

# SPIS TREŚCI

---

Przedmowa	XIII
-----------	------

## I Podstawy

<b>1. Środowisko R i program RStudio</b>	3
1.1. Cechy języka i środowiska R	3
1.2. Organizacja pracy w R i RStudio	4
1.2.1. Konsola R	5
1.2.2. Program RStudio	6
1.2.3. Pierwsze kroki w trybie interaktywnym	8
1.2.4. Edytor skryptów	10
1.2.5. System pomocy	11
<b>2. Typy atomowe: wektory i NULL</b>	13
2.1. Klasyfikacja typów obiektów w języku R	13
2.2. Wektory atomowe	14
2.2.1. Wektory wartości logicznych	14
2.2.2. Wektory liczbowe	17
2.2.3. Wektory napisów	18
2.2.4. Pozostałe typy wektorów atomowych i ich hierarchia	19
2.3. Tworzenie obiektów nazwanych	25
2.4. Braki danych, wartości nieskończone i nie-liczby	29
2.5. Typ pusty (NULL)	31
<b>3. Operacje na wektorach</b>	34
3.1. Podstawowe operatory	34
3.1.1. Operatory arytmetyczne	35
3.1.2. Operatory logiczne	38
3.1.3. Operatory relacyjne	39
3.1.4. Priorytety operatorów	41
3.2. Indeksowanie wektorów. Filtrowanie danych	42
3.2.1. Rodzaje indeksatorów	43
3.2.2. Modyfikowanie wybranych elementów	45
3.3. Przegląd funkcji wbudowanych	46
3.3.1. Zwektoryzowane funkcje matematyczne	46

3.3.2.	Agregacja danych	51
3.3.3.	Operacje na sąsiadujących elementach wektorów	54
3.3.4.	Wyszukiwanie indeksów i wybór elementów wektorów	55
3.3.5.	Operacje oparte na permutowaniu elementów wektorów	57
3.3.6.	Operacje na zbiorach	59
3.3.7.	Podstawowe operacje na napisach	60
<b>4.</b>	<b>Listy</b>	<b>63</b>
4.1.	Tworzenie list	63
4.2.	Indeksowanie list	66
4.2.1.	Operator „[]”	66
4.2.2.	Operator „[[]”	66
4.2.3.	Modyfikowanie zawartości list	67
4.3.	Wybrane operacje na listach	70
4.3.1.	Łączenie, rozwijanie i powielanie list	70
4.3.2.	Wywoływanie funkcji na wszystkich elementach listy	73
<b>5.</b>	<b>Funkcje</b>	<b>78</b>
5.1.	Tworzenie obiektów typu funkcja	79
5.1.1.	Bloki wyrażeń	81
5.1.2.	Sprawdzanie poprawności argumentów	84
5.1.3.	Kilka uwag dla projektantów funkcji	87
5.1.4.	Biblioteki funkcji w plikach .R	88
5.1.5.	Odwoływanie się do funkcji z pakietów R	89
5.2.	Zasięg nazw w funkcjach	90
5.3.	Parametry i argumenty	92
5.3.1.	Przekazywanie argumentów przez wartość	92
5.3.2.	Parametry z argumentami domyślnymi	93
5.3.3.	Parametr specjalny „...”	94
<b>6.</b>	<b>Atrybuty obiektów</b>	<b>97</b>
6.1.	Nadawanie i odczytywanie atrybutów	97
6.2.	Atrybuty specjalne	100
6.2.1.	Atrybut <i>comment</i>	101
6.2.2.	Atrybut <i>names</i> . Wektory z etykietami	101
6.2.3.	Atrybut <i>class</i> . Wstęp do programowania obiektowego S3	106
6.3.	O zachowywaniu i gubieniu atrybutów przez funkcje	111
<b>7.</b>	<b>Typy złożone</b>	<b>114</b>
7.1.	Macierze i tablice	114
7.1.1.	Tworzenie macierzy	114
7.1.2.	Indeksowanie macierzy	118
7.1.3.	Tablice jako uogólnienie macierzy	120
7.1.4.	Atrybut <i>dimnames</i> . Etykietowanie wierszy i kolumn	121
7.1.5.	Reprezentacja macierzy i tablic	122
7.1.6.	Wybrane operacje na macierzach	126
7.2.	Szeregi czasowe	129
7.3.	Czynniki	131
7.3.1.	Tworzenie czynników	132

7.3.2.	Reprezentacja czynników	132
7.3.3.	Czynniki a wektory napisów	134
7.3.4.	Wybrane operacje na czynnikach	135
7.4.	Ramki danych	138
7.4.1.	Reprezentacja ramek danych	139
7.4.2.	Operatory indeksowania. Filtrowanie danych	141
7.4.3.	Wybrane operacje na ramkach danych	144
<b>8.</b>	<b>Pielęgnowanie kodu</b>	<b>156</b>
8.1.	Organizacja kodu	157
8.1.1.	Projekty i skrypty	157
8.1.2.	Tworzenie własnych pakietów R	158
8.2.	Obsługa wyjątków	159
8.2.1.	Rodzaje wyjątków	159
8.2.2.	Obsługa komunikatów diagnostycznych i ostrzeżeń	160
8.2.3.	Obsługa błędów	161
8.3.	Testowanie oprogramowania	162
8.4.	Debugowanie kodu	165
8.5.	Pomiar i poprawa wydajności kodu	167
8.5.1.	Badanie krótkich fragmentów kodu	167
8.5.2.	Profilowanie aplikacji	168
8.5.3.	Złożoność czasowa i pamięciowa algorytmów	171
<b>9.</b>	<b>Modyfikacja przepływu sterowania</b>	<b>174</b>
9.1.	Wyrażenia warunkowe <code>if</code> i <code>if...else</code>	175
9.1.1.	Określanie testowanego warunku	178
9.1.2.	Wartości zwracane przez wyrażenia warunkowe	181
9.1.3.	Funkcja <code>return()</code> . Rekurencja	182
9.2.	Pętle	184
9.2.1.	Pętla <code>while</code>	184
9.2.2.	Pętla <code>repeat</code>	189
9.2.3.	Pętla <code>for</code>	190
9.3.	Uwagi na temat wydajności pętli	193

## II Przygotowanie danych

<b>10.</b>	<b>Przetwarzanie napisów</b>	<b>203</b>
10.1.	Podstawowe operacje na napisach	203
10.1.1.	Wyznaczanie długości napisów	203
10.1.2.	Porównywanie napisów	204
10.1.3.	Łączenie i powielanie napisów	206
10.1.4.	Przycinanie i wypełnianie	207
10.1.5.	Formowanie napisów na podstawie innych obiektów	208
10.1.6.	Zmiana pojedynczych znaków	211
10.1.7.	Wyznaczanie podnapisów	211
10.1.8.	Pozostałe operacje	213
10.2.	Wyszukiwanie wzorca	214
10.2.1.	Wzorce ustalone	215

10.2.2. Wyrażenia regularne	218
10.2.3. Wzorce rozmyte	229
10.3. Data i czas	230
10.3.1. Reprezentacja dat	230
10.3.2. Reprezentacja czasu	231
10.3.3. Operacje arytmetyczne	233
10.3.4. Konwersja daty i czasu	234
10.4. Reprezentacja napisów	235
10.4.1. Kodowanie ASCII	235
10.4.2. 8-bitowe kodowania polskich liter diakrytyzowanych	237
10.4.3. Kodowanie UTF-8	238
10.4.4. Konwersja kodowań	239
<b>11. Przetwarzanie plików</b>	<b>241</b>
11.1. Podstawowe operacje na plikach i katalogach	241
11.1.1. Ścieżki dostępu do plików i katalogów	241
11.1.2. Bieżący katalog roboczy. Ścieżki względne	243
11.1.3. Informacje o plikach i katalogach	244
11.1.4. Wybrane działania na plikach i katalogach	245
11.1.5. Wyszukiwanie plików i katalogów	246
11.2. Serializacja i deserializacja obiektów	248
11.3. Popularne formaty plików	249
11.3.1. Pliki CSV	250
11.3.2. Pliki JSON	254
11.3.3. Pliki XML	255
11.4. Dostęp do baz danych SQL	256
11.5. Dowlone pliki tekstowe	257
11.5.1. Odczyt plików tekstowych	258
11.5.2. Zapis plików tekstowych	258
11.6. Połączenia	259
11.6.1. URL, czyli ujednolicony lokalizator zasobów	259
11.6.2. Tworzenie połączeń	260
11.6.3. Otwieranie i zamykanie połączeń	262
11.6.4. Odczyt danych z połączeń	262
11.6.5. Zapis danych do połączeń	265
11.6.6. Zarządzanie otwartymi połączeniami	266
11.6.7. Nota o plikach binarnych	267
<hr/>	
<b>III Prezentacja wyników</b>	
<b>12. Tworzenie wykresów</b>	<b>271</b>
12.1. Schemat systemów graficznych w środowisku R	271
12.2. Podstawy użycia pakietu graphics	273
12.2.1. Strona i rysunki	274
12.2.2. Parametry graficzne	275
12.2.3. Rysowanie punktów i odcinków (łamanych)	279
12.2.4. Barwy	282
12.2.5. Rysowanie wielokątów	284
12.2.6. Wypisywanie tekstu	286

12.2.7. Układ współrzędnych . . . . .	287
12.2.8. Tworzenie wielu rysunków na jednej stronie . . . . .	291
12.3. Wybrane wysokopoziomowe operacje graficzne . . . . .	292
12.3.1. Rysowanie układu współrzędnych . . . . .	292
12.3.2. Adnotacje i legenda . . . . .	293
12.3.3. Wizualizacja danych jednowymiarowych . . . . .	295
12.3.4. Wizualizacja danych dwuwymiarowych . . . . .	298
12.3.5. Wizualizacja danych wielowymiarowych . . . . .	302
12.4. Urządzenia graficzne . . . . .	304
12.4.1. Urządzenia pdf(), svg() i postscript() . . . . .	307
12.4.2. Urządzenia png() i jpeg() . . . . .	307
<b>13. Generowanie raportów przy użyciu pakietu knitr . . . . .</b>	<b>309</b>
13.1. Język Markdown . . . . .	309
13.2. Podstawy użycia pakietu knitr . . . . .	316
13.3. Ustawienia wstawek . . . . .	320
13.3.1. Identyfikatory wstawek i zależności między nimi . . . . .	320
13.3.2. Pamięć podręczna . . . . .	321
13.3.3. Wyświetlanie kodu i wyników tekstowych . . . . .	322
13.3.4. Rysunki . . . . .	323
13.3.5. Ustawienia globalne . . . . .	324
<hr/>	
<b>IV Zastosowania</b>	
<b>14. Obliczenia numeryczne . . . . .</b>	<b>337</b>
14.1. Wprowadzenie . . . . .	337
14.2. Algebra wektorów i macierzy . . . . .	340
14.2.1. Podstawowe operacje . . . . .	341
14.2.2. Normy . . . . .	342
14.2.3. Metryki i inne odległości . . . . .	344
14.2.4. Wektory i wartości własne . . . . .	348
14.2.5. Rozkład Choleskiego . . . . .	350
14.2.6. Rozkład QR . . . . .	351
14.2.7. Rozkład SVD . . . . .	354
14.3. Różniczkowanie i całkowanie . . . . .	356
14.3.1. Różniczkowanie numeryczne . . . . .	356
14.3.2. Całkowanie numeryczne . . . . .	359
14.4. Optymalizacja . . . . .	360
14.4.1. Algorytmy programowania matematycznego . . . . .	362
14.4.2. Algorytmy optymalizacji ciągłej ogólnego zastosowania . . . . .	365
14.5. Interpolacja i wygładzanie . . . . .	368
14.5.1. Interpolacja jednowymiarowa . . . . .	368
14.5.2. Interpolacja dwuwymiarowa . . . . .	369
14.5.3. Wygładzanie . . . . .	370
14.6. Rozwiązywanie (układów) równań (nie)liniowych . . . . .	372
14.6.1. Wyznaczanie miejsc zerowych funkcji jednej zmiennej . . . . .	372
14.6.2. Rozwiązywanie układów równań liniowych . . . . .	374
14.6.3. Rozwiązywanie układów równań nieliniowych . . . . .	374

<b>15. Symulacje</b>	376
15.1. Generowanie liczb (pseudo)losowych	376
15.1.1. Źródła (pseudo)losowości	377
15.1.2. Określanie ziarna generatora	378
15.1.3. Szczegóły działania generatora	379
15.2. Rozkłady prawdopodobieństwa	381
15.2.1. Nazwy funkcji związanych z rozkładami	381
15.2.2. Wybrane jednowymiarowe rozkłady prawdopodobieństwa	382
15.2.3. Zmienne losowe wielowymiarowe	386
15.3. Przykładowe eksperymenty symulacyjne	390
15.3.1. Badanie mocy testu Shapiro–Wilka	391
15.3.2. Własności estymatorów parametrów rozkładu Gamma	392
15.3.3. Całkowanie Monte Carlo	396
15.3.4. Krosvalidacja klasyfikatora	398

## V Zagadnienia zaawansowane

<b>16. Zarządzanie środowiskiem R</b>	403
16.1. Podstawowe informacje	403
16.1.1. Informacje o środowisku R	403
16.1.2. Informacje o systemie	406
16.1.3. Uruchamianie i zamykanie środowiska R	407
16.1.4. Historia poleceń	408
16.2. Opcje globalne	408
16.3. Ustawienia lokalizacyjne	412
16.4. Rozszerzanie możliwości środowiska R	415
16.4.1. Instalacja i aktualizacja pakietów	416
16.4.2. Wywoływanie innych programów	421
16.5. Zarządzanie pamięcią	422
16.5.1. Informacja o rozmiarze obiektów	422
16.5.2. Kopiowanie na żądanie	424
16.5.3. Automatyczne odśmiecanie pamięci	425
16.6. Typ podstawowy, tryb a klasa obiektów	425
<b>17. Środowiska</b>	428
17.1. Środowiska jako zbiory obiektów	428
17.1.1. Podstawowe operacje na obiektach w środowisku	429
17.1.2. Środowiska a listy	431
17.1.3. Przekazywanie środowisk funkcjom	433
17.2. Wskaźniki na środowiska otaczające	435
17.2.1. Przypadek ręcznie tworzonych środowisk	435
17.2.2. Ścieżka wyszukiwania	436
17.2.3. Przestrzenie nazw i środowiska eksportowane przez pakiety	441
<b>18. Syntaktyka i semantyka języka R</b>	442
18.1. Obiekty reprezentujące wyrażenia języka R	442
18.1.1. Parser	443
18.1.2. Cytowanie	446

18.1.3. Wywołania, czyli wyrażenia złożone . . . . .	446
18.2. Środowiskowy model obliczeń . . . . .	451
18.2.1. Ewaluacja wyrażeń . . . . .	452
18.2.2. Bieżące środowisko ewaluacyjne . . . . .	454
18.3. Ewaluacja wyrażeń w obrębie funkcji . . . . .	457
18.3.1. Lokalne środowiska ewaluacyjne . . . . .	459
18.3.2. Środowiska otaczające lokalne środowiska ewaluacyjne . . . . .	460
18.3.3. Środowiska wywołujące . . . . .	464
18.3.4. Ewaluacja argumentów . . . . .	465
18.4. Formuły . . . . .	471
18.4.1. Przykłady funkcji stosujących argumenty typu formuła . . . . .	471
18.4.2. Formuły jako wywołania . . . . .	473
18.4.3. Przetwarzanie formuł . . . . .	474
<b>19. Programowanie zorientowane obiektowo . . . . .</b>	<b>476</b>
19.1. Paradygmaty programowania obiektowego . . . . .	476
19.2. Klasy S3 . . . . .	478
19.2.1. Określanie klasy obiektu . . . . .	479
19.2.2. Ekspediowanie metod . . . . .	479
19.2.3. Przeciążanie metod . . . . .	482
19.3. Klasy S4 . . . . .	483
19.3.1. Definiowanie klas i tworzenie obiektów . . . . .	484
19.3.2. Definiowanie funkcji generycznych i metod . . . . .	487
19.4. Klasy referencyjne (RC) . . . . .	491
19.5. Specjalne rodzaje funkcji . . . . .	492
19.5.1. Funkcje podstawieniowe . . . . .	492
19.5.2. Przeciążanie operatorów . . . . .	494
19.5.3. Wbudowane grupy funkcji generycznych . . . . .	495
<b>20. Integracja R i C++ przy użyciu pakietu Rcpp . . . . .</b>	<b>498</b>
20.1. Wprowadzenie . . . . .	499
20.1.1. Tryby pracy z Rcpp . . . . .	499
20.1.2. Podstawy składni języka C++ . . . . .	503
20.2. Operacje na wektorach atomowych . . . . .	509
20.2.1. Dostęp do wektorów . . . . .	509
20.2.2. Tworzenie wektorów . . . . .	512
20.2.3. Kopiowanie płytkie i głębokie . . . . .	513
20.2.4. Braki danych . . . . .	515
20.2.5. Przegląd funkcji z R/C API . . . . .	517
20.2.6. Przegląd funkcji i metod z pakietu Rcpp . . . . .	520
20.3. Operacje na pozostałych typach obiektów . . . . .	521
20.3.1. Listy . . . . .	521
20.3.2. Funkcje . . . . .	523
20.3.3. Atrybuty obiektów . . . . .	524
20.3.4. Obiekty typów złożonych . . . . .	525
20.3.5. Wskaźniki . . . . .	527
<b>Bibliografia . . . . .</b>	<b>532</b>
<b>Skorowidz . . . . .</b>	<b>537</b>