

Poznaj najskrytsze  
zakamarki C#!



Jon Skeet

# C#

OD PODSZEWKI

WYDANIE  
**2.**

Tytuł oryginału: C# in Depth, Second Edition

Tłumaczenie: Janusz Grabis

Projekt okładki: Studio Gravite / Olsztyn

Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

ISBN: 978-83-246-3921-2

Original edition copyright © 2011 by Manning Publications Co.

All rights reserved.

Polish edition copyright © 2012 by HELION SA.

All rights reserved.

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 the Publisher.

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/cshop2>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

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

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

# Spis treści

<b>Przedmowa</b>	<b>17</b>
<b>Wstęp</b>	<b>19</b>
<b>Podziękowania</b>	<b>21</b>
<b>O książce</b>	<b>23</b>
<b>Część I Przygotowanie do wyprawy</b>	<b>31</b>
<b>1. Nieustająca metamorfoza C#</b>	<b>33</b>
<b>1.1. Na początek prosty typ danych</b>	<b>34</b>
1.1.1. Typ Product w C# 1	35
1.1.2. Kolekcje o mocnym typie w C# 2	36
1.1.3. Właściwości implementowane automatycznie w C# 3	37
1.1.4. Argumenty nazwane w C# 4	38
<b>1.2. Sortowanie i filtrowanie</b>	<b>39</b>
1.2.1. Sortowanie produktów po nazwie	40
1.2.2. Wyszukiwanie elementów w kolekcjach	43
<b>1.3. Obsługa braku danych</b>	<b>44</b>
1.3.1. Reprezentacja nieznaney ceny	45
1.3.2. Parametry opcjonalne i wartości domyślne	46
<b>1.4. Wprowadzenie do LINQ</b>	<b>46</b>
1.4.1. Wyrażenia kwerendowe i zapytania wewnętrzprocesowe	47
1.4.2. Wykonywanie zapytań na XML-u	48
1.4.3. LINQ dla SQL-a	49

1.5.	<b>COM i typy dynamiczne</b> .....	<b>50</b>
1.5.1.	Uproszczenie współpracy z COM .....	50
1.5.2.	Współpraca z językiem dynamicznym .....	51
1.6.	<b>Analiza zawartości środowiska .NET</b> .....	<b>52</b>
1.6.1.	Język C# .....	53
1.6.2.	Środowisko wykonania .....	53
1.6.3.	Biblioteki środowiska .....	54
1.7.	<b>Jak zmienić Twój kod w kod doskonały?</b> .....	<b>54</b>
1.7.1.	Prezentacja pełnych programów w formie fragmentów kodu .....	55
1.7.2.	Kod dydaktyczny nie jest kodem produkcyjnym .....	56
1.7.3.	Twój nowy najlepszy przyjaciel — specyfikacja języka .....	56
1.8.	<b>Podsumowanie</b> .....	<b>57</b>
<b>2.</b>	<b>Rdzeń systemu — C# 1</b> .....	<b>59</b>
2.1.	<b>Delegaty</b> .....	<b>60</b>
2.1.1.	Przepis na prosty delegat .....	61
2.1.2.	Łączenie i usuwanie delegatów .....	66
2.1.3.	Dygresja na temat zdarzeń .....	67
2.1.4.	Podsumowanie delegatów .....	68
2.2.	<b>Charakterystyka systemu typów</b> .....	<b>69</b>
2.2.1.	Miejsce C# w świecie systemów typów .....	69
2.2.2.	Kiedy system typów C# 1 jest niedostatecznie bogaty? .....	73
2.2.3.	Podsumowanie charakterystyki systemu typów .....	75
2.3.	<b>Typy wartościowe i referencyjne</b> .....	<b>76</b>
2.3.1.	Wartości i referencje w rzeczywistym świecie .....	76
2.3.2.	Podstawy typów referencyjnych i wartościowych .....	77
2.3.3.	Obalenie mitów .....	79
2.3.4.	Opakowywanie i odpakowywanie .....	81
2.3.5.	Podsumowanie typów wartościowych i referencyjnych .....	82
2.4.	<b>Więcej niż C# 1 — nowe cechy na solidnym fundamencie</b> .....	<b>83</b>
2.4.1.	Cechy związane z delegatami .....	83
2.4.2.	Cechy związane z systemem typów .....	85
2.4.3.	Cechy związane z typami wartościowymi .....	87
2.5.	<b>Podsumowanie</b> .....	<b>88</b>
<b>Część II</b>	<b>C# 2 — rozwiązanie problemów C# 1</b> .....	<b>89</b>
<b>3.</b>	<b>Parametryzowanie typów i metod</b> .....	<b>91</b>
3.1.	<b>Czemu potrzebne są typy generyczne?</b> .....	<b>92</b>
3.2.	<b>Proste typy generyczne do codziennego użycia</b> .....	<b>94</b>
3.2.1.	Nauka przez przykład — słownik typu generycznego .....	94
3.2.2.	Typy generyczne i parametry typów .....	96
3.2.3.	Metody generyczne i czytanie deklaracji generycznych .....	100
3.3.	<b>Wkraczamy głębiej</b> .....	<b>103</b>
3.3.1.	Ograniczenia typów .....	104
3.3.2.	Interfejs argumentów typu dla metod generycznych .....	109
3.3.3.	Implementowanie typów generycznych .....	110
3.4.	<b>Zaawansowane elementy typów generycznych</b> .....	<b>116</b>
3.4.1.	Pola i konstruktory statyczne .....	117
3.4.2.	Jak kompilator JIT traktuje typy generyczne .....	119

3.4.3.	Iteracja przy użyciu typów generycznych .....	121
3.4.4.	Refleksja i typy generyczne .....	123
<b>3.5.</b>	<b>Ograniczenia typów generycznych C# i innych języków .....</b>	<b>128</b>
3.5.1.	Brak wariacji typów generycznych .....	128
3.5.2.	Brak ograniczeń operatorów lub ograniczeń „numerycznych” .....	133
3.5.3.	Brak generycznych właściwości, indeksów i innych elementów typu .....	135
3.5.4.	Porównanie z C++ .....	136
3.5.5.	Porównanie z typami generycznymi Javy .....	137
<b>3.6.</b>	<b>Podsumowanie .....</b>	<b>139</b>
<b>4.</b>	<b>Wyrażanie „niczego” przy użyciu typów nullowalnych .....</b>	<b>141</b>
<b>4.1.</b>	<b>Co robisz, kiedy zwyczajnie nie masz wartości? .....</b>	<b>142</b>
4.1.1.	Czemu zmienne typu wartościowego nie mogą zawierać null? .....	142
4.1.2.	Metody reprezentacji wartości null w C# 1 .....	143
<b>4.2.</b>	<b>System.Nullable&lt;T&gt; i System.Nullable .....</b>	<b>145</b>
4.2.1.	Wprowadzenie Nullable<T> .....	146
4.2.2.	Opakowywanie i odpakowywanie Nullable<T> .....	149
4.2.3.	Równość instancji Nullable<T> .....	150
4.2.4.	Wsparcie ze strony niegenerycznej klasy Nullable .....	151
<b>4.3.</b>	<b>Składnia C# 2 dla typów nullowalnych .....</b>	<b>152</b>
4.3.1.	Modyfikator ? .....	152
4.3.2.	Przypisania i porównania z null .....	154
4.3.3.	Konwersje i operatory nullowalne .....	156
4.3.4.	Logika typów nullowalnych .....	159
4.3.5.	Stosowanie operatora as z typami nullowalnymi .....	161
4.3.6.	Nullowy operator koalescencyjny .....	161
<b>4.4.</b>	<b>Nowatorskie zastosowania typów nullowalnych .....</b>	<b>164</b>
4.4.1.	Testowanie operacji bez parametrów zwrotnych .....	165
4.4.2.	Bezbolesne porównania przy użyciu nullowalnego operatora koalescencyjnego .....	167
<b>4.5.</b>	<b>Podsumowanie .....</b>	<b>169</b>
<b>5.</b>	<b>Przyspieszone delegaty .....</b>	<b>171</b>
<b>5.1.</b>	<b>Pożegnanie z dziwną składnią delegatów .....</b>	<b>173</b>
<b>5.2.</b>	<b>Konwersja grupy metod .....</b>	<b>174</b>
<b>5.3.</b>	<b>Kowariancja i kontrawariancja .....</b>	<b>176</b>
5.3.1.	Kontrawariancja parametrów delegatów .....	176
5.3.2.	Kowariancja typu zwracanego delegata .....	178
5.3.3.	Małe ryzyko niekompatybilności .....	179
<b>5.4.</b>	<b>Akcje delegatów tworzone w miejscu przy użyciu metod anonimowych .....</b>	<b>180</b>
5.4.1.	Rozpoczynamy prosto — operując na parametrach .....	181
5.4.2.	Zwracanie wartości z metod anonimowych .....	183
5.4.3.	Ignorowanie parametrów typu .....	185
<b>5.5.</b>	<b>Przechwytywanie zmiennych w metodach anonimowych .....</b>	<b>186</b>
5.5.1.	Definicja domknięcia i różnych typów zmiennych .....	187
5.5.2.	Analiza zachowania zmiennych przechwyconych .....	188
5.5.3.	Jaki cel mają zmienne przechwycone? .....	189
5.5.4.	Przedłużone życie zmiennych przechwyconych .....	190
5.5.5.	Instancje zmiennej lokalnej .....	192
5.5.6.	Mieszanka zmiennych współdzielonych i odrębnych .....	194
5.5.7.	Wskazówki odnośnie do zmiennych przechwyconych i podsumowanie .....	196
<b>5.6.</b>	<b>Podsumowanie .....</b>	<b>197</b>

<b>6.</b>	<b>Implementowanie iteratorów w prosty sposób</b>	<b>199</b>
6.1.	C# 1 — udręka ręcznego pisania iteratorów	201
6.2.	C# 2 — proste iteratory z wyrażeniami yield	204
6.2.1.	Wprowadzenie do uproszczeń iteratorów i wyrażenia yield return	204
6.2.2.	Wizualizacja toku wykonania iteratora	206
6.2.3.	Zaawansowany tok wykonania iteratora	208
6.2.4.	Dziwactwa w implementacji	211
6.3.	Przykłady z życia	213
6.3.1.	Iterowanie po danych w harmonogramie	213
6.3.2.	Iterowanie po wierszach pliku	214
6.3.3.	Leniwe filtrowanie elementów z użyciem uproszczenia iteratora i predykatu	217
6.4.	Pseudosynchroniczny kod z użyciem biblioteki CCR	219
6.5.	Podsumowanie	222
<b>7.</b>	<b>Pozostałe cechy C# 2</b>	<b>225</b>
7.1.	Typy częściowe	227
7.1.1.	Tworzenie typu składającego się z kilku plików	227
7.1.2.	Użycie typów częściowych	229
7.1.3.	Metody częściowe — tylko w C# 3	231
7.2.	Klasy statyczne	233
7.3.	Niezależny poziom dostępu do getterów i setterów właściwości	235
7.4.	Aliasy przestrzeni nazw	237
7.4.1.	Kwalifikowanie aliasów przestrzeni nazw	238
7.4.2.	Aliasy globalnej przestrzeni nazw	239
7.4.3.	Aliasy zewnętrzne	240
7.5.	Dyrektywy pragma	241
7.5.1.	Pragmy ostrzeżeń	242
7.5.2.	Pragmy sum kontrolnych	243
7.6.	Bufory o stałym rozmiarze w kodzie niezarządzanym	243
7.7.	Udostępnianie wybranych elementów innym modułom	245
7.7.1.	Zaprzyżnione moduły w prostym przypadku	246
7.7.2.	Do czego warto używać InternalsVisibleTo?	247
7.7.3.	InternalsVisibleTo i moduły podpisane	247
7.8.	Podsumowanie	248
<b>Część III</b>	<b>C# 3 — rewolucja w metodzie programowania</b>	<b>251</b>
<b>8.</b>	<b>Redukcja nadmiarowości przez zmyślny kompilator</b>	<b>253</b>
8.1.	Właściwości implementowane automatycznie	255
8.2.	Zmienne lokalne o typie niejawnym	257
8.2.1.	Zastosowanie var do deklarowania zmiennych lokalnych	257
8.2.2.	Ograniczenia w typach niejawnych	259
8.2.3.	Zalety i wady typów niejawnych	260
8.2.4.	Zalecenia	261
8.3.	Uproszczona inicjalizacja	262
8.3.1.	Definicja prostych typów	262
8.3.2.	Ustawianie prostych właściwości	263
8.3.3.	Ustawianie właściwości obiektów zgnieżdzonych	265
8.3.4.	Inicjalizatory kolekcji	266
8.3.5.	Zastosowanie inicjalizatorów	269

8.4.	Tablice o typie niejawnym .....	270
8.5.	Typy anonimowe .....	272
8.5.1.	Pierwsze spotkania z gatunkiem anonimowym .....	272
8.5.2.	Części składowe typów anonimowych .....	274
8.5.3.	Inicjalizatory odwzorowujące .....	275
8.5.4.	Jaki to ma sens? .....	276
8.6.	Podsumowanie .....	277
<b>9.</b>	<b>Wyrażenia lambda i drzewa wyrażeń .....</b>	<b>279</b>
9.1.	Wyrażenia lambda i delegaty .....	281
9.1.1.	Przygotowanie — wprowadzenie delegatów typu Func<...> .....	281
9.1.2.	Pierwsze przekształcenie na wyrażenie lambda .....	282
9.1.3.	Używanie pojedynczego wyrażenia jako ciała .....	283
9.1.4.	Lista parametrów o typie niejawnym .....	284
9.1.5.	Skrót dla pojedynczego parametru .....	284
9.2.	Proste przykłady użycia List<T> i zdarzeń .....	286
9.2.1.	Filtrowanie, sortowanie i operacje na listach .....	286
9.2.2.	Logowanie w metodach obsługi zdarzeń .....	288
9.3.	Drzewa wyrażeń .....	289
9.3.1.	Budowanie drzew wyrażeń w sposób programistyczny .....	289
9.3.2.	Kompilowanie drzew wyrażeń do postaci delegatów .....	291
9.3.3.	Konwersja wyrażeń lambda C# na drzewa wyrażeń .....	292
9.3.4.	Drzewa wyrażeń w sercu LINQ .....	296
9.3.5.	Drzewa wyrażeń poza LINQ .....	297
9.4.	Zmiany we wnioskowaniu typów i rozwiązywaniu przeciążeń .....	299
9.4.1.	Powód do zmiany — usprawnienie wywołań metod generycznych .....	300
9.4.2.	Wnioskowanie typu zwracanego funkcji anonimowych .....	301
9.4.3.	Dwufazowe wnioskowanie typu .....	302
9.4.4.	Wybieranie odpowiedniego przeciążenia metody .....	306
9.4.5.	Podsumowanie wnioskowania typów i rozwiązywania przeciążeń .....	308
9.5.	Podsumowanie .....	308
<b>10.</b>	<b>Metody rozszerzające .....</b>	<b>311</b>
10.1.	Życie przed metodami rozszerzającymi .....	312
10.2.	Składnia metod rozszerzających .....	315
10.2.1.	Deklarowanie metod rozszerzających .....	315
10.2.2.	Wywoływanie metod rozszerzających .....	316
10.2.3.	Wykrywanie metod rozszerzających .....	318
10.2.4.	Wywołanie metody na pustej referencji .....	319
10.3.	Metody rozszerzające w .NET 3.5 .....	321
10.3.1.	Pierwsze kroki z Enumerable .....	321
10.3.2.	Filtrowanie z użyciem Where i spinania wywołań metod .....	323
10.3.3.	Antrakt: czy metody Where nie widzieliśmy już wcześniej? .....	325
10.3.4.	Projekcja przy użyciu metody Select i typów anonimowych .....	326
10.3.5.	Sortowanie przy użyciu metody OrderBy .....	327
10.3.6.	Przykłady logiki biznesowej z użyciem łańcuchowania .....	328
10.4.	Wskazówki i uwagi odnośnie do użycia .....	330
10.4.1.	„Rozszerzanie świata” i wzbogacanie interfejsów .....	330
10.4.2.	Płynne interfejsy .....	331
10.4.3.	Rozważne użycie metod rozszerzających .....	332
10.5.	Podsumowanie .....	334

<b>11. Wyrażenia kwerendowe i LINQ dla Obiektów</b>	<b>335</b>
11.1. Wprowadzenie do LINQ	336
11.1.1. Podstawowe koncepcje w LINQ	336
11.1.2. Definiowanie przykładowego modelu danych	341
11.2. Prosty początek — wybieranie elementów	343
11.2.1. Rozpoczynanie od źródła i kończenie na selekcji	343
11.2.2. Translacja kompilatora jako podstawa wyrażeń kwerendowych	344
11.2.3. Zmienne zakresu i projekcje nietrywialne	347
11.2.4. Cast, OfType i zmienne zakresu o typie jawnym	349
11.3. Filtrowanie i porządkowanie sekwencji	351
11.3.1. Filtrowanie przy użyciu klauzuli where	351
11.3.2. Zdegenerowane wyrażenia kwerendowe	352
11.3.3. Porządkowanie przy użyciu klauzuli orderby	353
11.4. Klauzule let i identyfikatory przezroczyste	356
11.4.1. Wprowadzenie do wykonania pośredniego z użyciem let	356
11.4.2. Identyfikatory przezroczyste	357
11.5. Złączenia	359
11.5.1. Złączenia wewnętrzne korzystające z klauzul join	359
11.5.2. Złączenia grupowe z użyciem klauzul join ... into	363
11.5.3. Złączenia krzyżowe i spłaszczanie sekwencji przy użyciu wielokrotnych klauzul from	366
11.6. Grupowania i kontynuacje	369
11.6.1. Grupowanie przy użyciu klauzuli group ... by	369
11.6.2. Kontynuacje zapytań	373
11.7. Wybór pomiędzy wyrażeniami kwerendowymi a notacją kropkową	375
11.7.1. Operacje wymagające notacji kropkowej	376
11.7.2. Wyrażenia kwerendowe, dla których prostszym rozwiązaniem może się okazać notacja kropkowa	377
11.7.3. Gdzie wyrażenia kwerendowe lśnią?	377
11.8. Podsumowanie	379
<b>12. LINQ — nie tylko kolekcje</b>	<b>381</b>
12.1. Odpytywanie bazy danych przez LINQ dla SQL-a	382
12.1.1. Zaczynamy od bazy danych i modelu	383
12.1.2. Zapytania wstępne	385
12.1.3. Zapytania wymagające złączeń	388
12.2. Translacje przy użyciu IQueryable i IQueryProvider	390
12.2.1. Wprowadzenie do IQueryable<T> i związanych z nim interfejsów	391
12.2.2. Prototyp — implementacja interfejsów wykonująca wpisy w dzienniku	393
12.2.3. Spajanie wszystkiego razem — metody rozszerzające typu Queryable	395
12.2.4. Udawany dostawca w działaniu	397
12.2.5. Podsumowanie IQueryable	398
12.3. Interfejsy zaprzyjaźnione z LINQ i LINQ dla XML-a	399
12.3.1. Rdzenne typy LINQ dla XML-a	399
12.3.2. Konstrukcja deklaratywna	401
12.3.3. Zapytania na pojedynczych węzłach	404
12.3.4. Operatory zapytań spłaszczonych	406
12.3.5. Praca w harmonii z LINQ	407



12.4.	<b>Zastąpienie LINQ dla Obiektów Równoległym LINQ</b> .....	408
12.4.1.	Kreślenie zbioru Mandelbrota przez pojedynczy wątek .....	409
12.4.2.	Wprowadzenie ParallelEnumerable, ParallelQuery i AsParallel .....	410
12.4.3.	Podkreślanie zapytań równoległych .....	411
12.5.	<b>Odwroćenie modelu zapytania przy użyciu LINQ dla Rx</b> .....	413
12.5.1.	IObservable<T> i IObservable<T> .....	414
12.5.2.	Zaczynamy (ponownie) łagodnie .....	416
12.5.3.	Odpytywanie obiektów obserwowalnych .....	417
12.5.4.	Jaki to wszystko ma sens? .....	419
12.6.	<b>Rozszerzanie LINQ dla Obiektów</b> .....	420
12.6.1.	Wytyczne odnośnie do projektu i implementacji .....	421
12.6.2.	Proste rozszerzenie — wybieranie losowego elementu .....	422
12.7.	<b>Podsumowanie</b> .....	424
<b>Część IV C# 4 — dobra współpraca z innymi interfejsami</b>		<b>427</b>
13.	<b>Małe zmiany dla uproszczenia kodu</b>	<b>429</b>
13.1.	<b>Parametry opcjonalne i argumenty nazwane</b> .....	<b>430</b>
13.1.1.	Parametry opcjonalne .....	430
13.1.2.	Argumenty nazwane .....	437
13.1.3.	Złożenie dwóch cech w całość .....	441
13.2.	<b>Usprawnienia we współpracy z COM</b> .....	<b>446</b>
13.2.1.	Horror automatyzacji Worda przed C# 4 .....	446
13.2.2.	Zemsta parametrów opcjonalnych i argumentów nazwanych .....	447
13.2.3.	Kiedy parametr ref nie jest parametrem ref? .....	448
13.2.4.	Wywoływanie indeksów nazwanych .....	449
13.2.5.	Łączenie głównych bibliotek COM-owych .....	451
13.3.	<b>Wariancja typów generycznych dla interfejsów i delegatów</b> .....	<b>453</b>
13.3.1.	Typy wariacji: kowariancja i kontrawariancja .....	454
13.3.2.	Użycie wariacji w interfejsach .....	455
13.3.3.	Zastosowanie wariacji w delegatach .....	458
13.3.4.	Złożone sytuacje .....	459
13.3.5.	Restrykcje i uwagi .....	461
13.4.	<b>Mikroskopijne zmiany w blokadach i zdarzeniach w formie pól</b> .....	<b>465</b>
13.4.1.	Solidne blokowanie .....	465
13.4.2.	Zmiany w zdarzeniach w formie pól .....	467
13.5.	<b>Podsumowanie</b> .....	<b>467</b>
14.	<b>Dynamiczne wiązanie w języku statycznym</b>	<b>469</b>
14.1.	<b>Co? Kiedy? Dlaczego? Jak?</b> .....	<b>471</b>
14.1.1.	Czym są typy dynamiczne? .....	471
14.1.2.	Kiedy typy dynamiczne są użyteczne i dlaczego? .....	472
14.1.3.	W jaki sposób C# zapewnia typy dynamiczne? .....	474
14.2.	<b>Pięciominutowy przewodnik po typie dynamic</b> .....	<b>474</b>
14.3.	<b>Przykłady użycia typów dynamicznych</b> .....	<b>477</b>
14.3.1.	COM w ogólności i Microsoft Office w szczególności .....	477
14.3.2.	Języki dynamiczne, takie jak IronPython .....	479
14.3.3.	Typy dynamiczne w kodzie całkowicie zarządzanym .....	484
14.4.	<b>Zaglądamy pod maskę</b> .....	<b>490</b>
14.4.1.	Wprowadzenie do DLR .....	491
14.4.2.	Fundamentalne koncepcje DLR .....	493

14.4.3.	Jak kompilator C# obsługuje słowo dynamic?	496
14.4.4.	Kompilator C# staje się jeszcze sprytniejszy	500
14.4.5.	Ograniczenia kodu dynamicznego	503
<b>14.5.</b>	<b>Implementacja zachowania dynamicznego</b>	<b>506</b>
14.5.1.	Użycie klasy ExpandableObject	506
14.5.2.	Użycie klasy DynamicObject	511
14.5.3.	Implementacja IDynamicMetaObjectProvider	518
<b>14.6.</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>522</b>
<b>15.</b>	<b>Jaśniejsze wyrażanie kodu przy użyciu kontraktów kodu</b>	<b>523</b>
15.1.	Życie przed kontraktami kodu	525
15.2.	Wprowadzenie do kontraktów kodu	527
15.2.1.	Warunki wstępne	529
15.2.2.	Warunki końcowe	530
15.2.3.	Inwarianty	531
15.2.4.	Asercje i założenia	533
15.2.5.	Kontrakty legacyjne	534
15.3.	Przepisywanie kodu binarnego przez ccrewrite i crefgen	536
15.3.1.	Proste przepisywanie	536
15.3.2.	Dziedziczenie kontraktów	538
15.3.3.	Referencyjne moduły kontraktów	541
15.3.4.	Zachowanie w przypadku porażki	543
15.4.	Sprawdzanie statyczne	545
15.4.1.	Wprowadzenie do analizy statycznej	545
15.4.2.	Zobowiązania niejawne	548
15.4.3.	Selektywne włączanie opcji	551
15.5.	Dokumentowanie kodu przy użyciu ccdocgen	554
15.6.	Kontrakty w praktyce	556
15.6.1.	Filozofia — czym jest kontrakt?	557
15.6.2.	Jak mam zacząć?	558
15.6.3.	Opcje, wszędzie opcje	559
15.7.	Podsumowanie	562
<b>16.</b>	<b>Dokąd teraz?</b>	<b>565</b>
16.1.	C# — połączenie tradycji z nowoczesnością	566
16.2.	Spotkanie .NET z informatyką	567
16.3.	Świat informatyki	568
16.4.	Pożegnanie	569
<b>Dodatki</b>		<b>571</b>
<b>A</b>	<b>Standardowe operatory kwerendowe LINQ</b>	<b>573</b>
A.1.	Agregacja	574
A.2.	Konkatenacja	575
A.3.	Konwersja	575
A.4.	Operatory jednoelementowe	577
A.5.	Równość	578
A.6.	Generacja	579
A.7.	Grupowanie	580
A.8.	Złączenia	580
A.9.	Partycjonowanie	582

A.10.	Projekcja .....	582
A.11.	Kwantyfikatory .....	583
A.12.	Filtrowanie .....	584
A.13.	Operatory bazujące na zbiorach .....	584
A.14.	Sortowanie .....	585
<b>B</b>	<b>Kolekcje generyczne w .NET</b> .....	<b>587</b>
B.1.	Interfejsy .....	588
B.2.	Listy .....	590
B.2.1.	List<T> .....	590
B.2.2.	Tablice .....	591
B.2.3.	LinkedList<T> .....	592
B.2.4.	Collection<T>, BindingList<T>, ObservableCollection<T> i KeyedCollection<TKey, TItem> .....	593
B.2.5.	ReadOnlyCollection<T> i ReadOnlyObservableCollection<T> .....	594
B.3.	Słowniki .....	594
B.3.1.	Dictionary<TKey, TValue> .....	594
B.3.2.	SortedList<TKey, TValue> i SortedDictionary<TKey, TValue> .....	595
B.4.	Zbiory .....	596
B.4.1.	HashSet<T> .....	597
B.4.2.	SortedSet<T> (.NET 4) .....	597
B.5.	Queue<T> i Stack<T> .....	598
B.5.1.	Queue<T> .....	598
B.5.2.	Stack<T> .....	598
B.6.	Kolekcje konkurencyjne (.NET 4) .....	598
B.6.1.	IProducerConsumerCollection<T> i BlockingCollection<T> .....	599
B.6.2.	ConcurrentBag<T>, ConcurrentQueue<T>, ConcurrentStack<T> .....	600
B.6.3.	ConcurrentDictionary<TKey, TValue> .....	600
B.7.	Podsumowanie .....	600
<b>C</b>	<b>Podsumowanie wersji środowisk .NET</b> .....	<b>603</b>
C.1.	Główne wersje dystrybucyjne środowiska typu desktop .....	604
C.2.	Cechy języka C# .....	605
C.2.1.	C# 2.0 .....	605
C.2.2.	C# 3 .....	605
C.2.3.	C# 4.0 .....	606
C.3.	Biblioteki środowiska .....	606
C.3.1.	.NET 2.0 .....	606
C.3.2.	.NET 3.0 .....	606
C.3.3.	.NET 3.5 .....	607
C.3.4.	.NET 4 .....	607
C.4.	Cechy środowiska uruchomieniowego (CLR) .....	608
C.4.1.	CLR 2.0 .....	608
C.4.2.	CLR 4.0 .....	609
C.5.	Inne rodzaje środowiska uruchomieniowego .....	609
C.5.1.	Compact Framework .....	609
C.5.2.	Silverlight .....	610
C.5.3.	Micro Framework .....	611
C.6.	Podsumowanie .....	611



# 3

## *Parametryzowanie typów i metod*

### **Ten rozdział omawia:**

- ◆ typy i metody generyczne,
- ◆ interfejs typów dla metod generycznych,
- ◆ ograniczenia typów,
- ◆ refleksję i typy generyczne,
- ◆ zachowanie środowiska CLR,
- ◆ ograniczenia typów generycznych,
- ◆ porównanie z innymi językami.

Oto prawdziwa historia<sup>1</sup>: pewnego dnia ja i moja żona robiliśmy cotygodniowe zakupy. Tuż przed naszym wyjazdem usłyszałem pytanie, czy mam listę. Potwierdziłem, że mam listę, i pojechaliśmy. Dopiero kiedy byliśmy już w sklepie, na jaw wyszła nasza pomyłka. Moja żona pytała o listę *zakupów*, podczas gdy ja wziąłem ze sobą listę zmyślnych cech C# 2. Sprzedawca był trochę zdziwiony, kiedy zapytaliśmy go, czy nie ma przypadkiem do sprzedania trochę metod anonimowych.

Gdybyśmy tylko mogli wyrazić się trochę jaśniej! Gdyby tylko moja żona mogła w jakiś sposób przekazać mi, że chce, abym wziął ze sobą listę rzeczy, które chcemy kupić! Gdybyśmy tylko mieli typy generyczne...

Dla większości programistów typy generyczne stanowią najważniejszą nową cechę C# 2. Poprawiają wydajność, sprawiają, że kod jest bardziej ekspresyjny, oraz przenoszą sporą dawkę zabezpieczeń z czasu wykonania do czasu kompilacji. W największym skrócie typy generyczne pozwalają na *parametryzowanie* typów i metod. Tak jak zwyczajne wywołania metod posiadają parametry wyrażające *wartości* przekazywane do środka, tak typy generyczne posiadają parametry określające, jakich *typów* użyć do ich konstrukcji. Brzmi to trochę mgliście — jeśli do tej pory nie miałeś do czynienia z typami generycznymi, być może będziesz się musiał dłużej zatrzymać przy tym temacie. Mogę się jednak założyć, że kiedy zrozumiesz podstawową ideę, pokochasz typy generyczne.

W tym rozdziale zajmiemy się użyciem typów i metod generycznych oferowanych przez środowisko lub biblioteki innych dostawców, a także omówimy, jak napisać własne. Po drodze dowiemy się, jak typy generyczne współdziałają z wywołaniami refleksyjnymi interfejsu programistycznego, oraz poznamy kilka detali odnośnie do sposobu obsługi typów generycznych przez środowisko wykonawcze. Na koniec rozdziału wspomnę o kilku najczęściej spotykanych ograniczeniach typów generycznych z możliwymi obejściami oraz porównam typy generyczne C# z podobnymi mechanizmami w innych językach programowania.

Na początku musimy jednak zrozumieć problemy, jakie stały się podstawą do opracowania typów generycznych.

### 3.1. Czemu potrzebne są typy generyczne?

---

Jeżeli posiadasz w swoich zasobach kod napisany przy użyciu C# 1, przyjrzyj mu się i policz rzutowania — szczególnie w kodzie, który intensywnie korzysta z kolekcji. Nie zapominaj, że pod niemal każdą pętlą `foreach` kryje się niejawne rzutowanie. Kiedy używasz typów zaprojektowanych do pracy z wieloma różnymi typami danych, nieuniknioną konsekwencją jest duża liczba rzutowań — cichego sposobu informowania kompilatora, aby się nie przejmował, założył, że wszystko jest w najlepszym porządku, i potraktował napotkane wyrażenie tak, jakby miało *ten* szczególny typ danych. Wykorzystanie dowolnego interfejsu programistycznego, który używa typu `object` do przekazywania parametrów wejściowych lub zwracania wyniku, prędzej czy później będzie

---

<sup>1</sup> Prawdę mówiąc, jest to „historia na potrzeby wprowadzenia do rozdziału” — niekoniecznie całkowicie prawdziwa.

wymagać rzutowania. Pewnym ułatwieniem jest wprowadzenie hierarchii klas bazującej na typie `object`. Podstawowy problem pozostanie ten sam — typ `object` jest zupełnie prosty, a więc żeby móc wykonać jakąkolwiek użyteczną pracę, trzeba w pierwszej kolejności dokonać jego rzutowania.

Czy rzutowanie nie jest „be”? Nie, nie należy rozumieć, że nigdy nie powinno się tego robić (rzutowanie przydaje się do pracy ze strukturami mutowalnymi i publicznymi polami klas), ale trzeba je traktować jako zło konieczne. Rzutowanie wskazuje, że jesteś zmuszony do przekazania kompilatorowi dodatkowej wiedzy i wskazania, aby ten zaufał Ci w czasie kompilacji i przeniósł sprawdzenie poprawności założeń do czasu wykonania.

Jeśli musisz dać do zrozumienia, że masz więcej wiedzy niż kompilator i dlatego chcesz dokonać rzutowania, takiej samej wiedzy będzie potrzebować osoba *czytająca* Twój kod. Możesz pozostawić komentarz w miejscu rzutowania, ale nie będzie to szczególnie użyteczne. Znacznie lepszym miejscem na taką informację jest deklaracja metody lub zmiennej. Jest to szczególnie ważne, jeśli dostarczasz typ lub metodę, z której inni użytkownicy będą korzystać *bez dostępu do Twojego kodu*. Typy generyczne umożliwiają dostawcom bibliotek zablokowanie wywołań z wnętrza bibliotek z użyciem nieprawidłowych parametrów. W C# 1 musieliśmy polegać na ręcznie napisanej dokumentacji, która (jak każda zduplikowana informacja) szybko staje się niekompletna i nieaktualna. Kiedy możemy taką informację zawrzeć bezpośrednio w kodzie jako część deklaracji metody lub typu, praca wszystkich stron staje się bardziej produktywna. Kompilator może dokonać więcej sprawdzeń, środowisko IDE może zaoferować dodatkowe informacje poprzez mechanizm IntelliSense (na przykład podczas przeglądania elementów listy łańcuchów może pokazać pola i metody typu `string`), użytkownicy metod będą pewniejsi co do poprawności swojego kodu pod względem przekazanych argumentów i zwróconych wartości, a czytelnicy Twojego kodu będą mogli lepiej zrozumieć, co miałeś na myśli, kiedy pisałeś dany fragment.

### **CZY TYPY GENERYCZNE ZREDUKUJĄ LICZBĘ TWOICH BŁĘDÓW?**

Wszystkie opisy typów generycznych, jakie czytałem (włączając w to moje własne), podkreślają znaczenie przeniesienia sprawdzenia poprawności typów z czasu wykonania na czas kompilacji. Powierzę Ci mały sekret: nie przypominam sobie, abym kiedykolwiek musiał poprawiać błąd w wypuszczonym kodzie spowodowany brakiem sprawdzenia typu. Inaczej mówiąc, rzutowania, które umieszczaliśmy w C# 1, zawsze działały. Umieszczenie rzutowania w kodzie działa trochę jak znak ostrzegawczy, dzięki czemu zwracamy większą uwagę na poprawność typów. Typy generyczne być może nie zmniejszą radykalnie błędów związanych z bezpieczeństwem typów, ale wprowadzona przez nie czytelność kodu wpłynie pozytywnie na redukcję błędów związanych z użyciem kodu przez jego odbiorców. Prosty kod ma większą szansę być dobrze rozumiany. O wiele łatwiej jest napisać dobry kod, który musi być odporny na nieprzemyślane zachowania programistów, kiedy odpowiednie gwarancje co do typu argumentów zapewnia sam system typów.

To, co do tej pory powiedzieliśmy o typach generycznych, przemawia wystarczająco na ich korzyść, ale są też jeszcze korzyści pod względem wydajnościowym. Po pierwsze, skoro kompilator może wykonać więcej sprawdzeń na etapie kompilacji, pozostaje

mniej rzeczy do weryfikacji w czasie wykonania. Po drugie, kompilator JIT może traktować typy wartościowe w sprytniejszy sposób, dzięki czemu w wielu sytuacjach udaje się uniknąć opakowywania i odopakowywania wartości. W pewnych przypadkach może to zdecydowanie wpłynąć zarówno na wydajność, jak i zużycie pamięci.

Wiele z korzyści, jakie dają typy generyczne, może do złudzenia przypominać te płynące z przewagi statycznego systemu typów nad systemem dynamicznym. Mowa tu o lepszej weryfikacji typów na poziomie kompilacji, większej liczbie informacji zawartych bezpośrednio w kodzie, lepszym wsparciu ze strony środowiska IDE i lepszej wydajności. Powód jest prosty: kiedy korzystasz z ogólnego interfejsu programistycznego (na przykład z klasy `ArrayList`), który nie jest w stanie wykryć różnic pomiędzy różnymi typami, znajdujesz się — jeśli chodzi o dostęp do tego interfejsu — w sytuacji dynamicznego systemu typów. Warto przy okazji wspomnieć, że sytuacja odwrotna — przewaga dynamicznego systemu typów nad systemem statycznym — ma miejsce w nielicznych przypadkach (korzyści płynące z zastosowania dynamicznych języków rzadko są bowiem związane z koniecznością dokonania wyboru pomiędzy interfejsem generycznym i niegenerycznym). Kiedy *możesz* skorzystać z typów generycznych, decyzja o ich użyciu jest oczywista.

To wszystko czeka na nas w C# 2 — teraz przyszła pora na rzeczywiste wykorzystanie typów generycznych.

## 3.2. Proste typy generyczne do codziennego użycia

---

Jeżeli chcesz wiedzieć *wszystko* o typach generycznych, musisz mieć świadomość, że mają one wiele skomplikowanych elementów. Specyfikacja języka C# przedstawia cały szereg szczegółowych informacji, aby opisać zachowanie w niemal każdej możliwej sytuacji. My nie musimy jednak znać wszystkich przypadków szczególnych, aby wykorzystać typy generyczne w sposób produktywny. (W rzeczywistości ta sama zasada obowiązuje dla dowolnego obszaru języka. Dla przykładu nie musisz znać wszystkich zasad rządzących przypisaniami, wystarczy, że będziesz umiał naprawić kod w przypadku błędu kompilacji).

W tym podrozdziale opiszemy wszystko, co powinieneś wiedzieć o typach generycznych, aby móc zastosować je w codziennej pracy — zarówno w sensie użytkownika interfejsu stworzonego przez innych programistów, jak i producenta własnych interfejsów. Jeżeli utkniesz na tym etapie, proponuję, abyś się skoncentrował na wiedzy potrzebnej do korzystania z typów i metod generycznych zawartych w środowisku i innych bibliotekach. Ta wiedza jest przydatna o wiele częściej niż umiejętność samodzielnego tworzenia typów i metod generycznych.

Zacniemy od przyjrzenia się jednej z klas kolekcji wprowadzonych w .NET 2.0 — `Dictionary<TKey, TValue>`.

### 3.2.1. Nauka przez przykład — słownik typu generycznego

Użycie typów generycznych jest proste, o ile nie napotkasz przypadkiem jakiegoś ograniczenia i nie zaczniesz się zastanawiać, czemu Twoje rozwiązanie nie chce działać. Bez jakiegokolwiek wiedzy teoretycznej możesz z łatwością przewidzieć zachowanie



kodu, po prostu go analizując. Korzystając z metody prób i błędów, będziesz w stanie napisać własny działający kod. (Jednym z udogodnień typów generycznych jest to, że spora część weryfikacji kodu odbywa się w czasie kompilacji, jest zatem spora szansa, że Twój kod będzie działał, kiedy doprowadzisz do pomyślnej kompilacji — takie zachowanie jeszcze bardziej upraszcza eksperymentowanie z kodem). Oczywiście, celem tego rozdziału jest wyposażenie Cię w wiedzę, dzięki której *nie będziesz* musiał zgadywać — będziesz dokładnie wiedział, co się dzieje na każdym kroku.

Teraz przyjrzyjmy się fragmentowi kodu, który wygląda w miarę prosto, nawet jeśli składnia jest nieznaną. Listing 3.1 używa typu `Dictionary<TKey, TValue>` (w przybliżeniu generycznego odpowiednika niegenerycznej klasy `Hashtable`) do zliczenia częstotliwości występowania słów w zadanym tekście.

**Listing 3.1.** Użycie `Dictionary<TKey, TValue>` do zliczenia słów w tekście

```
static Dictionary<string, int> CountWords(string text)
{
    Dictionary<string, int> frequencies; ← ❶ Tworzenie nowego słownika
    frequencies = new Dictionary<string, int>();
                                         „słowo – liczba wystąpienia”

    string[] words = Regex.Split(text, @"\W+"); ← ❷ Tworzenie
                                                nowego słownika
                                                „słowo – liczba
                                                wystąpienia”

    foreach (string word in words)
    {
        if (frequencies.ContainsKey(word))
        {
            frequencies[word]++;
        }
        else
        {
            frequencies[word] = 1;
        }
    }
    return frequencies;
}
...
string text = @"Chodzi lisek koło drogi,
               Cichuteńko stawia nogi,
               Cichuteńko się zakrada,
               Nic nikomu nie powiada.";

Dictionary<string, int> frequencies = CountWords(text);
foreach (KeyValuePair<string, int> entry in frequencies)
{
    string word = entry.Key;
    int frequency = entry.Value;
    Console.WriteLine("{0}: {1}", word, frequency);
}
                                         ❸ Dodanie do słownika
                                         lub jego uaktualnienie

                                         ❹ Tworzenie
                                         komórki
                                         widoku tabeli
```

Metoda `CountWords` tworzy pusty słownik dla par łańcuch (`string`) – liczba (`int`) (❶). Jej zadaniem będzie zliczanie wystąpień każdego słowa w zadanym tekście. Następnie używamy wyrażenia regularnego (❷) do podzielenia tekstu na słowa. Wyrażenie nie jest szczególnie wyszukane — ze względu na kropkę na końcu zdania wśród słów pojawia się pusty łańcuch, a te same słowa pisane wielką i małą literą są traktowane jako różne.

Problemy te można łatwo rozwiązać — nie zrobiłem tego tylko dlatego, aby uzyskać jak najprostszy kod dla tego przykładu. Sprawdzamy, czy dane słowo jest już w naszym słowniku. Jeśli jest, zwiększamy licznik, w przeciwnym razie tworzymy wartość początkową licznika (3). Zwróć uwagę, że kod dokonujący inkrementacji nie musi wykonywać rzutowania na typ `int`. Wiemy, że otrzymana wartość jest typu `int` już na etapie kompilacji. Krok wykonujący inkrementację tak naprawdę pobiera indeksy słownika, zwiększa wartość, a następnie ustawia indeksy z powrotem. Niektórzy programiści wolą wykonać ten krok w sposób jawny, używając wyrażenia `frequencies[word] = frequencies[word] + 1;`

Ostatnia część listingu wygląda znajomo: enumeracja przez instancję typu `Hashtable` daje podobną (niegeneryczną) parę `DictionaryEntry` z właściwościami `Key` i `Value` dla każdego elementu kolekcji (4). Różnica polega na tym, że w C# 1 klucz i wartość zostałyby zwrócone jako typ `object`, co zmusiłoby nas do rzutowania zarówno słowa, jak i częstotliwości. Dodatkowo częstotliwość (typ wartościowy) zostałaby opakowana. Trzeba przyznać, że nie *musimy* przypisywać słowa i częstotliwości do zmiennych lokalnych — moglibyśmy użyć pojedynczego wywołania `Console.WriteLine` i przekazać mu `entry.Key` i `entry.Value`. Sporne zmienne zostały przeze mnie użyte wyłącznie po to, by podkreślić brak konieczności rzutowania.

Teraz, kiedy widzieliśmy już przykład, przyjrzyjmy się, czym właściwie jest `Dictionary<TKey, TValue>`, do czego odnoszą się symbole `TKey` i `TValue` oraz jakie znaczenie mają ostre nawiasy wokół nich.

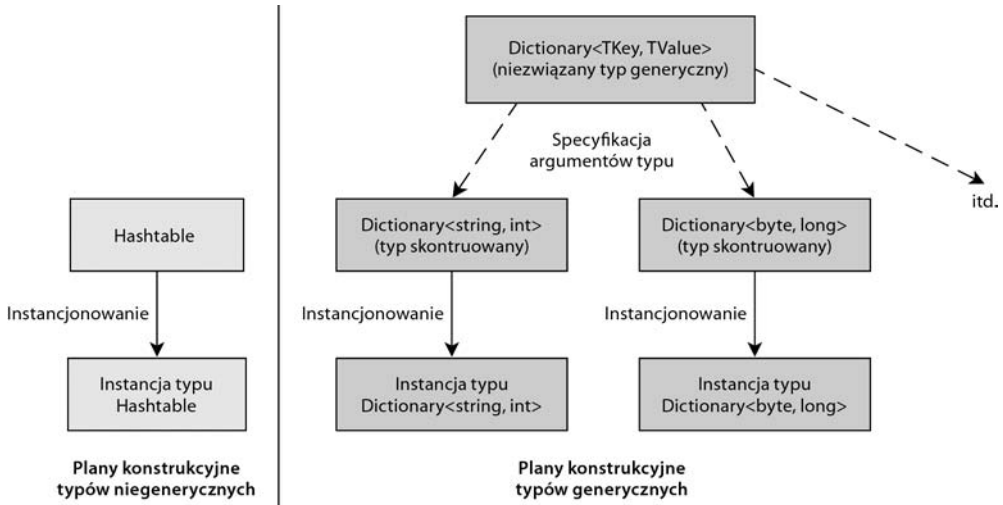
### 3.2.2. Typy generyczne i parametry typów

W C# występują dwie formy generycznych elementów języka: *typy generyczne* (włączając w to klasy, interfejsy, delegaty i struktury — nie ma enumeracji generycznych) oraz *metody generyczne*. Obie formy służą do wyrażania interfejsu programistycznego (w postaci pojedynczej metody generycznej lub całego typu generycznego) w taki sposób, iż w niektórych miejscach, gdzie spodziewasz się zobaczyć normalny typ, widzisz w zamian *parametr typu*.

Parametr typu jest jedynie rezerwacją miejsca na typ rzeczywisty. Parametry pojawiają się w ostrych nawiasach wewnątrz deklaracji typu generycznego i są oddzielone od siebie przecinkami. Zatem w deklaracji `Dictionary<TKey, TValue>` parametrami typu są `TKey` i `TValue`. Chcąc użyć typu lub metody generycznej, należy określić *rzeczywiste* typy — nazywane *argumentami typu* — jakimi chcemy się posługiwać. Dla przykładu na listingu 3.1 argumentami typu są `string` (dla `TKey`) i `int` (dla `TValue`).

**ALERT ŻARGONOWY!** Typy generyczne niosą ze sobą sporą dawkę szczegółowej terminologii. Umieściłem ją w książce w celach informacyjnych i dlatego, że czasem ułatwia ona rozmowę, w której poruszane są detale implementacyjne. Dla Ciebie terminologia ta może się okazać przydatna, jeśli będziesz miał zamiar zajrzeć do specyfikacji języka. Jest mało prawdopodobne, abyś musiał się nią posługiwać w codziennej pracy z typami generycznymi. Proszę zatem, abyś zniósł dzielnie tę dawkę terminologii. Wiele z używanych tutaj terminów znajdziesz w podrozdziale 4.4 specyfikacji C# 4 — proponuję, abyś zajrzał tam, jeśli chcesz znaleźć więcej informacji na ten temat.

Forma, w której żadnemu z parametrów typu nie przekazano argumentu typu, nazywana jest *niezwiązanym typem generycznym* (ang. *unbound generic type*). Kiedy argumenty typu są określone, mówimy o *typie skonstruowanym* (ang. *constructed type*). Niezwiązane typy generyczne można określić mianem planów konstrukcyjnych dla typów skonstruowanych, podobnie jak typy (generyczne lub nie) można uważać za plany konstrukcyjne obiektów. Jest to pewnego rodzaju dodatkowa warstwa abstrakcji. Rysunek 3.1 pokazuje ją w formie schematu graficznego.



**Rysunek 3.1.** Niezwiązane typy generyczne stanowią plany konstrukcyjne dla typów skonstruowanych, które z kolei służą jako plany konstrukcyjne dla rzeczywistych obiektów (na takiej samej zasadzie jak typy niegeneryczne)

Typy mogą być otwarte lub zamknięte. *Typ otwarty* nadal wymaga parametru typu (na przykład w postaci argumentu typu lub tablicy elementów typu), podczas gdy *typ zamknięty* jest przeciwieństwem typu otwartego — każdy element typu jest szczegółowo określony. Cały kod *wykonuje się* w kontekście zamkniętych typów skonstruowanych. Jedyny przypadek, kiedy masz szansę zobaczyć niezwiązany typ generyczny w kodzie C# (wyluczając deklarację), ma miejsce podczas użycia operatora `typeof`, z którym spotkamy się w sekcji 3.4.4.

Idea parametru typu „odbierającego” informację i argumentu typu „dostarczającego” informację — patrz przerywane linie na rysunku 3.1 — jest dokładnie taka sama jak w przypadku parametrów i argumentów metod, chociaż przy argumentach typu mamy do czynienia z typami, a nie arbitralnymi wartościami. Argument typu musi być znany w czasie kompilacji, ale w odpowiednim kontekście może nim być również parametr typu.

O typie zamkniętym możesz myśleć jak o interfejsie programowania typu otwartego, ale z parametrami typu zastąpionymi przez odpowiadające im argumenty typu<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Taki model *nie zawsze* jest gwarantowany — istnieją przypadki szczególne, które nie będą działać po zastosowaniu tej prostej reguły — ale umożliwia proste pojmowanie typów generycznych, sprawdzające się w przeważającej większości przypadków.

Tabela 3.1 pokazuje deklaracje niektórych metod i właściwości publicznych otwartego typu `Dictionary<TKey, TValue>` oraz jego odpowiedniki w typie zamkniętym `Dictionary<string, int>`.

**Tabela 3.1.** Przykłady sygnatur metod typu generycznego z symbolami rezerwującymi miejsce na typy i te same metody po podstawieniu argumentów typu

Sygnatura metody w typie generycznym	Sygnatura metody po podstawieniu argumentów typu
<code>void Add(TKey key, TValue value)</code>	<code>void Add(string key, int value)</code>
<code>TValue this[TKey key] {get; set; }</code>	<code>int this[string key] {get; set; }</code>
<code>bool ContainsValue(TValue value)</code>	<code>bool ContainsValue(int value)</code>
<code>bool ContainsKey(TKey key)</code>	<code>bool ContainsKey(string key)</code>

Zwracam uwagę, że żadna z metod w tabeli 3.1 nie jest w rzeczywistości metodą generyczną. Są to „zwyčajne” metody wewnątrz typu generycznego, które przypadkiem używają parametrów będących częścią deklaracji typu. Metodom generycznym przyjrzymy się w następnym podrozdziale.

Teraz, kiedy wiesz już, co znaczą symbole `TKey` oraz `TValue` i do czego służą ostre nawiasy, możemy sprawdzić, jak deklaracje z tabeli 3.1 wyglądałyby w deklaracji klasy. Oto, jak mógłby wyglądać kod dla `Dictionary<TKey, TValue>` (w poniższym przykładzie brakuje faktycznych implementacji metod i w rzeczywistości jest ich więcej):

```
namespace System.Collections.Generic
{
    public class Dictionary<TKey, TValue>
    : IEnumerable<KeyValuePair<TKey, TValue>>
    {
        public Dictionary() { ... }

        public void Add(TKey key, TValue value) { ... }

        public TValue this[TKey key]
        {
            get { ... }
            set { ... }
        }

        public bool ContainsValue(TValue value) { ... }

        public bool ContainsKey(TKey key) { ... }

        [...pozostałe metody...]
    }
}
```

**Deklaracja klasy generycznej** (początek klasy)

**Implementacja interfejsu generycznego** (interfejs `IEnumerable<KeyValuePair<TKey, TValue>>`)

**Deklaracja metody z użyciem parametrów typu** (metoda `Add`)

Zauważ, jak `Dictionary<TKey, TValue>` implementuje interfejs generyczny `IEnumerable<KeyValuePair<TKey, TValue>>` (i wiele innych interfejsów w rzeczywistym wykonaniu). Jakikolwiek argumenty typu wyspecyfikujesz dla klasy, takie same zostaną zastosowane do interfejsu w miejscach, gdzie zostały użyte jednakowe parametry typu. A zatem w naszym przykładzie `Dictionary<string, int>` zaimplementuje `IEnumerable`

↳<KeyValuePair<string, int>>. Jest to swego rodzaju podwójny interfejs generyczny — interfejs IEnumerable<T> z argumentem typu w postaci struktury KeyValuePair<string, int>. Właśnie dzięki implementacji tego interfejsu przykład z listingu 3.1 był w stanie przejść przez wszystkie pary wartość-klucz w taki, a nie inny sposób.

Warto zauważyć, że konstruktor nie zawiera listy parametrów typu w nawiasach ostrych. Parametry typu należą raczej do *typu* niż do danego konstruktora i właśnie tam są deklarowane. Członkowie typu deklarują wyłącznie nowo wprowadzane parametry typu, mogą to jednak robić jedynie metody.

**WYMOWA TYPÓW GENERYCZNYCH.** Jeśli kiedykolwiek będziesz potrzebował opisać typ generyczny swojemu koledze lub koleżance, wymieniaj parametry lub argumenty typu w taki sposób, jak zrobiłbyś to dla zwykłej deklaracji. Na przykład dla List<T> możesz powiedzieć „lista typu T”. W Visual Basicu taka wymowa jest sugerowana przez składnię języka: ten sam typ zostałby zapisany jako List(Of T). W przypadku kilku parametrów typu moim zdaniem dobrze jest oddzielić je słowem lub zdaniem sugerującym całościowe znaczenie typu. Zatem Dictionary<string, int> opisałbym jako „słownik łańcuchów w liczby” — podkreślając w ten sposób mapujący charakter typu.

Typy generyczne mogą być przeciążane w odniesieniu do liczby parametrów typu. Mógłbyś zatem zdefiniować MyType, MyType<T>, MyType<T,U>, MyType<T,U,V>, itd. — wszystkie w ramach tej samej przestrzeni nazw. Nazwy typów parametrów są w takiej sytuacji nieistotne, ważna jest jedynie ich liczba. Typy te, poza nazwą, nie są ze sobą związane — oznacza to między innymi, że nie istnieje między nimi domyślna konwersja. Ta sama zasada obowiązuje dla metod generycznych: dwie metody mogą mieć dokładnie taką samą sygnaturę z wyjątkiem liczby parametrów typu. Chociaż brzmi to trochę jak przepis na katastrofę, takie rozwiązanie może być przydatne, jeśli chcesz skorzystać z *wnioskowania typów generycznych*, w którym kompilator jest w stanie wywnioskować niektóre z argumentów typu za Ciebie. Wróćmy do tego zagadnienia w sekcji 3.3.2.

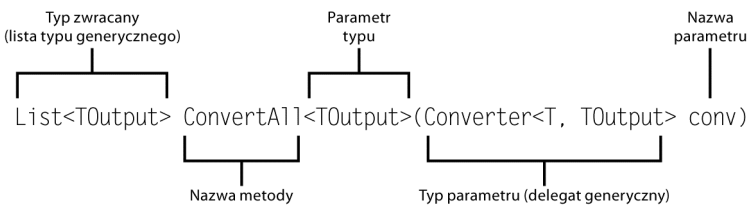
**NAZEWNICTWO STOSOWANE DLA PARAMETRÓW TYPU.** *Możesz* stworzyć typ, posługując się takimi parametrami jak T, U i V. Takie nazwy będą jednak mówić bardzo mało o swoim przeznaczeniu lub sposobie użytkowania. Dla porównania weźmy typ Dictionary<TKey, TValue>, w którym jasno widać, że TKey reprezentuje typ kluczy, a TValue — typ wartości. W przypadku pojedynczego parametru typu, którego przeznaczenie jest w miarę oczywiste, zgodnie z konwencją stosowana jest nazwa T (dobrym przykładem jest List<T>). Parametry typu występujące w liczbie mnogiej są zwykle nazywane zgodnie ze swoim przeznaczeniem i poprzedzane przedrostkiem T, aby wskazać, że chodzi o parametr typu. Mimo tych reguł czasem natrafisz na typ z kilkoma parametrami w postaci pojedynczych liter (przykładem jest SynchronizedKeyed ↳Collection<T, K>). Staraj się unikać tworzenia podobnych konstrukcji.

Wiemy już, jakie zadania spełniają typy generyczne. Zajmijmy się teraz metodami generycznymi.

### 3.2.3. Metody generyczne i czytanie deklaracji generycznych

Zdażyłem już kilkakrotnie wspomnieć o metodach generycznych, ale do tej pory nie spotkał się jeszcze żadnej z nich. W porównaniu do typów generycznych idea metod generycznych może się dla Ciebie okazać bardziej zawiła — wydają się one mniej naturalne dla naszego mózgu, chociaż podstawowa zasada działania pozostaje bez zmian. Jesteśmy przyzwyczajeni, że parametry wejściowe oraz wartości zwracane przez metody mają zawsze ściśle określony typ. Widzieliśmy również, jak typ generyczny używa parametrów typu do deklarowania swoich metod. Metody generyczne posuwają się jeszcze dalej — w ramach skonstruowanego typu mogą posiadać własne parametry typu. Nie przejmuj się, jeśli nie rozumiesz w tej chwili, o co dokładnie chodzi — myślę, że doznasz nagle olśnienia po przeanalizowaniu kilku przykładów.

`Dictionary<TKey, TValue>` nie posiada metod generycznych, ale jego bliski krewny — `List<T>` — tak. Jak wiadomo, `List<T>` jest listą elementów określonego typu. Pamiętaj, że `T` jest parametrem typu dla całej klasy, dokonajmy szczegółowej analizy deklaracji metody generycznej. Rysunek 3.2 pokazuje znaczenie poszczególnych części deklaracji metody `ConvertAll`<sup>3</sup>.



Rysunek 3.2. Anatomia deklaracji metody generycznej

Patrząc na deklarację typu generycznego — bez znaczenia, czy jest to typ, czy też metoda — możesz mieć problem ze zrozumieniem jej znaczenia, szczególnie jeśli napotkasz typy generyczne wewnątrz typów generycznych, jak widzieliśmy to w przykładzie interfejsu implementowanego przez słownik. Najważniejsze to nie panikować, tylko przyjąć całość spokojnie, a następnie przeanalizować na przykładzie. Weź inny typ dla każdego parametru typu i odpowiednio je zastosuj.

W tym przypadku zacznijmy od zastąpienia parametru typu będącego właścicielem metody (część `<T>` typu `List<T>`). Będziemy się trzymać przykładu listy łańcuchów i we wszystkich miejscach deklaracji wstawimy `string` zamiast `T`:

```
List<TOutput> ConvertAll<TOutput>(Converter<string, TOutput> conv)
```

Jest trochę lepiej, ale dalej musimy się jeszcze uporać z `TOutput`. Widać, że jest to parametr typu metody (z góry przepraszam za mylącą terminologię), ponieważ występuje w ostrych nawiasach zaraz za jej nazwą. Spróbujmy użyć innego znanego nam typu — `Guid` — jako argumentu typu w miejsce `TOutput`. Ponownie zastępujemy wszystkie miejsca wystąpienia `TOutput`. Usuujemy część informującą o parametrze typu i od tego momentu możemy traktować metodę jako niegeneryczną:

```
List<Guid> ConvertAll(Converter<string, Guid> conv)
```

<sup>3</sup> Parametr `converter` został skrócony do `conv`, dzięki czemu deklaracja mieści się w jednej linii. Pozostała część ściśle odpowiada dokumentacji.

Teraz, kiedy wszystko jest wyrażone przy użyciu typów konkretnych, łatwiej będzie nam myśleć. Chociaż metoda jest faktycznie generyczna, przez moment będziemy ją traktować tak, jakby nią nie była. W ten sposób lepiej zrozumiemy jej znaczenie. Idąc przez elementy deklaracji od lewej strony, widzimy, że metoda:

- ◆ zwraca wynik typu `List<Guid>`,
- ◆ nazywa się `ConvertAll`,
- ◆ ma pojedynczy parametr `Converter<string, Guid>` o nazwie `conv`.

Teraz musimy się tylko dowiedzieć, czym jest `Converter<string, Guid>`, i będziemy mieć wszystko rozpracowane. Nie będzie chyba zaskoczeniem, jeśli dowiesz się, że `Converter<string, Guid>` jest skonstruowanym *delegatem typu generycznego* (jego wersją niezwiązaną jest `Converter<TInput, TOutput>`), który konwertuje łańcuch na GUID.

Mamy zatem metodę, która operuje na liście łańcuchów i używa konwertera do wyprodukowania listy GUID-ów. Skoro rozumiemy już sygnaturę metody, łatwiej będzie nam zrozumieć dokumentację, która potwierdza, że metoda tworzy nową listę typu `List<Guid>`, konwertuje każdy element z oryginalnej listy do typu docelowego i dodaje go do listy, którą zwraca na samym końcu. Myślenie o sygnaturze w konkretnych kategoriach daje nam przejrzysty model mentalny i ułatwia odgadnięcie faktycznego przeznaczenia metody. Chociaż technika ta może się wydawać trochę prymitywna, ja nadal uważam ją za bardzo użyteczną podczas analizy skomplikowanych metod. Prawdziwymi „potworami” pod tym względem są niektóre czteroparametrowe sygnatury metod należące do LINQ. Zastosowanie przedstawionej analizy pozwala poradzić sobie również z nimi.

Aby udowodnić, że cały ten wywód nie był tylko zwodzeniem, przyjrzyjmy się naszej metodzie w działaniu. Listing 3.2 przedstawia konwersję listy liczb całkowitych na listę liczb zmiennoprzecinkowych w taki sposób, że każdy element listy wynikowej jest pierwiastkiem kwadratowym odpowiadającej mu wartości z listy pierwotnej. Po wykonaniu konwersji wyświetlamy zawartość całej listy.

**Listing 3.2.** Metoda `List<T>.ConvertAll<TOutput>` w działaniu

```
static double TakeSquareRoot(int x)
{
    return Math.Sqrt(x);
}
...
List<int> integers = new List<int>();
integers.Add(1);
integers.Add(2);
integers.Add(3);
integers.Add(4);
Converter<int, double> converter = TakeSquareRoot;
List<double> doubles;
doubles = integers.ConvertAll<double>(converter);
foreach (double d in doubles)
{
    Console.WriteLine(d);
}
```

1 Tworzenie i wypełnienie listy liczb całkowitych

2 Tworzenie instancji delegata

3 Konwersja listy przy użyciu metody `ConvertAll`

Utworzenie i wypełnienie listy jest banalnie proste (❶) — korzystamy z listy liczb całkowitych o mocnym typie. W punkcie (❷) używamy mechanizmu delegatowego (konwersji grupy metod) — wprowadzonego w C# 2 — który będziemy szczegółowo omawiać w podrozdziale 5.2. Chociaż nie lubię się posługiwać elementami języka przed ich pełnym opisem, tym razem byłem zmuszony. Ten wiersz kodu nie zmieściłby się tutaj, gdybyśmy posłużyli się składnią C# 1. W punkcie (❸) wywołujemy metodę generyczną, określając jej argument typu, podobnie jak robimy to dla typów generycznych. W tym miejscu moglibyśmy skorzystać z wnioskowania typu, ale nie chcę wprowadzać zbyt wielu cech jednocześnie. Wypisanie zawartości listy na końcu jest już zupełnie proste. Po uruchomieniu programu zgodnie z oczekiwaniami zobaczysz wartości 1, 1.414..., 1.732... i 2.

Ktoś mógłby zapytać, jaki to ma sens. Czy nie moglibyśmy zwyczajnie użyć pętli `foreach`, żeby przejść po wszystkich wartościach całkowitych i bezpośrednio wypisać wynik pierwiastka? Oczywiście, że tak. Przykład demonstruje jednak jeszcze inną rzecz — konwersję listy jednego typu na listę innego typu z użyciem pewnej logiki. Kod wykonujący taką operację „ręcznie” jest równie prosty, ale wersja wykonująca tę operację w pojedynczym wierszu jest czytelniejsza. Jest to typowa cecha metod generycznych — wykonują one w prostszy sposób operacje, które wcześniej mogłeś z powodzeniem wykonać dłuższą metodą. Przed wprowadzeniem metod generycznych operację podobną do `ConvertAll` można było wykonać na typie `ArrayList`, dokonując konwersji z typu `object` na `object`, ale efekt był o wiele mniej satysfakcjonujący. Dodatkowe usprawnienie noszą metody anonimowe (zobacz podrozdział 5.4) — przy ich użyciu moglibyśmy określić logikę konwersji w miejscu, unikając konieczności tworzenia w tym celu dodatkowej metody. Duże uproszczenie pod tym względem wprowadzają LINQ i wyrażenia `lambda`, o czym przekonamy się w części trzeciej.

Warto dodać, że metody generyczne mogą występować również w typach niegenerycznych. Listing 3.3 pokazuje metodę generyczną zadeklarowaną i użytą wewnątrz niegenerycznej klasy.

**Listing 3.3.** Implementacja metody generycznej wewnątrz niegenerycznego typu

```
static List<T> MakeList<T>(T first, T second)
{
    List<T> list = new List<T>();
    list.Add(first);
    list.Add(second);
    return list;
}
...
List<string> list = MakeList<string>("Wiersz 1", "Wiersz 2");
foreach (string x in list)
{
    Console.WriteLine(x);
}
```

Metoda generyczna `MakeList<T>` potrzebuje tylko jednego parametru typu (`T`). Jej działanie jest zupełnie proste i polega na utworzeniu listy z wartości przekazanych jako argumenty. Warto jednak zauważyć, że w jej wnętrzu możemy użyć `T` jako argumentu



typu do stworzenia obiektu typu `List<T>`. Implementację możesz traktować mniej więcej jako zastąpienie wszystkich wystąpień `T` przez `string`. Wywołując metodę, używamy tej samej składni, jaką widzieliśmy wcześniej podczas specyfikowania argumentów typu.

Do tej pory wszystko jasne? Na tym etapie powinieneś już móc tworzyć samodzielnie proste typy i metody generyczne. Przed nami jeszcze jeden stopień skomplikowania do pokonania, ale jeśli rozumiesz podstawową ideę typów generycznych, najtrudniejszy etap masz już za sobą. Nie przejmuj się zbyttno, jeśli nie wszystko jest dla Ciebie zupełnie klarowne, zwłaszcza jeśli chodzi o terminy „otwarty”, „zamknięty”, „niezwiązany” i „skonstruowany”. Zanim przystąpisz do lektury dalszej części materiału, możesz wykonać kilka eksperymentów z typami generycznymi, aby zobaczyć ich działanie w praktyce. Jeżeli do tej pory nie używałeś kolekcji generycznych, polecam zajrzeć do dodatku B, który opisuje dostępne elementy języka. Kolekcje stanowią dobry punkt startowy do zabawy z typami generycznymi, a ponadto są powszechnie stosowane w niemal każdym nietrywialnym programie .NET.

Podczas eksperymentów przekonasz się, że trudno będzie zatrzymać implementację pomysłu w połowie. Kiedy zamienisz jakiś interfejs na generyczny, prawdopodobnie będziesz musiał poprawić pozostały kod, zamieniając go również na generyczny, lub dodać odpowiednie rzutowania, wymagane przez nowe — mocniejsze pod względem typu — wywołania. Alternatywnym rozwiązaniem jest użycie typów generycznych o silnym typie „pod maską”, ale pozostawienie interfejsu o słabym typie na zewnątrz. Tak jak zawsze, wycucie, kiedy należy użyć typów generycznych, przychodzi z czasem.

### 3.3. Wkraczamy głębiej

---

Proste sposoby wykorzystania typów generycznych, jakie widzieliśmy do tej pory, pozwolą na pracę z nimi w dłuższej perspektywie czasu. Są jednak jeszcze inne cechy, które mogą usprawnić naszą pracę. Zaczniemy od przeanalizowania *ograniczeń typów*, które dają możliwość większej kontroli nad argumentami typów (zwłaszcza kiedy tworzysz własne typy i metody generyczne). Zrozumienie ograniczeń typów ma również znaczenie z punktu widzenia znajomości opcji, jakie oferuje środowisko.

W następnym kroku zajmiemy się *wnioskowaniem typów* — poręcznym trikiem kompilatora, który pozwala na pominięcie jawnych argumentów typu podczas pracy z metodami generycznymi. Można się obyć bez tego mechanizmu, chociaż jego obecność przy odpowiednim zastosowaniu wpływa na uproszczenie kodu i sprawia, że jest on bardziej czytelny. W trzeciej części książki przekonamy się, że kompilator może teraz częściej wnioskować pewne informacje w oparciu o Twój kod przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa i statyczności języka<sup>4</sup>.

Ostatnia część tego podrozdziału będzie poświęcona pozyskiwaniu wartości domyślnej dla parametru typu, a także porównaniom dostępnym podczas pisania kodu generycznego. Rozważania zakończymy przykładem — w postaci użytecznej klasy — demonstrującym większość z omówionych cech.

---

<sup>4</sup> Z wyłączeniem C# 4, w którym pozwolono na *jawne* użycie typów dynamicznych.

Chociaż wchodzimy głębiej w szczegóły typów generycznych, nie ma przed nami nic *naprawdę* trudnego. Jest sporo rzeczy do zapamiętania, ale wszystkie cechy mają swój cel, o czym przekonasz się, kiedy dojrzejesz do ich wykorzystania. Zaczynamy.

### 3.3.1. Ograniczenia typów

Do tej pory wszystkie parametry typów, z jakimi się zetknęliśmy, akceptowały dowolne typy bez wyjątku. Mogliśmy tworzyć różne typy, takie jak `List<int>` czy `Dictionary<object, FileMode>` — cokolwiek przyszło nam do głowy. Nie ma w tym nic niebezpiecznego, dopóki mamy do czynienia z kolekcjami, które nie muszą współdziałać z przechowywaną zawartością. Jednak nie wszystkie kolekcje mają tyle szczęścia. Zdarzają się sytuacje, w których chcesz wywoływać metody na instancjach typu wskazanego przez parametr typu, tworzyć takie instancje lub ograniczyć zawartość listy wyłącznie do typów referencyjnych (lub tylko typów wartościowych). Innymi słowy, chcesz nakreślić reguły decydujące o poprawności argumentu typu dla swojego typu lub metody generycznej. W C# 2 do tego celu służą *ograniczenia*.

Dostępne są cztery rodzaje ograniczeń. Ich podstawowa składnia jest jednakowa. Ograniczenia pojawiają się na końcu deklaracji metody lub typu generycznego. Do ich wprowadzenia służy kontekstowe słowo kluczowe `where`. Później przekonamy się również, że ograniczenia mogą być łączone. Zaczniemy od przedstawienia kolejno każdego rodzaju ograniczenia.

#### Ograniczenie typu referencyjnego

Pierwszy rodzaj ograniczenia, wyrażony jako `T : class` i występujący zawsze jako pierwszy dla tego parametru typu, zapewnia, że użyty argument typu jest typem referencyjnym. Może to być klasa, interfejs, tablica, delegat lub inny parametr typu, o którym już wiadomo, że jest typem referencyjnym. Weźmy na przykład następującą deklarację:

```
struct RefSample<T> where T : class
```

Poprawne typy zamknięte dla tej deklaracji to między innymi:

- ◆ `RefSample<IDisposable>`,
- ◆ `RefSample<string>`,
- ◆ `RefSample<int[]>`.

Niepoprawne typy zamknięte to na przykład:

- ◆ `RefSample<Guid>`,
- ◆ `RefSample<int>`.

Celowo zadeklarowałem `RefSample` jako strukturę (i tym samym typ wartościowy), aby pokazać różnicę pomiędzy parametrem typu, który podlega ograniczeniu, a typem deklarowanym. `RefSample<string>` jest nadal typem wartościowym i podlega semantyce wartościowej, tyle że wszystkie wystąpienia parametru `T` zostały zastąpione typem `string`.

Kiedy parametr typu jest ograniczony w taki sposób, możesz porównywać referencje (łącznie z `null`), używając operatorów `==` i `!=`. Bądź jednak świadomy, że jeżeli nie ma innych ograniczeń, porównywane będą jedynie referencje, nawet jeśli dany typ prze-

cięża te operatory (ma to miejsce w przypadku typu `string`). Do pojawienia się „gwarantowanych przez kompilator” przeciążeń operatorów `==` i `!=` możesz doprowadzić przez zastosowanie opisanego dalej ograniczenia konwersji typu, jednak sytuacja, w której będzie to potrzebne, zdarza się bardzo rzadko.

## Ograniczenie typu wartościowego

To ograniczenie, wyrażone jako `T: struct`, wymusza użycie typu wartościowego jako argumentu typu, włączając w to enumeracje. Niedozwolone są również typy nullable, o których będziemy mówić w rozdziale czwartym. Przyjrzyjmy się przykładowej deklaracji:

```
class ValSample<T> where T : struct
```

Poprawnymi typami zamkniętymi dla tej deklaracji są:

- ◆ `ValSample<int>`,
- ◆ `ValSample<FileMode>`.

Niepoprawne typy zamknięte to między innymi:

- ◆ `ValSample<object>`,
- ◆ `ValSample<StringBuilder>`.

Tym razem `ValSample` jest typem referencyjnym, w którym `T` musi być typem wartościowym. Zauważ, że zarówno `System.Enum`, jak i `System.ValueType` są typami referencyjnymi i jako takie nie mogą być poprawnymi argumentami typu dla `ValSample`. Kiedy parametr typu jest ograniczony wyłącznie do typów wartościowych, zabronione są porównania przy użyciu operatorów `==` i `!=`.

Osobiście rzadko znajduję zastosowanie dla ograniczeń typów wartościowych i referencyjnych. W następnym rozdziale zobaczymy jednak, że mają one istotne znaczenie dla typów nullable. Dwa pozostałe ograniczenia mogą się okazać bardziej użyteczne dla Ciebie, kiedy zaczniesz tworzyć własne typy generyczne.

## Ograniczenie typu konstruktora

Trzeci typ ograniczenia wyrażany jest jako `T: new()` i musi występować zawsze jako *ostatnie* ograniczenie dla danego parametru typu. Jego zadaniem jest sprawdzenie, czy argument dla danego parametru typu posiada konstruktor bezparametrowy, który może zostać użyty do stworzenia instancji typu. Dotyczy to dowolnego typu wartościowego, dowolnej niestatycznej i nieabstrakcyjnej klasy bez jawnie zadeklarowanych konstruktorów, a także dowolnej nieabstrakcyjnej klasy z jawnym publicznym konstruktorem bezparametrowym.

**C# KONTRA STANDARDY CLI.** Istnieje pewna rozbieżność pomiędzy C# i standardem CLI pod względem typów wartościowych i konstruktorów. Specyfikacja C# mówi, że wszystkie typy wartościowe posiadają domyślny konstruktor bezparametrowy i że wywołania konstruktorów jawnych i bezparametrowych korzystają z tej samej składni — za skonstruowanie prawidłowego wywołania jest odpowiedzialny konstruktor. Specyfikacja CLI nie stawia takiego wymogu, za to dostarcza specjalną instrukcję do stworzenia wartości domyślnej

bez specyfikowania jakichkolwiek parametrów. Rozbieżność tę możesz zobaczyć w działaniu, kiedy użyjesz refleksji do znalezienia konstruktora typu wartościowego (nie znajdziesz konstruktora bezparametrowego).

Przyjrzyjmy się prostemu przykładowi, tym razem w formie metody. Aby zaprezentować użyteczność tego ograniczenia, dodam również ciało metody:

```
public T CreateInstance<T> where T : new()
{
    return new T();
}
```

Ta metoda zwraca nową instancję dowolnego typu, pod warunkiem że typ ten posiada konstruktor bezparametrowy. Dozwolone są zatem wywołania `CreateInstance<int>()` i `CreateInstance<object>`, ale nie `CreateInstance<string>()`, ponieważ typ `string` nie posiada konstruktora bezparametrowego.

Nie istnieje metoda pozwalająca na zmuszenie parametru typu do posiadania konstruktora o określonej sygnaturze — dla przykładu nie można nałożyć ograniczenia, iż konstruktor powinien posiadać jeden parametr typu `string`. Jest to trochę frustrujące, ale nie możemy nic na to poradzić. Problemowi temu przyjrzymy się bliżej, kiedy będziemy omawiać rozmaite ograniczenia typów generycznych .NET w podrozdziale 3.5.

Ograniczenie typu konstruktora może się okazać przydatne, kiedy zachodzi potrzeba skorzystania z wzorca fabryki klas, w której pewien obiekt wytwarza inne obiekty na żądanie. Często zachodzi wymóg, aby fabryka produkowała obiekty o określonym interfejsie, i to właśnie w tym miejscu do gry wchodzi nasz ostatni typ ograniczenia.

### Ograniczenie typu konwersji

Ostatni (najbardziej skomplikowany) typ ograniczenia pozwala na wskazanie innego typu, do którego argument typu powinien dać się rzutować poprzez identyczność, referencję lub operację opakowania. Możesz wskazać, aby określony argument typu był konwertowany na inny argument typu — jest to tak zwane *ograniczenie parametru typu*. Jego obecność utrudnia zrozumienie deklaracji, ale ograniczenie to może być bardzo przydatne w wielu sytuacjach. Tabela 3.2 pokazuje kilka deklaracji typu generycznego z ograniczeniami typu konwersji i towarzyszące im poprawne oraz niepoprawne przykłady typów skonstruowanych.

Trzeci wiersz, zawierający `T: IComparable<T>`, jest jednym z przykładów użycia typu generycznego jako ograniczenia. Dozwolone są również inne warianty, takie jak `T : List<U>` (gdzie `U` jest kolejnym parametrem typu) i `T: IList<string>`. Możesz wyspecyfikować wiele interfejsów, ale tylko jedną klasę. Poniższy przykład jest poprawny (i jednocześnie bardzo restrykcyjny):

```
class Sample<T> where T : Stream,
    IEnumerable<string>,
    IComparable<int>
```

Ten przykład jest niepoprawny:

```
class Sample<T> where T : Stream,
    ArrayList,
    IComparable<int>
```

**Tabela 3.2.** Przykłady ograniczeń typów konwersji

Deklaracja	Przykłady skonstruowanych typów
<code>class Sample&lt;T&gt; where T : Stream</code>	<i>Poprawny:</i> <code>Sample&lt;Stream&gt;</code> (rzutowanie przez identyczność) <i>Niepoprawny:</i> <code>Sample&lt;string&gt;</code>
<code>struct Sample&lt;T&gt; where T : IDisposable</code>	<i>Poprawny:</i> <code>Sample&lt;SqlConnection&gt;</code> (rzutowanie przez referencję) <i>Niepoprawny:</i> <code>Sample&lt;StringBuilder&gt;</code>
<code>class Sample&lt;T&gt; where T : IComparable&lt;T&gt;</code>	<i>Poprawny:</i> <code>Sample&lt;int&gt;</code> (opakowanie) <i>Niepoprawny:</i> <code>Sample&lt;FileInfo&gt;</code>
<code>class Sample&lt;T, U&gt; where T : U</code>	<i>Poprawny:</i> <code>Sample&lt;Stream, IDisposable&gt;</code> (rzutowanie przez referencję) <i>Niepoprawny:</i> <code>Sample&lt;string, IDisposable&gt;</code>

Żaden typ nie może dziedziczyć bezpośrednio po więcej niż jednej klasie, zatem takie ograniczenie byłoby niemożliwe do zrealizowania lub jego część byłaby nadmiarowa (na przykład wymuszenie, aby typ był potomkiem zarówno typu `Stream`, jak i `Memory` ↪ `Stream`). Istnieje jeszcze jedno obostrzenie: wskazany typ nie może być typem wartościowym, klasą zamkniętą (jaką jest na przykład `string`) lub jednym z następujących typów „specjalnych”:

- ◆ `System.Object`,
- ◆ `System.Enum`,
- ◆ `System.ValueType`,
- ◆ `System.Delegate`.

### SPOSÓB NA BRAK OGRANICZEŃ DOTYCZĄCYCH ENUMERACJI I DELEGATÓW.

Wydaje się, że brak możliwości wskazania wymienionych wyżej typów w ograniczeniu typu wynika z jakiegoś ograniczenia w samym środowisku wykonawczym, ale tak nie jest. Być może dzieje się tak z powodów czysto historycznych (restrykcje zostały wprowadzone, kiedy dopiero pracowano nad typami generycznymi). Jeżeli jednak skonstruujesz odpowiedni kod bezpośrednio w języku IL, będzie on działał. Specyfikacja CLI wymienia nawet te typy jako przykłady i wyjaśnia, które deklaracje byłyby prawidłowe, a które nie. Jest to troszeczkę denerwujące, ponieważ z łatwością można sobie wyobrazić wiele metod generycznych, które dobrze byloby ograniczyć wyłącznie do typów delegatowych lub enumeracji. Prowadzę projekt open source o nazwie *Unconstrained Melody* („Nieograniczona melodia”, <http://mng.bz/s9Ca>), który — przy użyciu pewnych trików — buduje bibliotekę klas *posiadającą* ograniczenia na różnorodnych metodach użytkowych. Chociaż kompilator nie pozwoli Ci na zadeklarowanie tego typu ograniczeń, nie będzie zgłaszał żadnych zastrzeżeń, kiedy wywołasz odpowiednią metodę z biblioteki. Być może w przyszłych wersjach C# zakaz stosowania wymienionych typów zostanie zniesiony.

Ograniczenia typu konwersji są chyba najbardziej użyteczne, gdyż pozwalają wymusić użycie wyłącznie konkretnych typów jako instancji parametrów typu. Jednym ze szczególnie poręcznych przykładów tego ograniczenia jest `T : IComparable<T>`. Jego

zastosowanie daje pewność, że możesz w bezpośredni i znaczący sposób porównać dwie instancje typu `T`. Przykład takiego zachowania, a także innych form porównań znajduje się w sekcji 3.3.3.

### Łączenie ograniczeń

Wspomniałem już, że istnieje możliwość istnienia wspólnie kilku ograniczeń. Przykład widzieliśmy podczas omawiania ograniczeń typu konwersji. To, czego jeszcze nie widzieliśmy, to łączenie razem różnych typów ograniczeń. Jasne jest, że żaden typ nie może być jednocześnie typem referencyjnym i wartościowym, zatem to połączenie odpada. *Każdy* typ wartościowy posiada konstruktor bezparametrowy, w związku z czym nie można użyć ograniczenia typu konstruktora, kiedy zostało użyte ograniczenie wymuszające typ wartościowy (nadal jednak możliwe jest stosowanie `new T()` wewnątrz metod, jeśli `T` zostało ograniczone do typów wartościowych). Jeśli posiadasz wiele ograniczeń typów konwersji i jednym z nich jest klasa, musi się ona pojawić przed interfejsami — każdy interfejs może wystąpić wyłącznie jeden raz. Każdy parametr typu posiada własne, niezależne ograniczenia, wprowadzane z użyciem słowa kluczowego `where`.

Spójrzmy na kilka poprawnych i niepoprawnych przykładów:

#### Poprawne:

```
class Sample<T> where T : class, IDisposable, new()
class Sample<T> where T : struct, IDisposable
class Sample<T, U> where T : class where U : struct, T
class Sample<T, U> where T : Stream where U : IDisposable
```

#### Niepoprawne:

```
class Sample<T> where T : class, struct
class Sample<T> where T : Stream, class
class Sample<T> where T : new(), Stream
class Sample<T> where T : IDisposable, Stream
class Sample<T> where T : XmlReader, IComparable, IComparable
class Sample<T,U> where T : struct where U : class, T
class Sample<T,U> where T : Stream, U : IDisposable
```

Ostatnie przykłady na obu listach demonstrują, jak łatwo można z wersji poprawnej stworzyć niepoprawną wersję ograniczenia. W takiej sytuacji błąd zgłoszony przez kompilator zupełnie nie pomaga. Warto w takim momencie przypomnieć sobie, że każda lista ograniczeń parametru wymaga własnego słowa wprowadzającego — `where`. Interesujący jest trzeci poprawny przykład — jeśli `U` jest typem wartościowym, jakim cudem może dziedziczyć po `T`, który jest typem referencyjnym? Odpowiedź: `T` mógłby być typem `object` lub interfejsem implementowanym przez `U`. Trzeba przyznać, że jest to dość paskudny przypadek.

**TERMINOLOGIA UŻYWANA W SPECYFIKACJI.** Specyfikacja dzieli ograniczenia na kategorie w trochę inny sposób. Wyróżnia ograniczenia *podstawowe*, *drugorzędne* i ograniczenia konstruktora. Pierwszy rodzaj dotyczy ograniczeń typu referencyjnego, wartościowego oraz ograniczeń konwersji przy użyciu klas. Drugi rodzaj wiąże się z ograniczeniami typu z użyciem interfejsów lub innego parametru typu. Nie uważam powyższej klasyfikacji za szczególnie użyteczną, chociaż ułatwia ona zdefiniowanie gramatyki ograniczeń: ograniczenie podstawowe

jest opcjonalne, ale może istnieć tylko jedno, ograniczeń drugorzędnych może być dowolnie wiele, a ograniczenie konstruktora jest opcjonalne (o ile nie występuje ograniczenie typu wartościowego, w przypadku którego jest ono zabronione).

Skoro posiadasz już całą wiedzę potrzebną do czytania deklaracji typów generycznych, przyjrzyjmy się wspomnianemu wcześniej interfejsowi argumentów typu. Na listingu 3.2 wskazaliśmy jawnie argumenty typu dla `List<T>.ConvertAll`. Podobnie zrobiliśmy na listingu 3.3 dla naszej własnej metody `MakeList`. Spróbujmy teraz poprosić kompilator o wypracowanie wartości tych argumentów, a tym samym — uproszczenie wywołań metod generycznych.

### 3.3.2. Interfejs argumentów typu dla metod generycznych

Określanie argumentów typu podczas wywoływania metod generycznych wydaje się często zupełnie nadmiarowe. W większości przypadków oczywiste jest, że argumenty typu powinny odpowiadać typom argumentów metody. Dla ułatwienia życia, poczynając od wersji drugiej C#, pozwolono kompilatorowi na samodzielność w ściśle określonych przypadkach, dzięki czemu możesz wywoływać metody bez jawnego wskazywania argumentów typu.

Zanim przejdziemy dalej, chcę zaznaczyć, że dotyczy to wyłącznie *metod* generycznych. Mechanizm nie działa dla *typów* generycznych. Skoro wyjaśniliśmy to sobie, przyjrzyjmy się odpowiednim wierszom na listingu 3.3 i zobaczmy, jak można uprościć nasz kod. Oto wiersze, które deklarują metodę, a następnie ją wywołują:

```
static List<T> MakeList<T>(T first, T second)
...
List<string> list = MakeList<string>("Wiersz 1", "Wiersz 2");
```

Przyjrzyj się argumentom; w obu przypadkach są to łańcuchy. Każdy z zadeklarowanych parametrów tej metody jest typu `T`. Nawet gdybyśmy nie mieli części `<string>` pomiędzy nazwą metody a listą jej argumentów, byłoby w miarę oczywiste, że zamierzamy wywołać ją z typem `string` jako argumentem dla parametru typu `T`. Kompilator pozwala na ominięcie tej części:

```
List<string> list = MakeList ("Wiersz 1", "Wiersz 2");
```

Czy tak nie wygląda lepiej? Na pewno jest krócej. Oczywiście, nie znaczy to wcale, że kod w takiej formie będzie zawsze czytelniejszy — w pewnych sytuacjach czytelnikowi kodu może być trudno dojść do tego, jakie argumenty typów miałeś na myśli, nawet jeśli kompilator jest w stanie zrobić to z łatwością. Proponuję, abyś każdy przypadek traktował indywidualnie. Ja pozwalam kompilatorowi na wywnioskowanie typu argumentów *w większości* możliwych przypadków.

Zauważ, że kompilator z całą pewnością wie, iż używamy typu `string`, ponieważ przypisanie do listy jest akceptowane, a mimo to argument typu dla listy pozostaje na miejscu (i musi pozostać). To przypisanie nie ma wpływu na proces wnioskowania parametru typu. Jeżeli kompilator wywnioskuje argument dla parametru typu w sposób błędny, najprawdopodobniej zostanie zgłoszony błąd kompilacji.

Jak to możliwe, że kompilator jest w stanie się pomylić? Załóżmy, że jako argumentu chcielibyśmy użyć typu `object`. Parametry naszej metody są nadal poprawne,

ale ponieważ oba parametry są łańcuchami, kompilator myśli, że chcemy użyć typu `string`. Wymuszenie typu na jednym z parametrów przez jawne rzutowanie sprawi, że wnioskowanie typu nie zadziała — jeden z argumentów metody będzie sugerował, że `T` to `object`, a drugi, że `string`. W takiej sytuacji kompilator *mógłby* uznać, że wybranie typu `object` jest satysfakcjonujące, a wybranie typu `string` nie. Niestety specyfikacja dopuszcza tylko ograniczoną liczbę kroków algorytmu wyboru. Ten mechanizm jest już całkiem złożony w C# 2, a C# 3 komplikuje sprawy jeszcze bardziej. Nie będę wnikał w szczegóły działania algorytmu w C# 2, ograniczę się jedynie do przedstawienia podstawowych kroków:

1. Dla każdego argumentu metody (mówimy o zwykłych argumentach, w nawiasach okrągłych) spróbuj, używając nieskomplikowanych technik, wywnioskować niektóre z argumentów typu metody generycznej.
2. Sprawdź, czy wszystkie wyniki z pierwszego kroku są spójne — inaczej mówiąc, jeśli jeden z argumentów zasugerował dany argument typu dla pewnego parametru typu, a inny argument zasugerował odmienny argument typu dla tego samego parametru typu, wnioskowanie zawodzi dla tego wywołania metody.
3. Sprawdź, czy wszystkie parametry typów potrzebne dla wywołania metody generycznej zostały wywnioskowane. Nie można określić samodzielnie części parametrów i pozostawić resztę do „odgadnięcia” kompilatorowi. Obowiązuje zasada: „wszystko albo nic”.

Jest jedna rzecz, którą można zrobić, aby uniknąć nauki wszystkich reguł (nie polecam tego, o ile nie jesteś szczególnie zainteresowany detalami tego mechanizmu): spróbuj i zobacz, co się stanie. Jeśli myślisz, że kompilator *jest w stanie* wywnioskować *wszystkie* argumenty typu, wywołaj metodę, nie wskazując żadnego z nich. Kiedy się nie uda, wstaw jawnie wszystkie typy. Nie tracisz niczego poza chwilą na dodatkową kompilację i nie musisz mieć w głowie całego algorytmu postępowania.

W celu łatwiejszego użycia typów generycznych wnioskowanie typu może zostać połączone z ideą przeciążania nazw typów w oparciu o liczbę parametrów typu. Przykład takiego działania zobaczymy wkrótce, kiedy poskładamy wszystko w całość.

### 3.3.3. Implementowanie typów generycznych

Chociaż jest bardziej prawdopodobne, że spędzisz więcej czasu, używając metod i typów generycznych, niż pisząc je samodzielnie, jest kilka rzeczy, o których powinieneś wiedzieć, na wypadek gdyby przyszło Ci kiedyś stworzyć własną implementację. W większości przypadków możesz przyjąć, że `T` (lub dowolna inna nazwa, jaką upatrzyłeś dla swojego parametru) jest nazwą typu, i zacząć pisać kod w taki sposób, jakbyś nie miał do czynienia z typem generycznym. Powinieneś jednak mieć świadomość istnienia kilku dodatkowych czynników.

#### Wyrażenia wartości domyślnych

Pracując ze znanym sobie typem, znasz jego wartość domyślną — jest to na przykład wartość, jaką posiadałoby niezainicjalizowane pole tego typu. Kiedy nie wiesz, z jakim typem masz do czynienia, nie ma możliwości bezpośredniego wskazania wartości domyśl-



nej. Nie możesz użyć `null`, ponieważ nie ma gwarancji, że będzie to typ referencyjny, ani też zera, ponieważ może to być typ nienumeryczny. Chociaż potrzeba posiadania wartości domyślnej nie należy do częstych sytuacji, czasem jej obecność może się przydać. Dobrym przykładem jest `Dictionary<TKey, TValue>` — typ ten ma metodę `TryGetValue`, która zachowuje się nieco podobnie do obecnych w typach numerycznych metod `TryParse`, to znaczy używa parametru wyjściowego do zwrócenia wyniku działania i zwraca wartość boolowską, informującą, czy jej działanie zakończyło się sukcesem. Oznacza to, że metoda ta *musi* mieć pewną wartość typu `TValue`, którą wypełni parametr wyjściowy (pamiętasz zapewne, że parametrowi wyjściowemu trzeba przypisać wartość przed powrotem z metody).

**WZORZEC TRYXXX.** Kilka wzorców projektowych środowiska .NET można łatwo zidentyfikować poprzez zaangażowane w nie metody. Przykładowo `BeginXXX` i `EndXXX` sugerują operację asynchroniczną. Wzorec `TryXXX` jest jednym z kilku, których użycie zostało rozszerzone pomiędzy .NET 1.1 i 2.0. Został zaprojektowany dla sytuacji, które w zwykłych warunkach można byłoby traktować jako błędne (w sensie braku możliwości wykonania przez metodę jej podstawowego celu), ale w których porażka mogłaby nastąpić bez wskazywania wyraźnego błędu lub traktowania go jako wyjątku. Przykładowo użytkownicy często popełniają błędy podczas próby wpisania wartości numerycznej, zatem użyteczna byłaby *możliwość* przetłumaczenia pewnego fragmentu tekstu bez konieczności łapania i przetwarzania wyjątków. Takie rozwiązanie nie tylko poprawia wydajność w przypadku porażki, ale również oszczędza wyjątki dla poważniejszych błędów, kiedy coś jest nie tak z samym *systemem* (niezależnie od tego, jak szeroko chcesz traktować to pojęcie). Jest to wzorec, który warto posiadać w swoim „arsenale” projektanta biblioteki.

C# 2 dostarcza *wyrażenie wartości domyślnej*, które zaspokaja tę potrzebę. Chociaż w specyfikacji wyrażenie to nie jest opisywane jako operator, możesz o nim myśleć podobnie jak o operatorze `typeof`, tyle że zwracającym inną wartość. Zostało to zobrazowane na przykładzie metody generycznej na kolejnym listingu (3.4). Znajdziemy w nim również użycie wnioskowania typu i ograniczenia typu konwersji.

**Listing 3.4.** Porównywanie wartości z wartością domyślną w sposób generyczny

```
static int CompareToDefault<T>(T value)
    where T : IComparable<T>
{
    return value.CompareTo(default(T));
}
...
Console.WriteLine(CompareToDefault("x"));
Console.WriteLine(CompareToDefault(10));
Console.WriteLine(CompareToDefault(0));
Console.WriteLine(CompareToDefault(-10));
Console.WriteLine(CompareToDefault(DateTime.MinValue));
```

Listing 3.4 pokazuje metodę generyczną użytą z trzema różnymi typami: `string`, `int` i `DateTime`. `CompareToDefault` narzuca konieczność użycia jej wyłącznie z typami implementującymi interfejs `IComparable<T>`, co pozwala nam wywołać metodę `CompareTo(T)` na wartości przekazanej do środka. Drugim elementem porównania jest wartość domyślna

typu. Dla referencyjnego typu `string` wartością domyślną jest `null`, natomiast dokumentacja metody `CompareTo` mówi, że dla typów referencyjnych „cokolwiek” jest większe niż `null`. Stąd wartością pierwszego wyrażenia jest `1`. Kolejne trzy wiersze pokazują porównanie z domyślną wartością `int`, wynoszącą `0`. Wynikiem ostatniej linii jest `zero`, co wskazuje, że `DateTime.MinValue` jest wartością domyślną dla typu `DateTime`.

Oczywiście metoda z listingu 3.4 nie zadziała, jeśli jako argument przekażesz `null` — wiersz wywołujący `CompareTo` rzuci wyjątek `NullReferenceException`. Nie przejmuj się tym — jak za chwilę pokażemy, istnieje alternatywa w postaci interfejsu `IComparer<T>`.

### Porównania bezpośrednie

Chociaż listing 3.4 pokazał, w jaki sposób można dokonać porównania, nie zawsze jesteśmy skłonni do wymuszenia na naszych typach implementacji `IComparable<T>` lub siostrzanego interfejsu `IComparable<T>`, który dostarcza metodę o mocnym typie — `Equals`  $\rightarrow$  (`T`) — uzupełniającą istniejącą w każdym typie metodę `Equals(object)`. Bez dodatkowej informacji, do jakiej dostęp dają nam te interfejsy, nie jesteśmy w stanie zrobić wiele więcej ponad wywołanie `Equals(object)`, co w przypadku typów wartościowych spowoduje opakowanie wartości, z którą chcemy porównać wartość w bieżącym kontekście. (W praktyce istnieje kilka typów, które mogą nam pomóc w pewnych sytuacjach — dojdziemy do nich za moment).

Kiedy parametr typu jest nieograniczony (nie zostały użyte żadne ograniczenia wobec niego), możesz stosować operatory `==` i `!=`, ale *wyłącznie* do porównywania wartości tego typu z `null`. Nie możesz porównać dwóch wartości typu `T` ze sobą nawzajem. Kiedy argumentem typu jest typ referencyjny, zostanie zastosowane zwykle porównanie referencji. W przypadku kiedy argumentem podstawionym pod `T` jest nienullowalny typ wartościowy, wynikiem porównania z `null` będzie zawsze nierówność (w związku z czym porównanie może być usunięte przez kompilator JIT). Kiedy argumentem jest nullowalny typ wartościowy, porównanie będzie zachowywać się w tradycyjny sposób — nastąpi porównanie z wartością nullową danego typu<sup>5</sup>. (Nie przejmuj się, jeśli nie widzisz w tym jeszcze sensu — wszystko wyklaruje się, kiedy przeczytasz następny rozdział. Niestety niektóre cechy przeplatają się ze sobą tak mocno, że nie jestem w stanie opisać którejkolwiek z nich w sposób kompletny bez odwoływania się do innej).

Kiedy parametr typu jest ograniczony do typów wartościowych, porównania `==` i `!=` są zabronione. W przypadku ograniczenia do typów referencyjnych rodzaj wykonywanej operacji porównania zależy *dokładnie* od tego, do czego ograniczony został parametr typu. Jeżeli jest to *tylko* typ referencyjny, wykonywane są proste porównania referencyjne. Jeżeli występuje dodatkowe ograniczenie w postaci konieczności wydziedziczenia z typu przeciążającego operatory `==` i `!=`, w porównaniach są używane te przeciążone operatory. Uważaj jednak, bo dodatkowe przeciążenia, które przypadkiem stały się dostępne poprzez argument typu wyspecyfikowany w kodzie wywołującym, *nie* są stosowane. Dokumentuje to kolejny listing (3.5) z prostym typem referencyjnym i argumentem w formie typu `string`.

<sup>5</sup> W chwili pisania tej książki kod generowany przez kompilator JIT dla porównań nieograniczonych wartości parametrów typu z `null` jest niesamowicie wolny dla wartościowych typów nullowalnych. Jeśli ograniczysz parametr `T` do typów nienullowalnych, a następnie porównasz wartość typu `T?` z `null`, czas wykonania tej operacji będzie znacznie krótszy. Jest to pole do dalszej optymalizacji JIT.

**Listing 3.5.** Porównania referencyjne z wykorzystaniem operatorów == i !=

```

static bool AreReferencesEqual<T>(T first, T second)
    where T : class
{
    return first == second;
}
...
string name = "Jan";
string intro1 = "Mam na imię " + name;
string intro2 = "Mam na imię " + name;
Console.WriteLine(intro1 == intro2);
Console.WriteLine(AreReferencesEqual(intro1, intro2));

```

① Porównanie referencji

② Porównanie przy użyciu przeciążonego operatora porównania łańcuchów

Chociaż string przeciąża operator == (co demonstruje ②), wyświetlając True), to przeciążony operator nie jest używany w porównaniu ①. Mówiąc prościej, kiedy kompilowany jest typ `AreReferencesEqual<T>`, kompilator nie wie, że dostępne będą przeciążenia — zachowuje się trochę tak, jakby przekazane parametry były typu `object`.

To zachowanie nie jest wyłączną domeną operatorów — kiedy kompilator napotka w trakcie kompilacji typ generyczny, wyszukuje wszystkie przeciążenia metod dla typu niezwiązanego. Nie ma mowy o rozważaniu możliwych wywołań metod dla specyficznych przeciążeń w trakcie wykonania. Na przykład wyrażenie `Console.WriteLine(default(T));` zostanie zawsze rozwinięte do wywołania `Console.WriteLine(object value)` — nie będzie wywołania `WriteLine(string value)`, kiedy `T` przypadkiem będzie typu `string`. Jest to podejście zbliżone do zwykłego przeciążania, które jest rozwiązywane w trakcie kompilacji, a nie w trakcie wykonania, chociaż Czytelnicy mający pewne doświadczenie we wzorcach `C++` mogą dać się jeszcze zaskoczyć<sup>6</sup>.

W przypadku porównywania wartości dwiema *niezwykle* użytecznymi klasami są `EqualityComparer<T>` i `Comparer<T>` — obie w przestrzeni nazw `System.Collections.Generic`. Implementują one, odpowiednio, `IEqualityComparer<T>` i `IComparer<T>`. Właściwość `Default` zwraca implementację, która na ogół wykonuje to, co trzeba, dla odpowiedniego typu.

**GENERYCZNE INTERFEJSY PORÓWNUJĄCE.** Istnieją cztery podstawowe interfejsy do implementacji porównań. Dwa z nich — `IComparer<T>` i `IComparable<T>` — służą do *porządkowania* (sprawdzają, czy pierwsza wartość jest mniejsza, równa, czy większa od drugiej), a pozostałe dwa — `IEqualityComparer<T>` i `IEqualityComparer<T>` — porównują, stosując pewne kryteria, elementy pod względem *równości* oraz wykonują ich skróty (w sposób zgodny z tą samą ideą równości obiektów).

Szeregując je w inny sposób, `IComparer<T>` i `IEqualityComparer<T>` są implementowane przez typy zdolne do porównania dwóch różnych wartości, podczas gdy instancje `IComparable<T>` i `IEquatable<T>` są zdolne do porównania *samych siebie* z inną wartością.

<sup>6</sup> W rozdziale 14. zobaczymy, że typy dynamiczne dają możliwość rozwiązywania przeciążeń w czasie wykonania programu.

Dowiedz się więcej na temat tych interfejsów, czytając dokumentację, i rozważ użycie ich (i innych podobnych typów — jak `StringComparer`) podczas wykonywania operacji porównywania. W naszym następnym przykładzie użyjemy interfejsu `IEqualityComparer<T>`.

### **Pełny przykład z porównywaniem — reprezentacja pary wartości**

Na koniec naszych rozważań na temat implementacji typów i metod generycznych (można z całą śmiałością powiedzieć, że był to poziom dla średnio zaawansowanych) prezentujemy kompletny przykład. Implementuje on użyteczny typ generyczny — `Pair<T1, T2>`, który przechowuje dwie wartości, podobnie jak para klucz-wartość, ale bez żadnych oczekiwań co do związku pomiędzy nimi.

**.NET 4 I KROTKI.** Wiele z funkcjonalności naszego przykładu można znaleźć w gotowych rozwiązaniach oferowanych przez .NET 4, w tym również struktury obsługujące różne ilości parametrów typu. Szukaj klas `Tuple<T1>`, `Tuple<T1, T2>` itd. w przestrzeni nazw `System`.

Oprócz implementacji właściwości dających dostęp do samych wartości nadpiszemy również metody `Equals` i `GetHashCode`, aby pozwolić instancjom naszego typu na prawidłowe zachowanie w sytuacji, kiedy zostaną one użyte jako klucze słownika. Kompletny przykład znajduje się na poniższym listingu (3.6).

#### **Listing 3.6.** Klasa generyczna reprezentująca parę wartości

```
using System;
using System.Collections.Generic;

public sealed class Pair<T1, T2> : IEquatable<Pair<T1, T2>>
{
    private static readonly IEqualityComparer<T1> FirstComparer =
        EqualityComparer<T1>.Default;
    private static readonly IEqualityComparer<T2> SecondComparer =
        EqualityComparer<T2>.Default;

    private readonly T1 first;
    private readonly T2 second;

    public Pair(T1 first, T2 second)
    {
        this.first = first;
        this.second = second;
    }

    public T1 First { get { return first; } }

    public T2 Second { get { return second; } }

    public bool Equals(Pair<T1, T2> other)
    {
        return other != null &&
            FirstComparer.Equals(this.First, other.First) &&
            SecondComparer.Equals(this.Second, other.Second);
    }
}
```

```
public override bool Equals(object o)
{
    return Equals(o as Pair<T1, T2>);
}

public override int GetHashCode()
{
    return FirstComparer.GetHashCode(first) * 37 +
        SecondComparer.GetHashCode(second);
}
}
```

Listing 3.6 jest prosty. W polach odpowiedniego typu są przechowywane składniki klasy. Dostęp do nich dają proste właściwości tylko do odczytu. Implementujemy `IEquatable<Pair<T1, T2>>`, dzięki czemu udostępniamy na zewnątrz interfejs programistyczny o mocnym typie i unikamy niepotrzebnych sprawdzeń w czasie wykonywania programu. Kod sprawdzający równość i generujący skrót korzysta z domyślnych instancji porównujących dla naszych parametrów typu, dzięki czemu mamy automatycznie obsługane wartości `null`, co upraszcza implementację<sup>7</sup>.

Instancje interfejsów porównujących `T1` i `T2` zostały umieszczone w zmiennych statycznych głównie ze względu na ograniczenia w formatowaniu kodu narzucane przez rozmiar drukowanej strony. Będą one jednak dobrym punktem odniesienia do następnej sekcji.

Gdybyśmy chcieli wyposażyć naszą klasę w funkcję sortowania, moglibyśmy zaimplementować interfejs `IComparer<Pair<T1, T2>>` i założyć w implementacji, że pierwszy element występuje przed drugim. Tego rodzaju typ jest dobrym przykładem pokazującym, jakiej funkcjonalności *moglibyśmy* potrzebować, bez konieczności implementowania jej do momentu, kiedy faktycznie będzie potrzebna.

Mamy już naszą klasę `Pair`. A jak skonstruujemy jej instancję? Chwilowo możemy skorzystać z czegoś takiego:

```
Pair<int, string> pair = new Pair<int, string>(10, "wartość");
```

Nie wygląda to szczególnie ładnie. Dobrze by było skorzystać z wnioskowania typów, ale ten mechanizm działa tylko dla metod, a my żadnej nie posiadamy. Jeżeli umieścimy metodę generyczną wewnątrz typu generycznego, nadal będziemy zmuszeni zacząć od wskazania argumentów typu. Rozwiązaniem jest użycie niegenerycznej klasy pomocniczej z metodą generyczną w środku, jak pokazuje to poniższy listing (3.7).

**Listing 3.7.** Użycie typu niegenerycznego w połączeniu z metodą generyczną w celu skorzystania z wnioskowania typu

```
public static class Pair
{
    public static Pair<T1, T2> Of<T1, T2>(T1 first, T2 second)
    {
```

<sup>7</sup> Formuła użyta do obliczenia skrótu, oparta na dwóch wynikach częściowych, pochodzi z książki *Java. Efektywne Programowanie. Wydanie II* Joshuy Blocha (Helion, Gliwice 2009). Nie gwarantuje ona dobrego rozkładu skrótów, ale moim zdaniem jest znacznie lepsza niż użycie XOR-a bit po bicie. Więcej szczegółów na ten temat, a także inne użyteczne ciekawostki znajdziesz we wspomnianej książce.

```

        return new Pair<T1, T2>(first, second);
    }
}

```

Jeżeli czytasz tę książkę po raz pierwszy, zignoruj fakt, iż klasa została zadeklarowana jako statyczna. Dlaczego tak się stało, dowiemy się w rozdziale 7. Ważniejsza rzeczą jest to, że mamy niegeneryczną klasę z metodą generyczną. Dzięki temu możemy zamienić nasz poprzedni przykład na znacznie przyjemniejszy dla oka:

```
Pair<int, string> pair = Pair.Of(10, "wartość");
```

W C# 3 mogliśmy nawet obyć się bez jawnego wskazywania typów zmiennej `pair`, ale nie uprzedzamy faktów. Użycie tego typu niegenerycznych klas (lub klas częściowo generycznych, jeśli masz co najmniej dwa parametry typu i chcesz wywnioskować niektóre z nich, a pozostałe wskazać jawnie) jest użytecznym trikiem.

W tym momencie zakończyliśmy analizę cech „pośrednich”. Zdaję sobie sprawę, że wszystko to wydaje się trochę skomplikowane na pierwszy rzut oka, ale zachęcam do wytrwałości. Ten dodatkowy stopień skomplikowania jest niczym w porównaniu do korzyściami, jakie osiągniemy. Z czasem użycie tych cech stanie się Twoją drugą naturą. Teraz nadszedł dobry moment, abyś przyjrzał się swojej własnej bibliotece klas i sprawdził, czy nie ma tam przypadkiem wzorców, które wciąż od nowa implementujesz wyłącznie ze względu na konieczność używania innych typów.

Każdy obszerny temat sprawia, że nieustannie pojawiają się nowe elementy do nauczenia. Kolejny podrozdział przeprowadzi Cię przez jedno z najważniejszych zagadnień zaawansowanej wiedzy o typach generycznych. Jeśli uważasz, że jest to nieco ponad Twoje siły, możesz pominąć tę część i przejść bezpośrednio do podrozdziału 3.5, gdzie omawiamy niektóre z ograniczeń<sup>8</sup> typów i metod generycznych. Materiał zawarty w następnym podrozdziale i tak warto zrozumieć. Jeśli jednak wszystko, co do tej pory czytałeś, jest dla Ciebie nowe, nie zaszkodzi go w tej chwili pominąć.

## 3.4. Zaawansowane elementy typów generycznych

Być może spodziewasz się, że w pozostałej części tego rozdziału zajmiemy się każdym możliwym aspektem typów i metod generycznych, o którym nie wspomnieliśmy do tej pory. Istnieje *tak wiele* zaułków i ciemnych korytarzy związanych z typami generycznymi, że jest to zwyczajnie niemożliwe. Ja w każdym razie nie chciałbym czytać o nich wszystkich, nie wspominając już o ich opisywaniu. Na nasze szczęście dobrzy ludzie z Microsoftu i ECMA zapisali wszystkie detale w specyfikacji języka, więc jeśli kiedykolwiek będziesz potrzebował zweryfikować jakąś niejasność, powinieneś zacząć od tych opracowań. Niestety, nie jestem w stanie wskazać jednej konkretnej części specyfikacji, która mówiłaby o typach generycznych. Ich obecność objawia się niemal wszędzie. Z drugiej strony warto się zastanowić, czy doprowadzenie swojego kodu do takiego stanu, że jego zrozumienie będzie wymagać analizy przypadków szczególnych w specyfikacji języka, ma jakikolwiek sens. Wskazane jest raczej dokonanie refaktory-

<sup>8</sup> W tym miejscu chodzi o ograniczenia typów i metod generycznych jako całości, a nie o opisywaną wcześniej składnię języka pozwalającą wpływać na postać konkretnych parametrów typu — *przyj. tłum.*

zacji kodu do prostszej postaci, w przeciwnym wypadku każdy kolejny inżynier przypisany do utrzymywania tego projektu będzie musiał rozpoczynać swoją pracę od lektury najmniej przyjemnych części specyfikacji.

Moim celem w tym podrozdziale jest zapoznanie Cię z wszystkimi detalami, które *prawdopodobnie* chciałbyś znać. Będę mówił więcej na temat środowiska wykonania niż na temat samej składni języka C# 2, chociaż wszystko to będzie miało oczywiście związek z programowaniem w C#. Zaczniemy od rozważenia statycznych elementów typów generycznych, włączając w to inicjalizację typu. Dalej zajmiemy się analizą tego, co właściwie dzieje się „pod maską”, chociaż będę się starał traktować w miarę lekko wszelkie szczegóły dotyczące istotnych efektów podjętych decyzji projektowych. Zobaczmy, co się dzieje, kiedy enumerujesz kolekcję generyczną, używając `foreach` w C# 2. Na koniec przyjrzymy się, jaki wpływ mają typy generyczne na mechanizm refleksji w .NET.

### 3.4.1. Pola i konstruktory statyczne

Pola instancji typu należą do instancji, a pola statyczne do typu, w którym zostały zadeklarowane. Jeśli zadeklarujesz statyczne pole `x` w klasie `SomeClass`, niezależnie od tego, ile instancji tej klasy stworzysz lub ile klas potomnych utworzysz w oparciu o `SomeClass`, będzie istnieć dokładnie jedno pole `SomeClass.x`<sup>9</sup>. Ten scenariusz obowiązuje w C# 1, a jak ma się sprawa w przypadku typów generycznych?

Odpowiedź brzmi: każdy z *zamkniętych* typów ma swój własny zestaw pól statycznych. Widzieliśmy to już na listingu 3.6, kiedy w polach statycznych umieściliśmy domyślne instancje interfejsów porównujących dla `T1` i `T2`, ale ponownie przyjrzyjmy się temu bliżej, używając innego przykładu. Listing 3.8 implementuje typ generyczny ze statycznym polem. Ustawiamy wartość tego pola dla różnych typów zamkniętych, a następnie wyświetlamy ich zawartość, aby pokazać, że faktycznie są od siebie odseparowane.

**Listing 3.8.** Dowód na to, że różne typy zamknięte posiadają niezależne pola statyczne

```
class TypeWithField<T>
{
    public static string field;

    public static void PrintField()
    {
        Console.WriteLine(field + ": " + typeof(T).Name);
    }
}
...
TypeWithField<int>.field = "Pierwszy";
TypeWithField<string>.field = "Drugi";
TypeWithField<DateTime>.field = "Trzeci";
```

<sup>9</sup> Ścisłe rzecz biorąc, będzie istnieć jedna instancja na aplikację. Na potrzeby tej sekcji założymy, że mamy do czynienia z pojedynczą aplikacją. W przypadku wielu aplikacji wykonywanych jednocześnie takie same zasady obowiązują typy generyczne i niegeneryczne. Spod obowiązujących reguł w obu przypadkach są wyłączone zmienne deklarowane z użyciem `[ThreadStatic]`.

```
TypeWithField<int>.PrintField();
TypeWithField<string>.PrintField();
TypeWithField<DateTime>.PrintField();
```

Każdemu polu przypisujemy inną wartość, a następnie wyświetlamy ją wraz z nazwą argumentu użytego do stworzenia tego konkretnego typu zamkniętego. Oto wynik działania programu z listingu 3.8:

```
Pierwszy: Int32
Drugi: String
Trzeci: DateTime
```

Zatem podstawową zasadą jest: „jedno pole statyczne na każdy typ zamknięty”. To samo dotyczy statycznych inicjalizatorów i konstruktorów. Istnieje jednak możliwość posiadania jednego typu generycznego wewnątrz innego, a także typów z wieloma parametrami typów. Wydaje się, że jest to zdecydowanie bardziej *skomplikowane*, ale tak naprawdę proces ten przebiega właśnie tak, jak prawdopodobnie sobie to wyobrażasz. Przykład takiego zachowania pokazuje poniższy listing (3.9).

**Listing 3.9.** Konstruktory statyczne z zagnieżdżonymi typami generycznymi

```
public class Outer<T>
{
    public class Inner<U, V>
    {
        static Inner()
        {
            Console.WriteLine("Outer<{0}>.Inner<{1},{2}>",
                typeof(T).Name,
                typeof(U).Name,
                typeof(V).Name);
        }

        public static void DummyMethod()
        {
        }
    }
}

...
Outer<int>.Inner<string, DateTime>.DummyMethod();
Outer<string>.Inner<int, int>.DummyMethod();
Outer<object>.Inner<string, object>.DummyMethod();
Outer<string>.Inner<string, object>.DummyMethod();
Outer<object>.Inner<object, string>.DummyMethod();
Outer<string>.Inner<int, int>.DummyMethod();
```

Pierwsze wywołanie `DummyMethod()` dla dowolnego typu spowoduje zainicjalizowanie typu. W tym momencie konstruktor statyczny wypisuje pewne informacje diagnostyczne. Każda unikalna lista argumentów typu liczy się jako inny typ zamknięty, zatem wynik działania kodu z listingu 3.9 wygląda następująco:

```
Outer<Int32>.Inner<String,DateTime>
Outer<String>.Inner<Int32,Int32>
Outer<Object>.Inner<String,Object>
```



```
Outer<String>.Inner<String, Object>  
Outer<Object>.Inner<Object, String>
```

Tak jak w przypadku typów niegenerycznych, konstruktor statyczny dowolnego typu zamkniętego jest wywoływany tylko raz. Właśnie z tego powodu ostatni wiersz z listingu 3.9 nie tworzy szóstego wiersza wyniku — statyczny konstruktor dla `Outer<string>.Inner<int, int>` został wykonany wcześniej i wyprodukował drugi wiersz wyniku. Dla ścisłości: gdybyśmy mieli niegeneryczną klasę `PlainInner` w klasie `Outer`, nadal istniałby jeden możliwy typ `Outer<T>.PlainInner` na każdy zamknięty typ `Outer`, zatem `Outer<int>.PlainInner` różniłby się od `Outer<long>.PlainInner` i każdy z nich posiadałby swój zestaw pól statycznych.

Wiemy już, co wpływa na ukonstytuowanie się oddzielnego zestawu pól statycznych. Zastanówmy się, jakie mogą być efekty takiego działania z punktu widzenia wygenerowanego kodu natywnego. Dodam, że nie jest tak źle, jak może Ci się wydawać...

### 3.4.2. Jak kompilator JIT traktuje typy generyczne

Zadaniem kompilatora JIT jest przekonwertowanie kodu IL typu generycznego na kod natywny, który może być uruchomiony na danej platformie. Do pewnego stopnia nie powinno nas interesować, jak dokładnie kompilator wykonuje swoje zadanie — nie stanowiłoby dla nas wielkiej różnicy, pomijając pamięć i czas procesora, gdyby JIT przyjął najprostszą z możliwych strategii i wygenerował oddzielny kod natywny dla każdego możliwego typu, tak jakby każdy z nich nie miał nic wspólnego z dowolnym innym typem. Warto jednak sprawdzić, co się dokładnie dzieje, choćby po to, aby się przekonać, jak pomysłowi byli autorzy kompilatora JIT.

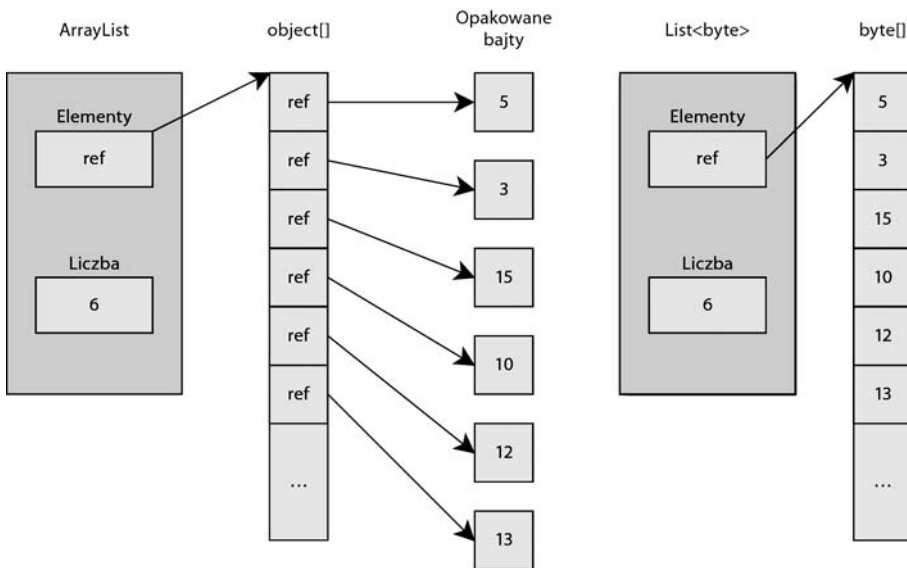
Zacznijmy od prostej sytuacji z pojedynczym parametrem typu — dla wygody niech będzie to `List<T>`. Kompilator JIT tworzy oddzielny kod natywny dla każdego zamkniętego typu, którego argumentem typu jest typ wartościowy — `int`, `long`, `Guid` itp. Kod natywny jest za to współdzielony dla wszystkich typów zamkniętych, które używają typów referencyjnych, takich jak `string`, `Stream` i `StringBuilder`. Może tak zrobić, ponieważ wszystkie referencje mają taki sam rozmiar (jest on zależny od platformy — CLR-32 lub CLR-64, ale w ramach tej samej platformy niezmienny). Lista referencji będzie miała zawsze taki sam rozmiar, niezależnie od tego, na co wskazują te referencje. Ilość pamięci potrzebna na stosie do zapamiętania referencji również będzie taka sama. Można zastosować takie same mechanizmy optymalizacji rejestrów, niezależnie od użytego typu. Tę listę mogliśmybyśmy ciągnąć jeszcze bardzo długo.

Tak jak powiedzieliśmy wcześniej (w sekcji 3.4.1), każdy typ nadal posiada własne pola statyczne, ale korzysta ze wspólnego kodu. Oczywiście JIT wykazuje się pewnym „lenistwem” — kod dla `List<int>` jest generowany dopiero wtedy, kiedy jest faktycznie potrzebny, a po wygenerowaniu jest zapamiętywany dla przypadków użycia `List<int>` w przyszłości. Teoretycznie możliwe jest wykorzystanie tego samego kodu dla *niektórych* typów wartościowych. Kompilator JIT musiałby być w takich sytuacjach niezwykle ostrożny, nie tylko ze względu na rozmiar instancji w pamięci, ale również z powodu mechanizmu odśmiecania — musiałaby istnieć możliwość szybkiego identyfikowania obszarów struktury będących aktywnymi referencjami. Uwzględniając te warunki, typy wartościowe o tym samym rozmiarze i takim samym obrazie w pamięci (z punktu widzenia odśmiecania) *mogłyby* współdzielić kod. Na etapie powstawania niniejszej książki

możliwość ta miała tak niski priorytet, że nie została zaimplementowana, i prawdopodobnie sytuacja ta nieprędko się zmieni.

Tak duży poziom szczegółowości jest domeną akademicką, ale ma on również mały wpływ na wydajność w związku z większą ilością kodu, jaką musi kompilować JIT. Z drugiej strony *korzyści* wydajnościowe oferowane przez typy generyczne mogą być niewyobrażalne, a wszystko to właśnie dzięki możliwościom tworzenia kodu dla różnych typów przez ten kompilator. Weźmy dla przykładu `List<byte>`. W .NET 1.1 dodawanie pojedynczych bajtów do kolekcji typu `ArrayList` wymagało opakowania każdego z nich, a następnie zapamiętania referencji do opakowanej wartości. Użycie `List<byte>` nie nakłada takich wymogów — `List<T>` ma pole typu `T[]`, będące odpowiednikiem `object[]` w `ArrayList`. Dzięki temu tablica ma odpowiedni typ i zajmuje właściwą ilość miejsca w pamięci. Zatem `List<byte>` przechowuje swoje elementy w tablicy `byte[]` (co pod wieloma względami upodabnia ją do typu `MemoryStream`).

Rysunek 3.3 pokazuje instancje dwóch typów: `ArrayList` i `List<byte>`, z których każda zawiera sześć jednakowych wartości. Obie tablice pozwalają na dokładanie elementów, obie mają pewien bufor i w miarę możliwości mogą go powiększyć.



**Rysunek 3.3.** Przedstawienie w sposób graficzny, dlaczego `List<T>` zajmuje o wiele mniej miejsca niż `ArrayList`

W tym konkretnym przypadku różnica w wydajności jest niesamowita. Przyjrzyjmy się najpierw tablicy `ArrayList`, zakładając, że jesteśmy na platformie CLR-32<sup>10</sup>. Każdy z bajtów będzie wymagał 8-bajтового narzutu związanego z przechowywującym go obiektem plus 4 bajty (1 bajt zaokrąglony do granicy słowa) na dane. Do tego dochodzą wszystkie referencje, z których każda zajmuje 4 bajty. Za przechowanie pojedynczego bajta „płacimy” szesnastoma bajtami. Pozostaje jeszcze miejsce zajmowane przez referencje w buforze.

<sup>10</sup>Ta sama sytuacja na platformie CLR-64 zwiększa narzut pamięciowy.

Porównaj ten stan rzeczy z typem `List<byte>`. Każdy bajt w liście zajmuje pojedynczy bajt w tablicy elementów. Pozostaje pamięć zarezerwowana na potrzeby nowych elementów, ale zużywamy tylko po jednym bajcie na każdy taki element.

Zyskujemy nie tylko miejsce, ale również szybkość wykonania. Nie potrzebujemy czasu na przydzielenie miejsca „pudełku”, sprawdzanie typu związanego z operacjami opakowywania i odpakowywania czy zbieranie śmieci pozostałych po odpakowaniu wartości.

Nie musimy schodzić do poziomu środowiska wykonania, aby znaleźć rzeczy, które dzieją się w sposób niezauważalny dla nas. `C#` od zawsze ułatwiał życie przez skróty syntaktyczne. W kolejnej sekcji przyjrzymy się znanemu już przykładowi — iteracji przy użyciu `foreach` — ale tym razem z domieszką typów generycznych.

### 3.4.3. Iteracja przy użyciu typów generycznych

Jedną z najczęściej wykonywanych operacji na kolekcjach jest iterowanie po wszystkich jej elementach. Najprostszym sposobem wykonania tej operacji jest użycie pętli `foreach`. W pierwszej wersji `C#` wymagało to implementowania przez kolekcję interfejsu `System.Collections.IEnumerable` lub posiadania podobnej metody — `GetEnumerator()` — która zwracała typ z metodą `MoveNext()` i właściwością `Current`. Właściwość `Current` nie musiała być typu `object` i właśnie z tego powodu obowiązywały wszystkie powyższe reguły, które na pierwszy rzut oka wydają się dziwne. Jak widać, posiadając odpowiedni typ danych, nawet w `C# 1` można było uniknąć operacji opakowywania i odpakowywania podczas iteracji.

W `C# 2` zadanie zostało uproszczone przez wprowadzenie dodatkowych reguł dla `foreach`. Zezwolono na użycie interfejsu `System.Collections.Generic.IEnumerable<T>` razem z jego partnerem `IEnumerator<T>`. Są to odpowiedniki starszych interfejsów iteratora, a ich użycie jest preferowane w stosunku do niegenerycznych wersji. Oznacza to, że jeśli iterujesz po generycznej kolekcji typu wartościowego — niech będzie to `List<int>` — operacja opakowywania nie jest wykonywana. W przypadku starego interfejsu, nawet gdybyśmy uniknęli kosztu opakowywania podczas *zapisywania* elementów w liście, nadal musielibyśmy opakowywać przy dostępie do nich w pętli `foreach`!

Wszystkie te operacje są wykonywane „pod maską” — od Ciebie wymaga się jedynie użycia pętli `foreach` i odpowiedniego typu dla zmiennej iteracyjnej. To jednak nie koniec historii. W rzadkich przypadkach, kiedy będziesz musiał zaimplementować iterację po swoim własnym typie, przekonasz się, że `IEnumerable<T>` rozszerza interfejs `IEnumerable`, co oznacza, że będziesz musiał zaimplementować dwie różne metody:

```
IEnumerator<T> GetEnumerator();  
IEnumerator GetEnumerator();
```

Czy widzisz problem? Metody różnią się jedynie typem zwracanym, a zasady przeciążania metod w `C#` nie pozwalają w normalnych warunkach na napisanie dwóch takich metod. Podobną sytuację spotkaliśmy w sekcji 2.2.2 i teraz możemy użyć podobnego obejścia. Jeżeli zaimplementujesz `IEnumerable` poprzez jawną implementację interfejsu, nie będziesz mógł w „normalny” sposób zaimplementować `IEnumerable<T>`. Na szczęście, ponieważ `IEnumerator<T>` rozszerza `IEnumerator`, możesz użyć tej samej wartości w obu metodach i zaimplementować wersję niegeneryczną przez wywołanie wersji

generycznej. Teraz jednak musisz zaimplementować `IEnumerator<T>` i szybko trafiasz na problem, tym razem z właściwością `Current`.

Poniższy listing (3.10) przedstawia kompletny przykład implementacji klasy enumerable, która zawsze iteruje po wartościach typu całkowitego od 0 do 9.

**Listing 3.10.** Iterator generyczny dla liczb od 0 do 9

```

class CountingEnumerable : IEnumerable<int>
{
    public IEnumerator<int> GetEnumerator() ← ❶ Niejawna implementacja
    {                                     IEnumerable<T>
        {
            return new CountingEnumerator();
        }
    }

    IEnumerator IEnumerable.GetEnumerator() ← ❷ Jawna implementacja
    {                                     IEnumerable
        {
            return GetEnumerator();
        }
    }
}

class CountingEnumerator : IEnumerator<int>
{
    int current = -1;

    public bool MoveNext()
    {
        current++;
        return current < 10;
    }

    public int Current
    {
        get { return current; } ← ❸ Niejawna implementacja
    }                                     IEnumerator<T>.Current

    object IEnumerator.Current
    {
        get { return Current; } ← ❹ Jawna implementacja
    }                                     IEnumerator.Current

    public void Reset()
    {
        throw new NotSupportedException();
    }

    public void Dispose()
    {
    }
}

...
CountingEnumerable counter = new CountingEnumerable(); ← ❺ Dowód
foreach (int x in counter)                               na działanie typu
{
    Console.WriteLine(x);
}

```

Oczywiście użyteczność tego przykładu, z punktu widzenia zwracanego wyniku, jest znikoma, ale pokazuje on pewne „wyboje”, przez które trzeba przejść, aby poprawnie zaimplementować iterację w sposób generyczny — przynajmniej wtedy, kiedy robisz to długą metodą i bez rzucania wyjątków przy próbach odwołania się do `Current` w nieodpowiednim momencie. Jeśli uważasz, że listing 3.10 jest trochę duży jak na wypisywanie liczb od 0 do 9, nie mogę zrobić nic więcej ponad przyznanie Ci racji — gdybyśmy chcieli iterować po bardziej użytecznych wartościach, byłoby jeszcze więcej kodu. Na szczęście w rozdziale 6. zobaczymy, że w pewnych sytuacjach `C# 2` potrafi odsunąć od nas sporą część pracy związaną z iteratorami. Pokazałem tutaj pełny przykład po to, abyś mógł zobaczyć malutkie niedociągnięcia, celowo wprowadzone przez projektantów przy rozszerzaniu `IEnumerable` przez `IEnumerable<T>`. Nie sugeruję bynajmniej, że była to zła decyzja — pozwala ona na przekazanie dowolnej wartości `IEnumerable<T>` do metody napisanej w `C# 1` poprzez parametr `IEnumerable`. Dzisiaj nie ma to już takiego wielkiego znaczenia jak jeszcze w 2005 roku, ale nadal stanowi użyteczną ścieżkę przekazywania danych z nowszej wersji kodu do starszej.

Potrzebujemy jedynie dwukrotnie skorzystać z triku jawnej implementacji interfejsu — pierwszy raz dla `IEnumerable.GetEnumerator` (2) i drugi dla `IEnumerator.Current` (4). Oba przypadki wywołują swoje generyczne odpowiedniki (odpowiednio (1) i (3)). `IEnumerator<T>` rozszerza `IDisposable`, zatem musimy dostarczyć implementację metody `Dispose`. Wyrażenie `foreach` w `C# 1` wywołuje `Dispose` na iteratorze, jeżeli ten implementuje `IDisposable`. W `C# 2`, jeśli kompilator wykryje, że zaimplementowałeś `IEnumerable<T>`, stworzy bezwarunkowe wywołanie `Dispose` na końcu pętli (w bloku `finally`). Wiele iteratorów nie musi w praktyce niczego zwalniać, ale warto wiedzieć, że kiedy zwalnianie jest potrzebne, najczęściej stosowana metoda przechodzenia po kolekcji — `foreach` (5) — automatycznie dokłada odpowiednie wywołanie. Ten mechanizm jest wykorzystywany najczęściej do zwalniania zasobów po zakończonej iteracji — przykładem może być iterator chodzący po wierszach pliku, który na końcu zwalnia uchwyt do pliku.

Przejdziemy teraz od wydajności czasu kompilacji do elastyczności w czasie wykonywania. Naszym ostatnim tematem jest refleksja. Mechanizm ten potrafi być podchwytliwy nawet w `.NET 1.0/1.1`, a po wprowadzeniu typów generycznych sytuacja staje się jeszcze ciekawsza. Chociaż środowisko dostarcza wszystkiego, czego potrzebujemy (z odrobiną pomocnej składni języka `C# 2`), zrozumienie tego tematu może być trudne. Proponuję zabrać się do niego bez zbędnego pośpiechu.

### 3.4.4. Refleksja i typy generyczne

Refleksja jest wykorzystywana przez programistów do różnych celów. W czasie wykonywania możesz jej użyć do introspekcji obiektów i przeprowadzenia prostej formy binowania danych. Możesz dokonać inspekcji katalogu pełnego modułów w celu znalezienia implementacji interfejsu plug-inu. Możesz napisać plik dla środowiska „odwracania kontroli” (zobacz <http://mng.bz/xc3J>) w celu załadowania i dynamicznej konfiguracji komponentów Twojej aplikacji. Ze względu na tak dużą różnorodność sposobów wykorzystania refleksji nie będę się skupiał na żadnym konkretnym zastosowaniu, ale postaram się dostarczyć ogólne wytyczne odnośnie do tych zadań. Zaczniemy od rozszerzenia operatora `typeof`.

## Używanie typeof z typami generycznymi

Refleksja sprowadza się do analizowania obiektów i sprawdzania ich typów. Zatem pierwszym krokiem, jaki trzeba wykonać, jest uzyskanie referencji do obiektu typu `System.Type`, który daje dostęp do wszystkich informacji na temat typu. Do uzyskania takiej informacji dla typów znanych w czasie kompilacji można użyć operatora `typeof`, który swoim zasięgiem obejmuje również typy generyczne.

Istnieją dwa sposoby użycia `typeof` w połączeniu z typami generycznymi — pierwszy wydobywa *definicję typu generycznego* (inaczej mówiąc, niezwiązany typ generyczny), a drugi konkretny typ skonstruowany. Aby uzyskać definicję typu generycznego — typu bez wskazywania jakichkolwiek argumentów dla parametrów typu — weź deklarację typu i usuń z niej wszystkie parametry typu, pozostawiając jedynie przecinki. Dla typu skonstruowanego musisz wskazać argumenty typu w taki sam sposób, jakbyś deklarował zmienną typu generycznego. Oba przypadki zostały zademonstrowane na listingu 3.11. Przykład korzysta z metody generycznej, dzięki czemu widzimy użycie `typeof` w połączeniu z parametrem typu (podobną rzecz widzieliśmy na listingu 3.8).

**Listing 3.11.** Użycie operatora `typeof` w połączeniu z parametrami typu

```
static internal void DemonstrateTypeof<X>()
{
    Console.WriteLine(typeof(X)); ← Wyświetlenie
                                   parametru typu metody

    Console.WriteLine(typeof(List<>)); ←
    Console.WriteLine(typeof(Dictionary<,>));

    Console.WriteLine(typeof(List<X>)); ← ❶ Wyświetlenie typów
    Console.WriteLine(typeof(Dictionary<string, X>)); ← zamkniętych (pomimo
                                                         użycia parametru typu)

    Console.WriteLine(typeof(List<long>)); ← Wyświetlenie typów zamkniętych
    Console.WriteLine(typeof(Dictionary<long, Guid>));
}

...
DemonstrateTypeof<int>();
```

Większość kodu z listingu 3.11 zachowuje się zgodnie z Twoimi oczekiwaniami, ale warto zwrócić uwagę na dwie rzeczy. Zobacz, w jaki sposób jest pobierana definicja typu generycznego dla `Dictionary<TKey, TValue>`. Przecinek w ostrych nawiasach jest potrzebny, aby powiedzieć kompilatorowi, żeby szukał typu z dwoma parametrami typu (pamiętaj, że może istnieć wiele typów o tej samej nazwie, pod warunkiem że każdy z nich ma inną liczbę tych parametrów). Według tej samej zasady definicję typu generycznego dla `MyClass<T1, T2, T3, T4>` otrzymasz, używając `typeof(MyClass<,,,>)`. Liczba parametrów jest określona w kodzie IL (oraz w pełnych nazwach typów środowiska) przez umieszczenie znaku lewego apostrofu po pierwszej części nazwy typu, a następnie liczby parametrów. Parametry typu są następnie wymienione w nawiasach kwadratowych, w przeciwieństwie do ostrych nawiasów, jakich używamy w kodzie. Dla przykładu drugi wiersz kończy się wyrażeniem `List`1[T]`, co świadczy o tym, że jest jeden parametr typu, a wiersz trzeci wyrażeniem `Dictionary`2[TKey,TValue]`.

Poza tym za każdym razem, kiedy w kodzie zostaje użyty parametr typu (X), w czasie wykonania w jego miejsce jest podstawiany argument typu. Dlatego wiersz ❶ wyświetla `System.Int32`, a nie, czego mogłeś oczekiwać, `List<T>`<sup>11</sup>. Innymi słowy, typ otwarty w czasie kompilacji może zostać zamknięty w czasie wykonania. *Takie zachowanie jest bardzo mylące. Powinieneś o tym pamiętać, kiedy otrzymywane wyniki różnią się od tego, czego oczekujesz.* Wydobywanie otwartego, skonstruowanego typu w czasie wykonania wymaga trochę więcej wysiłku. Przykład znajdziesz w MSDN-owym opisie właściwości `Type.IsGenericType` (<http://mng.bz/9W6O>).

Oto wynik działania programu z listingu 3.11:

```
System.Int32
System.Collections.Generic.List`1[T]
System.Collections.Generic.Dictionary`2[TKey,TValue]
System.Collections.Generic.List`1[System.Int32]
System.Collections.Generic.Dictionary`2[System.String,System.Int32]
System.Collections.Generic.List`1[System.Int64]
System.Collections.Generic.Dictionary`2[System.Int64,System.Guid]
```

Mając dostęp do obiektu reprezentującego typ generyczny, otwiera się przed nami wiele możliwych dróg dalszego działania. Nadal są dostępne operacje, które wykonywaliśmy wcześniej (wyszukiwanie elementów składowych typu, tworzenie instancji itd.) — chociaż niektóre z nich nie mają zastosowania dla definicji typów generycznych — ale pojawiają się również nowe, które pozwalają odkryć generyczną naturę typu.

## Metody i właściwości typu `System.Type`

`System.Type` ma zbyt wiele właściwości i metod, abyśmy mogli przyjrzeć się im wszystkim szczegółowo, jednak dwie z nich są szczególnie istotne: `GetGenericTypeDefinition` i `MakeGenericType`. Ich działanie jest zupełnie przeciwne — pierwsza operuje na skonstruowanym typie, pobierając z niego definicję typu generycznego, druga na definicji typu generycznego i zwraca skonstruowany typ. Być może lepiej by było, gdyby druga z metod została nazwana `ConstructType`, `MakeConstructedType` lub jeszcze inaczej, ale ze słowem *construct* lub *constructed* w nazwie. Niestety utknęliśmy z taką nazwą, jaką mamy.

Tak jak w przypadku zwykłych typów, istnieje tylko jeden obiekt klasy `Type` dla danego typu, zatem dwukrotne wywołanie `MakeGenericType` z tymi samymi argumentami spowoduje dwukrotne zwrócenie tej samej referencji. Na tej samej zasadzie wywołanie `GetGenericTypeDefinition` na obiektach stworzonych w oparciu o tę samą definicję typu generycznego da ten sam wynik, nawet jeśli skonstruowane typy są różne (np. `List<int>` i `List<string>`).

Kolejna metoda, istniejąca już w środowisku .NET 1.1, którą warto poznać, to `Type.GetType(string)`. Jest ona związana z metodą `Assembly.GetType(string)`. Obie stanowią dynamiczny odpowiednik operatora `typeof`. Mógłbyś się spodziewać, że wynik działania każdego wiersza z listingu 3.11 można wstawić do metody `GetType` na odpowiednim module (ang. *assembly*), niestety życie nie jest takie proste. Nie ma problemu

<sup>11</sup>Z pełną świadomością odstąpiłem w tym miejscu od konwencji nazywania parametrów typu literą T, abyś mógł zobaczyć różnicę pomiędzy T w deklaracji `List<T>` i X w deklaracji naszej metody.

w przypadku zamkniętych typów skonstruowanych — wtedy wystarczy umieścić argument w nawiasach kwadratowych. Dla definicji typów generycznych trzeba usunąć nawiasy kwadratowe, w przeciwnym wypadku GetType będzie sądzić, że masz na myśli typ tablicowy. Wszystkie te operacje pokazuje w działaniu listing 3.12.

**Listing 3.12.** Różne metody pobierania typu obiektów na podstawie typów generycznych i skonstruowanych

```
string listTypeName = "System.Collections.Generic.List`1";

Type defByName = Type.GetType(listTypeName);

Type closedByName = Type.GetType(listTypeName + "[System.String]");
Type closedByMethod = defByName.MakeGenericType(typeof(string));
Type closedByTypeof = typeof(List<string>);

Console.WriteLine(closedByMethod == closedByName);
Console.WriteLine(closedByName == closedByTypeof);

Type defByTypeof = typeof(List<>);
Type defByMethod = closedByName.GetGenericTypeDefinition();

Console.WriteLine(defByMethod == defByName);
Console.WriteLine(defByName == defByTypeof);
```

Wynikiem działania listingu 3.12 jest czterokrotne wyświetlenie prawdy (True), co stanowi dowód na to, że niezależnie od tego, jak uzyskamy referencję do danego typu obiektu, będzie to zawsze jeden i ten sam obiekt.

Tak jak wspomniałem wcześniej, Type oferuje wiele metod i właściwości, takich jak GetGenericArguments, IsGenericTypeDefinition czy IsGenericType. Najlepszym sposobem na dalsze zgłębianie tego tematu jest przyjrzenie się dokumentacji właściwości IsGenericType.

### **Refleksja metod generycznych**

Metody generyczne mają również podobny, chociaż mniejszy zestaw właściwości i metod. Demonstruje to listing 3.13, w którym metoda generyczna jest wywoływana przez refleksję.

**Listing 3.13.** Pobieranie i wywoływanie metody generycznej przez refleksję

```
public static void PrintTypeParameter<T>()
{
    Console.WriteLine (typeof(T));
}

...
Type type = typeof(Snippet);
MethodInfo definition = type.GetMethod("PrintTypeParameter");
MethodInfo constructed;
constructed = definition.MakeGenericMethod(typeof(string));
constructed.Invoke(null, null);
```



W pierwszej kolejności wydobywamy definicję metody generycznej, a następnie tworzymy ją, używając metody `MakeGenericMethod`. Podobnie jak w przypadku typów, moglibyśmy użyć innego sposobu, ale w przeciwieństwie do `Type.GetType`, w wywołaniu metody `Type.GetMethods` nie ma możliwości wyspecyfikowania skonstruowanej metody. Poza tym środowisko ma problem, jeśli istnieją metody przeciążone wyłącznie przez liczbę parametrów typu. Żeby obejść ten problem, musiałbyś wywołać `Type.GetMethods`, a następnie znaleźć tę metodę, której szukasz, przeszukując *wszystkie* z nich.

Po otrzymaniu skonstruowanej metody uruchamiamy ją. Ponieważ wywołujemy metodę statyczną, która nie ma żadnych normalnych argumentów wywołania, w naszym przykładzie są nimi dwie wartości `null`. Zgodnie z naszymi oczekiwaniami wynikiem działania jest `System.String`. Zwróć uwagę, że metody wydobyte z definicji typów generycznych nie mogą być wywołane bezpośrednio — musisz pobrać je z typu skonstruowanego. Odnosi się to zarówno do metod generycznych, jak i niegenerycznych.

**RATUNEK ZE STRONY C# 4.** Jeżeli to zachowanie wydaje Ci się niechlujne, zgadzam się z Tobą. Na szczęście w wielu przypadkach pomoc niosą typy dynamiczne C#, redukując narzut pracy związany z refleksją typów generycznych. Pomoc nie jest dostępna we wszystkich przypadkach, dlatego warto mieć świadomość funkcjonowania przedstawionego powyżej kodu, jednak tam, *gdzie* jest dostępna, daje doskonałe wyniki. Typom dynamicznym przyjrzymy się z bliska w rozdziale czternastym.

`MethodInfo` oferuje całe mnóstwo metod i właściwości — ich lekturę proponuję rozpocząć od właściwości `IsGenericMethod` w dokumentacji MSDN. Zakładam, że informacje zawarte w tej sekcji są wystarczające, abyś mógł samodzielnie podjąć zgłębianie tego zagadnienia, oraz wskazują dodatkowy stopień skomplikowania, którego prawdopodobnie nie spodziewałeś się, rozpoczynając zabawę z dostępem do typów i metod generycznych poprzez refleksję.

Na tym kończymy część poświęconą cechom zaawansowanym. Przypominam, że przedstawiony materiał w żadnym przypadku nie wyczerpuje tematu, jednak większość programistów najprawdopodobniej nie potrzebuje wnikać głębiej w tajniki refleksji. Biorąc pod uwagę fakt, że wraz z wchodzeniem w coraz większe szczegóły czytanie dokumentacji staje się trudniejsze, mam nadzieję, że dla swojego własnego dobra zaliczasz się do tego obozu. Pamiętaj, że o ile nie programujesz samodzielnie i wyłącznie dla siebie, nie tylko Ty będziesz pracował nad swoim kodem. Jeśli będziesz potrzebować rozwiązań bardziej złożonych niż prezentowane tutaj, możesz z dużą pewnością założyć, że ktokolwiek będzie czytał Twój kod, nie zrozumie go bez Twojej pomocy. Z drugiej strony, jeśli zauważysz, że Twoi koledzy nie znają niektórych z przedstawionych do tej pory tematów, wyślij ich, proszę, do najbliższej księgarni...

Ostatnia część tego rozdziału omawia ograniczenia typów generycznych w C#, a także podobne cechy dostępne w innych językach programowania.

## 3.5. Ograniczenia typów generycznych C# i innych języków

---

Bez wątpienia typy generyczne składają się w dużej mierze na łatwość wyrażania, bezpieczeństwo typów oraz wydajność języka C#. Cecha ta została zaprojektowana, aby radzić sobie z większością zadań, do których programiści na ogół stosowali wzorce, ale bez towarzyszących im skutków ubocznych. Nie oznacza to wcale, że typy generyczne nie mają żadnych ograniczeń. Istnieją pewne problemy, które wzorce C++ rozwiązują z łatwością, a których nie da się rozwiązać przy użyciu typów generycznych C#. Podobnie w Javie, której typy generyczne są ogólnie mniej funkcjonalne od typów generycznych C#, istnieją pewne koncepcje, które można wyrazić w Javie, a nie da się tego zrobić w C#. W tej sekcji omówimy najczęściej spotykane słabości, a ja postaram się dokonać skróտowego porównania implementacji typów generycznych C#/.NET z wzorcami C++ i typami generycznymi Javy.

Warto zwrócić uwagę, że wymienione słabości języka w żadnym wypadku *nie wskazują*, iż można było ich uniknąć. Moją intencją nie jest stwierdzenie, że można było zrobić coś lepiej! Projektanci języka i platformy musieli wyważyć funkcjonalność języka ze stopniem jego skomplikowania (uwzględniając po drodze ograniczenie czasowe na zaprojektowanie i implementację całości). Pracując z typami generycznymi, z bardzo dużym prawdopodobieństwem nie napotkasz problemów, a jeśli tak się zdarzy, będziesz w stanie pokonać trudności dzięki wskazówkom z tego podrozdziału.

Zacznijmy od odpowiedzi na pytanie, które wcześniej czy później stawia każdy programista: dlaczego nie mogę przekonwertować `List<string>` na postać `List<object>`?

### 3.5.1. Brak wariacji typów generycznych

W sekcji 2.2.2 oglądaliśmy *kontrawariancję* tablic — możliwość przeglądania tablicy typu referencyjnego jako tablicy swojego typu bazowego lub tablicy implementowanych interfejsów. Ta idea ma dwie możliwe postacie, określane jako *kowariancja* i *kontrawariancja* lub wspólnie *wariancja*. Typy generyczne nie dają takiej możliwości — są *inwariancyjne*. Ma to na celu zachowanie bezpieczeństwa typu, ale czasem potrafi być irytujące.

Na początku pragnę wyjaśnić jedną rzecz — C# 4 poprawia do pewnego stopnia wariację typów generycznych. W mocy *pozostaje* jednak nadal wiele z ograniczeń, o których będziemy mówić za chwilę. Tę sekcję można traktować jako wprowadzenie do idei wariacji. Na czym polega pomoc C# 4, dowiemy się w rozdziale 13., ale wiele z najbardziej wyrazistych przykładów wariacji typów generycznych bazuje na nowych cechach C# 3, włączając w to LINQ. Wariancja sama w sobie jest całkiem złożonym zagadnieniem, warto zatem poczekać z jej analizą do momentu, kiedy będziesz się czuł komfortowo z pozostałą częścią C# 2 i 3. Dla zachowania czytelności nie będę w tej sekcji wskazywał każdego miejsca, które różni się jedynie odrobinę od wersji C# 4... Wszystko stanie się jasne w rozdziale 13.

## Dlaczego typy generyczne nie obsługują kowariancji?

Załóżmy, że mamy dwie klasy, `Turtle` i `Cat`, obie będące potomkami abstrakcyjnej klasy `Animal`. W poniższym przykładzie kod tablicy (po lewej stronie) jest poprawny w C# 2, a kod generyczny (po prawej) — nie:

*Kod poprawny (w czasie kompilacji)*

```
Animal[] animals = new Cat[5];
animals[0] = new Turtle();
```

*Kod niepoprawny*

```
List<Animal> animals = new List<Cat>();
animals.Add(new Turtle());
```

Kompilator nie ma problemu z drugim wierszem w obu przypadkach, ale pierwszy z nich po prawej stronie spowoduje następujący błąd kompilatora:

```
error CS0029: Cannot implicitly convert type
'System.Collections.Generic.List<Cat>' to
'System.Collections.Generic.List<Animal>'
```

Takie zachowanie zostało celowo wprowadzone przez projektantów środowiska i języka. Na usta ciśnie się pytanie, *dlaczego* zostało to zabronione? Odpowiedź jest w drugim wierszu. Nie ma w nim nic, co powinno wzbudzić nasze podejrzenia. Przecież `List<Animal>` posiada metodę o sygnaturze `void Add(Animal value)` — powinna zatem istnieć możliwość dodania referencji klasy `Turtle` do dowolnej listy zwierząt. W rzeczywistości zmienna `animals` odnosi się jednak do `Cat[]` (w kodzie po lewej stronie) lub `List<Cat>` (po prawej) i w obu przypadkach do środka można wstawiać wyłącznie referencje klasy `Cat` lub klasy potomnej. Chociaż wersja z tablicą skompiluje się, nie będzie działać po uruchomieniu. Takie zachowanie zostało uznane przez projektantów typów generycznych za zachowanie gorsze niż błąd podczas kompilacji, co ma sens — głównym celem typów statycznych jest znajdowanie błędów, zanim kod zostanie uruchomiony.

**DLACZEGO TABLICE SĄ KOWARIANCYJNE?** Skoro odpowiedzieliśmy, dlaczego typy generyczne są inwariancyjne, następne oczywiste pytanie brzmi: „Dlaczego tablice są kowariancyjne?”. Zgodnie z *Common Language Infrastructure Annotated Standard* (J.S. Miller i S. Ragsdale, Addison-Wesley Professional, Indianapolis 2003) w pierwszej edycji projektanci chcieli sięgnąć do jak najszerszej rzeszy użytkowników, co oznaczało umożliwienie kompilacji kodu pochodzącego z języka Java. Innymi słowy, .NET ma tablice kowariancyjne, ponieważ Java ma tablice kowariancyjne — mimo że ten element jest uznawany za wadę Javy.

Wiesz już, dlaczego jest tak, jak jest. Dlaczego powinieneś się tym przejmować i jak możesz ominąć to ograniczenie?

## Gdzie mogłaby się przydać kowariancja?

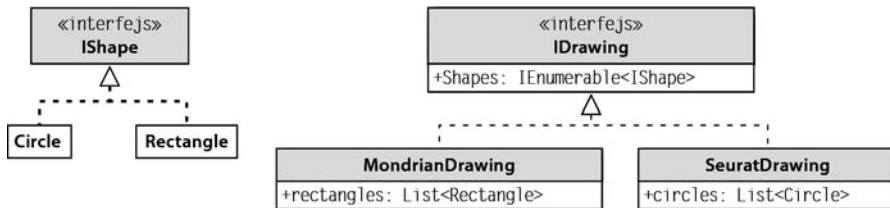
Podany przykład z listą jest najwyraźniej problematyczny. Możemy dodawać elementy do listy, ale w tym momencie tracimy bezpieczeństwo typu. Operacja dodania jest przykładem użycia wartości jako *danych wejściowych* do interfejsu programistycznego (kod wywołujący dostarcza wartości). Co by się stało, gdybyśmy ograniczyli się wyłącznie do pobierania wartości? Oczywistym przykładem tego jest `IEnumerator<T>` i (przez

skojarzenie) `IEnumerable<T>`. W rzeczy samej, są to niemal *kanoniczne* przykłady kowariancji typów generycznych. Razem opisują sekwencję wartości — wszystko, co o nich wiemy, to to, że każda z nich będzie kompatybilna z `T` w taki sposób, iż będziesz mógł napisać:

```
T currentValue = iterator.Current;
```

Jest to wykorzystanie zwykłej idei kompatybilności — byłoby zupełnie zrozumiałe, gdyby na przykład `IEnumerator<Animal>` zwracał referencje instancji typu `Cat` lub `Turtle`. Ponieważ nie istnieje sposób na „wepchnięcie” wartości o nieprawidłowym typie do konkretnej kolekcji, chcielibyśmy traktować `IEnumerator<Cat>` jako `IEnumerator<Animal>`. Oto przykład, gdzie takie zachowanie może się okazać użyteczne.

Załóżmy, że istnieje stworzony przez nas typ reprezentujący kształt w formie interfejsu (`IShape`). Przyjmijmy również, że istnieje inny interfejs, `IDrawing`, reprezentujący rysunek stworzony z kształtów. Chcemy stworzyć dwa konkretne typy rysunków — `MondrianDrawing` (zbudowany z prostokątów) i `SeuratDrawing` (zbudowany z okręgów)<sup>12</sup>. Hierarchie klas używane w przykładzie zostały przedstawione na rysunku 3.4.



Rysunek 3.4. Schemat hierarchii klas z naszego przykładu

Oba interfejsy muszą implementować interfejs `IDrawing`, zatem muszą udostępnić właściwość o sygnaturze:

```
IEnumerable<IShape> Shapes { get; }
```

Jednocześnie byłoby łatwiej, gdyby każdy typ rysunku mógł utrzymywać wewnątrz liście o mocnym typie. Dla przykładu `SeuratDrawing` mógłby posiadać pole typu `List<Circle>`. Taki typ będzie dla niego wygodniejszy niż `List<IShape>`, ponieważ pozwoli na manipulację okręgami bez konieczności rzutowania referencji na właściwy typ. Gdybyśmy mieli kolekcję `List<IShape>`, moglibyśmy zwrócić ją bezpośrednio lub przynajmniej opakować przez `ReadOnlyCollection<IShape>`, aby uniemożliwić osobie wywołującej nasz kod popsucie jej przez rzutowanie. Tak czy inaczej, implementacja samej właściwości wydaje się prosta i tania. Niestety, nie możemy tego zrobić, kiedy nasze typy nie pasują do siebie... nie możemy przekonwertować `IEnumerable<Circle>` na `IEnumerable<Shape>`. Co zatem *możemy* zrobić?

<sup>12</sup>Jeżeli nazwy klas nic Ci nie mówią, sprawdź ich znaczenie w Wikipedii ([http://pl.wikipedia.org/wiki/Piet\\_Mondrian](http://pl.wikipedia.org/wiki/Piet_Mondrian) i [http://pl.wikipedia.org/wiki/Georges\\_Seurat](http://pl.wikipedia.org/wiki/Georges_Seurat)). Mają one dla mnie znaczenie z różnych powodów. Mondrian jest nazwą używanego w Google narzędzia do recenzji kodu, natomiast od imienia Seurata pochodzi imię głównego bohatera wspaniałego musicalu Stephena Sondheim, *Sunday in the Park with George*.

Jest kilka możliwości. Możemy:

- ◆ zmienić typ pola na `List<IShape>` i przyzwyczać się do rzutowania, choć nie jest to rozwiązanie zadowalające, gdyż pod wieloma względami zaprzecza idei używania typów generycznych;
- ◆ użyć nowych cech oferowanych przez C# 2, które zobaczymy w rozdziale szóstym, do implementacji iteratorów; jest to rozwiązanie racjonalne *wyłącznie* dla tego przypadku (kiedy mamy do czynienia z `IEnumerable<T>`);
- ◆ zmusić każdą implementację właściwości `Shapes` do stworzenia nowej kopii listy, najlepiej — dla prostoty — z użyciem `List<T>.ConvertAll`; stworzenie niezależnej kopii kolekcji jest często wskazanym działaniem, ale wymaga wiele kopiowania, co czasem może się okazać mało wydajne;
- ◆ zmienić interfejs `IDrawing` na generyczny, wskazując typ kształtów używanych przez rysunek; w ten sposób `MondrianDrawing` mógłby implementować `IDrawing<Rectangle>`, a `SeuratDrawing` — `IDrawing<Circle>`, jednak jest to opłacalne tylko wtedy, kiedy jesteś właścicielem interfejsu;
- ◆ stworzyć klasę pomocniczą do adaptacji jednego typu interfejsu `IEnumerable<T>` na inny:

```
class EnumerableWrapper<TOriginal, TWrapper> : IEnumerable<TWrapper>  
    where TOriginal : TWrapper
```

Ponieważ ta konkretna sytuacja (`IEnumerable<T>`) jest wyjątkowa, moglibyśmy poradzić sobie, nawet jeśli zastosowalibyśmy metodę pomocniczą. .NET 3.5 dostarcza dwie użyteczne metody, które mogą się nam przydać: `Enumerable.Cast<T>` i `Enumerable.OfType<T>`. Są one częścią LINQ i będziemy je analizować w rozdziale 11. Chociaż mówimy o przypadku szczególnym, jest to prawdopodobnie najbardziej powszechna forma kowariancji generycznej, z jaką będziesz miał do czynienia.

Kiedy natkniesz się na problemy związane z kowariancją, być może będziesz musiał rozważyć wymienione wyżej możliwości oraz inne, które przyjdą Ci do głowy. Wszystko zależy od konkretnej sytuacji, w jakiej się znajdziesz. Niestety kowariancja nie jest jedynym problemem, z którym musisz sobie poradzić. Istnieje jeszcze odwrotność kowariancji — *kontrawariancja*.

### **Gdzie mogłaby się przydać kontrawariancja?**

Kontrawariancja wydaje się trochę mniej intuicyjna niż kowariancja, ale ma swój sens. Poprzez kowariancję chcieliśmy przekonwertować `SomeType<Circle>` na `SomeType<IShape>` (używając w naszym przykładzie `IEnumerable<T>`). Kontrawariancja dotyczy konwersji w drugą stronę — z `SomeType<IShape>` na `SomeType<Circle>`. Jak takie przejście może być bezpieczne? Kowariancja jest bezpieczna, kiedy `SomeType` opisuje wyłącznie operacje *zwracające* parametr typu, natomiast kontrawariancja jest bezpieczna, kiedy `SomeType` opisuje wyłącznie operacje *akceptujące* parametr typu<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup>W rozdziale 13. przekonamy się, że jest jeszcze coś, co możemy dodać do tej ogólnej zasady.

Najprostszym przykładem typu, który używa swojego parametru typu wyłącznie na wejściu danych, jest `IComparer<T>`, stosowany powszechnie do sortowania kolekcji. Rozwińmy nasz pusty do tej pory interfejs `IShape`, dokładając do niego właściwość `Area`. W ten sposób można teraz łatwo napisać implementację `IComparer<IShape>`, która porównuje dwa kształty po ich polu powierzchni. *Chcielibyśmy* następnie móc napisać następujący kod:

```
IComparer<IShape> areaComparer = new AreaComparer();
List<Circle> circles = new List<Circle>();
circles.Add(new Circle(Point.Empty, 20));
circles.Add(new Circle(Point.Empty, 10));
circles.Sort(areaComparer);
```

Kod  
nieprawidłowy

To jednak nie zadziała, ponieważ metoda `Sort` na typie `List<Circle>` wymaga w praktyce typu `IComparer<Circle>`. Fakt, że nasz `AreaComparer` potrafi porównywać *dowolny* kształt, a nie tylko okręgi, nie robi żadnego wrażenia na kompilatorze. Z jego punktu widzenia `IComparer<Circle>` i `IComparer<IShape>` to dwa zupełnie różne typy. Czyż nie jest to szalone? Byłoby lepiej, gdyby metoda `Sort` miała następującą sygnaturę:

```
void Sort<S>(IComparer<S> comparer) where T : S
```

Na nasze nieszczęście to nie tylko nie jest sygnatura metody `Sort`, ale również *nie może* nią być — ograniczenie jest błędne, ponieważ dotyczy `S`, a nie `T`. Chcemy ograniczenia typu konwersji, ale w przeciwnym kierunku, oczekując, że `S` będzie gdzieś *wyżej* w drzewie dziedziczenia w stosunku do `T`, a nie *niżej*.

Wiedząc, że jest to niemożliwe, co *możemy* zrobić? Tym razem mamy mniej możliwości. Po pierwsze, moglibyśmy rozważyć ponownie ideę stworzenia pomocniczej klasy generycznej, jak pokazuje listing 3.14.

**Listing 3.14.** Obejście braku kontrawariancji przy użyciu klasy pomocniczej

```
class ComparisionHelper<TBase, TDerived> : IComparer<TDerived>
    where TDerived : TBase ← ❶ Poprawne ograniczenie parametru typu
{
    private readonly IComparer<TBase> comparer; ← ❷ Zapamiętanie oryginalnego komparatora

    public ComparisionHelper(IComparer<TBase> comparer)
    {
        this.comparer = comparer;
    }

    public int Compare(TDerived x, TDerived y)
    {
        return comparer.Compare(x, y); ← ❸ Użycie niejawnnej konwersji w celu wywołania komparatora
    }
}
```

Ponownie jest to praktyczne wykorzystanie wzorca adaptera, tym razem jednak ze zmiennym typem elementów do porównania. Zapamiętujemy oryginalny komparator, dostarczający faktyczną logikę do porównywania elementów typu bazowego (❷), a następnie wywołujemy go, kiedy zostaniemy poproszeni o porównanie elementów typu potomnego (❸). Fakt, iż po drodze nie stosujemy żadnych rzutowań (nawet ukrytych),

daje nam pewność, że ta klasa zapewnia bezpieczeństwo typu. Dzięki dostępności niejawniej konwersji z typu `TDerived` na `TBase`, którą wymusiliśmy ograniczeniem typu (❶), jesteśmy w stanie wywołać komparator instancji klasy bazowej.

Drugą możliwością jest uczynienie klasy porównującej powierzchnie klasą generyczną z ograniczeniem typu w taki sposób, aby mogła porównać dwie dowolne wartości tego samego typu, o ile tylko typ ten implementuje interfejs `IShape`. Dla zachowania prostoty w sytuacji, kiedy tak naprawdę nie potrzebujesz tej funkcjonalności, mógłbyś zastosować klasę niegeneryczną, zmuszając ją jedynie do dziedziczenia po klasie generycznej:

```
class AreaComparer<T> : IComparer<IShape> where T : IShape
class AreaComparer : AreaComparer<IShape>
```

Oczywiście, możesz tak zrobić tylko w sytuacji, kiedy jesteś w stanie zmodyfikować klasę porównującą. Rozwiązanie może być funkcjonalne, ale nadal wydaje się nienaturalne. Dlaczego jesteś zmuszony do konstruowania komparatora w różny sposób dla różnych typów, w sytuacji kiedy ich zachowanie nie będzie różne? Dlaczego jesteś zmuszony stosować dziedziczenie po klasie dla uproszczenia kodu, kiedy Twoim celem nie jest jego specjalizacja?

Zauważ, że różne warianty dla kowariancji i kontrawariancji używają dużej ilości typów generycznych oraz ograniczeń w celu wyrażenia interfejsu w sposób bardziej ogólny lub dostarczenia generycznej klasy pomocniczej. Wiem, że dodanie ograniczenia sprawia wrażenie *zawężenia* ogólności, ale ogólność ta jest dodana w pierwszej kolejności przez uczynienie typu generycznym. Kiedy napotkasz podobny problem, przekształcenie typu w generyczny i dodanie pewnych ograniczeń powinno być pierwszym krokiem, jaki rozważysz. W takiej sytuacji — ze względu na wnioskowanie typu, sprawiające, że wariancja jest niewidoczna gołym okiem — często bardziej pomocne w porównaniu do typów są *metody* generyczne. Jest to szczególnie prawdziwe w przypadku C# 3, który posiada większe możliwości wnioskowania typu w porównaniu do C# 2.

To ograniczenie jest źródłem *bardzo* częstych pytań na forach dyskusyjnych C#. Pozostałe problemy mają raczej charakter akademicki lub dotyczą niewielkiej części społeczności programistów. Następna sytuacja dotyczy głównie osób, które w swojej codziennej pracy wykonują duże ilości obliczeń (naukowych lub związanych z zagadnieniami finansowymi).

### 3.5.2. Brak ograniczeń operatorów lub ograniczeń „numerycznych”

C# nie jest pozbawiony minusów, jeśli chodzi o kod mocno obciążony obliczeniami matematycznymi. Środowiska naukowe jako główne bariery przy adaptowaniu C# dla swoich celów podają niemożność wykonania jakichkolwiek operacji matematycznych poza zupełnie podstawową arytmetyką bez jawnego użycia klasy `Math`, a także brak możliwości łatwego definiowania i modyfikowania danych na przestrzeni całego kodu przy użyciu mechanizmu podobnego do synonimów typów uzyskiwanych na przykład w języku C przez słowo kluczowe `typedef`. Prawdopodobnie typy generyczne nie zostały

wymyślone po to, aby w pełni rozwiązać te problemy. Jest jednak pewien niuans uniemożliwiający im niesienie pomocy choćby w zadowalającym stopniu. Przyjrzyj się poniższej (generycznej) metodzie:

```
public T FindMean<T>(IEnumerable<T> data)
{
    T sum = default(T);
    int count = 0;
    foreach (T element in data)
    {
        sum += element;
        count++;
    }
    return sum / count;
}
```

Łatwo można zauważyć, że ten kod nie ma szans działać dla *wszystkich* typów danych. Co miałyby dla przykładu oznaczać dodanie jednego obiektu typu `Exception` do drugiego? Ten przypadek prosi się o wprowadzenie jakiegoś ograniczenia. Czegoś, co pozwoliłoby nam wyrazić nasz zamiar: dodanie dwóch instancji `T`, a następnie podzielenie instancji `T` przez liczbę całkowitą. Gdyby istniała taka możliwość, nawet przy ograniczeniu wyłącznie do typów wbudowanych, moglibyśmy pisać działające algorytmy generyczne, niezależnie od tego, czy typem danych jest `int`, `long`, `double`, `decimal`, czy jakiegokolwiek inny. Ograniczenie wyłącznie do typów wbudowanych byłoby rozczarowujące, ale lepsze to niż nic. Idealne rozwiązanie musiałoby pozwalać typom zdefiniowanym przez użytkownika zachowywać się tak jak wyrażenia matematyczne — mógłbyś wtedy na przykład zdefiniować typ `Complex` do obsługi liczb zespolonych<sup>14</sup>. Taka reprezentacja liczby zespolonej mogłaby następnie przechowywać każdy ze swoich składników w sposób generyczny. W ten sposób byłoby możliwe stworzenie liczb typu `Complex<float>`, `Complex<double>` itd.

Można wyobrazić sobie dwa powiązane ze sobą rozwiązania. Jednym byłoby umożliwienie stosowania ograniczeń na operatorach, dzięki którym mógłbyś zapisać rzecz następującą:

```
where T : T operator+ (T, T), T operator/ (T, int)
```

Taka definicja wymagałaby od `T` posiadania operacji, których użyliśmy wcześniej. Drugim rozwiązaniem byłoby zdefiniowanie kilku operatorów i być może konwersji, które musiałyby być obsługiwane przez typ, aby mógł on sprostać narzuconym ograniczeniom — takie ograniczenie moglibyśmy nazwać „ograniczeniem numerycznym” i zapisać jako `where T: numeric`.

Problem z jednym i drugim rozwiązaniem jest taki, że nie mogą być one wyrażone jako zwykłe interfejsy, ponieważ przeciążanie operatorów jest wykonywane na elementach *statycznych*, których nie można użyć do zaimplementowania interfejsów. W takiej sytuacji atrakcyjna wydaje się idea *interfejsów statycznych*, czyli deklarujących jedynie statyczne elementy składowe (metody, operatory i konstruktory). Tego typu statyczne interfejsy byłyby użyteczne jedynie w ograniczeniach typów, ale oferowałyby

<sup>14</sup>Oczywiście, pod warunkiem że nie używasz środowiska .NET 4, które posiada już taki typ o nazwie `System.Numerics.ComplexNumber`.



możliwość dostępu do statycznych elementów z zachowaniem bezpieczeństwa typu. Oczywiście jest to tylko bujanie w obłokach (<http://mng.bz/3Rk3>) — nic mi nie wiadomo o jakichkolwiek planach udostępnienia takiej możliwości w przyszłych wersjach języka C#.

Dwa najsprytniejsze obejścia tego problemu wymagają najnowszej wersji środowiska .NET. Pierwsze z nich zostało opracowane przez Marca Gravella (<http://mng.bz/9m8i>) i używa drzew wyrażeń (z którymi spotkamy się w rozdziale 9.) w celu zbudowania metod dynamicznych. Drugie to zastosowanie dynamicznych cech języka C# 4. Przykład zobaczymy w rozdziale 14. Już z samego opisu możesz jednak wywnioskować, że oba rozwiązania korzystają z mechanizmów dynamicznych — o ich pomyślnej współpracy z danym typem przekonasz się dopiero w czasie wykonywania programu. Istnieje jeszcze kilka obejść korzystających nadal z typów statycznych, ale mają one inne niedoskonałości (i, co może być zaskakujące, potrafią być wolniejsze w porównaniu do kodu dynamicznego).

Dwa ograniczenia typów generycznych, którym się do tej pory przyglądaliśmy, mają charakter całkiem praktyczny — masz szansę spotkać się z nimi w trakcie swojej pracy deweloperskiej. Jeśli jesteś osobą ciekawą świata, tak jak ja, możesz się zastanawiać, czy istnieją inne ograniczenia, które nie wpływają na tempo pracy, ale stanowią swego rodzaju intelektualne ciekawostki. Na przykład dlaczego „generyczność” ogranicza się jedynie do metod i typów?

### 3.5.3. Brak generycznych właściwości, indeksów i innych elementów typu

Widzieliśmy typy generyczne (klasy, struktury, delegaty i interfejsy), a także metody generyczne. Istnieje jeszcze całe mnóstwo innych elementów, które *mogłyby* być sparametryzowane. Nie ma jednak generycznych właściwości, indeksów, operatorów, konstruktorów, metod finalizujących ani zdarzeń. Zaczniemy od wyjaśnienia, co mamy tutaj na myśli. Indeksier może posiadać typ zwracany będący parametrem typu — bezspornym przykładem jest `List<T>`. `KeyValuePair<TKey, TValue>` jest podobnym przykładem dla właściwości. To, czego *nie można* mieć, to indeksier lub właściwość, a także każdy inny element z powyższej listy, które by posiadały *dodatkowe* parametry typu. Odkładając chwilowo na bok prawdopodobną deklarację, zobaczymy, jak takie elementy musiałyby być używane w kodzie:

```
SomeClass<string> instance = new SomeClass<string><Guid>("x");
int x = instance.SomeProperty<int>;
byte y = instance.SomeIndexer<byte>["key"];
instance.Click<byte> += ByteHandler;
instance = instance +<int> instance;
```

Zgodzisz się chyba ze mną, że te przykłady wyglądają trochę niepoważnie. Metod finalizujących nie da się wywołać jawnie z poziomu kodu C#, stąd nie ma ich w powyższym przykładzie. Według mojej oceny fakt, iż nie możemy wykonać żadnej z przedstawionych operacji, nie spowoduje większych problemów w kodzie. Jest to czysto akademicki problem, o którym warto wiedzieć.

Jedynym wyjątkiem *móglby być* tutaj konstruktor. W tym przypadku podobny efekt można jednak osiągnąć, stosując statyczną metodę generyczną wewnątrz klasy, chociaż składnia z dwoma listami argumentów typu wygląda straszliwie.

Nie są to w żadnym wypadku *jedynie* ograniczenia typów generycznych C#, ale moim zdaniem te masz największą szansę spotkać na swojej drodze — w trakcie codziennej pracy, prowadząc dyskusję z innymi programistami lub w wolnej chwili analizując całościowo jakąś cechę języka. W dwóch kolejnych sekcjach przekonamy się, jak dwa inne języki, najczęściej porównywane z typami generycznymi C#, radzą sobie z podobnym problemem. Są to C++ (z wzorcami) i Java (z typami generycznymi w wersji Java 5). Zaczniemy od C++.

### 3.5.4. Porównanie z C++

Wzorce C++ można traktować trochę jak makra posunięte do granic możliwości. Są niezwykle funkcjonalne, ale wprowadzają pewien koszt zarówno pod względem skomplikowania kodu, jak i łatwości jego zrozumienia.

Kiedy w C++ zostanie użyty wzorzec, kod jest kompilowany dla określonego zbioru argumentów, tak jakby argumenty wzorca znajdowały się w kodzie źródłowym. Oznacza to, że nie ma większej potrzeby wprowadzania ograniczeń, ponieważ kompilator i tak sprawdzi, czy wolno Ci zrobić z danym typem to, co chcesz, podczas kompilowania kodu źródłowego dla określonych argumentów wzorca. Mimo to komitet standaryzacji C++ uznał, że ograniczenia mogą być nadal przydatne. Miały one trafić do wersji C++0x (kolejnej wersji C++), ale tak się nie stało. Być może pewnego dnia ujrzą jeszcze światło dzienne pod nazwą *konceptów*.

W C++ kompilator jest wystarczająco mądry, aby skompilować kod wyłącznie raz dla dowolnego zestawu argumentów wzorca, ale nie jest w stanie współdzielić kodu w sposób, jaki robi to CLR dla typów referencyjnych. Ten brak współdzielenia ma swoje zalety — pozwala na optymalizację pod względem typów, na przykład przez tworzenie wywołań inline dla pewnych parametrów typu, ale nie dla wszystkich pochodzących z tego samego wzorca. Oznacza to również, że rozstrzygnięcie przeciążeń w C++ może być wykonane niezależnie dla każdego zestawu typu parametrów w porównaniu do wyłącznie jednego wspólnego przebiegu dla całego kodu w C#, wynikającego z niepełnej wiedzy kompilatora C# spowodowanej obecnością ograniczeń typów.

Nie zapominaj, że w przypadku C++ ma miejsce tylko jeden rodzaj kompilacji, podczas gdy w modelu .NET mamy do czynienia z „kompilacją do postaci IL”, a następnie „kompilacją JIT do postaci natywnej”. Program C++ używający standardowego wzorca na dziesięć różnych sposobów będzie zawierał w programie 10 kopii kodu wzorca. Podobny program w C#, używający typu generycznego ze środowiska na dziesięć różnych sposobów, nie będzie w ogóle zawierał kodu typu generycznego — będzie się do niego odwoływał, a kompilator JIT będzie kompilował tyle różnych wersji, ile będzie potrzebnych (mówiliśmy o tym w sekcji 3.4.2) w czasie wykonania.

Jedyną znaczącą przewagą, jaką C++ posiada nad typami generycznymi C#, jest to, że argumenty wzorca nie muszą być nazwami typu. Równie dobrze mogą to być nazwy zmiennych, funkcji, a także wyrażenia stałe. Znany przykładem jest typ bufora, którego rozmiar jest jednym z argumentów wzorca — `buffer<int>. 20>` będzie zawsze buforem 20 zmiennych całkowitych, a `buffer<double>. 35>` będzie zawsze buforem 35

liczb typu `double`. Ta zdolność ma kluczowe znaczenie przy metaprogramowaniu z użyciem wzorców (zobacz <http://mng.bz/c1G0>) — zaawansowanej techniki C++, która dla mnie jest przerażająca już w samej idei, ale w rękach eksperta może się okazać bardzo produktywna.

Wzorce C++ są również bardziej elastyczne pod innymi względami. Nie „cierpią” z powodów opisanych w sekcji 3.5.2 i cechuje je mniejsza liczba ograniczeń: możesz stworzyć klasę potomną w oparciu o parametr typu i wyspecjalizować wzorzec dla określonego zestawu argumentów. Druga cecha pozwala autorowi wzorca na stworzenie ogólnego kodu, w sytuacji kiedy brakuje mu szczegółowej wiedzy na temat danego zagadnienia, ale również kodu wyspecjalizowanego (często zoptymalizowanego) dla określonych typów.

We wzorcach C++ istnieją te same problemy z wariacją, z jakimi borykają się generyki .NET — przykład podany przez Bjarne’a Stroustrupa<sup>15</sup> mówi, że nie ma niejawniej konwersji pomiędzy `vector<shape*>` i `vector<circle*>`. Powód braku takiej możliwości jest podobny — w tym przykładzie dozwolone byłoby włożenie kwadratu w miejsce kółka.

Chętnym do głębszego poznania wzorców C++ polecam książkę autorstwa Stroustrupa *Język C++* (WNT, Warszawa 2002). Nie jest to książka łatwa w lekturze, ale sam rozdział poświęcony wzorcom jest w miarę przystępny (pod warunkiem wcześniejszego przyswojenia sobie terminologii i składni C++). Dalsze szczegóły na temat porównania generyków .NET znajdziesz we wpisie zamieszczonym na stronie zespołu Visual C++ (<http://mng.bz/En13>).

Drugim oczywistym językiem do porównania z C# pod względem typów generycznych jest Java, która wprowadziła tę cechę do głównego nurtu języka w wersji 1.5<sup>16</sup> kilka lat po tym, jak inne projekty doprowadziły do powstania języków podobnych do Javy i obsługujących ten mechanizm.

### 3.5.5. Porównanie z typami generycznymi Javy

Tam, gdzie C++ — w porównaniu do C# — dołączał *więcej* wzorców w wygenerowanym kodzie, Java dołącza *mniej*. Prawdę mówiąc, środowisko wykonania Javy nie ma pojęcia o istnieniu typów generycznych. Kod bajtowy Javy (mniej więcej odpowiednik kodu IL pod względem terminologii) zawiera dodatkowe metadane, aby wskazać, iż chodzi o kod generyczny, jednak po kompilacji nie pozostaje niemal żaden ślad wskazujący na generyczność kodu. Instancja typu generycznego z całą pewnością zna tylko swoją niegeneryczną naturę. Dla przykładu instancja `HashSet<T>` nie wie, czy została utworzona jako `HashSet<String>`, czy `HashSet<Object>`. Kompilator zajmuje się rzutowaniem w miejscach, gdzie jest to wymagane, a także wykonuje więcej sprawdzeń odnośnie do poprawności kodu. Oto przykład — najpierw generyczny kod Javy:

```
ArrayList<String> strings = new ArrayList<String>();
strings.add("cześć");
String entry = strings.get(0);
strings.add(new Object());
```

<sup>15</sup> Autora C++.

<sup>16</sup> Lub 5.0, w zależności od tego, którego systemu numerowania używasz.

a teraz odpowiednik powyższego kodu w formie niegenerycznej:

```
ArrayList strings = new ArrayList();
strings.add("cześć");
String entry = (String) strings.get(0);
strings.add(new Object());
```

Oba fragmenty doprowadziłyby do powstania tego samego kodu bajtowego z wyjątkiem ostatniej linii, która jest poprawna w kodzie niegenerycznym, ale spowodowałaby błąd kompilatora w wersji generycznej. Typu generycznego możesz użyć jako „surowego” typu, będącego odpowiednikiem `java.lang.Object` dla każdego z argumentów typu. Takie przypisanie i utratę informacji nazywa się *wykreśleniem typu* (ang. *type erasure*). Java nie posiada definiowanych przez użytkownika typów wartościowych, ale nie ma to znaczenia, ponieważ jako argumentów typu nie możesz użyć nawet typów wbudowanych. Zamiast tego jesteś zmuszony do korzystania z wersji opakowanej, na przykład `ArrayList<Integer>` w przypadku listy liczb całkowitych.

Możesz bez żalu przyznać, że taka funkcjonalność jest odrobinę rozczarowującą w porównaniu do typów generycznych oferowanych przez C#. Należy jednak dodać, że Java ma też jaśniejsze strony generyków:

- ◆ Maszyna wirtualna nie ma pojęcia o typach generycznych, zatem możesz używać skompilowanego kodu opartego na typach generycznych w starszych wersjach środowiska (pod warunkiem że nie stosujesz klas i metod nieistniejących w tych wersjach). Wersjonowanie środowiska .NET jest o wiele bardziej restrykcyjne — musisz wskazać, czy wersja każdego modułu, do którego się odnosisz, ma dokładnie pasować. Ponadto kod zbudowany do uruchomienia na wersji 2.0 środowiska CLR nie będzie działał w środowisku .NET 1.1.
- ◆ Nie musisz poznawać nowego zestawu klas, aby móc skorzystać z typów generycznych w Javie. Tam, gdzie „niegeneryczny” programista użyłby `ArrayList`, programista „generyczny” zastosuje `ArrayList<T>`. Istniejące klasy mogą być w sposób rozsądny wykorzystane w wersji generycznej.
- ◆ Poprzednia cecha została całkiem efektywnie wykorzystana w systemie refleksji — klasa `java.lang.Class` (odpowiednik `System.Type`) jest generyczna, co pozwala na rozciągnięcie systemu bezpieczeństwa typu czasu kompilacji na wiele sytuacji, w których zachodzi refleksja. Jednak w pozostałych przypadkach może już nie być tak różowo.
- ◆ Java obsługuje wariację typów generycznych poprzez wieloznaczniki. Na przykład `ArrayList<? extends Base>` można odczytać jako: „ArrayList pewnego typu, który wywodzi się z typu Base, chociaż nie wiemy, jaki dokładnie jest to typ”. Wrócimy do tego tematu, kiedy w rozdziale 13. będziemy omawiać wsparcie dla wariacji typów generycznych w C# 4.

Moim zdaniem typy generyczne .NET górują pod niemal każdym względem, chociaż kiedy utknę na problemie związanym z wariacją/kontrawariacją, marzy mi się posiadanie wieloznaczników. Ograniczona wariacja generyków w C# 4 poprawia nieco sytuację, ale niekiedy nadal się zdarza, że model wariacyjny Javy okazuje się lepszy. Java z typami generycznymi jest lepsza od Javy bez nich, ale nie wiąże się z tym szczególnie zysk wydajnościowy, a bezpieczeństwo typu jest zapewnione jedynie na etapie kompilacji.

## 3.6. Podsumowanie

---

No i dotarliśmy! Dobrą rzeczą jest to, że typy generyczne są znacznie prostsze w użyciu niż w ich opisywaniu. Chociaż *mogą* być skomplikowane, są powszechnie uważane za jeden z najważniejszych i najbardziej funkcjonalnych dodatków, jaki pojawił się w C# 2. Najgorszą rzeczą, która może się przydarzyć podczas pisania przy użyciu typów i metod generycznych, jest to, że jeśli kiedykolwiek będziesz musiał powrócić do C# 1, będziesz ogromnie tęsknił za tym mechanizmem.

Moją intencją w tym rozdziale nie było opisanie w najdrobniejszych szczegółach tego, co jest możliwe i niemożliwe przy użyciu typów generycznych — to zadanie należy do specyfikacji języka, która podaje wszystko w formie suchych faktów. Staralem się raczej podejść do tematu praktycznie, podając informacje, które będą Ci potrzebne w codziennej pracy, i dorzucając jedynie okruszki teorii dla zaspokojenia potrzeb akademickich.

Widzieliśmy trzy główne korzyści użycia typów generycznych: zapewnienie bezpieczeństwa typu w czasie kompilacji, wydajność i przejrzyste wyrażanie myśli w kodzie. Umożliwienie środowisku IDE oraz kompilatorowi wczesnej weryfikacji Twojego kodu jest zdecydowanie dobrym podejściem. Kwestią sporną pozostaje to, czy więcej można oczekiwać od inteligentnych narzędzi sprawdzających, czy też od samego aspektu bezpieczeństwa typu.

Wydajność została poprawiona najbardziej w odniesieniu do typów wartościowych, które nie muszą być dłużej opakowywane i odpakowywane w kontekście interfejsów o mocnym typie, ze szczególnym wskazaniem na kolekcje generyczne udostępnione przez .NET 2.0. W przypadku typów referencyjnych wzrost wydajności jest niewielki.

Dzięki typom generycznym Twój kod jest w stanie jaśniej wyrazić Twoje intencje. Komentarze lub długie nazwy zmiennych opisujące faktycznie użyte typy zostają zastąpione przez deklaracje typów, które spełniają to samo zadanie. Komentarze i nazwy zmiennych mogą z biegiem czasu stracić na aktualności, szczególnie jeśli zostaną pominięte przy refaktoryzacji kodu — definicja typu pozostanie jednak zawsze aktualna.

Typy generyczne nie są w stanie wykonać *wszystkich* zadań, jakie chcielibyśmy przed nimi postawić. Niektóre z ograniczeń przestudiowaliśmy w tym rozdziale. Jeśli jednak faktycznie weźmiesz na poważnie C# 2 i typy generyczne w środowisku .NET 2.0, przekonasz się o ich skuteczności i będziesz je stosował w swoim kodzie niezwykle często.

Ponieważ inne cechy języka opierają się na typach generycznych, ten temat będzie się przewijał w kolejnych rozdziałach. Nie musimy szukać daleko, temat omawiany w następnej kolejności — typy nullable, implementowane przez `Nullable<T>` — byłby bardzo trudny do zrealizowania bez wsparcia typów generycznych.



# Skorowidz

## A

agregacja, 328, 574

akcja

Action<IList<double>>, 181

Action<int>, 181

Action<string>, 181

instancji delegata, 62

algorytm

MD5, 243

SHA-1, 243

algorytmy kryptograficzne, 607

aliasy

przeźrzeni nazw, 226, 237–239

zewnętrzne, 240

analiza

arytmetyczna, 550

kodu, 567

nazwy i argumentów, 473

poprawności kodu, 545

selektywna, 553

statyczna, 533, 545–547, 553

wyrażenia, 331

zakresu, 550

aplikacja e-commerce, 142

argument, 430

null, 441

pozycyjny, 441

argumenty

nazwane, 38, 427, 437, 443

składnia, 437

pozycyjne, 439

typu, 96

asercje, 524, 533, 534

asocjacja prawostronna, 163

ASP.NET, 54

atrybut

[Pure], 535

InternalsVisibleToAttribute, 246

System, 318

automatyczne dokumentowanie kontraktów, 554

automatyzowanie Worda, 447

**B**

baza danych, 383  
 BCL, Base Class Library, 524, 561  
 bezpieczeństwo, 247, 470  
 typów, 69, 72, 128  
 bezpieczna konwersja, 161  
 biblioteka, 606  
 CardSpace, 607  
 CCR, 219  
 GTK#, 54  
 klas BCL, 524, 561  
 MiscUtil, 332  
 mscorlib, 537  
 Parallel Extensions, 408, 607  
 Reactive Extensions, 341, 608  
 typów, 451  
 WCF, 607  
 WF, 607  
 WPF, 606  
 biblioteki  
 LINQ, 413  
 .NET, 54  
 binder, 493, 515  
 blok  
 finally, 209, 216  
 try, 466  
 blokada, 466  
 na referencji this, 467  
 blokowanie, 465  
 błąd zmodyfikowany, 343  
 błędy  
 asercji, 562  
 czasu kompilacji, 502  
 i subskrypcje, 361, 363  
 kompilacji, 179, 258, 301, 432, 502  
 metody int.TryParse, 531  
 odtwarzacza mediów, 360  
 w kodzie, 567  
 w wywołaniach dynamicznych, 502  
 buforowanie, 323  
 bufory o stałym rozmiarze, 226, 243, 245

**C**

C# 2.0, 605  
 C# 3.0, 605  
 C# 4.0, 606  
 C++, 136  
 callback, 539  
 CCR, Concurrency and Coordination Runtime, 219  
 cechy C#, 226, 605

cel akcji, 63  
 CHESS, 567  
 ciało wyrażenia lambda, 306  
 CLI, Common Language Infrastructure, 53, 105  
 CLR, Common Language Runtime, 53, 430, 462, 491, 608  
 CLS, Common Language Specification, 526  
 CodeDOM, 292  
 COM, 50, 427, 446, 479  
 Compact Framework, 609  
 CoreCLR, 610  
 cykl życia wyrażenia dynamicznego, 492  
 czas życia  
 instancji, 215  
 zmiennych przechwyconych, 190

**D**

debugger, 243  
 definicja  
 domknięcia, 187  
 typu generycznego, 124  
 deklaracja  
 funkcji statycznej, 65  
 klasy wewnętrznej, 541  
 metody generycznej, 100  
 pętli, 197  
 typów, 505  
 typu częściowego, 228  
 typu delegatowego, 61, 65  
 deklarowanie  
 metod rozszerzających, 315  
 parametrów opcjonalnych, 431  
 delegat  
 Action<Action<T>>, 461  
 Converter<string, Guid>, 101  
 Converter<TInput, TOutput>, 459  
 Comparision<T>, 535  
 Func<TextReader>, 217  
 MethodInvoker, 175  
 Predicate<T>, 535  
 delegaty, 60, 64, 68, 89  
 Action<...>, 282  
 Func<...>, 281  
 generyczne, 84  
 typu generycznego, 101  
 typu multicast, 464  
 dereferencja, 72  
 diagram  
 interakcji, 206  
 klas, 342, 392, 400, 411  
 sekwencji, 415



DLR, Dynamic Language Runtime, 50, 87, 297, 428, 491–496, 521, 607

dodawanie

- bajtów do kolekcji, 120
- elementów statycznych, 512
- liczb, 475
- warunków wstępnych, 542
- własnych operatorów, 332

dokumentacja

- kontraktów kodu, 535, 554, 556
- projektu, 421
- XML, 525, 554, 555

DOM, document object model, 510

domknięcia, 186

dostawcy LINQ, 397

dostęp do

- gettera i settera, 226, 236
- instancji klasy, 215
- silnika DLR, 494
- statycznych elementów, 135
- tablicy, 550

drzewa wyrażeń, 280, 289–297, 424

- reprezentacja graficzna, 290, 294

drzewo XML DOM, 507

DSL, domain-specific language, 331

dwustopniowe pobranie, 405

dynamiczne

- dodawanie, 475
- konwersje wyniku, 499
- sumowanie elementów, 486, 487
- środowisko wykonania, 297
- typy, 52
- wnioskowanie typu, 485
- wyliczanie wyrażeń, 497
- wywoływanie metod, 485, 518
- zachowanie, 470

dyrektywa

- EXPENSIVE\_CONTRACTS, 561
- using, 237
- pragma, 226, 241

dziedziczenie, 133, 444

- kontraktów, 538

## E

element

- domyślny, 449
- exception, 555
- requires, 555

encje, 383, 385

Entity Framework, 383, 607

enumeracje, 77, 200, 383

ewaluacja argumentów, 439

Excel, 50, 478

## F

FIFO, first in, first out, 598

filtrowanie, 276, 323–351, 417, 584

- kolekcji, 47, 222

- listy, 183

- sekwencji, 361

flaga typu boolowskiego, 45, 145

formularz z przyciskiem, 173

forum kontraktów kodu, 545

fragmenty kodu, 56

Func, 84

funkcja

- GetConsoleScreenBufferEx, 244

funkcje

- anonimowe, 259, 281, 308

- wyższego rzędu, 286, 468

## G

garbage collector, 145

generacja, 579

generator

- kodu, 229

- liczb losowych, 534

generowanie

- kodu SQL, 388, 389

- skrótów obiektu, 274

generyczne typy delegatów, 85

generyki, 245

- C#, 465

- Javy, 464

getter publiczny, 256

getter, 36, 235

globalna przestrzeń nazw, 239

głęboka optymalizacja, 494

Google Protocol Buffer, 230

gorące obiekty obserwowalne, hot observable, 417

Groovy, 332

grupowanie, 329, 417, 580

- błędów, 370, 372

- elementów według klucza, 369

GUID, 243

**H**

Hashtable, 165  
hierarchia klas, 130

**I**

identyfikator SupplierID, 47  
identyfikatory przezroczyste, 356–358  
ignorowanie ostrzeżenia, 242  
IL, Intermediate Language, 53  
iloczyn logiczny, 159  
impas, deadlock, 466  
implementacja, 212  
  Enumerable, 395  
  GetDynamicMemberNames, 517  
  IDynamicMetaObjectProvider, 506, 518  
  IEnumerable, 201  
  IEnumerable<T>, 391  
  IQueryable, 393  
  IQueryable<T>, 391  
  IQueryProvider, 394  
  Queryable, 395  
  XML DOM, 508  
implementowanie  
  dynamicznej właściwości, 515  
  iteratora, 200  
  LINQ dla Obiektów, 218, 360  
  metody LINQ, 218  
  metody generycznej, 102  
  typów generycznych, 110  
  wzorca TryXXX, 166  
indeks, 135  
  SynonymInfo, 449  
indeksy nazwane, 449  
informacja o typie, 500  
inicjalizacja, 262  
inicjalizator  
  kolekcji, 266–269  
  obiektów, 262–266, 442  
  obiektów i kolekcji, 254  
  obiektu anonimowego, 275  
  odwzorowujący, 275  
  projekcji, 329  
  tablic, 266  
instancja  
  bez wartości, 152  
  budowniczego, 270  
  delegata, 62, 189  
  Nullable<T>, 149

  typu generycznego, 137  
  zmiennej, 197  
  zmiennej lokalnej, 192  
integracja LINQ, 404  
IntelliSense, 180, 317  
interfejs  
  ICloneable, 74  
  ICollection<T>, 267, 588, 590  
  IComparer, 40, 115  
  IDictionary<TKey, TValue>, 589  
  IDisposable, 123, 216  
  IDrawing, 131  
  IDynamicMetaObjectProvider, 518  
  IEnumerable, 98, 121, 130, 200, 588  
  IEnumerable<ITask>, 221  
  IEnumerable<string>, 338  
  IEnumerable<T>, 121, 588  
  IEnumerator, 200  
  IEnumerator<T>, 122, 588  
  IList<T>, 313, 588  
  IObservable<T>, 414, 608  
  IObserver<T>, 416, 608  
  IProducerConsumerCollection<T>, 599  
  IQueryable, 390, 398  
  IQueryable<T>, 319, 391, 392  
  IQueryProvider, 390, 391  
  IQueryProvider.Execute, 398  
  ISet<T>, 589, 596  
interfejsy, 77, 588  
  argumentów typu, 109  
  inwariancyjne, 588  
  kontrawariancja, 458  
  kowariancja, 457  
  wariancja, 455  
  reprezentujące zapytanie, 391  
  słownika, 507  
  statyczne, 134  
  z klasą kontraktu, 540  
  związane z IQueryable<T>, 392  
interpreter, 472, 473  
inwariancja, 455  
inwariant obiektu, 532  
inwarianty, 531, 539  
iteracja, 121, 200  
  po IQueryable, 391  
  po wierszach, 214, 215  
iteracja, 90, 200  
  generyczny, 122  
  kolekcji, 202

**J**

jawna implementacja interfejsów, 75

jawne rzutowanie wartości, 110, 271

język

Axum, 567

C#, 53, 566

C, 527

Eiffel, 525

F#, 546, 567

IL, 53, 264

IronPython, 479, 480

Spec#, 546

XAML, 230

XPath, 404

języki

dynamiczne, 479

dziedziczne, 331

**K**

kacze typizowanie, 472, 487, 488

Kanał 9, 414

kapsułkowanie, 237

klasa

ArrayList, 36

BindingList<T>, 593

BlockingCollection<T>, 599

Collection<T>, 593

ConcurrentDictionary, 594

Contract, 530, 535

CurrentCultureUpperCaseFormatter, 541

DataReader, 323

DynamicObject, 511

obsługa metod, 512

wirtualne metody TryXXX, 515

DynamicXElement, 511, 517

Enemy, 247

Enumerable, 321, 324, 334, 410

ExpandoObject, 506, 512

Expression, 289

Expression<TDelegate>, 291

HashSet<T>, 597

ICaseConverterContracts, 540

Interlocked, 256

InternalsVisibleToAttribute, 226

IterationSample, 203

Lazy<T>, 608

LinkedList<T>, 592

List<T>, 590

Message, 442

MetaRumpelstiltskin, 520

Microsoft.CSharp.RuntimeBinder.Binder, 493

Pair<T1, T2>, 608

ParallelEnumerable, 410

ParallelQuery<TSource>, 410

Person, 263

PlainInner, 119

Queryable, 321, 324, 395

Queue<T>, 598

Random, 534

ReadOnlyCollection<T>, 594

ReadOnlyObservableCollection<T>, 594

RouteValueDictionary, 594

Rumpelstiltskin, 518

ScriptScope, 481

Snippet, 499

SortedDictionary<TKey, TValue>, 595

SortedList<TKey, TValue>, 595

SortedSet<T>, 597

Stream, 313, 315, 319

StreamUtil, 314–316

System.Diagnostics.Contracts.Contract, 527

System.Dynamic.ExpandoObject, 506

System.Math, 233

System.Nullable, 145, 151

Table<T>, 391

TextReader, 216

Tuple, 608

User, 383

klasy

częściowe, 230

encji, 230

generyczne, 114, 291

kontraktu, 539

narzędziowe, 233, 314

niegeneryczne, 116, 133

pomocnicze, 168

statyczne, 226, 233, 312

zagnieżdżone, 212

zamknięte, 107

zapieczętowane, sealed, 235

klauzula

from, 366

group ... by, 343, 369

join ... into, 359, 363, 374, 419

let, 356, 357, 387

orderby, 353, 378

select, 343, 352

where, 47, 351, 352

klauzule grupujące, 372

- klucz
  - grupowania, 370
  - publiczny modułu, 247
- kod
  - bajtowy Javy, 137
  - dynamiczny, 298
  - klasy Snippet, 499
  - natywne, 76, 119, 243
  - Pythona, 51
  - sprawdzający, 530
  - tworzący wątek, 175
  - właściwej implementacji, 530
  - wylicający wiek, 154
  - wywołujący, 531
- kodowanie UTF-8, 435
- koklasa, CoClass, 452
- kolejka Queue<T>, 598
- kolejki, 598
- kolejność ewaluacji argumentów, 440
- kolekcja, 268
  - BindingList<T>, 593
  - BlockingCollection<T>, 599
  - Collection<T>, 593
  - ConcurrentBag<T>, 600
  - ConcurrentDictionary<TKey, TValue>, 600
  - ConcurrentQueue<T>, 600
  - ConcurrentStack<T>, 600
  - ICollection<T>, 489
  - IProducerConsumerCollection<T>, 599
  - KeyCollection<TKey, TItem>, 593
  - Lookup, 576
  - ObservableCollection<T>, 593
- kolekcje
  - generyczne, 588
  - konkurencyjne, 598
  - o mocnym typie, 73
  - o słabym typie, 73
  - stałe, 269
  - wariancyjne, 588
  - zagnieżdżone, 268
- kolizja skrótów, 595
- kombinacja typów generycznych, 170
- komparator, 132
  - StringComparer.OrdinalIgnoreCase, 376
- kompatybilna sygnatura typu, 179
- kompilacja, 125
  - do postaci IL, 136
  - do postaci natywnej, 136
  - drzewa wyrażeń, 291
  - kodu, 136
  - typu JIT, 53
- kompilator
  - C#, 53, 500
  - JIT, 94, 119
- kompletny typ implementujący, 215
- komunikacja, 563
- komunikat błędu, 549
- konfiguracja
  - Debug, 561
  - Release, 561
- koniec bloku kontraktu, 535
- konkatenacja, 575
- konstruktor bezparametrowy, 38, 105
  - this(), 256
- konstruktory, 505
  - statyczne, 117, 118
  - wątku, 186
- kontrakty, 524–567
  - kodu, 527, 530, 541, 567
  - legacyjne, 534, 559
  - niespełnione, 559
  - testów jednostkowych, 559
- kontrawariancja, 75, 128, 179, 454
  - interfejsów, 458
  - parametrów delegatów, 176
  - tablic, 128
  - typów generycznych, 176
  - typu parametru, 75
- kontynuacje
  - grupowania, 373, 374
  - wyrażenia kwerendowego, 375
  - zapytań, 369, 372
- kontynuacyjno-przekazujący styl, 221
- konwersja, 575
  - delegatów, 504
  - grupy metod, 43
  - jawna, 156
  - klasy narzędziowej, 234
  - łańcuchów, 101
  - metod i kontrawariancji, 177
  - niejawna, 156
  - między typami CLR i dynamic, 497
  - referencji, 176, 462
  - referencyjna, 455
  - typów, 149
  - typu dynamicznego, 52
  - wyrażeń, 390
  - wyrażeń lambda, 292, 345
- koszt opakowywania, 121
- kowariancja, 73, 128, 179, 454
  - IEnumerable<T>, 461
  - interfejsów, 457

typów generycznych, 130  
 typu zwracanego, 75, 178  
 kształty, 457  
 kwantyfikatory, 583  
 All, 583  
 aliasu przestrzeni nazw, 238  
 Any, 583  
 Contains, 583  
 kwerendowe drzewo wyrażań, 392

## L

leniwe filtrowanie, 217  
 lewostronne złączenie zewnętrzne, 365, 389, 390  
 liczba ostrzeżeń, 552  
 liczba synonimów, 450  
 licznik białych znaków, 529  
 LIFO, last in, first out, 598  
 LINQ, Language Integrated Query, 46  
 251, 336, 351  
 LINQ dla Obiektów, 280, 296, 336, 408, 574  
 LINQ dla Rx, 413–420  
 LINQ dla SQL-a, 49, 340, 379–387  
 LINQ dla XML-a, 48, 399–407, 507  
 LINQPad, 56, 321  
 lista, 590  
 dwukierunkowa `LinkedList<T>`, 592  
 kierunkowa, 592  
 kształtów, 457  
`List<T>`, 590  
 łańcuchów, 266  
 nazw, 516  
 parametrów metody, 433  
 parametrów o typie niejawnym, 284  
 sortowanie, 184, 287  
 logika boolowska, 159  
 logowanie zdarzeń, 288

## Ł

łańcuchowanie, 328  
 łapanie wyjątku klasy `Exception`, 543  
 łączenie  
 biblioteki typów, 452  
 delegatów, 66  
 metod statycznych, 324  
 ograniczeń, 108  
 operacji w łańcuch, 328  
 PIA, 451  
 wyrażań lambda, 296

## M

mapowanie obiektowo-relacyjne, 229  
 MARS, multiple active result sets, 606  
 maszyna stanowa, 198, 205  
 maszyna wirtualna, 138  
 mechanizm  
 multimetod, 489  
 refleksji, 117  
 wnioskowania typów, 308  
 MEF, Managed Extensibility Framework, 608  
 metadane, 383  
 metaobiekt, 518, 520  
 metaprogramowanie z użyciem wzorców, 137  
 metoda  
 Add, 267, 401  
 AddProperty, 298  
 Array.CreateInstance, 592  
 Array.Sort, 328  
 AsOrdered, 411  
 AsParallel, 410  
 Assembly.GetType, 125  
 Assert, 533  
 Assume, 533  
 AsUnordered, 412  
 base.VirtualMethod, 539  
 BindInvokeMember, 521  
 CcrCheck, 221  
 Clone, 74  
 Compare, 40, 151, 168  
 Compile, 291  
 ContractInvariantMethod, 531  
 ConvertAll, 100  
 CopyTo, 313  
 CountImpl, 489  
 CountWords, 95  
 CreateDelegateInstance, 191  
 CreateEnumerable, 207  
 CreateQuery, 391, 392, 395  
 Debug.Assert, 533  
 Delegate.Combine, 66, 464  
 Delegate.Remove, 66  
 Dequeue, 599  
 Dispose, 123, 207  
 DontPassInNull, 542  
 Dump, 440  
 EndContractBlock, 535  
 engine.Execute, 481  
 Enumerable.AsEnumerable, 577  
 Enumerable.Reverse, 340  
 Enumerable.Sum, 535

## metoda

- Equals, 112, 150–151, 511
- EventHandler, 173
- Exists, 533
- Expression.Call, 521
- Expression.Convert, 521
- FindAll, 190
- ForAll, 533
- GenerateSampleData, 179
- generyczna, 116
- GetDynamicMemberNames, 511, 516
- GetEnumerator, 121, 200, 391, 397
- GetHashCode, 147, 511
- GetInstanceRestriction, 521
- GetKeyFromItem, 593
- GetMetaObject, 494, 511
- GetSampleProducts, 36
- GetValueOrDefault, 147
- GetVariable, 482
- GetViewBetween, 597
- GroupBy, 329
- GroupJoin, 365, 419
- HandleFailure, 544
- int.TryParse, 531
- Interlocked.CompareExchange<T>, 467
- Invariant, 532
- Invoke, 63
- List, 101
- List<T>.ConvertAll, 275
- List<T>.ForEach, 182
- List<T>.Sort, 328
- LogEntity, 233
- Main, 55
- MakeList, 102
- MightReturnNull, 546
- Monitor.Enter, 466
- MoveNext, 121, 208, 216
- MyMethod, 174
- obsługi zdarzenia, 68
- OrderBy, 42, 327
- ParallelEnumerable.Range, 413
- Pop, 598
- Push, 598
- Random.Next, 534
- Range, 322, 416
- ReadFully, 313, 316
- ReferenceCompare, 168
- Report, 539
- Requires, 529, 560
- Reverse, 322, 597
- SaveAs, 51, 447

- Select, 326
- SelectMany, 369, 418
- SetHandled, 544
- SetVariable, 482
- Sort, 41
- StartsWith, 295
- StreamUtil.CopyTo, 319
- StringBuilder.Replace, 324
- Substring, 499, 502
- System.Nullable, 151
- ThenBy, 331
- ToDictionary, 576
- ToLookup, 576
- ToString, 508, 511
- TryGetMember, 515
- Type.GetMethods, 127
- Type.GetType, 125
- Where, 44, 218, 323, 325
- WithCancellation, 412
- WithDegreeOfParallelism, 412
- WithExecutionMode, 412
- WithMergeOptions, 413
- Workbooks.Add, 478

## metody

- anonimowe, 43, 83, 180–198
- częściowe, 227, 231
- dynamiczne, 503
- generyczne, 96, 100, 126, 217
- instancji, 500
- inwariantowe, 532
- o tej samej sygnaturze, 431
- obsługi zdarzeń, 174, 288
- osiowe, 404, 407
- pobierania typu obiektów, 126
- porównujące, 151
- porównywania produktów, 169
- przeciążone, 267
- publiczne, 485
- rozszerzające, 42, 86, 312–332, 341, 410, 422
  - klasy Queryable, 395, 398
  - pusta referencja, 319
  - składnia, 315
  - udostępnianie, 319
  - w .NET 3.5, 321
  - wykorzystywanie, 332
  - wykrywanie, 318
  - wywoływanie, 316
  - z argumentami dynamicznymi, 503
- statyczne, 63, 505
  - klasy Array, 592
- TryXXX, 511, 515

- wirtualne, 70
- wyższego rzędu, 460
- z kontraktem, 537
- z parametrami opcjonalnymi, 432
- ze sprawdzaniem argumentów, 525
- zwracające typy referencyjne, 165
- Micro Framework, 611
- miejsce wywołania, 493, 494
- mocny typ zmiennej, 73, 276
- model
  - błędów, 342
  - DOM, 510
  - wpychający, 415
- moduł, assembly, 86, 125, 240
  - PIA, 451, 452
  - produkcyjny, 247
  - System.Interactive, 414, 419
  - zaprzyjaźniony, 246
  - źródłowy, 246
  - referencyjny kontraktów, 527
- modyfikator
  - ?, 152
  - in, 456
  - Key, 275
  - out, 438, 455, 456
  - private, 236
  - ref, 438
  - static, 70, 234
- monady, 567
- MondrianDrawing, 130
- MoreLINQ, 421
- MSDN, 588, 606
- multimetody, 489

## N

- nadpisywanie
  - GetDynamicMemberNames, 516
  - metod TryXXX, 514
  - metod, 511
- NaN, Not a Number, 144
- narzędzia
  - dla kontraktów kodu, 527
  - do wizualizacji drzew wyrażeń, 295
- narzędzie
  - analizy automatycznej, 545
  - analizy statycznej, 533, 547, 552
  - binary rewriter, 527, 530
  - cccheck, 527, 545
  - ccdocgen, 527, 554
  - ccrefgen, 527, 541
  - ccrewrite, 527
  - ILDasm, 155, 182, 498
  - projektowe, 229, 383
  - przepisujące, 536–538
  - Reflector, 155, 182, 211
  - Snippy, 55, 498
  - Solution Explorer, 241
  - static checker, 527
  - tlbimp, 451
  - wyliczające wyrażenia, 472
- narzut pamięciowy, 120
- natywna implementacja, 389
- nawiasy
  - klamrowe, 183
  - kwadratowe, 124
  - nadmiarowe, 332
  - ostre, 96, 211
  - zwykłe, 183
- nazwa
  - klasy, 526
  - metody, 521
  - obiektu, 521
  - T, 99
- niejawne
  - konwersje, 302, 306, 479
  - typy tablic, 272
  - zobowiązania
    - arytmetyczne, 550
    - rozmiaru tablicy, 549
    - wartości niepustych, 548
- niekompatybilność C# 1 i C# 2, 179
- nienullowalny
  - typ referencyjny, 563
  - typ wartościowy, 112
- nieokreślona zmienna typu, 302
- niezmiennosc, 147, 443
  - delegatów, 66
  - obiektów, 442
  - właściwości, 275
- niszczenie iteratora, 216
- notacja kropkowa, 375–378
- null, 142
  - wartość rzeczywista, 436
  - wartość domyślna, 435
- nullowalny typ wartościowy, 112
- nullowy operator koalescencyjny, 161, 163, 436
- numer ostrzeżenia, 242

## O

## obiekt

- DynamicXElement, 512, 514
- ExpandableObject, 507
- Rumpelstiltskin, 518
- Table<T>, 391

## obiekty

- expando, 507
- obserwowalne, 416
- osadzone, embedded objects, 265
- zagnieżdżone, 266

## obliczenia numeryczne, 608

## obserwator, 414

## obsługa

- błędu, 544
- kodu natywnego, 492
- kowariancji, 129
- liczb zespolonych, 134
- typów dynamicznych, 292
- wyrażeń lambda, 287
- zdarzeń, 177, 288
- zdarzeń w .NET, 177

## odbiorca wywołania, 493

## odpakowywanie, 81, 147

## odpowiedź usługi sieciowej, 314

## odpytywanie bazy danych, 386

## odwołanie

- do właściwości, 507
- do zmiennej, 188

## odwracanie łańcuchów, 56

## ograniczenie, 108

- kodu dynamicznego, 503
- konwersji typów, 497
- konwertowania, 292
- numeryczne, 134
- parametrów opcjonalnych, 433
- parametru typu, 106
- typów, 104
  - generycznych, 127, 135
  - niejawnych, 259
- typu konstruktora, 105
- typu konwersji, 106, 132
- typu referencyjnego, 104
- typu wartościowego, 105

## określona zmienna typu, 302

## opakowanie wyrażeniem using, 211

## opakowywanie, 81, 147

- instancji, 149
- typem referencyjnym, 144

## opcja, 551, 559

- Assert on Contract Failure, 543
- Call-site Requires Checking, 542
- Emit Contracts into XML doc file, 554
- Implicit Arithmetic Obligations, 551
- Implicit Array Bounds Obligations, 549
- Implicit Non-null Obligations, 548
- Only Public Surface Contracts, 561

## operacje

- akceptujące parametr typu, 131
- dwuargumentowe, 289
- dynamiczne, 499
- jednoargumentowe, 289
- zwracające parametr typu, 131

## operator

- !=, 112
- &, 157
- &&, 534
- |, 157
- ==, 112, 157, 578
- as, 161
- AsEnumerable, 576
- AsQueryable, 576
- Cast, 349
- Distinct, 585
- Except, 585
- false, 157
- Intersect, 585
- OfType, 349
- Union, 585
- SelectMany, 406
- Sum, 486
- true, 157
- typeof, 123, 124

## operatory

- agregacji, 398, 574
- bazujące na zbiorach, 584
- dwuargumentowe, 157
- filtrujące, 584
- generujące, 579
- generyczne, 486
- grupujące, 580
- jednoargumentowe, 157
- jednoelementowe, 577
- koalescencyjne, 161
- konkatenacji, 575
- konwersji, 575
- kwantyfikatorów, 583
- kwerendowe, 340, 349, 376, 420
  - Cast, 349
  - OfType, 349



LINQ, 420  
 logiczne, 160  
 partycjonujące, 582  
 projekcji, 582  
 relacyjne, 157  
 sortujące, 585  
 warunkowe, 152, 163, 168  
 wzniesione, lifted operators, 157  
 zapytań spłaszczonych, 406  
 złączeń, 580  
 optymalizacja, 421  
 optymalizator zapytań, 388  
 ORM, Object-Relational Mapping, 229, 382  
 osadzanie języka w C#, 480  
 ostrzeżenia kompilatora, 242  
 ostrzeżenie, 549, 551

## P

pamięć podręczna, 494, 495  
 Parallel Extensions, 220, 222, 408, 567, 607  
 parametr, 430  
   Action<T>, 182  
   decimal?, 45  
   out, 462  
   ref, 448  
   ref typu T, 462  
   this, 500  
   TOutput, 276  
   typu, 96  
   typu EventArgs, 177  
   typu T, 146  
 parametry  
   dodatkowe typu, 135  
   formalne, 430  
   opcjonalne, 46, 427–445  
     ograniczenia, 433  
   typów, 104  
 partycjonowanie, 582  
 Pex, 567  
 pętla foreach, 43, 123, 193  
 PIA, Primary Interop Assembly, 51, 451  
 plany złączeń, 419  
 platforma programistyczna, 54  
 plik  
   AssemblyInfo.cs, 554  
   books.xml, 509  
   HelloWorld.py, 481  
   PDB, 537  
   XML, 48  
   XmlSampleData.cs, 404  
 pliki  
   konfiguracyjne, 482  
     aktywne, 483  
     pasywne, 483  
   XAML, 229  
 PLINQ, 408, 411  
 płynne interfejsy, fluent interfaces, 331, 332  
 pobieranie wartości, 507  
 podpisywanie modułów, 247  
 odpowiedź IntelliSense, 180, 317  
 pojedynczy dispatcher, single dispatch, 488  
 pole, 264  
   instancji typu, 117  
   SomeClass.x, 117  
   statyczne, 117  
 pomocnicza klasa generyczna, 132  
 porównania  
   niestandardowe, 376  
   referencyjne, 113  
   strukturalne, 608  
   z null, 158  
 porównanie  
   Comparer<T>.Default, 422  
   EqualityComparer<T>.Default, 422  
 porównywanie, 169  
   kluczy, 576, 580, 595  
   wartości, 112  
 poszukiwanie metody rozszerzającej, 318  
 potok danych, 200, 283  
 potrójne cudzysłowy, 481  
 prawdopodobne zakończenie metody, 165  
 predykaty, 193, 293, 323, 351  
 prefiks X, 399  
 prekompilacja XAML, 230  
 preprocesor, 346  
 produkt z nieznaną ceną, 45  
 programowanie  
   sterowane testami, 556  
   w trybie REPL, 472  
 projekcje, 326, 348, 417, 580  
 projekt  
   Mono, 472  
   MoreLINQ, 341  
   Parallel Extensions, 408  
   Reactive Extensions dla .NET, 413  
   projekt Unconstrained Melody, 107  
 projekty stertowane testami, 558  
 przechowywanie danych, 277  
 przechwytywanie  
   instancji zmiennej, 192  
   parametrów, 217  
   zmiennej, 187, 193

przeciążenie metody, 46, 306, 496  
 sygnatura, 362  
 Create, 431  
 przeciążenie złożone, 422  
 przekazywanie  
 argumentów przez wartość, 448  
 parametrów przez referencję, 80, 448  
 przepisywanie, 536  
 przestrzeń nazw  
 Microsoft.Office.Interop.Excel, 478  
 System.Collections.Concurrent, 598  
 System.Collections.Generic, 588  
 System.Collections.ObjectModel, 593  
 System.Collections.Specialized, 73  
 System.Interactive, 414, 419  
 System.Linq, 321, 325, 410  
 System.Linq.Expressions, 289  
 System.Numeric, 608  
 System.Xml.Linq, 399  
 przetwarzanie  
 listy, 286  
 po stronie serwera, 389  
 rekursywne, 403  
 równoległe, 568  
 sekwencji, 407  
 przypadki użycia, 230, 270  
 przypisanie, 78  
 przyrostek List, 508  
 pula wątków, thread pool, 190  
 pusta referencja, 160, 319, 460  
 puste wartości, 320  
 pusty typ zwracany, 232

## Q

Queue<T>, 598

## R

reagowanie dynamiczne, 506  
 refaktoryzacja, 298  
 referencja, 76, 80  
 do obiektu, 460  
 do Scheduler.ThreadPool, 419  
 do typu object, 402  
 IDisposable, 415  
 nullowa, 142  
 this, 63, 182  
 referencyjny moduł kontraktów, 541  
 refleksja, 123, 138, 299  
 metod generycznych, 126  
 typów generycznych, 127

reguły, 494  
 dotyczące dynamic, 474  
 walidujące konwersję, 176  
 wnioski, 300  
 rekursywne  
 przetwarzanie sekwencji, 403  
 wywołanie metody, 509  
 Relative Extensions, 567  
 REPL, read-evaluate-print loop, 472  
 reprezentacja klucza, 359  
 rozszerzanie  
 LINQ dla Obiektów, 420  
 zapytań, 408  
 rozwiązywanie przeciążeń, 299, 443, 501  
 równoległe LINQ, 408–411  
 równość, 578  
 instancji Nullable<T>, 150  
 obiektów, 151  
 rzucanie wyjątku, 67  
 rzutowanie, 40, 93, 351, 444

## S

schemat  
 hierarchii klas, 130  
 powiązań .NET 4, 491  
 sekwencja, 337, 358, 363  
 łańcuchów, 348  
 wykonania wyrażenia kwerendowego, 339  
 serializowanie właściwości, 298  
 setter prywatny, 256  
 settery, 36, 235  
 SeuratDrawing, 130  
 silnik add-inów, 607  
 silnik DLR, 493  
 Silverlight, 610  
 składnia delegatów, 173  
 skrót, 274, 595  
 skrót dla parametru, 284  
 skrypty użytkowników, 484  
 słaby typ, 73  
 słownik, 96, 594  
 Dictionary<string, int>, 99  
 Dictionary<TKey, TValue>, 594  
 IDictionary<string, object>, 507  
 SortedDictionary<TKey, TValue>, 595  
 SortedList<TKey, TValue>, 595  
 słowo  
 ascending, 355  
 Attribute, 246  
 delegat, 61  
 descending, 355

- dynamic, 496
- dynamiczny, 471
- inner, 359
- operator, 341
- outer, 359
- statyczny, 70, 471
- User, 383
- właściwość, 264
- słowo kluczowe
  - class, 77
  - const, 563
  - delegate, 181
  - dynamic, 52, 474
  - equals, 360
  - interface, 77
  - into, 374
  - new, 266, 272
  - return, 184, 283
  - struct, 77
  - this, 315
  - typedef, 133
  - var, 47, 85, 257, 476
- Snippy, 55, 498
- Solution Explorer, 241
- sortowanie, 40, 167, 327, 354, 412, 458, 585
  - listy, 184, 287
  - plików, 184
- specyfikacja
  - C# 4, 57
  - DLR, 522
- specyfikowanie kontraktów, 540
- spinanie, 324
- splaszczanie, 418
- splaszczona sekwencja, 406
- splaszczone wyniki, 406
- sprawdzanie
  - argumentów, 421
  - istnienia delegata, 185
- Stack<T>, 598
- stan uszkodzenia obiektu, 539
- standard
  - CLI, 105
  - ECMA, 57
- standardowe operatory kwerendowe, 574
- statyczny typ dynamic, 86
- sterta, 79
- stos, 62, 79, 598
  - Stack<T>, 598
- struktura, 79
  - Nullable<T>, 45
  - pliku XML, 510
  - System.Nullable<T>, 145, 151

- TIME\_ZONE\_INFORMATION, 244
- strumieniowanie, 323
- strumieniowy model obsługi danych, 338
- strumień
  - dodawanie funkcjonalności, 314
  - kopiowanie, 316
  - odpowiedzi, 315
  - sieciowy, 216
- subscribe, 415
- subskrybowanie zdarzeń, 185
- subskrypcja zdarzeń przycisku, 173
- suma kontrolna pliku, 243
- suma logiczna, 159
- sygnatury metod, 98
- sygnatura przeciążenia metody, 362
- symbol preprocesora, 554
- system typów, 69, 75, 97
- systemy ORM, 425
- szkielet klasy DynamicXElement, 511

## Ś

- śledzenie błędów, 329
- środowisko
  - .NET, 52, 487, 524, 567, 600, 606
  - CLR, 254, 274, 462
  - desktopowe, 604
  - IDE, 93, 139, 227, 516
  - IronPythona, 480
  - Parallel Extensions, 220
  - REPL, 516
  - serializujące, 230
  - uruchomieniowe, 608, 609
  - wykonawcze .NET, 53

## T

- tabela
  - Defect, 383
  - DefectUser, 383
- tablica, 73, 77, 591
  - ArrayList, 120
  - List, 120
- tablice
  - jednowymiarowe, 591
  - kowariancyjne, 73, 129
  - kwadratowe, 592
  - o typie niejawnym, 254, 270
  - parametrów, 433
  - prawdy, 159, 160
  - typu Stream[], 591
  - typów referencyjnych, 591

- technologia
  - ASP.NET, 607
  - ASP.NET MVC, 594
  - COM, 50, 427, 446, 479
  - LINQ, 251
  - Parallel Extensions, 222
  - Remoting, 607
- test
  - jednostkowy, 421, 557
  - wydajnościowy, 161
- testowanie, 559
  - klasy DynamicXElement, 516
  - niejawnych zobowiązań, 548
- tlumaczenie wyrażenia kwerendowego, 348
- transformacja, 338, 340
  - Select, 338
  - Where, 338
- translacja, 358
  - kompilatora, 344, 345
- trywialna właściwość, 255
- T-SQL, 383
- tworzenie
  - aliasu, 238
  - binderów, 498
  - delegatów, 43, 278
  - dokumentu Worda, 446
  - drzewa modelu DOM, 507
  - drzewa wyrażeń z lambda, 294
  - elementów, 401–404
  - instancji delegata, 62, 83, 189, 282, 285
  - instancji typu ScriptEngine, 480
  - klas encji, 384
  - klasy narzędziowej, 330
  - kolekcji, 266
  - metody przepisującej, 544
  - miejsc wywołań, 498
  - nietrywialnego obiektu, 268
  - obektów, 262
  - obektu budowniczego, 270
  - rysunku, 130
  - schematu bazy danych, 383
  - tablic, 266
  - testów jednostkowych, 269
  - typu częściowego, 227
  - wątku, 186
  - wielokrotne miejsc wywołań, 499
  - zagnieżdżonej subskrypcji, 417
  - zapytania, 351
- typ
  - \_ContractsRuntime, 537
  - ArrayList, 102
  - bool, 519
  - bool?, 159, 169
  - Complex, 134
  - Configuration, 483
  - Dictionary, 95, 111
  - dynamic, 51, 87, 475, 479, 505
  - DynamicMethod, 491
  - Expression, 491
  - Func, 325
  - generyczny sparametryzowany, 273
  - Guid, 100
  - Hashtable, 96
  - IComparer<Circle>, 132
  - IComparer<IShape>, 132
  - IDisposable[], 271
  - IEnumerable<string>, 216
  - IEnumerable<T>, 222, 404
  - InstanceMethods, 63
  - IObservable<out T>, 414
  - IObserver<in T>, 414
  - Lazy<T>, 608
  - List<Circle>, 132
  - List<T>, 42, 197, 266
  - MemoryStream, 179
  - Nullable<T>, 147
  - object, 519
  - Pair, 114
  - Product, 35
  - ProductNameComparer, 41
  - ReadOnlyCollection<T>, 269
  - Rumpelstiltskin, 519
  - StaticMethods, 63
  - Stream, 313
  - string[], 259
  - StringProcessor, 61, 63
  - System.Delegate, 61, 175
  - System.Type, 125
  - timeSpan, 487
  - Tuple, 608
  - void, 61, 183, 519
  - XAttribute, 400
  - XContainer, 400
  - XDocument, 401
  - XElement, 399, 401
  - XName, 399
  - XNamespace, 399
  - XNode, 400
  - XObject, 400
  - XText, 400
- typy
  - aliasów, 238
  - anonimowe, 85, 254, 272–277, 326, 357
  - elementy, 274

częściowe, 226–229  
 danych, 400  
 delegatowe, 61, 77, 325, 459  
 delegatów generycznych, 84  
 dynamiczne, 50, 71, 427, 471–477, 484, 504  
 dynamiczne w C# 4, 87  
 enumeracyjne, 332  
 generyczne, 36, 85–92, 121–139  
   .NET, 138  
   Javy, 137  
   niezwiązane, 97  
 jawne, 71, 261  
 kolekcji, 73  
 kontraktów, 560  
 mocne, 74  
 niejawne, 71, 259–261, 271  
 niezmiennie, 146  
 nullowalne, 88, 142–165, 170, 254  
 o tej samej nazwie, 240  
 otwarte, 97, 125  
 potomne, 78  
 projekcji, 370  
 referencyjne, 76, 77, 82  
 rozszerzane, 315  
 skonstruowane, 97, 124  
 słabe, 73  
 statyczne, 70, 478  
 tablicowe, 488  
 wariantowe, 453  
 wartościowe, 76, 82, 87  
 węzłów, 290  
 zamknięte, 97, 105, 117  
 zmiennej, 261  
 zwracane, 178  
 zwracane funkcji anonimowej, 302

## U

udostępnianie elementów, 245  
 ukrywanie kontraktu, 543  
 unikanie przeciążeń, 444  
 uporządkowanie, 355  
 uproszczenia iteratorów, 204, 215, 217, 221  
 uproszczona inicjalizacja, 37  
 usługa P/Invoke, 243  
 ustawianie właściwości, 263–265  
 usunięcie nawiasów, 284  
 usuwanie delegatów, 66

## V

VB.NET, 54  
 Visual Basic, 50, 275, 430, 446  
 Visual Studio, 56, 229, 241, 273, 384, 527  
 Visual Studio 2010 Premium, 545  
 Visual Studio 2010 Ultimate, 545  
 void, 232

## W

walidacja, 56, 526, 562  
   argumentów, 332, 524  
   metody, 533  
 wariancja, 456, 460, 462–465  
   interfejsów, 455  
   parametrów typu, 461  
   typów generycznych, 176, 453, 468  
   w delegatach, 458  
 warstwa prezentacyjna Silverlight, 610  
 warstwy pośredniczące, 173  
 wartości  
   domyślne, 44, 46, 111, 430  
   domyślne null, 112  
   dynamiczne, 496  
   magiczne, 144, 435  
   nullowe, 143  
   puste, 152, 155  
   typu Nullable<int>, 146  
   typu referencyjnego, 81, 142  
   typu wartościowego, 81, 142  
 wartościowanie  
   leniwe, lazy evaluation, 323  
   zachłanne, eager evaluation, 323  
 wartościowy typ nullowalny, 152  
 wartość  
   DateTime.MinValue, 144  
   DBNull.Value, 144  
   int.MinValue, 551  
   int?, 153  
   ListControl.DisplayMember, 484  
 warunek inwariancji, 539  
 warunki  
   końcowe, 530, 531, 536  
   wstępne, 529, 536, 542  
 WCF, Windows Communication Foundation, 607  
 wektor, 591  
 wersja  
   debug, 557  
   release, 557

- wersje bazowe, 552
- wersje środowiska .NET, 604
- wersjonowanie, 434, 453
- weryfikowanie kontraktów, 546
- wewnętrzna sekwencja, 359
- wewnętrzne równozłączenie, 388
- WF, Windows Workflow Foundation, 607
- wiązanie, binding, 471
- widok dynamiczny, dynamic view, 517
- widok właściwości dynamicznych, 517
- wielokropek, 55
- wielokrotne
  - iterowanie, 422
  - uporządkowania, 355
  - wyniki wyszukiwania, 405
- wieloznaczniki, 138
- Windows CardSpace, 607
- wizualizacja drzewa wyrażen, 295
- wizualizator, 295
- własne metody przepisujące, 544
- własny operator, 421
- właściwości
  - automatyczne, 256
  - domyślne, 449
  - encji, 384
  - implementowane automatycznie, 37, 254, 255
  - kontraktów kodu, 528
  - obiektu osadzonego, 265
  - rozszerzające, 332
  - sparametryzowane, 449
  - tylko do odczytu, 38
- właściwość
  - ActiveSheet, 51, 478
  - Comparer<T>.Default, 167
  - Count, 488
  - Current, 212
  - Embed Interop Types, 477
  - Friends, 268
  - HasValue, 45
  - Key, 370
  - NodeType, 290
  - Subscriptions, 364
  - Type, 290
  - Value, 478, 521
- wnioskowanie typów, 103, 110, 300, 308, 349
  - algorytm, 303
  - dwufazowe, 302
  - wielostopniowe, 305
- wnioskowanie typu
  - generycznego, 502
  - w czasie wykonania, 485
- Word, 446
- WPF, Windows Presentation Foundation, 593, 606
- wpychanie danych, 413
- wskaźnik funkcji, 60
- współprogramy, 223
- wyciek pamięci, 63
- wydajność, 324
- wyjątek
  - ArgumentNullException, 526, 556
  - ArrayTypeMismatchException, 73
  - ContractException, 529, 543
  - InvalidCastException, 482
  - InvalidOperationException, 146, 598
  - NotSupportedException, 591
  - NullReferenceException, 149, 319
- wykonanie
  - natychmiastowe, 340
  - odroczone, 322
  - opóźnione, 338
- wykreślanie typu, type erasure, 138
- wyłączenie ostrzeżenia, 242
- wyniki analizy statycznej, 547
- wypełnianie tablicy, 273
- wyrażenia
  - blokujące, 466
  - filtrujące, 351
  - grupowanie, 370
  - kwerendowe, 47, 336–352, 377–379, 577
    - zdegenerowane, 353
    - group by, 417
  - lambda, 84, 280, 292, 308, 504
  - projekcja, 370
  - wartości domyślnej, 111
  - wyboru klucza, 359
- wyrażenie
  - #pragma, 241
  - Func<object>, 464
  - join, 50
  - lambda, 41, 282–286
  - using, 53, 216, 237
  - yield, 204
  - yield break, 209
  - yield return, 205, 208
- wyszukiwanie
  - elementów, 43
  - przeciążeń, 308
- wyświetlanie łańcucha, 291
- wywołania równoległe, 220
- wywołanie
  - CreateInstance<int>(), 106
  - Dispose, 211, 237

GetGenericTypeDefinition, 125  
 instancji delegata, 63  
 konstruktora bezparametrowego, 232  
 metody rozszerzającej, 317  
 operatora Cast, 350  
 OrderBy, 355  
 OrderByDescending, 355  
 Range, 478  
 string.Substring, 502  
 Subscribe, 415  
 ThenBy, 355  
 funkcji, 482  
 wzorce C++, 136, 137  
 wzorzec  
 czynnościowy, 200  
 inicjalizacyjny, 442  
 iteratora, 200, 202, 222  
 projektowy budowniczego, 270  
 TryXXX, 111, 166  
 wyrażeń kwerendowych, 345

## X

XAML, Extensible Application Markup  
 Language, 229

## Z

zakładka Code Contracts, 528  
 zakres, 550  
 zakres zmiennych, 195  
 zamortyzowana złożoność, 590, 595  
 zaprzyjaźnione moduły, 246  
 zapytania, 48  
 na pojedynczych węzłach, 404  
 zapytanie jednowątkowe, 410  
 zapytanie równoległe, 410  
 zasada podstawiania Liskov, 538  
 zasięg, 481  
 zasięg globalny, 481  
 zasięg zmiennych, 195  
 zbiór, 595  
 HashSet<T>, 597  
 kolekcji alternatywnych, 601  
 Mandelbrota, 408, 411  
 SortedSet<T>, 597  
 zdarzenia, 67  
 .NET, 420  
 w formie pól, 68, 467  
 wewnątrz klasy deklarującej, 467

zdarzenie  
 Click, 174  
 Contract.ContractFailed, 543  
 ContractFailed, 544  
 MouseClick, 174  
 zdegenerowane wyrażenia kwerendowe, 352  
 zestaw przecięcia, 431  
 zewnętrzna sekwencja, 359  
 zimny obiekt obserwowalny, cold observable, 416  
 złączenia, 355, 580  
 jawne, 388  
 niejawne, 390  
 złączenie, 50, 355, 580  
 grupowe, 363, 365  
 jawne, 388  
 krzyżowe, 366  
 niejawne, 390  
 wewnętrzne, inner join, 359–362, 389  
 składnia, 360  
 zewnętrzne, outer join, 359  
 złożoność, 595, 596  
 zmiana nazwy parametru, 445  
 zmienna  
 args, 259  
 captured, 189  
 counter, 191  
 zmienne  
 dynamiczne, 52  
 inicjalizowane przez konstruktor, 261  
 lokalne, 192  
 deklarowane niejawnie, 85  
 instancjonowane, 192  
 o typie niejawnym, 47, 254, 257  
 metod anonimowych, 187  
 przechwycone, 186–192, 196  
 publiczne, 255  
 typu, 302  
 typu delegatowego, 43  
 zakresu, 343, 347–351  
 zewnętrzne, 187, 188  
 znajdowanie błędów, 129  
 znaki UTF-16, 56  
 znaki  
 gwiazdka (\*), 358  
 podwójny dwukropek (::), 238  
 zapytania (??), 161  
 zniknięcie wywołania Select, 353  
 zobowiązania niejawne, 548  
 zrównoleglanie zapytań, 409  
 zwalnianie blokady, 466  
 zwalnianie iteratorów, 422

zwracanie

  pustej referencji, 547

  sekwencji, 407

  wartości, 183, 547

## Ż

  źle sformułowany kontrakt, malformed contract, 530



# 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>

GRUPA WYDAWNICZA

 **Helion SA**

# C# OD PODSZEWKI

WYDANIE  
**2.**

Obecnie szczególnie cenione są te języki programowania, które pozwalają na błyskawiczne osiągnięcie oczekiwanych efektów. Dodatkowo absolutnie niezbędne jest zachowanie możliwości uruchamiania raz napisanej aplikacji na różnych platformach bez konieczności jej przepisywania. Nikt nie ma na to czasu! C# to nowoczesny język, który zdobył uznanie programistów na całym świecie, ponieważ spełnia nawet najbardziej wyśrubowane wymagania!

Ten bezcenny podręcznik zaprowadzi Cię w najskrytsze zakątki języka C#. Autorzy założyli, że znasz jego podstawy – to pozwoliło im skupić uwagę na niuansach, ciekawostkach oraz subtelnych szczegółach. W trakcie lektury zrozumiesz, co się dzieje w czeluściach C#, a dzięki temu unikniesz ukrytych pułapek. Książka ta jest obowiązkową pozycją każdego programisty C#. Bez niej najciekawsze funkcje C# wciąż będą Ci obce!

## Dowiedz się:

- do czego przydają się typy generyczne
- jak zaimplementować iteratory
- jak zoptymalizować skompilowany kod
- w czym może pomóc język LINQ
- jak testować kod

## Fascynująca podróż w głąb C#!

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa

Nr katalogowy: 8672

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>

ślęgnij po WIĘCEJ



KOD KORZYŚCI

ISBN 978-83-246-3921-2



9 788324 639212

Cena: 99,00 zł

Informatyka w najlepszym wydaniu