przy okazji dodamy polecenie zamknięcia programu. Do tego celu doskonale nada się znak *k* (od słowa koniec). Obecnie w funkcji `main()` mamy taki kod:

```
while (cin) cout << "=" << expression() << '\n'; // wersja 1
```

Możemy zamienić ten na bardziej zagmatwany, ale bardziej użyteczny kod:

```
double val = 0;
while (cin) {
    Token t = ts.get();

    if (t.kind == 'k') break; // 'k' = koniec
    if (t.kind == ';') // ';' = drukuj teraz
        cout << "=" << val << '\n';
    else
        ts.putback(t);
    val = expression();
}
```

Teraz kalkulator nadaje się do użytku. Zwróci na przykład następujące wyniki:

```

2;
= 2
2+3;
= 5
3+4*5;
= 23
k

```

W tym momencie mamy już dobrą wstępną wersję programu. Nie jest to jeszcze to, czego chcieliśmy, ale stanowi dobrą bazę do rozszerzania. Co ważniejsze, możemy poprawiać błędy i dodawać nowe funkcje, pracując już z działającym programem.

## 6.8. Strumienie tokenów

Zanim przejdziemy do dalszego opisu kalkulatora, przedstawimy implementację strumienia `Token_stream`. Jeśli nie dostarczymy poprawnych danych do programu, to nic nam się nie uda. Strumień ten zaimplementowaliśmy już na samym początku, ale najpierw chcieliśmy skupić się na problemach obliczeń w minimalnym rozwiązaniu.

Nasz kalkulator przyjmuje na wejściu sekwencję tokenów, np.  $(1.5+4)*11$  z podrozdziału 6.3.3. Potrzebujemy czegoś takiego, co będzie wczytywać znaki ze standardowego strumienia wejściowego i podawać programowi kolejne tokeny, gdy ten o to poprosi. Poza tym zauważyliśmy, że program często czytuje o jeden token za dużo, a więc musimy wygospodarować jakieś miejsce, aby przechować go do późniejszego użytku. Jest to całkowicie normalne. Jeśli wczytujemy wyrażenie  $1.5+4$  od lewej do prawej, skąd mamy wiedzieć, że liczba  $1.5$  to już cała liczba, jeśli nie wczytamy znajdującego się za nią znaku  $+$ ? Dopóki go nie zobaczymy, równie dobrze możemy podejrzewać, że jesteśmy w trakcie wczytywania liczby  $1.55555$ . Dlatego potrzebujemy „strumienia”, który zwraca token, gdy go zażądamy za pomocą funkcji `get()`, i w którym możemy przechowywać nadmiarowe tokeny, zapisując je tam za pomocą funkcji `putback()`. Wszystko w języku C++ ma określony typ, dlatego musimy zacząć od zdefiniowania typu `Token_stream`.

Pewnie zauważyłeś słowo `public` w definicji typu `Token`. Tam nie miało to żadnego widocznego znaczenia. Natomiast w typie `Token_stream`, o którym teraz mowa, słowo to będzie miało ważne zastosowanie. W języku C++ typy zdefiniowane przez użytkownika często składają się z dwóch części — interfejsu publicznego (oznaczonego etykietą `public:`) i prywatnego (oznaczonego etykietą `private:`). Chodzi o oddzielenie tego, co jest potrzebne użytkownikowi do wygodnego korzystania z typu, od implementacji typu, w której użytkownik nie powinien mieć możliwości grzebania:

```

class Token_stream {
public:
    // interfejs użytkownika
private:
    // szczegóły implementacyjne
    // (bezpośrednio niedostępne użytkownikom typu Token_stream)
};

```

Oczywiście użytkownik i implementator to często jedna i ta sama osoba odgrywająca różne role. Należy jednak zaznaczyć, że rozróżnienie między interfejsem publicznym przeznaczonym

dla użytkowników i prywatnym dla implementatorów jest doskonałym narzędziem wspomagającym strukturalizację kodu. Interfejs publiczny powinien zawierać wyłącznie to, co jest użytkownikowi potrzebne, a więc najczęściej zestaw funkcji, także konstruktorów służących do inicjowania obiektów. Implementację prywatną stanowi kod tych publicznych funkcji. Najczęściej są to dane i funkcje wykonujące skomplikowane działania, o których użytkownik nie musi wiedzieć i których nie musi bezpośrednio używać.



Rozszerzymy trochę nasz typ `Token_stream`. Jakie wymagania powinien spełniać? Bez wątplenia potrzebujemy funkcji `get()` i `putback()`, ponieważ to one były powodem, dla którego w ogóle wymyśliliśmy coś takiego jak strumień tokenów. Zadaniem typu `Token_stream` jest wytworzenie tokenów ze znaków wczytywanych na wejściu. Zatem nasz strumień musi wczytywać dane ze strumienia `cin`. Oto najprostsza możliwa wersja typu `Token_stream`:

```
class Token_stream {
public:
    Token_stream();           // Tworzy obiekt typu Token_stream, który wczytuje dane ze strumienia
    cin.
    Token get();             // Daje token (obiekt typu Token).
    void putback(Token t);   // Wkłada token z powrotem.
private:
    // szczegóły implementacyjne
};
```

To wszystko, czego użytkownik potrzebuje do korzystania z typu `Token_stream`. Doświadczony programista mógłby się zastanawiać, dlaczego `cin` jest jedynym możliwym źródłem znaków — przypominamy, że zdecydowaliśmy się na razie pobierać dane tylko z klawiatury. Zrewidujemy tę decyzję w rozdziale 7.

Dlaczego zastosowaliśmy długawą nazwę `putback()` zamiast krótszej `put()`? Chcieliśmy podkreślić asymetrię między funkcjami `get()` i `putback()` — to jest strumień wejściowy, a nie coś, co można wykorzystać także do ogólnych celów związanych z wysyłaniem danych na wyjście. Poza tym w bibliotece `istream` także znajduje się funkcja `putback()`, a spójność nazw jest jedną z pożądanych cech każdego systemu. Dzięki temu łatwiej jest zapamiętywać te nazwy i unikać błędów.

Po tym wstępie możemy już utworzyć typ `Token_stream` i użyć go:

```
Token_stream ts;           // Obiekt typu Token_stream o nazwie ts.
Token t = ts.get();        // Daje następny token ze strumienia ts.
// ...
ts.putback(t);            // Wkłada token t z powrotem do strumienia ts.
```

Mamy już wszystko, czego potrzebujemy do napisania pozostałej części kalkulatora.

### 6.8.1. Implementacja typu `Token_stream`

Zaimplementujemy trzy wymienione funkcje strumienia `Token_stream`. Jak będzie się ten strumień prezentował? Tzn., jakie dane muszą być w nim przechowywane, aby spełniał swoje zadanie? Potrzebujemy miejsca do przechowywania tokenów, które włożymy do niego. Dla uproszczenia założymy, że można w nim przechowywać tylko jeden token na raz. Na potrzeby naszego programu to wystarczy (i na potrzeby wielu innych też). W związku z tym potrzebujemy

miejsca do przechowania jednego tokenu i wskaźnika oznaczającego, czy to miejsce jest wolne czy zajęte:

```
class Token_stream {
public:
    Token_stream();           // Tworzy obiekt typu Token_stream, który wczytuje dane ze strumienia
    cin.
    Token get();             // Daje token (funkcja get() została zdefiniowana w innym miejscu).
    void putback(Token t);   // Wkłada token z powrotem.
private:
    bool full;              // Informuje, czy w buforze jest token.
    Token buffer;          // Miejsce do przechowywania tokenu zapisanego w strumieniu za pomocą funkcji
                          // putback().
};
```

Teraz możemy zdefiniować (napisać) nasze trzy funkcje składowe. Konstruktor i funkcja `putback()` będą łatwe, ponieważ mają mało do zrobienia. Dlatego zajmiemy się nimi na początku.

Konstruktor ustawia tylko zmienną `full` na wartość oznaczającą, że bufor jest pusty:

```
Token_stream::Token_stream()
    :full(false), buffer(0) // Bufor jest pusty.
{
}
```

Jeśli definicja składowej znajduje się poza definicją klasy, należy wskazać, do której klasy ma należeć. Służy do tego następująca notacja:

```
nazwa_klasy::nazwa_składowej
```

Tutaj definiujemy konstruktor klasy `Token_stream`. Konstruktor to funkcja składowa o takiej samej nazwie, jak klasa, do której należy.

Po co definiować składową poza klasą? Przede wszystkim dla zachowania przejrzystości — w definicji klasy można znaleźć głównie informacje o tym, co klasa potrafi „robić”. Definicje funkcji składowych to implementacje określające sposób, w jaki są robione różne rzeczy. Wolimy umieścić je gdzieś indziej, aby nie przeszkadzały. Ideałem, do którego dążymy, jest, aby każda jednostka logiczna programu mieściła się w całości na ekranie. Definicje klas zazwyczaj spełniają ten wymóg, ale tylko jeśli definicje ich funkcji składowych przeniesie się gdzieś indziej, poza klasę.

Składowe klasy inicjuje się w liście inicjatorów składowych (podrozdział 6.3.3). Instrukcja `full(false)` ustawia składową `full` na `false`, a `buffer(0)` inicjuje składową `buffer` „udawanym tokenem”, który wymyśliliśmy na poczekaniu. Z definicji typu `Token` (podrozdział 6.3.3) wynika, że każdy token musi zostać zainicjowany, dlatego nie mogliśmy zignorować `Token_stream::buffer`.

Funkcja składowa `putback()` zapisuje swój argument w buforze strumienia `Token_stream`:

```
void Token_stream::putback(Token t)
{
    buffer = t; // Kopiuje t do bufora.
    full = true; // Bufor jest pełny.
}
```

Słowo kluczowe `void` (oznaczające „nic”) wskazuje, że funkcja `putback()` nie zwraca żadnej wartości. Aby upewnić się, że funkcja ta nie zostanie wywołana dwa razy bez odczytania (za pomocą funkcji `get()`) tego, co zostało zapisane w strumieniu między tymi wywołaniami, można dodać specjalny test:

```
void Token_stream::putback(Token t)
{
    if (full) error("Wywołanie funkcji putback(), gdy bufor jest pełny.");
    buffer = t; // Kopiuje t do bufora.
    full = true; // Bufor jest pełny.
}
```

Test składowej `full` polega na sprawdzeniu warunku wstępnego: „Nie ma żadnego tokenu w buforze”.

## 6.8.2. Wczytywanie tokenów

Całą prawdziwą pracę wykonuje funkcja `get()`. Jeśli w zmiennej `Token_stream::buffer` nie ma tokenu, funkcja ta musi wczytać znaki ze strumienia `cin` i złożyć z nich tokeny:

```
Token Token_stream::get()
{
    if (full) { // Sprawdzenie, czy jest gotowy token.
        // Usunięcie tokenu z bufora.
        full=false;
        return buffer;
    }

    char ch;
    cin >> ch; // Uwaga: >> pomija białe znaki (spacje, nowe wiersze, tabulatory itp.).

    switch (ch) {
        case ';': // drukowanie
        case 'k': // koniec
        case '(': case ')': case '+': case '-': case '*': case '/': case '%':
            return Token(ch); // Każdy znak reprezentuje sam siebie.
        case '.':
        case '0': case '1': case '2': case '3': case '4':
        case '5': case '6': case '7': case '8': case '9':
            {
                cin.putback(ch); // Wstawia cyfrę z powrotem do strumienia wejściowego.
                double val;
                cin >> val; // Wczytuje liczbę zmiennoprzecinkową.
                return Token('8',val); // '8' reprezentuje „liczbę”.
            }
        default:
            error("Nieprawidłowy token.");
    }
}
```

Przeanalizujemy szczegółowo funkcję `get()`. Najpierw sprawdza, czy w buforze jest token. Jeśli tak, zwraca go:

```
if (full) { // Sprawdzenie, czy jest gotowy token.
    // Usunięcie tokenu z bufora.
    full=false;
    return buffer;
}
```

Znakami musimy zajmować się tylko wówczas, gdy `full` ma wartość `false` (tzn. nie ma tokenu w buforze). W takim przypadku wczytujemy znak i postępujemy z nim odpowiednio do potrzeb. Szukamy nawiasów, operatorów i liczb. Jakikolwiek inny znak powoduje wywołanie funkcji `error()`, która zamyka program:

```
default:
    error("Nieprawidłowy token.");
}
```

Funkcja `error()` została opisana w rozdziale 5.6.3 i jest dostępna w pliku nagłówkowym `std_lib_facilities.h`.

Musieliśmy zdecydować się na jakiś sposób reprezentowania każdego rodzaju tokenu, tzn. trzeba było dobrać wartości dla składowej `kind`. Dla uproszczenia i ułatwienia debugowania zdecydowaliśmy się, że nawiasy i operatory same będą reprezentować swój rodzaj tokenu. Dzięki temu ich przetwarzanie jest bardzo łatwe:

```
case '(': case ')': case '+': case '-': case '*': case '/':
    return Token(ch); // Każdy znak reprezentuje sam siebie.
```

Mówiąc szczerze, w pierwszej wersji programu zapomnieliśmy o znakach: `';` oznaczającym drukowanie i `'k'` oznaczającym koniec programu. Dodaliśmy je, dopiero gdy były potrzebne w drugiej wersji.

### 6.8.3. Wczytywanie liczb

Zostały nam jeszcze liczby, z którymi wcale tak łatwo nie pójdzie. Jak dowiedzieć się, jaka jest wartość 123? To tyle samo, co  $100+20+3$ , ale co zrobić z 12.34? Jest też pytanie, czy zezwalać na stosowanie notacji naukowej, np.  $12.34e5$ . Aby poradzić sobie z tym wszystkim, moglibyśmy potrzebować wielu godzin, a nawet dni. Na szczęście nie jest tak źle. Strumienie w C++ „wiedzą”, jak wyglądają literały, i potrafią zamieniać je na wartości typu `double`. Musimy tylko znaleźć sposób na zmuszenie strumienia `cin` do robienia tego w funkcji `get()`:

```
case '.':
case '0': case '1': case '2': case '3': case '4': case '5': case '6': case '7':
case '8': case '9':
    { cin.putback(ch); // Wstawia cyfrę z powrotem do strumienia wejściowego.
      double val;
      cin >> val; // Wczytuje liczbę zmiennoprzecinkową.
      return Token('8', val); // '8' reprezentuje „liczbę”.
    }
```

Decyzja o wyborze znaku `'8'` do reprezentowania „liczb” w tokenach została podjęta arbitralnie.

Skąd wiadomo, że ma pojawić się liczba? Zgadując na podstawie własnych doświadczeń lub zaglądając do podręcznika języka C++ (np. w dodatku A), można stwierdzić, że literał liczbowy musi zaczynać się od cyfry lub znaku `.` (kropki dziesiętnej). Sprawdzamy więc, czy tak jest. Następnie chcemy, aby liczbę tę wczytał strumień `cin`, ale wczytaliśmy już pierwszy znak (cyfrę lub kropkę), a więc pozwalając temu strumieniowi zająć się resztą, uzyskalibyśmy nieprzewidywalne wyniki. Moglibyśmy spróbować połączyć wartość pierwszego znaku z „resztą” wczytaną przez `cin`. To znaczy, jeśli wpisano by 123, otrzymalibyśmy 1 i strumień `cin` wczytałby 23. Wówczas trzeba by było dodać 100 do 23. A fuj! A to tylko banalny przykład. Na szczęście (i nie przypadkowo) `cin` działa bardzo podobnie do `Token_stream` pod tym względem, że także pozwala wstawić odczytany znak z powrotem. Zamiast więc wykonywać zagmatwane obliczenia arytmetyczne, wstawiamy pierwszą cyfrę z powrotem do `cin` i odczytujemy z niego całą liczbę.

Zauważ, że cały czas unikamy skomplikowanej pracy i znajdujemy prostsze rozwiązania — często w tym celu wykorzystując zawartość biblioteki. To jest istota programowania — nieustanne poszukiwanie jak najprostszycy rozwiązań. Niektórzy — nie zawsze słusznie — wyrażają to słowami: „Dobry programista to leniwy programista”. W tym, i tylko w tym, sensie rzeczywiście powinniśmy być leniwi. Po co pisać dużo kodu, skoro można to samo zrobić, pisząc go mniej?



## 6.9. Struktura programu

Jest takie przysłowie, które głosi, że czasami trudno zauważyć las, ponieważ zasłaniają go drzewa. W analogiczny sposób można stracić z oczu program, patrząc na te jego wszystkie funkcje, klasy itp. Spójrzmy zatem na nasz program, pomijając chwilowo szczegóły:

```
#include "std_lib_facilities.h"

class Token { /*...*/ };
class Token_stream { /*...*/ };

Token_stream::Token_stream() :full(false), buffer(0) { /*...*/ }
void Token_stream::putback(Token t) { /*...*/ }
Token Token_stream::get() { /*...*/ }

Token_stream ts; // Udostępnia funkcje get() i putback().
double expression(); // Deklaracja umożliwiająca funkcji primary() wywoływanie funkcji expression().

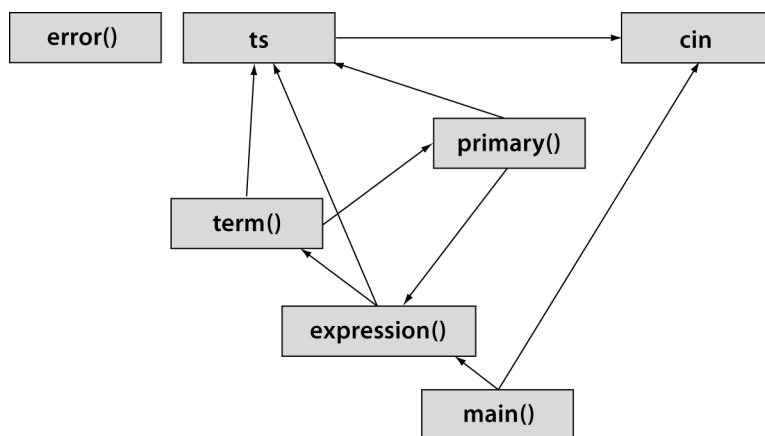
double primary() { /*...*/ } // Obsługa nawiasów i liczb.
double term() { /*...*/ } // Obsługa operatorów *, / i %.
double expression() { /*...*/ } // Obsługa operatorów + i -.

int main() { /*...*/ } // Główna pętla i obsługa błędów.
```

Kolejność deklaracji ma znaczenie. Nie można użyć nazwy, zanim zostanie zadeklarowana. Dlatego `ts` musi zostać zadeklarowana, zanim zostanie użyta w `ts.get()`, a funkcja `error()` musi zostać zadeklarowana przed funkcjami parsera, ponieważ wszystkie z niej korzystają. Na schemacie wywołań można zauważyć ciekawe zapętlenie: funkcja `expression()` wywołuje `term()`, która wywołuje `primary()`, a ta z kolei wywołuje `expression()`.



Można to przedstawić graficznie (wywołania funkcji `error()` odkładamy na bok, ponieważ wszystkie funkcje ją wywołują):



To oznacza, że nie możemy po prostu zdefiniować tych trzech funkcji — nie da się ustalić takiej kolejności, w której każda z nich zostałaby zdefiniowana przed pierwszym użyciem. Potrzebujemy przynajmniej jednej deklaracji, która nie jest równocześnie definicją. Zdecydowaliśmy się zadeklarować z wyprzedzeniem funkcję `expression()`.

Czy to działa? Jeśli odpowiednio zdefiniuje się słowo „działa”, można powiedzieć, że tak. Przechodzi kompilację, da się uruchomić, poprawnie oblicza wyniki wyrażeń i zgłasza sensowne komunikaty o błędach. Ale czy działa tak, jak sobie życzymy? Nie będzie zaskoczeniem, gdy powiem „nie za bardzo”. Pierwszą wersję wypróbowaliśmy w podrozdziale 6.6. Wówczas usunęliśmy poważny błąd. Druga wersja (podrozdział 6.7) nie jest o wiele lepsza. Ale w porządku, tego się spodziewaliśmy. Program zadowalająco spełnia swoje główne zadanie, czyli pozwala zweryfikować nasze podstawowe pomysły i zorientować się, co robić dalej. Pod tym względem odnieśliśmy sukces, ale spróbuj z niego skorzystać — bez problemu doprowadzi Cię do szafu!

## WYPRÓBUJ

Uruchom powyższą wersję kalkulatora i sprawdź, co robi. Spróbuj dojść, dlaczego tak działa.

## Ćwiczenia

Celem tego zestawu ćwiczeń jest poprawienie błędów w programie, aby zamienić go w coś użytecznego.

1. Weź kalkulator z pliku `calculator02buggy.cpp`. Spraw, żeby dał się skompilować. Musisz znaleźć i poprawić kilka błędów. Nie ma ich w tekście książki.
2. Zmień znak polecenia zamknięcia programu na `x`.



3. Zmień znak polecenia drukowania na =.
4. Dodaj do funkcji `main()` komunikat powitalny:  
„Witaj w naszym prostym kalkulatorze.  
W wyrażeniach stosuj liczby zmiennoprzecinkowe.”
5. Dodaj do komunikatu powitalnego informację o tym, jakie operatory są obsługiwane oraz jak drukować wynik i zakończyć działanie programu.
6. Znajdź trzy błędy logiczne w programie, które zostały tam przemyślnie ukryte, i popraw je, aby kalkulator zwracał prawidłowe wyniki.

## Powtórzenie

1. Co rozumiemy pod pojęciem „Programować to zrozumieć”? Wymień trzy główne fazy produkcji oprogramowania.
2. W rozdziale tym został szczegółowo opisany proces tworzenia kalkulatora. Napisz krótką specyfikację wymagań dla takiego programu.
3. W jaki sposób dzieli się problem na mniejsze, łatwiejsze do ogarnięcia części?
4. Dlaczego utworzenie ograniczonej wersji programu jest dobrym pomysłem?
5. Co jest złego w mnożeniu wymagań dotyczących funkcjonalności na początku pracy nad programem?
6. Co to jest „przypadek użycia”?
7. Jaki jest cel przeprowadzania testów?
8. Posiłkując się informacjami zawartymi w rozdziale, opisz różnicę między składnikiem (Term), wyrażeniem (Expression), liczbą (Number) i czynnikiem (Primary).
9. Dane wejściowe kalkulatora rozkładaliśmy na następujące elementy: składnik, wyrażenie, czynnik i liczba. Rozłóż w ten sposób wyrażenie  $(17+4)/(5-1)$ .
10. Dlaczego w programie nie ma funkcji o nazwie `number()`?
11. Co to jest token?
12. Co to jest gramatyka? Co to jest reguła gramatyki?
13. Co to jest klasa? Do czego służą klasy?
14. Co to jest konstruktor?
15. Dlaczego w funkcji `expression()` klauzula `default` instrukcji `switch` wstawia token z powrotem do strumienia?
16. Co to znaczy „wczytać z wyprzedzeniem”?
17. Co robi funkcja `putback()` i dlaczego jest przydatna?
18. Co nastęrcza trudności w implementacji operatora `%` (modulo) w funkcji `term()`?
19. Do czego służą dwie zmienne składowe klasy `Token`?
20. Dlaczego czasami składowe klasy dzieli się na publiczne i prywatne?
21. Co dzieje się w klasie `Token_stream`, gdy w buforze jest token i zostanie wywołana funkcja `get()`?
22. Po co zostały dodane znaki `';` i `'k'` do instrukcji `switch` w funkcji `get()` w klasie `Token_stream`?

23. Kiedy powinno się zacząć testowanie programu?
24. Co to jest „typ zdefiniowany przez użytkownika”? Do czego może się przydać?
25. Co to jest interfejs do „typu zdefiniowanego przez użytkownika” w języku C++?
26. Dlaczego powinno się używać kodu z bibliotek?

## Terminologia

|                       |               |                        |
|-----------------------|---------------|------------------------|
| analiza               | implementacja | przypadek użycia       |
| analizator składniowy | interfejs     | pseudokod              |
| class                 | parser        | public                 |
| dzielenie przez zero  | private       | składowa klasy         |
| funkcja składowa      | projekt       | token                  |
| gramatyka             | prototyp      | zmienna składowa klasy |

## Praca domowa

1. Jeśli jeszcze tego nie zrobiłeś, rozwiąż wszystkie ćwiczenia *Wypróbuj*.
2. Dodaj możliwość używania w programie zarówno nawiasów okrągłych (), jak i kłamrowych {}, aby można było pisać wyrażenia typu  $\{(4+5)*6\}/(3+4)$ .
3. Dodaj operator silni ! jako operator przyrostkowy. Na przykład 7! oznacza  $7*6*5*4*3*2*1$ . Niech operator ten wiąże mocniej niż \* i /. To znaczy,  $7*8!$  powinno oznaczać  $7*(8!)$ , a nie  $(7*8)!$ . Zacznij od dodania operatora wyższego poziomu do gramatyki. Aby pozostać w zgodzie ze standardową matematyczną definicją silni, niech 0! wynosi 1.
4. Zdefiniuj klasę Name\_value przechowującą łańcuch i wartość. Utwórz konstruktor (podobny jak w klasie Token). Zmodyfikuj ćwiczenie 19. z rozdziału 4., używając vector<Name\_value> zamiast dwóch wektorów.
5. Dodaj do gramatyki języka angielskiego z podrozdziału 6.4.1 przedimek **the**, aby można było za jej pomocą opisywać zdania typu „The birds fly but the Fish swim”.
6. Napisz program sprawdzający poprawność zdania zgodnie z gramatyką z podrozdziału 6.4.1. Przyjmij założenie, że każde zdanie kończy się kropką otoczoną białymi znakami, np. **birds fly but the fish swim** . jest zdaniem, a **birds fly but the fish swim** (brak kropki na końcu) i **birds fly but the fish swim.** (brak spacji przed kropką) nie. Dla każdego wpisanego zdania program niech zwraca tylko prostą odpowiedź Dobrze lub Źle. Wskazówka: nie zwracaj sobie głowy tokenami, wystarczy wczytać dane do łańcucha za pomocą operatora >>.
7. Napisz gramatykę dla wyrażeń logicznych. Są one podobne do arytmetycznych, tylko posługują się operatorami ! (nie), ~ (uzupełnienie), & (i), | (lub) oraz ^ (lub wyłączające). Operatory ! i ~ są jednoargumentowe i prefiksowe. Operator ^ ma pierwszeństwo przed | (podobnie jak \* przed +), a więc  $x|y^z$  oznacza  $x|(y^z)$ , a nie  $(x|y)^z$ . Operator & ma pierwszeństwo przed ^, a więc  $x^y&z$  oznacza  $x^(y&z)$ .
8. Przerób grę „Byki i krowy” z ćwiczenia 12. w rozdziale 5., używając liter zamiast cyfr.
9. Napisz program wczytujący cyfry i składający z nich liczby całkowite. Na przykład 123 zostanie wczytane jako znaki 1, 2 i 3. Odpowiedź programu powinna być następująca:

*Dekompozycja liczby 123: liczba setek: 1; liczba dziesiątek: 2; liczba jednostek: 3. Liczba ma być wysyłana na wyjście jako typ int. Obsłuż liczby jedno-, dwu-, trzy- i czterocyfrowe. Wskazówka: aby uzyskać całkowitoliczbową wartość 5 znaku '5', odejmij od niego '0', tzn. '5' - '0' = 5.*

10. Permutacja to uporządkowany podzbiór pewnego zbioru. Wyobraź sobie na przykład, że chcesz zdobyć szyfr do sejf. Jest 60 możliwych liczb, a kombinacja, której potrzebujesz, składa się z trzech różnych liczb. Jest  $P(60,3)$  permutacji dla tej kombinacji, gdzie  $P$  definiuje następujący wzór:

$$P(a, b) = \frac{a!}{(a - b)!}$$

We wzorze tym  $!$  oznacza przyrostkowy operator silni. Na przykład  $4!$  wynosi  $4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$ . Kombinacje są podobne do permutacji, z tą różnicą, że nie jest w nich ważna kolejność elementów. Gdybyś na przykład robił sobie deser lodowy, chcąc użyć trzech różnych smaków lodów z pięciu dostępnych, nie zależałoby Ci, czy bananowy znajdzie się na wierzchu czy na samym dole, oby gdzieś był. Wzór kombinacji jest następujący:

$$C(a, b) = \frac{P(a, b)}{b!}$$

Zaprojektuj program proszący użytkownika o podanie dwóch liczb, pytający, czy ma obliczyć permutacje czy kombinacje i drukujący wynik. To będzie wymagało podzielenia go na kilka części. Wykonaj analizę opisanych wyżej wymagań. Napisz, co dokładnie program ma robić. Napisz pseudokod i podziel go na części. Ten program powinien mieć wbudowany mechanizm sprawdzania błędów. Spraw, aby dla każdego rodzaju błędnych danych były zwracane odpowiednie komunikaty o błędzie.

## Podsumowanie

Jedną z podstawowych czynności programistycznych jest odpowiednie rozpoznanie danych wejściowych. W taki czy inny sposób musi poradzić sobie z tym problemem każdy program. Do najtrudniejszych zadań należy rozszyfrowanie tego, co wytworzył bezpośrednio człowiek. Na przykład ciągle problemy sprawia wiele aspektów technologii rozpoznawania głosu. Proste wersje tego problemu, jak nasz kalkulator, można rozwiązać za pomocą gramatyk definiujących wprowadzane dane.



# Skorowidz

- , 109, 110  
-- , 109  
!, 109  
!= , 110  
#define, 928, 930, 989  
#else, 931  
#endif, 931  
#ifdef, 931  
#include, 66, 78, 249, 255, 931, 989  
#undef, 930  
%, 110, 225  
%= , 89  
&, 529, 549, 836, 956, 960  
&&, 110, 956, 961  
( ), 674  
\*, 108, 110, 534  
\*= , 89  
\*this, 601  
, 110  
/\* \*/ , 232, 904, 946  
//, 65, 904, 946  
/= , 89  
::, 280, 296, 973  
:alpha, 769  
?: , 258, 957  
[], 534, 614  
^ , 836, 956, 960  
| , 836, 956, 960  
|| , 110, 956, 961  
~ , 836, 977  
+ , 108, 110  
++ , 89, 90, 109  
+= , 89  
< , 110  
<< , 68, 110, 293, 338, 747, 750, 836  
<= , 110  
<algorithm> , 1008  
<cctype> , 1024  
<complex> , 803, 1030

<float.h> , 783  
<limits.h> , 783  
<limits> , 783, 835  
<numeric> , 1031  
<studio.h> , 924  
= , 85  
-= , 89  
== , 110  
> , 110  
-> , 546, 973  
>= , 110  
>> , 79, 81, 88, 110, 129, 356, 367, 372, 750, 836, 1021

## A

A Mathematical Programming Language, 735  
abort(), 1040  
abs(), 258, 802, 804, 1029, 1031  
abstract, 450  
abstrakcja, 33, 106, 464, 712  
abstrakcja danych, 714, 715  
abstrakcyjna klasa bazowa, 464  
accumulate(), 668, 677, 1031  
    uogólnienie, 678  
akumulator, 677  
acos(), 802, 1029  
action, 721  
Ada, 729  
Ada Joint Program Office, 729  
adaptery kontenerów, 1002, 1017  
add(), 446  
adjacent\_difference(), 677, 1031  
adjacent\_find(), 1008  
adres, 529, 825  
advance(), 651, 999  
AJPO, 729  
akcja, 721  
akumulacja, 677

akumulator, 677  
Algol, 724  
Algol W, 728  
Algol60, 724  
Algol68, 727  
algorithm, 605  
ALGOrithmic Language, 724  
algorytmy, 132, 605, 667, 1008  
    accumulate(), 668, 677, 1031  
    adjacent\_difference(), 677, 1031  
    adjacent\_find(), 1008  
    akumulacja, 677  
    binary\_search(), 1012  
    copy(), 668, 693, 1009  
    copy\_backward(), 1009  
    copy\_if(), 693, 696  
    count(), 668, 1009  
    count\_if(), 668, 1009  
    działające na zbiorach, 1013  
    equal(), 668, 1008  
    equal\_range(), 668, 698, 1013  
    fill(), 1011  
    fill\_n(), 1011  
    find(), 668, 669, 698, 1008  
    find\_end(), 1009  
    find\_first\_of(), 1008  
    find\_if(), 668, 671, 1008  
    for\_each(), 1008  
    generate(), 1011  
    generate\_n(), 1011  
    iloczyn skalarny, 679  
    includes(), 1014  
    inner\_product(), 668, 677, 680, 1031  
    inplace\_merge(), 1013  
    iter\_swap(), 1011  
    kopiowanie, 693  
    lexicographical\_compare(), 1015  
    lower\_bound(), 1012

- algorytmy
    - make\_heap(), 1014
    - max(), 1015
    - max\_element(), 1015
    - merge(), 668, 1013
    - min(), 1015
    - min\_element(), 1015
    - mismatch(), 1008
    - modyfikujące sekwencje, 1009
    - next\_permutation(), 1015
    - niemodyfikujące sekwencje, 1008
    - nth\_element(), 1012
    - numeryczne, 676, 1031
    - operacje sterty, 1014
    - pair(), 1013
    - partial\_sort(), 1012
    - partial\_sort\_copy(), 1012
    - partial\_sum(), 677, 1031
    - partition(), 1013
    - permutacje, 1015
    - pomocnicze algorytmy, 1011
    - pop\_heap(), 1014
    - prev\_permutation(), 1015
    - push\_heap(), 1014
    - remove(), 1010
    - remove\_copy(), 1010
    - remove\_copy\_if(), 1010
    - replace(), 1010
    - replace\_copy(), 1010
    - reverse(), 1010
    - reverse\_copy(), 1010
    - rotate(), 1010
    - search(), 1008, 1009
    - search\_n(), 1009
    - serach(), 698
    - set\_difference(), 1014
    - set\_intersection(), 1014
    - set\_symmetric\_difference(), 1014
    - set\_union(), 1014
    - sort(), 668, 697, 1012
    - sort\_heap(), 1014
    - sortowanie, 697, 1012
    - stable\_partition(), 1013
    - stable\_sort(), 1012
    - swap(), 1011
    - swap\_ranges(), 1011
    - TEA, 847
    - transform(), 1009
    - uninitialized\_copy(), 1011
    - uninitialized\_fill(), 1011
    - unique(), 1009, 1010
    - unique\_copy(), 668, 693, 695, 1010
    - upper\_bound(), 1012
    - wyszukiwanie, 669, 671, 697, 1012
  - algorytmy ogólne, 634
  - aliasy, 988
  - allocator, 611
  - allocator\_type, 1004
  - alnum, 769, 1027
  - alokacja obiektów w pamięci wolnej, 533
  - alokacja pamięci, 819, 918, 961
  - alokacja zmiennych w pamięci, 531
  - alokator, 612
  - alpha, 1027
  - alternacja, 193
  - AMPL, 735
  - analiza, 55, 177
  - analiza składniowa, 189
  - analiza tekstu, 746
  - analizator składni, 189
  - AND, 110, 956
  - ANFOR, 944
  - ANSI, 730
  - aparaty cyfrowe, 810
  - aplikacje, 1044
  - append(), 747, 1025
  - application operator, 674
  - arg(), 804, 1031
  - argumenty, 105, 123, 141, 261
    - domyślne argumenty, 477, 970
    - formalne argumenty, 123
    - konwersja, 271
    - main(), 945
    - przekazywanie przez referencję, 267
    - przekazywanie przez stałą referencję, 265
    - przekazywanie przez wartość, 264
    - szablony, 157, 610, 984
  - array, 577, 660, 738, 784, 1001
  - Array\_ref, 830
  - artificial intelligence, 724
  - arytmetyczny if, 258
  - arytmetyka modularna, 842
  - arytmetyka wskaźników, 579
  - as\_bytes(), 364
  - as\_int(), 416
  - ASCII, 354, 948
  - asctime(), 1039
  - assembler, 718
  - asercje, 165, 817
  - asin(), 802, 1029
  - aspect-based programming, 714
  - assert, 165
  - assert(), 933
  - assertion, 165
  - associative container, 681
  - AT&T Bell Labs, 735
  - AT&T Labs, 735
  - at(), 1005
  - atan(), 802, 1030
  - atof(), 1037
  - atoi(), 1037
  - atol(), 1037
  - attach(), 393, 437, 446
  - auto\_ptr, 621, 622
  - autokod, 718
  - automatic garbage collection, 539
  - automatic storage, 532
  - automatyczne usuwanie nieużytków, 539
  - auxiliary function, 311
  - awaria, 816
  - AWK, 735, 759
  - Axis, 389, 392, 408, 475, 479
- ## B
- Babbage Charles, 729
  - back(), 662, 1005
  - back\_inserter(), 1016
  - back\_substitution(), 798
  - Backus John, 721
  - Backus-Naur Form, 721
  - bad(), 330, 1020
  - bad\_alloc, 961, 996
  - bad\_cast, 996
  - bad\_expression, 769
  - bad\_from\_string, 749
  - Bad\_image, 438
  - Bad\_size, 986
  - bad\_typeid, 996
  - bajt, 834
  - Basic CPL, 735
  - basic guarantee, 621
  - BCPL, 735

- begin, 638
  - begin(), 130, 746, 752, 998, 1005, 1025
  - Bell Labs, 735, 900
  - Bentley John, 816
  - bezszyderne wyrażanie myśli, 711
  - biała skrzynka, 868
  - białe znaki, 81, 374
  - biblioteka standardowa C, 904
    - czas, 1038
    - daty, 1038
    - funkcje, 1032
    - łańcuchy, 1036
    - pamięć, 1037
    - pliki, 1032
    - printf(), 1033
  - biblioteka standardowa C++, 323, 525, 992
    - algorytmy, 668, 993, 1008
    - algorytmy ogólne, 634
    - erase(), 654
    - insert(), 654
    - iteratory, 637, 993, 997
    - kontenery, 526, 634, 660, 993, 1001
    - list, 653
    - listy powiązane, 641
    - obliczenia, 1028
    - obsługa błędów, 995
    - operowanie na danych, 634
    - pliki nagłówkowe, 993
    - przetwarzanie łańcuchów, 994, 1024
    - sekwencje, 637
    - słowniki, 681
    - string, 653
    - strumienie, 1018
    - strumienie wejścia i wyjścia, 993
    - tablice, 658
    - vector, 653
    - wektor, 656
    - wyjątki, 996
  - biblioteka STL, 1016
    - adaptery, 1017
    - działania arytmetyczne, 1017
    - obiekty funkcyjne, 1016
    - pair, 1017
    - predykaty, 1016
    - wstawianie, 1016
  - biblioteki, 70, 178, 852
    - FLTK, 387, 1047
    - graficzne, 383
    - GUI, 383, 384, 387
    - Matrix, 786
    - wejście i wyjście, 354
  - bidirectional iterator, 661, 663
  - binarne drzewa
    - zrównoważone, 684
  - binarne operacje wejścia i wyjścia, 363
  - binary balanced tree, 684
  - binary\_search(), 698, 869, 1012
  - bind1st(g,x), 1017
  - bind2nd(g,y), 1017
  - bit, 94, 834
    - bitset, 839
    - flagi, 844
    - manipulowanie, 844
    - operacje, 835
  - bit znaku, 840
  - bitowe operacje logiczne, 960
  - bitset, 838, 839
  - black-box testing, 868
  - blank, 769, 1027
  - bloki, 121, 163, 279
    - zagnieżdżone bloki, 260
  - błędy, 71, 140
    - asercje, 165
    - debugowanie, 161
    - komunikaty, 163
    - obsługa, 151, 220
    - podjęcia wytwarzania oprogramowania, 141
    - pomyłka o jeden, 153
    - raportowanie, 149, 299
    - specyfikacja, 141
    - szacowanie, 159
    - testowanie, 168
    - usuwanie, 161
    - wartości brzegowe, 153
    - warunki końcowe, 167
    - warunki wstępne, 165
    - wyjątki, 151
    - zawężanie zakresu, 156
    - źródła błędów, 141
  - błędy czasu wykonania, 70, 146
  - raportowanie błędów, 149
  - rozwiązywanie problemu przez wywołującego, 147
  - rozwiązywanie problemu przez wywołwanego, 148
  - błędy działania, 140
  - błędy kompilacji, 70, 140, 142
  - błędy konsolidacji, 70, 140, 145
  - błędy logiczne, 70, 140, 142, 157
    - przykłady, 157
  - błędy przejściowe, 535, 817
  - błędy składni, 140, 142
  - błędy typów, 140, 143
  - błędy zakresu, 152, 153
  - blękitna księga, 45
  - BNF, 721
  - bool, 80, 83, 93, 835, 903, 965
  - boolalpha, 1022
  - boost::regex, 759, 762
  - bounds error, 153
  - break, 116, 118, 963
  - broadcast function, 791
  - bsearch(), 1040
  - BSI, 944
  - budowa, 47
  - budowanie programu wykonywalnego, 1046
  - bufor, 324
  - buforowanie, 324, 376
  - bug, 161, 722
  - Build Solution, 1046
  - Burroughs Corporation, 726
  - Button, 409, 505, 506, 1057
  - bzip2, 719
- ## C
- C, 20, 733, 899
    - <studio.h>, 924
    - biblioteka standardowa, 904
    - const, 922
    - definicje, 914
    - deklaracje, 914
    - enum, 917
    - funkcje, 905
    - komentarze, 904
    - kompilacja warunkowa, 931
    - kontenery intruzyjne, 932
    - konwersja typu void\*, 916
    - łańcuchy, 919, 922
    - makra, 927, 928
    - makra składniowe, 930
    - operacje bajtowe, 922

## C

pamięć wolna, 918  
 pliki, 927  
 przeciążanie funkcji, 906  
 przestrzenie nazw, 917  
 przestrzeni znaczników  
   struktur, 912  
 rzutowanie, 915  
 słowa kluczowe, 913  
 sprawdzanie typów  
   argumentów funkcji, 906  
 stałe, 927  
 stdio, 924  
 struktury, 912  
 styl, 923  
 styl definiowania, 908  
 wejście, 925  
 wskaźniki, 923  
 wskaźniki na funkcje, 911  
 wyjście, 924  
 wywołanie C++, 909  
 zgodność z językiem C++,  
   901  
 C#, 20, 728, 739  
 c\_str(), 363, 366, 746, 1025  
 C++, 20, 736, 737, 900  
 C++0x, 737, 738  
 C++98, 737  
 C89, 900, 903, 914  
 C99, 900  
 calc(), 538  
 callback, 497, 501  
 calloc(), 1038  
 Cambridge University, 717  
 canvas, 388  
 capacity(), 598, 1006  
 case, 116, 227, 963  
 cast, 547  
 CAT, 810  
 catch, 151, 156, 234, 963  
 cb\_next(), 502, 503, 510, 1052  
 cb\_quit(), 510  
 CCA, 846  
 cechy iteratorów, 890  
 ceil(), 802, 1029  
 center(), 430  
 centrale telefoniczne, 810  
 cerr, 1019  
 char, 80, 83, 93, 835, 965  
 CHAR\_BIT, 1029  
 CHAR\_MAX, 1029

CHAR\_MIN, 1029  
 chronione składowe, 458  
 cin, 79, 129, 132, 1019  
 cin.clear(), 334  
 cin.unsetf(), 357  
 cipher(), 851  
 Circle, 56, 400, 408, 430, 431,  
   452, 459  
   draw\_lines(), 460  
 class, 184, 289, 857, 971, 976  
 class template, 605  
 classical\_elimination(), 798  
 clear(), 331, 1006  
 clock(), 894, 1039  
 clock\_t, 1038  
 CLOCKS\_PER\_SEC, 894  
 close(), 327, 328  
 Closed\_polyline, 408, 419  
 Cmp\_by\_addr, 676  
 Cmp\_by\_name, 676  
 cntrl, 769, 1027  
 COBOL, 161, 721, 739  
 CODASYL, 722  
 code storage, 532  
 Color, 56, 389, 408, 414, 415, 444  
 Common Business-Oriented  
   Language, 721  
 compacting garbage collection,  
   821  
 complex, 803  
 Complex, 56  
 complex<double>, 1030  
 complex<float>, 1030  
 complex<long double>, 1030  
 complex<Scalar>, 1030  
 computer science, 725  
 computing, 725  
 conforming, 944  
 conj(), 804, 1031  
 const, 109, 228, 253, 903, 927,  
   960, 965  
 const\_cast, 547, 548, 903, 954,  
   962  
 CONST\_CAST, 916  
 const\_iterator, 661, 1004  
 const\_pointer, 1004  
 const\_reference, 1004  
 const\_reverse\_iterator, 1004  
 constant expression, 960  
 constraints-based  
   programming, 714

constructor, 294  
 continue, 963  
 convenience function, 311  
 copy constructor, 566  
 copy(), 566, 668, 693, 905, 1009  
 copy\_backward(), 1009  
 copy\_if(), 693, 696  
 cos(), 802, 1029  
 cosh(), 802, 1030  
 count(), 668, 1009  
 count\_if(), 668, 1009  
 cout, 65, 78, 79, 132, 1019  
 CPL, 735  
 Cricle, 429  
 ctime(), 1039  
 czarna skrzynka, 868  
 czas, 1038  
 czas trwania, 950, 952  
 część rzeczywista, 803, 804,  
   1031  
 część urojona, 803, 804, 1031  
 czyste funkcje wirtualne, 450,  
   464  
 czyste interfejsy, 465  
 czytniki kodów kreskowych,  
   810

**D**

d, 1027  
 Dahl Ole-Johan, 731  
 dane, 78, 342  
   przetwarzanie, 630  
   składowe, 289  
   wejściowe, 56, 78, 104, 876  
   wyjściowe, 354, 876  
 datalogi, 725  
 Date, 292, 312  
 daty, 1038  
 DBL\_EPSILON, 1029  
 DBL\_MAX, 1029  
 DBL\_MIN, 1029  
 dealokacja pamięci wolnej, 538  
 debugging, 71, 161  
 debugowanie, 71, 161, 891  
   destruktory, 573  
   kod GUI, 517  
   konstruktory, 573  
   zalecenia, 162  
 dec, 355, 356, 357, 1023  
 decipher(), 851



- dedukcja argumentów
    - szablonu, 610
  - dedukcja zakresu, 954
  - default, 963
  - definicja, 79, 80, 92, 236, 249, 250, 964
    - funkcje, 122, 123, 907
    - klasy, 289
    - struktury, 291
  - definiowanie
    - funkcje składowe, 296
    - funkcje wirtualne, 461
    - makra, 990
    - operatory, 958
    - operatory wejściowe, 339
    - operatory wyjściowe, 338
    - składowe klas, 975
  - deklaracja, 70, 92, 112, 249, 250, 964
    - funkcje, 125, 126, 968
    - stałe, 252
    - using, 280
    - zmiennne, 252
  - delete, 538, 539, 545, 618, 815, 819, 820, 903, 953, 955, 961
  - delete(), 655
  - delete[], 539, 541, 955
  - deque, 660, 1001
  - dereference operator, 530
  - dereferencja, 530, 534, 966
  - derywacja, 458
  - destroy(), 934
  - destructor, 541
  - destruktory, 540, 541, 571, 961, 977
    - debugowanie, 573
    - generowanie, 542
    - pamięć wolna, 542
    - wirtualne, 451, 543
  - deszyfrowanie, 847
  - device register, 846
  - Dialog\_box, 56
  - difference(), 999
  - difference\_type, 1003
  - difftime(), 1039
  - digit, 769, 1027
  - Dijkstra Edsger, 725, 726
  - Distribution, 487
  - divides<T>(), 1017
  - do, 962
  - dodawanie, 446
  - dokumenty HTML, 383
  - dołączanie plików, 66, 989
  - domyślna inicjacja, 254
  - domyślne argumenty, 970
  - domyślne konstruktory, 307
  - dopasowanie wyrażień
    - regularnych, 1025
  - dopełnienie, 836
  - dostawa na czas, 709
  - dostęp do danych, 631
  - dostęp do elementów
    - kontenera, 1005
  - dostęp do elementów wektora, 544, 575
  - dostęp do nazw z przestrzeni, 280
  - dostęp do nazwanych tablic, 578
  - dostęp do składowych, 184, 292, 463, 546, 955, 973
  - dostęp poprzez wskaźniki, 534
  - dostępność nazw, 258
  - double, 80, 83, 84, 93, 526, 780, 948, 965
  - double precision floating point number, 80
  - doubly-linked list, 551, 641
  - Dow Jones Industrial, 680
  - draw(), 454, 481, 606
  - draw\_lines(), 414, 421, 426, 429, 434, 454, 460, 462
  - drzewa
    - czerwono-czarne, 681, 684
    - niezrównoważone, 685
    - zrównoważone, 685
  - duże zadania obliczeniowe, 106
  - dynamic dispatch, 458
  - dynamic\_cast, 621, 815, 954, 961
  - dyrektywa using, 280
  - dyrektywy, 989
    - #define, 989
    - #include, 66, 67, 989
  - działania arytmetyczne, 84, 132
  - działania na liczbach, 779
  - dziedziczenie, 458, 550, 716, 832, 979
    - kontenery, 607
    - referencje, 550
    - wielokrotne, 979
    - wskaźniki, 550
  - dziedziczenie implementacji, 465
  - dziedziczenie interfejsu, 465
  - dziel i rządź, 106
- ## E
- ECMAScript, 764
  - edytor tekstu, 647
    - iteracja, 650
    - wiersze, 649
  - efekt przekroczenia zakresu liczby, 781
  - efekt stałości rozmiaru liczb całkowitych, 781
  - efektywność, 709
  - ekran, 388, 1019
  - elementy wyliczenia, 300
  - elementy wyrażień, 200
  - elim\_with\_partial\_pivot(), 799
  - eliminacja Gaussa, 797
  - elipsa, 431
  - Ellipse, 400, 408, 431, 432
  - else, 113
  - else if, 115
  - empty(), 1006
  - encapsulation, 458
  - end, 638
  - end of file, 88
  - end(), 130, 746, 752, 998, 1005, 1025
  - endl, 1023
  - ends, 1023
  - enum, 300, 917, 972
  - EOF, 927, 1035
  - eof(), 330, 332, 366, 375, 1020
  - equal(), 668, 1008
  - equal\_range(), 668, 698, 699, 755, 1007, 1013
  - equal\_to<T>(), 1016
  - erase(), 654, 655, 656, 662, 747, 1006, 1025
  - errno, 802
  - error(), 147, 154, 332, 341, 927
  - estimation, 160
  - etapy rozwoju
    - oprogramowania, 177
  - Euler, 728
  - exit(), 1040
  - exp(), 802, 1030
  - explicit, 572

explicit type conversion, 547  
 expN(), 482  
 extern, 251  
 extern "C", 909, 971

## F

fac(), 482  
 fail(), 330, 331, 332, 344, 1020  
 Fast Light Tool Kit, 387, 1048  
 fclose(), 927, 1032  
 field, 360  
 figury geometryczne, 388  
 FILE, 927, 1032  
 fill(), 1011  
 fill\_n(), 1011  
 filozofie języków  
   programowania, 706  
 find(), 668, 669, 689, 698, 715,  
   747, 905, 1007, 1008, 1025  
 find\_end(), 1009  
 find\_first\_of(), 1008  
 find\_from\_addr(), 754, 756  
 find\_if(), 668, 671, 1008  
 find\_subject(), 756  
 fixed, 358, 359, 1023  
 Fl::wait(), 504  
 fl\_arc(), 431  
 Fl\_Color, 416  
 Fl\_GIF\_Image, 438  
 Fl\_JPEG\_Image, 438  
 fl\_line(), 420  
 Fl\_linestyle, 417  
 flagi, 844  
 float, 780, 782, 948, 965  
 floatfield, 358  
 floor(), 802, 1029  
 FLOW-MATIC, 722  
 FLT\_DIG, 1029  
 FLT\_MAX, 1029  
 FLT\_MAX\_10\_EXP, 1029  
 FLT\_MIN, 1029  
 FLTK, 387, 401, 886, 1048  
   instalacja, 1048  
   pobieranie biblioteki  
     z internetu, 1048  
   Visual Studio, 1049  
 flush, 1023  
 FMA, 792  
 fmtflags(), 358  
 fopen(), 1032

for, 121, 903, 962  
 for\_each(), 1008  
 formalna specyfikacja, 869  
 format pliku, 325  
 formatowane wstawianie, 1021  
 formatowanie danych  
   wyjściowych, 354, 366  
 formaty liczb  
   zmiennoprzecinkowych, 358  
 Fortran, 20, 720, 739  
 Fortran77, 720  
 Fortran90, 720  
 forward iterator, 663  
 ForwardIterator, 869  
 fprintf(), 925, 1033  
 fragmentacja pamięci, 819, 820  
 free(), 903, 918, 1038  
 friend, 463, 975  
 from\_string(), 748, 749  
 front(), 662, 1005  
 front\_inserter(), 1016  
 fstream(), 1020  
 Function, 408, 476, 482  
 function activation record, 273  
 function call operator, 674  
 function template, 605  
 functional programming, 714  
 funkcje, 122, 229, 291, 857, 968  
   argumenty, 123, 261  
   biblioteka standardowa C,  
     1032  
   C, 905  
   czysto wirtualne, 981  
   definicja, 122, 123, 907  
   deklaracja, 125, 968  
   deklaracja argumentów, 261  
   error(), 147  
   inline, 298  
   lista parametrów, 123  
   lokalne funkcje, 260  
   main(), 66  
   matematyczne, 802, 1029  
   parametry, 123, 262  
   parametryzowane, 605  
   pomocnicze, 310  
   prototyp, 907  
   przekazywanie argumentów  
     przez referencję, 267  
   przekazywanie  
     argumentów przez stałą  
     referencję, 265

przekazywanie argumentów  
   przez wartość, 264  
 rekord aktywacji, 273  
 rekurencja, 275  
 return, 263  
 rozgłoszeniowe, 791  
 sort(), 130  
 sprawdzanie argumentów,  
   271  
 sprawdzanie typów  
   argumentów, 906  
 stos rekordów aktywacji,  
   275  
 szablony, 605  
 szablonowe, 716  
 treść, 123  
 typ zwrotny, 261  
 void, 262  
 wynik działania, 123  
 wywołanie, 128, 261, 272,  
   968  
 zagnieżdżone funkcje, 260  
 zastosowanie, 124  
 zwracanie wartości, 123, 263  
 funkcje przeciężone, 969  
 argumenty domyślne, 970  
 dokładne dopasowanie, 969  
 dopasowanie przy użyciu  
   konwersji zdefiniowanych  
   przez użytkownika, 969  
 dopasowanie przy użyciu  
   promocji, 969  
 dopasowanie przy użyciu  
   standardowych konwersji,  
   969  
 dopasowanie przy użyciu  
   wielokropka, 969  
 niepodawanie listy  
   argumentów, 970  
 rozpoznawanie, 969  
 wielokropek, 970  
 wywołanie, 969  
 funkcje składowe, 259, 293  
   definiowanie, 296, 297  
   konstruktory, 294  
   stałe funkcje składowe, 309  
 funkcje wirtualne, 450, 456,  
   458, 460, 716, 980  
   wywołanie, 459  
 funkcje zwrotne, 501

## G

- g++, 34
- garbage collection, 539
- GB, 51
- GCC, 909
- gcount(), 1021
- general, 358, 359
- generalizacja, 464
- generate(), 1011
- generate\_n(), 1011
- generator typów, 604
- generowanie
  - destrukторы, 542
  - typy, 604
- get(), 750, 1021
- get\_encoding(), 439
- get\_int(), 749
- get\_string(), 507
- getc(), 925, 1036
- getchar(), 925, 926, 1036
- getline(), 373, 747, 750, 1021
- gets(), 880, 925, 926
- GIF, 438
- gigabajt, 51
- Gill D. J., 718
- globalna inicjacja, 277
- gmtime(), 1039
- GNU C++, 34
- good(), 330, 332, 1020
- Google, 51
- goto, 963
- graficzne przedstawianie danych, 471
  - Axis, 479
  - Distribution, 487
  - etykiety, 491
  - Function, 476
  - odczytywanie danych z pliku, 487
  - osie, 479
  - rysowanie wykresów funkcji, 472
  - skalowanie danych, 489
  - tworzenie wykresu, 490
  - układ ogólny, 488
  - wartość przybliżona funkcji wykładniczej, 481
  - wykresy, 486
- graficzny interfejs użytkownika, 179, 382, 497
- grafika, 382, 400
  - Axis, 392
  - biblioteka GUI, 387
  - elipsa, 431
  - figury geometryczne, 388
  - Image, 399
  - kanwa rysunku, 388
  - klasy figur geometrycznych, 389
  - klasy graficzne, 407
  - kolory, 414
  - linia, 410
  - obrazy, 399, 436
  - okrąg, 430
  - operacje, 445
  - piksel, 388
  - Polygon, 389
  - prezentacja danych, 394
  - projektowanie klas, 444
  - prostokąty, 395, 422
  - punkt, 410
  - Rectangle, 396
  - rysowanie figur, 454
  - rysowanie wykresu funkcji, 394
  - Shape, 389, 448
  - tekst, 398, 428
  - wielokąty, 394, 420
  - współrzędne, 388
  - wypełnianie kolorem, 397
- gramatyka, 188, 191
  - elementy wyrażeń, 200
  - implementacja zasad gramatyki, 194
  - język angielski, 192
  - nieskończona rekurencja, 196
  - parser, 194
  - pisanie, 193
  - podstawowe czynniki wyrażeń, 200
  - produkcja, 194
  - składniki, 199
  - wyrażenia, 195, 196
  - zamiana w kod, 194
  - znaki nieterminalne, 194
  - znaki terminalne, 194
- graph, 769, 1027
- Graph\_lib, 384, 390
  - Window, 500
- greater\_equal<T>(), 1017
- greater<T>(), 1016
- grep, 759
- GUI, 179, 382, 497, 498
  - Axis, 392
  - biblioteka, 387
  - Button, 505, 506
  - debugowanie kodu, 517
  - figury geometryczne, 388
  - FLTK, 387
  - funkcje zwrotne, 501
  - Graph\_lib, 384, 390
  - Image, 399
  - implementacja wywołań zwrotnych, 1052
  - In\_box, 507
  - inwersja kontroli, 511
  - kanwa rysunku, 388
  - klasy figur geometrycznych, 389
  - klasy graficzne, 408
  - kontrolki, 505
  - Lines\_window, 509, 510
  - menu, 507, 513
  - Menu, 507
  - nagłówki graficzne, 390
  - obrazy, 399
  - okno, 385, 390, 500
  - Out\_box, 507
  - pętla oczekująca, 504
  - piksel, 388
  - pliki źródłowe, 402
  - Point, 384
  - Polygon, 385, 389, 394
  - prostokąty, 395
  - przycisk Next, 499
  - przyciski, 506
  - punkt, 384
  - Rectangle, 396
  - Shape, 389
  - Simple\_window, 390, 500
  - tekst, 398
  - testowanie, 883
  - uruchamianie programu, 401
  - Vector\_ref, 1055
  - wait\_for\_button(), 390
  - Widget, 505, 1053
  - widgety, 505, 1056
  - wielokąty, 394
  - Window, 1054
  - współrzędne, 388

- GUI  
 wypełnianie kolorem, 397  
 wyświetlanie obiektów  
 na ekranie, 386  
 gwarancja niezgłaszania  
 wyjątku, 621  
 gwarancje, 620
- H**
- hash table, 681, 689  
 hash value, 689  
 hash\_map, 691  
 haszowanie, 690  
 header, 66  
 header file, 66  
 heap, 1014  
 Hejlsberg Anders, 728  
 helper function, 311  
 hermetyzacja, 458  
 hex, 355, 356, 357, 947, 1023  
 hide(), 505  
 hierarchia klas, 464  
 hierarchia strumieni wejścia  
 i wyjścia, 1019  
 high(), 715  
 historia języków  
 programowania, 717  
 History of Programming  
 Languages, 717  
 Hopper Grace, 161, 722  
 HTML, 383
- I**
- I/O, 105  
 Ichbiah Jean, 729  
 IDE, 34, 70, 1044  
 ideały programistyczne, 54, 708  
 bezpośrednie wyrażanie  
 myśli, 711  
 minimalizm, 713  
 modułowość, 712  
 poziom abstrakcji, 712  
 spójność, 713  
 identyfikatory, 950  
 słowa kluczowe, 950  
 if, 113, 880, 962  
 else, 113  
 else if, 115
- IFIP, 724  
 ifstream, 326, 329  
 iloczyn logiczny, 110  
 iloczyn skalarny, 679  
 iloczyn wewnętrzny, 679  
 imag(), 803, 804, 1031  
 Image, 399, 408, 436  
 implementacja, 55, 177, 289  
 implementacja GUI, 1051  
 implementacja tokenów, 183  
 implementacja wywołań  
 funkcji, 272  
 implementacja wywołań  
 zwrotnych, 1052  
 implementacja zasad gramatyki,  
 194  
 implementation defined, 944  
 importowanie obrazów  
 z plików, 399  
 In\_box, 409, 507  
 INCITS, 944  
 includes(), 1014  
 indeksowanie, 534, 966  
 infinite recursion, 196  
 informacja zwrotna, 55  
 informacje, 51  
 informacje o stanie strumienia,  
 331  
 informatyka, 35, 45, 725  
 inicjacja, 85, 87, 536  
 obiekty, 294  
 składowe, 979  
 tablice, 582  
 wartości domyślne, 254  
 wskaźniki, 536  
 inicjatory składowych, 979  
 inkrementacja, 89, 110  
 inline function, 903, 905  
 inner product, 680  
 inner\_product(), 668, 677, 680,  
 1031  
 uogólnienie, 681  
 inplace\_merge(), 1013  
 input iterator, 663  
 insert(), 654, 655, 656, 662, 686,  
 687, 746, 747, 1006, 1025  
 inserter(), 1016  
 instalacja  
 FLTK, 1047, 1048  
 Visual Studio, 1044
- instrukcje, 66, 67, 69, 112, 962  
 if, 113  
 porządek wykonywania, 276  
 pusta instrukcja, 113  
 wyrażeniowe, 112  
 złożone, 121  
 instrukcje dla konsolidatora,  
 971  
 instrukcje maszynowe, 718  
 int, 66, 68, 78, 80, 82, 83, 84,  
 92, 780, 782, 835, 965  
 INT\_MAX, 1029  
 INT\_MIN, 1029  
 integrated development  
 environment, 34, 70  
 inteligentne karty, 810  
 interactive development  
 environment, 70  
 interaktywne środowisko  
 programistyczne, 70, 1044  
 interfejs, 289  
 interfejs klasy, 303  
 interfejs prywatny, 206  
 interfejs publiczny, 206, 289  
 interfejs użytkownika, 498  
 GUI, 498  
 konsola, 498  
 przeglądarki internetowe,  
 498  
 internal, 1023  
 intersect(), 421  
 intrusive container, 932  
 invalid\_argument, 996  
 invariant, 295  
 inwersja kontroli, 511  
 inżynieria oprogramowania, 33  
 ios\_base, 331  
 ios\_base::app, 361, 1020  
 ios\_base::ate, 361, 1020  
 ios\_base::badbit, 332  
 ios\_base::binary, 361, 363, 1020  
 ios\_base::failure, 332, 996  
 ios\_base::in, 361, 1020  
 ios\_base::out, 361, 1020  
 ios\_base::trunc, 361, 1020  
 ostream, 332, 370, 750, 765  
 is\_open(), 1020  
 is\_palindrome(), 587, 588  
 is\_whitespace(), 373  
 isalnum(), 369, 1024  
 isalpha(), 240, 369, 758, 1024

isctrl(), 369, 1024  
 isdigit(), 369, 758, 1024  
 isgraph(), 369, 1024  
 islower(), 369, 1024  
 isprint(), 369, 1024  
 ispunct(), 369, 1024  
 isspace(), 369, 1024  
 istream, 323, 324, 325, 329, 370,  
 750, 1019  
 istream\_iterator, 694  
 istream\_iterator<>, 694  
 istringstream, 365, 371  
 isupper(), 369, 1024  
 isxdigit(), 369, 1024  
 iter\_swap(), 1011  
 iteracja, 119, 132  
 iteration, 119  
 iterator, 646, 661, 1003  
 iterator traits, 890  
 iteratory, 637, 638, 997, 1004  
 begin, 638  
 const\_iterator, 661  
 dostęp swobodny, 661, 663,  
 1000  
 dwukierunkowe, 661, 663,  
 1000  
 end, 638  
 istream\_iterator, 694, 695  
 istream\_iterator<T>, 694  
 iterator, 661  
 kategorie, 662, 1000  
 operacje, 638, 999  
 ostream\_iterator, 694  
 ostream\_iterator<T>, 694  
 postępujące, 1000  
 przechodzące do przodu,  
 663  
 string, 662  
 strumienie, 694  
 valarray, 662  
 wbudowane tablice, 662  
 wejściowe, 663, 1000  
 wstawiające, 1016  
 wyjściowe, 663, 1000  
 ITU, 40

## J

Java, 20, 739  
 jawna konwersja typów, 547  
 jednolity rozkład, 801

jednostki translacji, 69, 145  
 język programowania, 34, 64,  
 706, 852  
 Ada, 729  
 Algol, 724  
 Algol60, 724  
 Algol68, 727  
 BCPL, 735  
 C, 733, 735, 899  
 C++, 20, 736  
 cechy, 706  
 COBOL, 161, 721  
 do celów ogólnych, 724  
 FLOW-MATIC, 722  
 Fortran, 720  
 Lisp, 721, 723  
 Pascal, 727  
 PERL, 759  
 Simula, 715, 731  
 Simula 67, 731  
 Turbo Pascal, 728  
 język angielski, 192  
 JPEG, 438

## K

K&R, 900  
 kalkulator, 179, 180  
 kanwa rysunku, 388  
 karty kredytowe, 810  
 kategorie iteratorów, 662  
 Keep It Simple, Stupid, 714  
 Kernighan Brian, 734, 900  
 key\_comp(), 1007  
 key\_compare, 1004  
 key\_type, 1004  
 KISS, 714  
 klasa pamięci, 950  
 klasy, 184, 289, 731, 857, 972  
 Axis, 392  
 bazowe, 410, 458, 979  
 bitset, 839  
 Date, 312  
 definicja, 289  
 definiowanie funkcji  
 składowych, 296  
 definiowanie składowych,  
 975  
 derywacja, 458  
 destruktor, 540, 542, 977  
 dostęp do składowych, 184,  
 292, 973

dziedziczenie, 979  
 funkcje pomocnicze, 310  
 funkcje składowe, 293  
 funkcje wirtualne, 458, 980  
 hermetyzacja, 458  
 hierarchia, 464  
 implementacja, 289  
 inicjacja składowych, 979  
 inicjatory składowych, 979  
 interfejs, 289, 303  
 konkretne, 450  
 konstruktory, 185, 293, 976  
 konstruktory domyślne, 306  
 konstruktory jawne, 571  
 kontrola dostępu, 451  
 lista wartości inicjujących  
 składowe, 185  
 lokalne klasy, 260  
 model dostępu do  
 składowych, 463  
 nadklasy, 458  
 operacje generowane, 981  
 parametryzowane, 605  
 pochodne, 458, 979  
 podklasy, 458  
 predykaty składowych, 675  
 przeciążanie operatorów, 302  
 przesłanianie, 455, 461  
 przyjaciele, 974  
 raportowanie błędów, 299  
 składowe, 289, 290, 972  
 stałe funkcje składowe, 309  
 szablony, 605, 983  
 testowanie, 886  
 this, 974  
 tworzenie, 291  
 typy argumentów, 304  
 ukrywanie szczegółów, 294  
 unie, 983  
 vector, 128  
 vector\_ref, 1055  
 Widget, 1053  
 widoczność składowych, 290  
 Window, 1054  
 wirtualny destruktor, 543  
 wywołanie funkcji  
 składowej, 128  
 zagnieżdżone klasy, 260  
 klasy abstrakcyjne, 450, 981  
 czyste funkcje wirtualne,  
 464

- klasy graficzne, 407
  - Axis, 408, 479
  - Circle, 408, 430
  - Closed\_polyline, 408, 419
  - Color, 414
  - Ellipse, 408, 431
  - figury geometryczne, 389
  - Function, 408, 476
  - Image, 408, 436
  - Line, 408, 410
  - Line\_style, 408, 416
  - Lines, 408, 412
  - Mark, 408, 435
  - Marked\_polyline, 408, 433
  - Marks, 408, 434
  - Open\_polyline, 408, 418
  - Point, 408, 410
  - Polygon, 408, 420
  - Rectangle, 408, 422
  - Shape, 410, 448
  - Simple\_window, 500
  - Text, 408, 428
- klasy składowe, 260
- klasy znaków, 768, 769, 1027
- klasyczna eliminacja Gaussa, 797
- klasyfikacja znaków, 368, 1024
- klawiatura, 1019
- klucze, 685
- kod, 67
- kod maszynowy, 67
- kod obiektowy, 67
- kod ogólny, 446
- kod pocztowy, 757
- kod wykonywalny, 67
- kod źródłowy, 44, 67
- kolejki, 1005
- kolekcje danych, 152, 630
- kolizja nazw, 257
- kolor tekstu, 399
- kolory, 414
- komentarze, 65, 162, 231, 904, 945
- kompilacja, 67, 161
  - warunkowa kompilacja, 931
- kompilator, 34, 67, 71, 909
- komputer, 39, 41, 46, 104
- komunikaty o błędach, 163
- konflikt nazw, 257
- koniec pliku, 88, 927
- konkatenacja łańcuchów, 85
- konkretyzacja szablonu, 604, 985
- konsola, 498
- konsolidacja, 161
  - błędy, 145
- konsolidacja pamięci, 821
- konsolidator, 70, 909, 971
- konstruktory, 185, 293, 294, 571, 976
  - debugowanie, 573
  - domyślny konstruktor, 254, 306, 308
  - jawne, 571
  - kopiujące, 456, 566
- kontenery, 152, 525, 526, 595, 596, 629, 634, 660, 661, 1001
  - adaptery, 1002
  - allocator\_type, 1004
  - array, 660, 1001
  - asocjacyjne, 681, 1001, 1002
  - const\_iterator, 1004
  - const\_pointer, 1004
  - const\_reference, 1004
  - const\_reverse\_iterator, 1004
  - deque, 660, 1001
  - destruktory, 1004
  - difference\_type, 1003
  - dostęp do elementów, 1005
  - dziedziczenie, 607, 832
  - intruzyjne, 932
  - iterator, 1003
  - iteratory, 1004
  - key\_compare, 1004
  - key\_type, 1004
  - kolejki, 1005
  - konstruktory, 1004
  - list, 660, 1001
  - listy, 1006
  - map, 660, 681, 684, 1001
  - mapped\_type, 1004
  - multimap, 660, 681, 1001
  - multiset, 660, 681, 1001
  - nieintruzyjne, 932
  - operacje kolejek, 1005
  - operacje kontenerów asocjacyjnych, 1007
  - operacje listowe, 1006
  - operacje stosowe, 1005
  - pointer, 1004
  - pojemność, 598, 1006
  - porównywanie, 1006
  - priority\_queue, 1002
- przypisania, 1004
- queue, 1002
- reference, 1004
- reverse\_iterator, 1004
- rozmiar, 1006
- sekwencyjne, 1001
- set, 660, 681, 696, 1001
- size\_type, 1003
- słowniki, 682
- stack, 1002
- stos, 1005
- string, 1002
- typy składowych, 1003
- unordered\_map, 660, 681, 689, 1001
- unordered\_multimap, 660, 681, 1001
- unordered\_multiset, 660, 681, 1002
- unordered\_set, 660, 681, 1002
- unsorted\_map, 690
- valarray, 1002
- value\_type, 1003
- vector, 660, 1001
- wbudowana tablica, 1002
- wektor, 526
- zamienianie, 1006, 1007
- zbiory, 691
- kontrola dostępu, 451
- kontrola typów, 94
- kontrolki, 505
- konwersje argumentów, 271
- konwersje typów, 111, 958, 961
  - arytmetyczne, 959
  - bezpieczne dla typów, 95
  - całkowitoliczbowe, 958
  - const\_cast, 962
  - dynamic\_cast, 961
  - niebezpieczne dla typów, 96
  - operatory, 961
  - między typami zmiennoprzecinkowymi i całkowitoliczbowymi, 959
  - referencje, 959
  - reinterpret\_cast, 961
  - static\_cast, 961
  - void\*, 916
  - wartości logiczne, 959
  - wskaźniki, 959

zawężające, 96  
 zdefiniowane przez  
 użytkownika, 960  
 zmiennoprzecinkowe, 959  
 kopiowanie, 306, 456, 564, 693,  
 976, 978  
 głębokie, 569  
 konstruktory kopiujące, 566  
 płytkie, 569  
 przez konstruowanie, 567  
 przypisywanie z  
 kopiowaniem, 567  
 korzeń, 685  
 krój pisma, 399  
 kryterium porównywania, 866  
 kursor, 65

## L

label.set\_color(), 393  
 laptop, 41  
 leak detector, 574  
 left, 1023  
 legal, 944  
 length(), 369, 746, 1025  
 length\_error, 996  
 less\_equal<T>(), 1017  
 less<T>(), 1017  
 lexicographical order, 920  
 lexicographical\_compare(),  
 1015  
 liczby, 78, 93, 779  
 bez znaku, 840  
 binarne, 94, 947  
 całkowite, 81, 780  
 float, 782  
 funkcje matematyczne, 802  
 int, 782  
 limity, 1028  
 macierze, 784, 786  
 mantysa, 782  
 Matrix, 786  
 obliczenia, 782  
 ograniczenia typów  
 liczbowych, 783  
 ósemkowe, 355  
 precyzja, 358, 780  
 przekroczenie zakresu, 780,  
 781  
 rozmiar, 780  
 rzeczywiste, 780

systemy liczbowe, 946  
 szesnastkowe, 355, 947  
 tablice, 784  
 ujemne, 224  
 wykładnik, 782  
 ze znakiem, 840  
 zmiennoprzecinkowe, 358,  
 780, 781, 948  
 zmiennoprzecinkowe  
 podwójnej precyzji, 80  
 liczby losowe, 800  
 rand(), 801  
 RAND\_MAX, 801  
 liczby zespolone, 803, 1030  
 complex, 803  
 część rzeczywista, 1031  
 część urojona, 1031  
 funkcje matematyczne, 803  
 operacje, 1030  
 operatory, 804  
 sprzężenie, 1031  
 typy, 1030  
 limity typów liczbowych, 1028  
 Line, 389, 408, 410, 411, 444  
 Line\_style, 389, 408, 416, 417  
 Lines, 389, 408, 412, 452  
 draw\_lines(), 414  
 Lines\_window, 509, 510, 515  
 linia, 410  
 styl, 416  
 Link, 551, 552, 557, 641  
 insert(), 556  
 linkage specification, 971  
 linked list, 641  
 linker, 70  
 lint, 733, 906  
 Lisp, 721, 723  
 list, 642, 653, 660, 1001  
 lista parametrów, 66, 123  
 lista wartości inicjujących  
 składowe, 185  
 listy, 551, 596, 653  
 add(), 553  
 advance(), 553  
 dwukierunkowe, 551, 932  
 erase(), 553, 554  
 find(), 553, 554  
 insert(), 554  
 jednokierunkowe, 551  
 Link, 551, 552  
 ogniwo, 551

operacje, 552  
 zastosowanie, 554  
 listy powiązane, 641  
 dwustronnie, 641  
 iteracja, 643  
 iterator, 643  
 jednostronnie, 641  
 list, 642  
 operacje, 642, 647  
 usuwanie elementów, 647  
 wstawianie elementów, 647  
 literały, 946  
 liczby całkowite, 946  
 liczby  
 zmiennoprzecinkowe, 948  
 logiczne, 948  
 łańcuchowe, 949  
 wskaźnikowe, 949  
 znakowe, 948  
 locale, 376  
 localtime(), 1039  
 log(), 802, 1030  
 log10(), 802, 1030  
 logic programming, 714  
 logical\_and<T>(), 1017  
 logical\_not<T>(), 1017  
 logical\_or<T>(), 1017  
 lokalne obiekty statyczne, 953  
 Lola, 728  
 long, 780, 965  
 long double, 948  
 long int, 835  
 LONG\_MAX, 1029  
 LONG\_MIN, 1029  
 losowość, 800  
 lower, 769, 1027  
 lower\_bound(), 699, 1007, 1012  
 lub wykluczające, 956  
 Lucent Bell Labs, 733, 735  
 ludzie, 42  
 l-wartość, 107

## Ł

łagodne ograniczenia czasowe,  
 814  
 łańcuchy, 84, 130, 586, 746,  
 949, 1024  
 dopasowanie wyrażeń  
 regularnych, 1025  
 klasyfikacja znaków, 1024



- łańcuchy
  - konkatenacja, 85
  - małe litery, 1024
  - operacje, 746, 1025
  - przetwarzanie, 1024
  - strumienie, 365
  - styl języka C, 582, 919, 1036
  - wielkie litery, 1024
- łatwość utrzymania, 709
- łączenie, 69
  
- M**
- macierze, 56, 596, 715, 784, 786
  - błędy zakresu, 788
  - dostęp, 787
  - dwuwymiarowe, 792
  - FMA, 792
  - indeksowanie, 788
  - jednowymiarowe, 789
  - kopiowanie danych, 792
  - liczba elementów, 789
  - Matrix, 787
  - Matrix\_error, 788
  - metoda eliminacji Gaussa, 797
  - mnożenie przez wektor, 800
  - operacje, 793
  - operatory przypisania, 791
  - rozwiązywanie równań
    - liniowych, 796
  - trójwymiarowe, 795
  - wejście, 794
  - wybór elementu
    - centralnego, 798
  - wycinki, 790
  - wyjście, 794
  - wymiary, 787
  - zamiana kolumn miejscami, 793
  - zamiana wierszy miejscami, 793
- macro substitution, 989
- Maddock John, 759
- magiczne stałe, 109
- Mail\_file, 752, 755
- main(), 66, 78, 229, 945
  - argumenty, 945
- make\_heap(), 1014
- make\_pair(), 686, 687, 1018
- make\_vec(), 620, 621
  
- makra, 615, 904, 927, 928, 989
  - definiowanie, 990
  - podobieństwo do funkcji, 929
  - zastosowanie, 928
- makra składniowe, 930
- malloc(), 903, 918, 1038
- manager pamięci wolnej, 539
- manipulatory, 355, 1022
- manipulowanie bitami, 844
- mantysa, 782
- map, 596, 660, 681, 682, 684, 822, 904, 1001
- mapped\_type, 1004
- Mark, 400, 408, 435
- Marked\_polyline, 408, 433
- Marks, 408, 434, 452
- maskowanie, 845
- matches.size(), 762
- matrix, 784
- Matrix, 56, 786, 787
- Matrix\_error, 788
- MAX, 928
- max(), 258, 1015
- max\_element(), 1015
- max\_size(), 1006
- max\_x(), 410
- max\_y(), 410
- McCarthy John, 723
- McIlroy Doug, 734, 908
- mechanizm wyświetlający, 383
- mechanizm wywołań
  - wirtualnych, 543
- medycyna, 50
- mem\_fun(mf), 1017
- mem\_fun\_ref(mf), 1017
- member, 289
- member access operator, 546
- member function, 293
- member initializer list, 185
- memchr(), 923, 1038
- memcmp(), 922, 1038
- memcpy(), 922, 1037
- memmove(), 922, 1037
- memory exhaustion, 560
- memset(), 923, 1038
- menu, 507, 513
  - tworzenie, 513
- Menu, 409, 507
- merge(), 668, 1013
- metoda eliminacji Gaussa, 797
  
- metody, 294
  - random\_shuffle(), 1010
  - rotate\_copy(), 1010
- metody nauczania, 32
- Microsoft Visual C++, 71
- Microsoft Visual Studio, 34
- miejsce na dane, 78
- miejsce rozpoczęcia programu, 66
- mierzenie czasu działania
  - funkcji, 1039
- mieszanie, 690
- min(), 1015
- min\_element(), 1015
- minimalizm, 713
- minus<T>(), 1017
- mismatch(), 1008
- MIT McCarthy, 724
- mit samotnie pracującego
  - programisty, 43
- mktime(), 1039
- mnożenie macierzy przez
  - wektor, 800
- model dostępu do składowych, 463
- model graficzny, 383
- model iteratorów, 998
- model strumieni wejścia
  - i wyjścia, 323
- Modula, 728
- Modula-2, 728
- modular arithmetic, 842
- modulus<T>(), 1017
- modułowość, 712
- modyfikacja wyjściowych
  - liczb całkowitych, 356
- monitorowanie, 48
- monitorowanie podsystemów, 818
- monitory jakości linii
  - produkcyjnych, 810
- monitory medyczne, 810
- move(), 424, 506
- MSC++, 909
- multimap, 660, 681, 1001
- multi-paradigm programming, 717
- multiple inheritance, 979
- multiplies<T>(), 1017
- multiset, 660, 681, 1001



## N

- nadklasy, 458
  - nadmiernie inteligentni programiści, 852
  - nagłówki, 66, 254
  - namespace, 261, 279, 988
  - narzędzia, 178
  - NASA, 52
  - natychmiastowe reagowanie, 812
  - nauczanie, 29
  - Naur Peter, 725
  - nawiasy, 108, 163
  - nazwy, 80, 90, 162, 164, 240, 446, 855, 988
    - makra, 928
    - predefiniowane, 242
    - przestrzeń nazw, 261
    - słowa kluczowe, 91
    - styl oddzielania wyrazów, 92
    - symboliczne, 718
    - wielkość liter, 91
    - zakres dostępności, 258
  - nazwy w pełni kwalifikowane, 280
  - negate<T>(), 1017
  - new, 533, 545, 612, 621, 815, 819, 820, 903, 952, 955, 961
  - Next, 499
  - next(), 503, 504
  - next\_permutation(), 1015
  - niechlujny kod, 710
  - niedouczeni programiści, 852
  - nieformatowane wstawianie, 1021
  - niejawna konwersja typów, 958
  - niekompletne programy, 141
  - niekontrolowane konwersje, 825
  - nieoczekiwane argumenty, 141
  - nieodpowiednie standardy kodowania, 852
  - nieokreślony, 945
  - nieprawidłowe argumenty, 151
  - nieprawidłowe dane wejściowe, 154
  - nieprzerwana praca, 813
  - nieskończona rekurencja, 196
  - niespodziewane dane wejściowe, 142
  - niespodziewany stan, 142
  - niestandardowe separatory, 370
  - niezdefiniowane, 945
  - niezgodne, ale niewymagające diagnostyki, 945
  - niezmiennik, 295
  - noboolalpha, 1022
  - non-intrusive container, 932
  - norm(), 804
  - noshowbase, 356, 1022
  - noshowpoint, 1022
  - noshowpos, 1022
  - noskipws, 1022
  - NOT, 110
  - not conforming but not requiring diagnostic, 945
  - not\_equal\_to<T>(), 1016
  - not1(g), 1017
  - not2(g), 1017
  - notacja \*this, 601
  - notacja Backusa-Naura, 721
  - nouppercase, 1023
  - nowoczesne języki programowania, 719
  - nth\_element(), 1012
  - null pointer, 537
  - number\_of\_points(), 414
  - numeric\_limits<T>, 1028
  - Nygaard Kristen, 731
- O**
- Oberon, 728
  - Oberon-2, 728
  - obiektowość, 33
  - obiekty, 78, 92
    - auto\_ptr, 621
    - automatyczne, 953
    - czas trwania, 952
    - destruktory, 540, 977
    - dostęp do składowych, 184
    - funkcje składowe, 293
    - inicjalizacja, 294
    - konstruktory, 185, 293, 976
    - konstruktory domyślne, 306
    - kopiowanie, 306, 456, 976, 978
    - kopiowanie głębokie, 569
    - kopiowanie płytkie, 569
    - lista wartości inicjujących składowe, 185
    - lokalne, 953
    - lokalne statyczne, 953
    - nazwy, 80
    - odwołanie do bieżącego obiektu, 298
    - poprawny stan, 295
    - przestrzeń nazw, 953
    - przyjaciele, 974
    - referencje, 968
    - stan, 295
    - this, 555, 974
    - tworzenie, 961, 976
    - tymczasowe, 270, 953
    - usuwanie, 953, 976
    - w pamięci wolnej, 953
    - wskaźniki, 545
    - wykorzystanie obiektów bez nazw, 426
  - obiekty funkcyjne, 673, 674, 1016
  - object-oriented programming, 458
  - obliczanie wartości skrótu, 690
  - obliczenia, 104, 105, 159, 782, 1028
    - szacowanie, 159
  - obrazy, 399, 436
  - obsługa błędów, 151, 220
    - operacje wejścia i wyjścia, 330
    - strumienie, 1020
    - testowanie, 221
  - obsługa wyjątków, 151
  - oct, 355, 356, 357, 1023
  - oczyszczanie kodu, 227
    - funkcje, 229
    - komentarze, 231
    - stałe symboliczne, 227
    - układ kodu, 230
  - od dołu do góry, 32, 710
  - od góry do dołu, 33, 710
  - odczytywanie
    - dane z pliku, 326, 328, 487
    - sekwencje znaków, 757
    - struktury wartości, 344
  - oddzielanie warstwy komunikacyjnej od funkcji, 337
  - odporność na błędy, 813
  - odtwarzacze MP3, 810

- odwołanie do bieżącego obiektu, 298
  - odzyskiwanie sprawności po wystąpieniu błędu, 233
  - off-by-one error, 153
  - ofstream, 326, 329
  - ogniwo, 551
  - ogólny kod, 446
  - ograniczenia, 615
  - ograniczenia czasowe, 814
  - ograniczenia typów liczbowych, 783
  - okno, 385, 390, 425, 500
  - okrąg, 430
  - opcjonalne sprawdzanie, 614, 615
  - open(), 327, 328, 1019, 1020
  - Open\_polyline, 408, 418, 429, 452
    - draw\_lines(), 434
  - operacje, 82, 84, 570
    - bajtowe, 922
    - bitowe, 835, 836
    - generowane, 981
    - liczby zespolone, 1030
    - łańcuchowe, 746, 1025
    - na iteratorach, 638, 999
    - na zbiorach danych, 634
    - tablicowe, 786
  - operandy, 107
  - operator, 303, 958
  - operator overloading, 302
  - operator[], 575, 614
  - operator=, 600
  - operatory, 82, 84, 109
    - !=, 110
    - %, 225
    - &, 529, 549
    - &&, 110
    - (), 674
    - \*, 534
    - [], 534
    - ||, 110
    - ++, 89, 90, 109
    - <, 110
    - <<, 68, 110
    - <=, 110
    - =, 85
    - ==, 110
    - >, 110
    - >, 546, 973
    - >=, 110
    - >>, 79, 81, 110
    - addytywne, 955
    - adres, 529
    - aplikacji, 674
    - const\_cast, 547
    - definiowanie przez użytkownika, 958
    - delete, 538, 545, 573, 953, 961
    - dereferencja, 530, 534
    - dostęp do składowych, 546
    - indeksowanie, 534
    - inkrementacja, 89
    - konwersja typów, 961
    - liczby zespolone, 804
    - logiczne, 960
    - new, 533, 545, 961
    - porównania, 956
    - przeciążanie, 302, 971
    - przesunięcie, 955
    - przypisanie, 85, 957
    - reinterpret\_cast, 531, 547
    - relacyjne, 956
    - sizeof, 364, 531, 960
    - static\_cast, 547
    - tryby otwierania, 1032
    - typedef, 646
    - wejściowe, 339
    - wielokrotność, 955
    - wyjście, 68
    - wyjściowe, 338
    - wyłuskanie, 530
    - wywołanie funkcji, 674
    - zasięg, 973
    - zawartość, 530
    - złożone operatory przypisania, 89
  - oprogramowanie, 40
  - or, 956
  - OR, 110
  - ostre ograniczenia czasowe, 814
  - ostream, 288, 323, 325, 354, 750, 1018, 1019
  - ostream\_iterator, 694
  - ostream\_iterator<>, 694
  - ostreamstringstream, 365, 366
  - otwieranie plików, 326, 361, 927, 1032
    - tryby otwierania, 361
  - otwieranie strumienia, 1019
  - Out\_box, 409, 507
  - out\_of\_range, 153, 154, 615, 996
  - output iterator, 663
  - overflow\_error, 996
  - overload resolution, 969
  - overriding, 455, 460
- ## P
- pair, 1017
  - pair(), 1013
  - pair<>, 686
  - paleta kolorów, 415
  - palindrom, 586
    - wykorzystanie łańcuchów, 586
    - wykorzystanie tablic, 587
    - wykorzystanie wskaźników, 588
  - pamięć, 342, 526, 529, 950, 951, 1037
    - automatyczna, 532, 818, 951
    - dynamiczna, 818
    - kod, 532
    - statyczna, 532, 818, 952
    - tekst, 532
  - pamięć wolna, 532, 819, 918, 952
    - alokacja obiektów, 533
    - dealokacja, 538
    - destruktory, 542
    - rezerwowanie pamięci, 533
  - paradygmaty programowania, 714, 715
  - parametric polymorphism, 605
  - parametrized class, 605
  - parametrized function, 605
  - parametrized type, 605
  - parametry, 123, 262
    - referencje, 549
    - szablony, 603
    - wskaźniki, 549
  - PARC, 708
  - parser, 194
  - parsowanie, 189
  - partial\_sort(), 1012
  - partial\_sort\_copy(), 1012
  - partial\_sum(), 677, 1031
  - partition(), 1013
  - Pascal, 726, 727, 728

- PC, 40
- PDA, 810
- pełna gwarancja, 621
- PERL, 739, 759
- permutacje, 1015
- Petersen „Pete” Lawrence, 38
- pętla oczekująca, 504
- pętle, 88, 119, 132, 879
  - for, 121
  - przepełnienie bufora, 880
  - treść, 120
  - while, 88, 119
  - zmienna iteracyjna, 119
  - zmienna kontrolna, 119
- PFN, 846
- PHP, 739, 759
- piksel, 388
- pisanie gramatyki, 193
- pisanie kodu, 44
- pisanie programu, 175, 176
  - biblioteki, 178
  - etapy rozwoju
    - oprogramowania, 177
  - gramatyka, 188
  - implementacja tokenów, 183
  - narzędzia, 178
  - obsługa błędów, 220
  - oczyszczanie kodu, 227
  - odzyskiwanie sprawności
    - po wystąpieniu błędu, 233
  - parsowanie, 189
  - problem, 176
  - prototyp, 179
  - przykładki użycia, 180
  - pseudokod, 180, 187
  - rozwiązanie problemu, 177
  - strategia, 177
  - struktura programu, 211
  - strumienie tokenów, 206
  - szczegóły techniczne, 248
  - testowanie, 221
  - tokeny, 182
  - używanie tokenów, 185
  - wczytywanie liczb, 210
  - wczytywanie tokenów, 209
  - wersja „1.0”, 224
  - wersja z ograniczoną
    - funkcjonalnością, 179
  - wypróbowywanie drugiej
    - wersji, 205
  - wypróbowywanie pierwszej
    - wersji, 201
- zamiana gramatyki
  - w kod, 194
  - zestaw zasad, 189
- PL/360, 728
- planowanie rejsów, 47
- pliki, 325, 1032
  - C, 927
  - cpp, 67
  - EOF, 927
  - FILE, 927
  - format, 325
  - h, 67
  - ifstream, 326, 329
  - koniec, 88
  - odczytywanie danych, 326, 328
  - ofstream, 326, 329
  - otwieranie, 326, 361, 927, 1032
  - pozycjonowanie, 361, 365
  - strukturalne, 341
  - strumienie, 326
  - tryby otwierania, 361
  - zamykanie, 327, 927, 1032
  - zapisywanie danych, 326, 328
- pliki binarne, 362
  - odczytywanie, 363
  - operacje wejścia i wyjścia, 363
  - otwieranie, 363
  - zapisywanie, 363
- pliki nagłówkowe, 66, 254
- plus<T>(), 1017
- pobieranie danych
  - wejściowych, 79
- poddopasowanie, 762
- podejście do pisania
  - poprawnego
    - oprogramowania, 710
    - od dołu, 710
    - od góry, 710
- podklasy, 458
- podstawowa gwarancja, 621
- podstawowe czynniki wyrażień, 200
- Point, 384, 389, 397, 408, 410, 444
- point(), 414
- pointer, 459, 528, 529, 1004
- pointer arithmetic, 579
- pointer semantics, 570
- pojemność kontenera, 598
- pojęcie abstrakcyjne, 464
- poła, 360
- poła bitowe, 846, 982
- polar(), 804, 1031
- polimorfizm, 606
  - ad hoc, 605
  - czasu działania programu, 458
  - parametryczny, 605
- Polygon, 385, 389, 394, 408, 420, 452
  - add(), 422
- pomyłka o jeden, 153
- pool, 823
- pop\_back(), 662, 1005
- pop\_front(), 1005
- pop\_heap(), 1014
- popelnianie błędów, 141
- poprawność, 709, 813
- poprawny stan obiektu, 295
- porównania, 956
- porządek leksykograficzny, 920
- porządek wykonywania
  - instrukcji, 276
  - globalna inicjacja, 277
  - wartościowanie wyrażień, 277
- porządkowanie łańcuchów, 697
- POSIX, 764
- postdekrementacja, 109
- postinkrementacja, 109
- poważne błędy, 870
- powiększanie wektora, 127
- powtarzające się słowa, 87
- powtarzanie, 119
- poziom abstrakcji, 712
- pozycjonowanie, 361, 365
- prawa optymalizacji, 816
- prawdopodobne błędy, 870
- prawie kontenery, 1002
- pre-condition, 166
- precyzja liczb
  - zmiennoprzecinkowych, 358, 359
- precyzja obliczeń, 780
- predefiniowane nazwy, 242
- predekrementacja, 109
- predykaty, 1016
- predykaty składowych klas, 675

- preinkrementacja, 109
- preprocessor, 855, 989
  - dyrektywy, 989
- preprocessing, 255
- prev\_permutation(), 1015
- prezentacja danych, 394
- Princeton University, 723, 735
- print, 769, 1027
- print(), 843, 906
- printf(), 376, 924, 925, 926, 1033
  - specyfikatory konwersji, 1033
- priority\_queue, 1002
- private, 206, 289, 463, 973
- problem, 176
- problem stałych wektorów, 576
- problem zawiązujących konwersji, 98
- problemy z pamięcią wolną, 819
- problemy z wyjątkami, 619
- proces tworzenia programu, 55
- produkcje, 194
- profesjonalizm, 706
- program, 34, 63, 64, 944
  - cena, 54
  - dobrze zaprojektowany, 54
  - główny program, 883
  - kompilacja, 67
  - łączenie, 69
  - niezawodność, 54
  - pisanie, 176
  - poprawność, 54
  - proces tworzenia, 55
  - projekt, 1044
  - punkt startowy, 66
  - struktura, 211
  - szkielet, 229
  - tworzenie, 1044
  - uruchamianie, 945, 1044
  - utrzymanie, 54
  - Witaj, świecie, 64
  - zamykanie, 945
  - zgodny program, 944
- programista, 43
- programowanie, 19, 30, 34, 39, 40, 44, 55, 56, 64
  - aspektowe, 714
  - funkcyjne, 714, 721
  - grafika, 382
  - logiczne, 714
  - obiektywne, 458, 465, 606, 714, 715
  - ogólne, 605, 606, 670, 714, 715
  - ograniczeniowe, 714
  - proceduralne, 714, 715
  - regulowe, 714
  - systemy, 736
  - systemy wbudowane, 809
  - wieloparadygmatowe, 717
- projekt, 47, 1044
  - dodawanie pliku źródłowego C++, 1045
  - tworzenie, 1044
- projektowanie, 55, 177
- projektowanie klas, 444
  - abstrakcyjna klasa bazowa, 464
  - chronione składowe, 458
  - czyste funkcje wirtualne, 464
  - definiowanie funkcji wirtualnych, 461
  - dostęp do danych, 448
  - dostęp do składowych, 463
  - dziedziczenie implementacji, 465
  - dziedziczenie interfejsu, 465
  - hermetyzacja, 458
  - hierarchia klas, 464
  - klasy bazowe, 458
  - klasy graficzne, 384, 443
  - klasy pochodne, 458
  - kontrola dostępu, 451
  - kopiowanie, 456
  - nazewnictwo, 446
  - operacje, 445
  - prywatne składowe, 458
  - przesłanie, 455, 461
  - Shape, 448
  - tworzenie podklas, 461
  - typy, 444
  - układ obiektu, 459
  - zmienność, 448, 456
- projektowanie pod kątem testowania, 890
- promocje, 958
- promotion, 958
- prostokąty, 395, 422
- protected, 450, 463, 973, 979
- prototyp, 179
- prototyp funkcji, 907
- prywatne składowe, 458
- przechowywanie dane, 630
  - sekwencje znaków, 653
  - zmiennie, 240
- przechwytywanie wyjątków, 151
- przeciążanie funkcje, 903, 906
  - operatory, 302, 971
- przecinek, 957
- przedstawianie danych na wykresach, 486
- przekazywanie argumentów przez referencję, 267, 269
  - przez stałą referencję, 265
  - przez wartość, 264, 269
- przekroczenie zakresu liczby, 780, 781
- przeñośność kodu, 34
- przepelnienie bufora, 880
- przesłanie, 455, 460, 461
- przestrzeń nazw, 261, 279, 917, 988
  - fully qualified name, 280
  - nazwa w pełni kwalifikowana, 280
  - std, 995
  - using, 280
  - zakres, 951
- przestrzeń znaczników struktur, 912
- przesunięcie, 845
- przesunięcie bitowe, 836, 955
- przeszukiwanie binarne, 698
- przetwarzanie danych, 52, 630, 634
- przetwarzanie tekstu, 745, 1024
  - from\_string(), 748
  - isalpha(), 758
  - isdigit(), 758
  - łańcuchy, 746
  - operacje na łańcuchach, 746
  - słowniki, 750
  - string, 746
  - stringstream, 747
  - strumienie wejścia i wyjścia, 750

to\_string(), 748  
 Unicode, 747  
 wyrażenia regularne, 758, 759  
 wyszukiwanie, 761  
 przetwarzanie wstępne, 255  
 przewidywalność, 814, 815  
 awaria, 816  
 błędy przejściowe, 817  
 ideały, 815  
 przyciski, 506  
   Next, 499  
 przyjaciele, 974  
 przyjmowanie na wejściu  
   liczb całkowitych, 356  
 przypadki testowe, 168, 873  
 przypadki użycia, 180  
 przypisanie, 85, 107, 110, 957  
 przypisanie kopiujące, 567, 568, 570  
 przypisanie wektorów, 600  
 pseudokod, 180, 187  
 public, 206, 289, 463, 973  
 pula, 822, 823  
 punct, 769, 1027  
 punkt, 384, 410  
 punkt startowy programu, 66  
 pure virtual function, 450  
 push\_back(), 127, 128, 526, 528, 595, 599, 655, 662, 1005, 1025  
 push\_front(), 644, 1005  
 push\_heap(), 1014  
 pusta instrukcje, 113  
 put\_on\_top(), 425  
 putback(), 332  
 putchar(), 1036  
 putchar(), 1036

## Q

qsort(), 1040  
 queue, 1002

## R

radius(), 430  
 RAI, 586, 620, 622, 879, 987  
 rand(), 801, 1040  
 RAND\_MAX, 801  
 random\_matrix(), 800  
 random\_shuffle(), 1010

random\_vector(), 800, 801  
 random-access iterator, 661, 663  
 range error, 153  
 Range\_error, 616  
 raport o błędzie, 869  
 raport techniczny, 658  
 raportowanie błędów, 149, 299, 869  
 rbegin(), 1005  
 read(), 364, 1021  
 Reading, 344  
 real(), 803, 804, 1031  
 realloc(), 919, 1038  
 Rectangle, 389, 396, 408, 422, 427, 452  
 red-black tree, 681, 684  
 reference, 1004  
 reference semantics, 570  
 reference\_to(), 1052  
 referencje, 265, 267, 270, 548, 903, 968  
   dziedziczenie, 550  
   parametry, 549  
   przekazywanie argumentów, 267, 269  
   zasady stosowania, 270  
 regex, 762, 905  
 regex\_error, 996  
 regex\_match(), 771, 1026  
 regex\_search(), 762, 770, 1026  
 regexps, 764  
 regexs, 764  
 regression testing, 868  
 regular expressions, 758, 764  
 regulatory pump, 810  
 regulatory zapór wodnych, 810  
 reinterpret\_cast, 531, 547, 825, 903, 954, 961  
 REINTERPRET\_CAST, 916  
 rejestry, 718  
 rejestry urzędzenia, 846  
 rekord aktywacji funkcji, 273  
 rekurencja, 196, 275  
 remove(), 1010  
 remove\_copy(), 1010  
 remove\_copy\_if(), 1010  
 rend(), 1005  
 repetition, 119  
 repetycja, 193  
 replace(), 1010  
 replace\_copy(), 1010

replikacja, 817  
 reprezentacja, 597  
 reprezentacja danych  
   w pamięci, 342  
 reserve(), 598, 599, 658, 1006  
 resetiosflags(), 1023  
 resize(), 595, 596, 599, 1006  
 Resource Acquisition Is  
   Initialization, 586, 620, 879  
 reszta z dzielenia, 225  
 return, 64, 123, 126, 263, 963  
 return(), 622  
 reverse(), 1010  
 reverse\_copy(), 1010  
 reverse\_iterator, 1004  
 rezerwacja pamięci, 533, 598  
 RFC2822, 751  
 right, 1023  
 Ritchie Dennis, 733, 900  
 roboty składające samochody, 810  
 roboty spawające, 810  
 root node, 685  
 rotate(), 1010  
 rotate\_copy(), 1010  
 rozgałęzianie, 880  
 rozmiar znaków, 399  
 rozpoznawanie funkcji  
   przeciążonych, 969  
 rozwiązywanie problemów, 35  
 rozwiązywanie równań  
   liniowych, 796  
 rozwijanie stosu, 987  
 rozwój oprogramowania, 177  
 równania liniowe, 796  
 równoległy program, 815  
 rule-based programming, 714  
 run-time dispatch, 458  
 run-time polymorphism, 458  
 runtime\_error, 154, 155, 332  
 r-wartość, 107  
 rysowanie  
   figury, 454  
   wykresy funkcji, 394, 472  
 rzutowanie, 546, 547, 904, 961  
   const\_cast, 547, 548  
   nowy styl, 915  
   reinterpret\_cast, 547  
   static\_cast, 547  
   styl języka C, 915  
   styl szablonowy, 915

## S

- s, 1027
- samochody, 810
- samokontrola, 817
- samoloty, 810
- samoprzypisanie, 601
- samotnie pracujący
  - programista, 43
- scale\_and\_add(), 792
- scanf(), 376, 880, 925, 926
- scientific, 358, 359, 1023
- scope resolution operator, 973
- search(), 1008, 1009
- search\_n(), 1009
- seekg(), 365
- seekp(), 365
- see-out, 65
- sekwencje, 193, 637
- sekwencje losowe, 874
- selekcja, 113
  - if, 113
  - switch, 115
- semantyka
  - referencyjna, 570
  - wartościowa, 570
  - wskaźnikowa, 570
- serach(), 698
- set, 660, 681, 691, 696, 905, 1001
- set\_color(), 386, 393, 414, 418
- set\_difference(), 1014
- set\_fill\_color(), 397, 423
- set\_font(), 399
- set\_font\_size(), 399
- set\_intersection(), 1014
- set\_label(), 393
- set\_major(), 432
- set\_mask(), 437
- set\_minor(), 432
- set\_point(), 452
- set\_radius(), 430
- set\_style(), 397, 416, 417
- set\_symmetric\_difference(), 1014
- set\_union(), 1014
- setbase(), 1023
- setf(), 851
- setfill(), 1023
- setiosflags(), 1023
- setprecision(), 1023
- setw(), 360, 1023
- Shape, 56, 389, 410, 444, 448, 449, 461, 715, 887
  - draw(), 454
  - draw\_lines, 454
  - klasa abstrakcyjna, 450
  - kontrola dostępu, 451
  - rysowanie figur, 454
  - układ obiektu, 459
- short, 835, 965
- show(), 505
- showbase, 356, 1022
- showpoint, 1022
- showpos, 1022
- signed, 843, 965
- silnik, 47
- Simple\_window, 385, 389, 390, 409, 500, 835
- Simula, 715, 731
- Simula 67, 726, 731
- sin(), 394, 802, 1029
- singly-linked list, 551, 641
- sinh(), 802, 1030
- size(), 130, 526, 565, 662, 746, 1006, 1025
- size\_type, 646, 841, 1003
- sizeof, 364, 531, 580, 904, 954, 960, 976
- skalowanie, 786
- skalowanie danych, 489
- skanery medyczne, 810
- skipws, 1022
- składnia, 142
- składniki, 199
- składowe, 184, 289, 972
  - chronione, 463
  - dostęp do wartości, 292
  - funkcje pomocnicze, 310
  - inicjacja, 979
  - prywatne, 463
  - publiczne, 463
  - static const, 976
  - typy, 289
  - widoczność, 290
- składowe składowych, 290
- skrót, 690
- słabe projektowanie, 893
- słowa kluczowe, 66, 91, 950
  - break, 116, 118
  - C, 913
  - case, 116, 227
  - catch, 151, 156
  - class, 184, 289, 857
  - const, 109, 253, 927, 960
  - else, 113
  - enum, 300
  - explicit, 572
  - extern, 251
  - for, 121
  - friend, 975
  - if, 113
  - int, 66
  - namespace, 261, 279, 988
  - operator, 303
  - private, 463
  - protected, 979
  - return, 123, 126, 263
  - signed, 843
  - static, 502
  - struct, 290, 291, 912
  - switch, 115
  - template, 608, 983
  - throw, 151, 986
  - try, 151
  - unsigned, 837
  - using, 280, 988
  - virtual, 451, 456, 980, 981
  - void, 262
  - while, 119
- słowniki, 596, 667, 681, 682
  - binarne drzewa
    - zrównoważone, 684
  - map, 682, 684
  - nieuporządkowane, 691
  - przetwarzanie tekstu, 750
  - zastosowanie, 687
- słowo, 834
- smatch, 762
- solve\_random\_system(), 799
- sort(), 130, 132, 526, 668, 697, 711, 715, 905, 1012
- sort\_heap(), 1014
- sortowanie, 130, 675, 697, 1012
- space, 769, 1027
- specialization, 604
- specjalizacja, 604, 985
- specjalne przypadki, 871
- specyfikacja, 141, 177
- sposoby przechowywania
  - sekwencji znaków, 653
- spójność, 713

- sprawdzanie
  - argumenty, 149, 271
  - białe znaki, 374
  - przecięcia, 422
  - typy argumentów funkcji, 906
  - zakres, 613
- sprintf(), 1033, 1036
- sprzęt, 813
- sprzężenie, 804, 1031
- sqrt(), 802, 1029
- srand(), 801, 1040
- stable\_partition(), 1013
- stable\_sort(), 1012
- stack, 824, 1002
- Stack, 824
- stack storage, 532
- stack unwinding, 987
- stała, 108, 960
  - C, 927
  - deklaracja, 252
- stałe funkcje składowe, 309
- stałe magiczne, 109
- stałe symboliczne, 108, 227
- stałe wektory, 576
- stałe wyrażeń, 109
- stan, 104, 288, 295
- stan strumienia, 330
- standard template library, 634
- standardowa pętla wejściowa, 340
- standardowe funkcje
  - matematyczne, 1029
- standardowy strumień wejściowy, 79, 1019
- standardowy strumień wyjściowy, 65, 1019
- standardowy strumień wyjściowy błędów, 1019
- standardy kodowania, 851, 852, 859
  - funkcje, 857
  - klasy, 857
  - nazwy, 855
  - preprocesor, 855
  - systemy o krytycznym znaczeniu, 858
  - systemy o ostrych ograniczeniach czasowych, 858
  - ściśle zasady, 854
  - układ, 855
  - wyrażenia, 857
  - zalecenia, 854
  - zasady dobrego stylu kodowania, 852
  - zasady ogólne, 855
- Start Without Debugging, 1046
- stary styl definiowania, 908
- statement, 67
- static, 502, 952
- static storage, 532
- static\_cast, 364, 547, 903, 954, 961
- statyczne składowe klas, 953
- statyczny system typów, 733
- std, 995
- std::bitset, 835
- std::cout, 280
- std::out\_of\_range, 615
- std::set, 835
- std::string, 280
- std::vector, 835
- std\_lib\_facilities.h, 1045
- stdin, 924
- stdio, 1036
- stdout, 924
- sterowniki urządzeń, 322
  - drukarki, 810
  - napędy dyskowe, 810
- sterta, 532, 818, 952, 1014
- STL, 525, 634, 721
- stopień abstrakcji, 712
- storage class, 950
- stos, 275, 532, 818, 822, 824, 1005
- stos rekordów aktywacji, 275
- str(), 366, 373
- str\_to\_double(), 366
- strategia testowania, 870
- strcat(), 920, 921, 1037
- strchr(), 920, 922, 1037
- strcmp(), 920, 921, 1037
- strncpy(), 920, 921, 923, 1037
- stream state, 330
- streambuf, 376
- string, 80, 82, 83, 93, 288, 367, 527, 564, 653, 662, 746, 765, 905, 1002
- stringstream, 747, 749, 750, 1019
- strlen(), 581, 583, 920, 1037
- strncat(), 920, 921, 1037
- strncmp(), 920, 921, 1037
- strncpy(), 920, 921, 1037
- strong guarantee, 621
- Stroustrup Bjarne, 37, 725, 736
- strpbrk(), 1037
- strrchr(), 1037
- strstr(), 920, 1037
- strtod(), 1037
- strtol(), 1037
- strtoul(), 1037
- struct, 290, 291, 344, 912, 971, 982
- struct tag, 912
- struktura kodu, 710
- struktura programu, 211
- struktury, 290, 291, 912
- struktury danych, 104, 551, 596
- strumienie, 321, 1018
  - bufor, 324
  - buforowanie, 324, 376
  - cerr, 1019
  - cin, 1019
  - cout, 65, 1019
  - definiowanie operatorów wejściowych, 339
  - definiowanie operatorów wyjściowych, 338
  - formatowane wstawianie, 1021
  - formatowanie, 1022
  - hierarchia strumieni, 1019
  - ifstream, 326
  - istream, 323, 324, 1019
  - istreamstream, 365
  - iteratory, 694
  - manipulatory, 1022
  - nieformatowane wstawianie, 1021
  - obsługa błędów, 1020
  - obsługa błędów wejścia i wyjścia, 330
  - ofstream, 326
  - operacje wejściowe, 1021
  - operacje wyjściowe, 1022
  - operatory wejściowe, 339
  - ostream, 323, 325, 1018, 1019
  - ostreamstream, 365
  - otwieranie, 1019
  - plikowe, 326



- strumienie
    - separatory, 370
    - stan, 330
    - standardowa pętla wejściowa, 340
    - standardowe manipulatory, 1022
    - streambuf, 376
    - stringstream, 747
    - tekst, 750
    - tryby, 1020
    - wczytywanie pliku strukturalnego, 341
    - wczytywanie pojedynczej wartości, 333
    - wejście, 79, 322, 1021
    - wyjście, 65, 322, 323, 1022
    - znak kończący, 341
  - strumienie łańcuchowe, 365
    - formatowanie danych wyjściowych, 366
    - odczytywanie danych, 366
  - strumienie tokenów, 206
  - styl linii, 395, 397, 416
  - style programowania, 714, 715
    - programowanie obiektowe, 606
  - subclass, 458
  - suma logiczna, 110
  - superclass, 458
  - swap(), 1007, 1011
  - swap\_columns(), 794
  - swap\_ranges(), 1011
  - swap\_rows(), 793
  - switch, 115, 116, 880, 962
    - break, 116, 118
    - case, 116
    - etykiety, 116
  - sync\_with\_stdio(), 924, 1035
  - syntax analyzer, 189
  - system nazw, 242
  - system testing, 868
  - system(), 1040
  - systematyczne wyszukiwanie błędów, 867
  - systemy liczbowe, 355, 946
  - systemy nagłaśniające, 810
  - systemy o krytycznym znaczeniu, 858
  - systemy o ostrych ograniczeniach czasowych, 858
  - systemy wbudowane, 810
    - adresy, 825
    - alokacja pamięci, 819
    - Array\_ref, 830
    - bezpośrednia konserwacja, 812
    - bitset, 839
    - dziedziczenie, 832
    - interfejsy, 826
    - klasa interfejsu, 829
    - kontenery, 832
    - łagodne ograniczenia czasowe, 814
    - manipulowanie bitami, 844
    - natychniastowe reagowanie, 812
    - niekontrolowane konwersje, 825
    - nieprzerwana praca, 813
    - niezawodność, 811
    - odporność na błędy, 813
    - ograniczenia czasowe, 814
    - operacje bitowe, 835
    - ostre ograniczenia czasowe, 814
    - pamięć dynamiczna, 819
    - pamięć statyczna, 818
    - pamięć stosowa, 818
    - poła bitowe, 846
    - poprawność, 813
    - przewidywalność, 814, 815
    - rejstry urządzenia, 846
    - sprzęt, 813
    - standardy kodowania, 851
    - tablice, 825
    - wskaźniki, 825
    - współbieżność, 815
    - zarządzanie pamięcią, 818
    - zasoby, 812
    - zasoby fizyczne, 825
    - źle działające interfejsy, 826
  - szablony, 602, 607, 983
    - algorytmy, 605
    - alokator, 612
    - argumenty, 610, 984
    - dedukcja argumentów, 610
    - dziedziczenie, 607
    - funkcje, 605
    - generowanie typów, 604
    - klasy, 605
    - kompilacja kodu, 607
    - konkretyzacja, 604, 985
  - liczby całkowite jako parametry, 608
  - parametry, 603
  - polimorfizm parametryczny, 605
  - programowanie ogólne, 605
  - specjalizacja, 604, 985
  - tworzenie specjalizacji, 985
  - typy jako parametry, 603
  - typy składowe, 985
  - uogólnianie wektora, 610
  - zaczynanie, 159
  - szczegóły techniczne, 248
  - szkielet programu, 229
  - szkieletowy system telekomunikacyjny, 49
  - sztuczna inteligencja, 724
  - szyfr TEA, 848
  - szzyfrowanie, 847
- ## Ś
- ściśle zasady kodowania, 854
  - średnik, 69, 112
  - środowisko programistyczne, 70
- ## T
- tablica skrótów, 689
  - tablica symboli, 240
  - tablice, 563, 577, 587, 784, 825, 904, 967
    - dostęp do elementów, 578
    - dostosowywanie do biblioteki STL, 658
    - elementy, 577, 967
    - inicjowanie, 582
    - numeracja elementów, 577, 967
    - problemy ze wskaźnikami, 583
    - wskaźniki, 580
    - wskaźniki na elementy, 578
    - zakres, 967
  - tablice asocjacyjne, 681, 750
  - tablice mieszające, 660, 690
  - tablice skrótów, 681, 750
  - tablice wbudowane, 784
  - tablice wielowymiarowe, 784
  - styl języka C, 785



- tan(), 802, 1029
  - tanh(), 802, 1030
  - TB, 51
  - TEA, 719, 847
  - Technical Report, 658, 691
  - technika RAI, 622
  - technika wielokrotnego
    - wykorzystania, 712
  - techniki obliczeniowe, 780
  - techniki programowania, 34
  - techniki tworzenia obiektów, 526
  - Technische Hogeschool Eindhoven, 726
  - tekst, 130, 398, 428, 746
    - Unicode, 747
    - zestawy znaków, 747
  - tekst programu, 67
  - telefony, 48, 810
  - telekomunikacja, 48
  - template, 603, 608, 983
  - template argument, 157
  - template instantiation, 604, 985
  - terabajt, 51
  - term(), 482
  - test case, 168
  - testowanie, 55, 168, 221, 711, 799, 865, 867
    - algorytmy, 875
    - biała skrzynka, 868
    - czarna skrzynka, 868
    - dane wejściowe, 876
    - dane wyjściowe, 876
    - debugowanie, 891
    - dowody, 867
    - GUI, 883
    - jednostkowe, 868, 869, 886
    - kategorie testów, 872
    - klasy, 886
    - nie-algorytmy, 875
    - pętle, 879
    - poważne błędy, 870
    - prawdopodobne błędy, 870
    - program główny, 883
    - projektowanie pod kątem testowania, 890
    - przypadki testowe, 168, 873
    - raport o błędzie, 869
    - regresyjne, 868
    - rozgałęzianie, 880
    - sekwencje losowe, 874
    - specjalne przypadki, 871
    - strategia, 870
    - systemowe, 868, 882
    - wydajność, 891
    - wykrywanie przypadków łamania wymagań interfejsu, 889
    - zależności, 877
    - zarządzanie zasobami, 878
    - zasoby, 876
    - zastrzeżenie, 867
    - znajdowanie założeń, które się nie potwierdzają, 889
  - testy prawdopodobieństwa, 817
  - testy systemowe, 868, 882
  - TeX, 383
  - Text, 389, 408, 428
    - draw\_lines(), 429
  - text storage, 532
  - Text\_iterator, 650
  - THE, 726
  - this, 555, 974
  - throw, 151, 619, 621, 957, 986, 987
  - time(), 1039
  - time\_t, 1038
  - Tiny Encryption Algorithm, 847
  - tm, 1038
  - to\_string(), 748, 749
  - Token\_stream, 207
  - tokenize, 182
  - tokeny, 182
    - implementacja, 183
    - stosowanie, 185
    - wczytywanie, 209
  - tolower(), 369, 1024
  - toupper(), 369, 1024
  - transform(), 1009
  - transformata
    - Burrowsa-Wheelera, 719
  - transient bug, 535
  - transmisja sygnałów, 53
  - transmutacja, 922
  - Transparency, 416
  - transport, 47
  - treść funkcji, 66, 123
  - Troff, 383
  - try, 151, 234, 962
  - tryby otwierania plików, 361, 1032
  - tryby strumieni, 1020
  - try-catch, 987
  - turbiny wiatrowe, 810
  - Turbo Pascal, 728
  - tworzenie
    - klasy, 291
    - menu, 513
    - obiekty, 961, 976
    - podklasy, 461
    - program, 55, 1044
    - projekt, 1044
  - type generator, 604
  - typedef, 646, 656, 904, 918
  - typeid, 954
  - typy argumentów, 304
  - typy danych, 78, 80, 81, 92
    - bool, 80
    - char, 80, 93
    - double, 80, 93
    - enum, 300
    - int, 78, 80, 92
    - klasy, 972
    - kontrola typów, 94
    - konwersje, 111
    - konwersje bezpieczne dla typów, 95
    - konwersje niebezpieczne dla typów, 96
    - rzutowanie, 546
    - string, 80, 93
    - tablice, 967
    - unie, 983
    - valarray, 1031
    - void\*, 546
    - wbudowane, 965
    - wskaźniki, 965
    - wyliczenia, 972
    - zmiennoprzecinkowe, 965
  - typy parametryzowane, 605
  - typy składowe szablonów, 985
  - typy strumieniowe, 1019
  - typy wbudowane, 288
  - typy zdefiniowane przez użytkownika, 183, 288, 971
- ## U
- uczenie się, 29
  - UDT, 288
  - układ kodu, 163, 230, 855

układ obiektu, 459  
 układ równań liniowych, 796  
 ukrywanie danych, 716  
 ukrywanie szczegółów, 294  
 umiejętności programistyczne,  
 44  
 undefined, 945  
 ungetc(), 331  
 ungetc(), 1036  
 Unicode, 354, 747  
 unie, 983  
 uninitialized\_copy(), 1011  
 uninitialized\_fill(), 1011  
 union, 971  
 unique(), 1009, 1010  
 unique\_copy(), 668, 693, 695,  
 1010  
 unit testing, 868  
 University of California, 728  
 University of Cambridge  
 Computer Laboratory, 718  
 University of Texas, 726  
 Unix, 733  
 unordered\_map, 660, 681, 689,  
 690, 738, 1001  
 unordered\_multimap, 660, 681,  
 1001  
 unordered\_multiset, 660, 681,  
 1002  
 unordered\_set, 660, 681, 1002  
 unsetf(), 357  
 unsigned, 837, 965  
 unsigned int, 839  
 unsorted\_map, 690  
 unspecified, 945  
 uogólnianie kodu, 631  
 uogólnianie wektora, 610, 645  
 uogólnienie, 464  
 upper, 769, 1027  
 upper\_bound(), 699, 1007,  
 1012  
 uppercase, 1022  
 uruchamianie programu, 945,  
 1044, 1046  
 urządzenia, 104  
 kuchenne, 810  
 PDA, 810  
 sterujące wirówkami, 810  
 user-defined type, 183, 288  
 using, 280, 988  
 deklaracja, 280  
 dyrektywa, 280, 281, 988

usuwanie, 653  
 obiekty, 953, 976, 977  
 powtarzające się słowa, 87  
 usuwanie błędów, 71, 161  
 usuwanie nieużytków, 539  
 usuwanie z konsolidacją  
 pamięci, 821  
 utrzymanie, 54  
 utrzymywanie porządku, 696

## V

valarray, 662, 1002, 1031  
 valid, 944  
 value semantics, 570  
 value\_comp(), 1007  
 value\_type, 646, 659, 661, 1003  
 vector, 30, 126, 127, 132, 288,  
 526, 527, 543, 564, 593, 601,  
 653, 660, 784, 822, 904, 1001  
 capacity(), 598  
 dostęp do elementów, 544  
 elementy, 528  
 kopiowanie, 564  
 operator(), 576  
 operator[], 575  
 push\_back(), 127, 528, 599  
 reserve(), 598  
 resize(), 596  
 rozmiar, 528  
 size(), 130  
 Vector, 616  
 Vector\_ref, 409, 427, 1055  
 virtual, 451, 456, 980, 981  
 virtual function table, 459  
 virtual pointer, 459  
 virtual table, 459  
 Visual Studio, 1044  
 Add New Item, 1045  
 Application Settings, 1045  
 budowanie programu  
 wykonywalnego, 1046  
 Build Solution, 1046  
 Debug, 1046  
 dodawanie pliku  
 źródłowego C++  
 do projektu, 1045  
 FLTK, 1049  
 instalacja, 1044  
 kreator aplikacji Win32,  
 1045

New, 1044  
 Start Without Debugging,  
 1046  
 std\_lib\_facilities.h, 1045  
 tworzenie programu, 1044  
 tworzenie projektu, 1044  
 uruchamianie programu,  
 1044, 1046  
 Win32 Console Application,  
 1045  
 wprowadzanie kodu  
 źródłowego, 1045  
 zapisywanie programu, 1046  
 void, 262  
 void\*, 546, 965  
 vptr, 459  
 vtbl, 459, 460

## W

w, 1027  
 wait(), 504, 512  
 wait\_for\_button(), 386, 390,  
 393, 499  
 warstwa oprogramowania, 382  
 warstwowa technika budowy  
 aplikacji, 755  
 warstwy, 755  
 wartości, 80, 92  
 wartości brzegowe, 153  
 wartościowanie wyrażeń, 277  
 wartość mieszająca, 689  
 wartość obiektu, 295  
 wartość przybliżona funkcji  
 wykładniczej, 481  
 wartość skrótu, 689  
 wartość zwrotna funkcji, 261  
 warunki końcowe, 167  
 warunki wstępne, 165, 167  
 wczytywanie  
 dane, 333  
 liczby, 128, 210  
 pliki strukturalne, 341  
 pojedyncze wartości, 333  
 tokeny, 209  
 wejście, 66, 218, 322, 925, 1019,  
 1021  
 przyjmowanie na liczb  
 całkowitych, 356  
 wejście macierzy, 794  
 wejście-wyjście, 105

- wektor, 126, 153, 427, 526, 594, 653, 784
  - destruktory, 540
  - dostęp do elementów, 526, 544, 575
  - dostosowanie do biblioteki STL, 656
  - get(), 544
  - konstruktor kopiujący, 566
  - kopiowanie, 565
  - liczba elementów, 595
  - operacje, 570
  - pamięć, 526
  - powiększanie, 127, 526
  - problem stałych wektorów, 576
  - push\_back(), 127, 526
  - rozmiar, 526
  - set(), 544
  - size(), 526
  - technika RAII, 622
  - techniki tworzenia obiektów, 526
  - tworzenie, 127
  - typ elementów, 127
  - uogólnianie, 610, 645
  - vector, 127, 527
  - wyciek pamięci, 540
  - zmiana rozmiaru, 595, 596
  - zmiennność, 594
- wersja „1.0”, 224
- węzeł, 685
- WG21, 759
- Wheeler David, 718, 847
- while, 88, 119, 234, 962
- white-box testing, 868
- wiadomości e-mail, 751
- wiązanie, 446
- Widget, 502, 505, 1053
- widgety, 1056
  - In\_box, 507
  - menu, 507
  - Out\_box, 507
  - przyciski, 506
- wielkość liter, 91
- wielokąty, 385, 394, 420
- wielokropek, 970
- wielokrotne dziedziczenie, 979
- wielokrotne wykorzystanie, 712
- wiersze, 649
- Wilkes Maurice, 718
- Win32 Console Application, 1045
- Window, 389, 409, 425, 444, 1054
  - put\_on\_top(), 425
- windy, 810
- Wirth Niklaus, 727
- wirtualny destruktor, 543
- Witaj, świecie, 64
- wizualizacja danych, 472
- właściwości języka, 132
- Word, 383
- wprowadzanie
  - dane wierszami, 367
  - kod źródłowy, 1045
  - nazwy, 240
- write(), 364
- ws, 1023
- wskaźnik wirtualny, 459
- wskaźnik zerowy, 584
- wskaźniki, 459, 528, 529, 588, 825, 904, 949, 965
  - arytmetyka, 579
  - auto\_ptr, 621, 622
  - C, 923
  - dereferencja, 966
  - dostęp poprzez do obiektów, 534
  - dostęp poprzez usunięty wskaźnik, 585
  - dziedziczenie, 550
  - elementy tablicy, 578
  - indeksowanie, 966
  - inicjowanie, 584
  - na funkcje, 911
  - na obiekty, 545
  - operacje, 966
  - parametry, 549
  - problemy, 583
  - referencje, 548
  - tablice, 580
  - this, 555, 974
  - zakres, 535
  - zerowy wskaźnik, 537
  - zmiennie lokalne, 585
- współbieżność, 815
- współbieżny program, 815
- współrzędne, 388, 410
- wstawianie, 653, 1016
- wycieki pamięci, 538, 539, 540
- wyczerpanie pamięci, 560
- wydajność, 614, 615, 709, 891
  - kontrola czasu, 893
- wyjątki, 151, 613, 617, 903, 986
  - biblioteka standardowa C++, 996
  - błędy zakresu, 152
  - błędy zawężania zakresu, 156
  - catch, 151, 156
  - nieprawidłowe argumenty, 151
  - nieprawidłowe dane wejściowe, 154
  - obsługa, 151
  - out\_of\_range, 153, 154
  - przechwytywanie, 151
  - rozwijanie stosu, 987
  - runtime\_error, 154, 155
  - throw, 151, 987
  - try, 151
  - zasoby, 617
  - zgłaszanie, 151, 617, 986
- wyjście, 66, 218, 322, 924, 1019, 1022
  - wysyłanie liczb zmiennoprzecinkowych, 357
- wyjście macierzy, 794
- wyjście ze źle działającego kodu, 817
- wykluczające lub, 836
- wykładnik, 782
- wykonywanie obliczeń, 104, 105, 634
- wykorzystanie obiektów bez nazw, 426
- wykres funkcji, 394
- wykresy, 472, 486
- wykrywacz wycieków, 574
- wykrywanie przypadków łamania wymagań interfejsu, 889
- wyliczenia, 300, 972
  - definicja, 300
  - treść, 300
  - zastosowanie, 301
- wyłuskanie, 530
- wymiar, 785, 787
- wynik działania funkcji, 123
- wyniki, 105
- wypełnianie kolorem, 397

- wypróbowywanie drugiej wersji, 205
  - wypróbowywanie pierwszej wersji, 201
  - wyrażanie myśli, 711
  - wyrażanie obliczeń, 105
  - wyrażenia, 107, 195, 196, 857, 953
    - jednoargumentowe, 954
    - logiczne, 960
    - przecinek, 957
    - przyrostkowe, 954
  - wyrażenia regularne, 758, 759, 764
    - alnum, 768
    - alternatywa, 767
    - bad\_expression, 769
    - błędy, 769
    - dopasowywanie, 770, 771, 1025
    - grupowanie, 760, 767
    - klasy znaków, 768, 769, 1027
    - matches.size(), 762
    - notacje, 764
    - poddopasowanie, 762
    - powtórzenia, 766, 1027
    - przedziały znaków, 768
    - regex, 762
    - regex\_match(), 771, 1026
    - regex\_replace(), 1026
    - regex\_search(), 762, 770, 1026
    - rodzaje znaków, 765
    - składnia, 764
    - skrótów klas znaków, 1027
    - smatch, 762
    - symbol wieloznaczny, 1026
    - wyszukiwanie, 761, 770
    - wzorce, 759
    - zbiory znaków, 768
    - znaki, 764
    - znaki specjalne, 764, 1026
  - wyrażenia stałe, 108, 960
  - wyrażenie warunkowe, 258
  - wysyłanie na wyjście liczb całkowitych, 355
  - wysyłanie na wyjście liczb zmiennoprzecinkowych, 357
  - wyszukiwanie, 653, 669, 671, 689, 690, 697, 1012
    - binarne, 698, 866
    - wzorce, 761
  - wyszukiwanie błędów, 867
  - wyświetlanie obiektów na ekranie, 386
  - wywołanie C z poziomu C++ , 909
  - wywołanie C++ z poziomu C, 909
  - wywołanie funkcji, 261, 272, 674, 968
    - funkcje przeciążone, 969
    - funkcje składowe, 128
    - funkcje wirtualne, 459
  - wywołanie zwrotne, 497, 1052
- X**
- xdigit, 769, 1027
  - Xerox Palo Alto Research, 708
  - XML, 383
  - xor, 956
  - xscale, 490
- Y**
- yscale, 490
- Z**
- zachęta, 78
  - zachłanność na funkcje, 199
  - Zachowaj prostotę, głupku, 714
  - zagnieżdżone bloki, 260
  - zajmowanie pamięci, 617
  - zajmowanie zasobów jest inicjacją, 619, 620
  - zakres, 256, 950, 951
    - globalny, 257, 258, 951
    - instrukcje, 257, 951
    - klasy, 257, 951
    - lokalny, 257, 951
    - przeźreń nazw, 257, 951
  - zalecenia, 854
  - zależności, 877
  - zamiana dopasowanych ciągów, 1026
  - zamiana gramatyki w kod, 194
  - zamykanie
    - pliki, 327, 927, 1032
    - program, 945
  - zapisywanie
    - dane w pliku, 326, 328
    - sekwencje znaków, 757
  - zapobieganie wyciekiem pamięci, 539
  - zapobieganie wyciekiem zasobów, 817
  - zaprzyjaźnianie, 463
  - zarezerwowane identyfikatory, 950
  - zarządca zasobów, 617
  - zarządzanie, 47
  - zarządzanie pamięcią, 818
    - alokacja, 819
    - alternatywy dla ogólnej pamięci wolnej, 822
    - dealokacja, 819
    - fragmentacja, 819, 820
    - konsolidacja pamięci, 821
    - problemy z pamięcią wolną, 819
    - przewidywalność, 819
    - pula, 822, 823
    - stos, 822, 824
    - usuwanie nieużytków z konsolidacją pamięci, 821
  - zarządzanie zasobami, 541, 617, 878
  - zasada RAII, 586
  - zasady dobrego stylu kodowania, 852
  - zasady kolejności wykonywania działań, 108
  - zasoby, 538, 541, 542, 617, 818, 876
    - fizyczne, 825
    - wyjątki, 617
  - zastępowanie przez makro, 989
  - zawężające konwersje, 96, 98
  - zawężanie zakresu, 156
  - zbiory, 691
    - zastosowanie, 692
  - zbiór bitów, 838
  - zbiór linii, 412
  - zdefiniowany w implementacji, 944
  - zestaw wymagań, 177
  - zestawy znaków, 747

- zgłaszanie wyjątków, 151, 617, 986
- zgodność, 614
- zgodny, 944
- zintegrowane środowisko programistyczne, 34, 70
- ZIP, 1048
- zliczanie powtarzających się słów, 89
- złożone operatory przypisania, 89
- zmiana rozmiaru, 595, 596, 599
  - dodawanie przestrzeni dla nowych elementów, 598
  - ilość dostępnej wolnej przestrzeni, 598
  - przypisywanie, 600
  - push\_back(), 599
  - reprezentacja, 597
  - rezerwacja dodatkowych miejsc, 598
- zmiana stylu programowania, 852
- zmiana wielkości znaków, 369
- zmienna iteracyjna, 119
- zmienna kontrolna, 119
- zmiennne, 78, 80, 92, 236
  - alokacja w pamięci, 531
  - definicja, 79, 80
  - deklaracja, 252
  - domyślna inicjacja, 254
  - globalne, 277
  - kontrola typów, 94
  - nazwy, 90
  - przypisanie wartości, 86
  - typ danych, 80
  - wartość początkowa, 80
- znacznik struktury, 912
- znajdowanie elementu
  - o największej wartości, 639
- znak kończący, 341
- znaki, 368, 948, 1024
  - ASCII, 354
  - nieterminalne, 194
  - nowy wiersz, 79
  - specjalne, 949
  - terminalne, 194
- zrównoważone drzewo uporządkowane, 660
- zwalnianie pamięci, 618, 918
- zwracanie pamięci do obszaru wolnego, 538
- zwracanie wartości z funkcji, 263

## Ż

- źle działające interfejsy, 826
- źródła błędów, 141
- źródło danych, 322



# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ 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>



# Wykorzystaj wiedzę BJARNE STROUSTRUPA i pisz profesjonalne programy w C++!

Jeśli zależy Ci na tym, aby zdobyć rzetelną wiedzę i perfekcyjne umiejętności programowania z użyciem języka C++, powinieneś uczyć się od wybitnego eksperta i twórcy tego języka — Bjarne Stroustrupa, który zaprojektował i jako pierwszy zaimplementował C++. Podręcznik, który trzymasz w ręku, daje Ci szansę odkrycia wszelkich tajników tego języka, obszernie opisanego w międzynarodowym standardzie i obsługującego najważniejsze techniki programistyczne. C++ umożliwia pisanie wydajnego i eleganckiego kodu, a większość technik w nim stosowanych można przenieść do innych języków programowania.

Książka *Programowanie. Teoria i praktyka z wykorzystaniem C++* zawiera szczegółowy opis pojęć i technik programistycznych, a także samego języka C++, oraz przykłady kodu. Znajdziesz tu również omówienia zagadnień zaawansowanych, takich jak przetwarzanie tekstu i testowanie. Z tego podręcznika dowiesz się, na czym polega wywoływanie funkcji przeciążonych i dopasowywanie wyrażeń regularnych. Zobaczysz też, jaki powinien być standard kodowania. Poznasz sposoby projektowania klas graficznych i systemów wbudowanych, tajniki implementacji, wykorzystywania funkcji oraz indywidualizacji operacji wejścia i wyjścia. Korzystając z tego przewodnika, nauczysz się od samego mistrza pisać doskonale, wydajne i łatwe w utrzymaniu programy.

- ❖ *Techniki programistyczne*
- ❖ *Infrastruktura algorytmiczna*
- ❖ *Biblioteka standardowa C++*
- ❖ *Instrukcje sterujące i obsługa błędów*
- ❖ *Implementacja i wykorzystanie funkcji*
- ❖ *Kontrola typów*
- ❖ *Interfejsy klas*
- ❖ *Indywidualizacja operacji wejścia i wyjścia*
- ❖ *Projektowanie klas graficznych*
- ❖ *Wektory i pamięć wolna*
- ❖ *Kontenery i iteratory*
- ❖ *Programowanie systemów wbudowanych*
- ❖ *Makra*



**Dr BJARNE STROUSTRUP**

zaprojektował i jako pierwszy zaimplementował język C++.

Stroustrup kieruje katedrą informatyki w College of Engineering na Uniwersytecie

Texas A&M, jest członkiem amerykańskiej National Academy of Engineering oraz AT&T. Jest także założycielem i członkiem komisji standaryzacyjnej ISO w sprawach języka C++.

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa

Nr katalogowy: 14343



Księgarnia internetowa  
<http://helion.pl>



Zamówienia telefoniczne:  
**0 801 339900**



**0 601 339900**



**Helion**

Sprawdź najnowsze promocje:

📌 <http://helion.pl/promocje>

Książki najchętniej czytane:

📌 <http://helion.pl/bestsellery>

Zamów informacje o nowościach:

📌 <http://helion.pl/nowosci>

Helion SA  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
<http://helion.pl>

sięgnij po WIĘCEJ



KOD KORZYŚCI

ISBN 978-83-246-7720-7



9 788324 677207

Cena: 129,00 zł