

1. Wstęp	9
2. Wprowadzenie	19
2.1. Czym jest szereg czasowy?	20
2.2. Główne zadania analizy szeregów czasowych	22
2.3. Etapy w analizie szeregu czasowego	23
2.4. Przykład dla niecierpliwych	24
2.4.1. Wczytanie danych	24
2.4.2. Konwersja danych na format odpowiedni dla R	25
2.4.3. Analiza podstawowych własności	26
2.4.4. Dekompozycja: identyfikacja trendu i sezonowości	29
2.4.5. Niezbędne przekształcenia	30
2.4.6. Podział danych na zbiór uczący i testowy	33
2.4.7. Dopasowanie modeli	34
2.4.8. Prognozowanie: konstrukcja prognoz punktowych i przedziałów predykcyjnych	41
3. Dane	47
3.1. Dane wbudowane	47
3.1.1. Dane <i>AirPassengers</i>	47
3.1.2. Wybrane R -pakiety	48
3.1.3. Dane <i>usgdp</i>	49
3.1.4. Szeregi o różnej częstotliwości	49
3.1.5. Biblioteka <i>TSAFBook</i> – dane wykorzystywane w książce	50
3.2. Import/eksport danych	51
3.2.1. Format tekstowy	52
3.2.2. Dane tabelaryczne	53
3.2.3. Format binarny	55
3.2.4. Inne formaty danych	55
3.3. Reprezentacja szeregów czasowych w R	57
3.3.1. Klasa <i>ts</i> – podstawowe funkcje	57
3.3.2. Jak stworzyć obiekt klasy <i>ts</i> ?	60
3.3.3. Inne sposoby reprezentacji szeregów w R	61

3.4. Wybór podzbioru danych	64
3.4.1. Funkcja <i>window</i>	64
3.4.2. Podział danych na część uczącą i testową	65
3.5. Dostęp <i>online</i> do danych finansowych	67
3.5.1. Funkcja <i>getSymbols()</i> (pakiet <i>quantmod</i>)	67
3.5.2. Funkcja <i>get.hist.quote()</i> (pakiet <i>tseries</i>)	70
3.6. Dane symulowane	73
3.6.1. Biały szum (<i>white noise</i>)	73
3.6.2. Błądzenie losowe (<i>random walk</i>)	75
3.6.3. Błądzenie losowe z dryfem (<i>random walk with drift</i>)	76
3.6.4. Inne modele	77
3.7. Ćwiczenia	77
4. Wykresy i analiza opisowa	81
4.1. Wykresy zwykłe	81
4.1.1. Podstawowe narzędzia – funkcja <i>plot()</i>	83
4.1.2. Funkcja <i>xyplot()</i> (pakiet <i>lattice</i>)	85
4.2. Wykresy sezonowe	87
4.2.1. Wykres szeregów w kolejnych okresach (funkcja <i>monthplot()</i>)	88
4.2.2. Funkcja <i>seasonplot()</i>	90
4.3. Wykresy autokorelacji	91
4.3.1. Wykresy rozrzutu dla wartości opóźnionych (<i>lag plot</i>)	92
4.3.2. Funkcja autokorelacji (ACF) i funkcja cząstkowej autokorelacji (PACF)	97
4.4. Ćwiczenia	103
5. Przekształcenia wstępne szeregów	105
5.1. Proste korekty kalendarzowe	106
5.1.1. <i>Month length adjustment</i>	106
5.1.2. <i>Trading days adjustment</i>	109
5.2. Transformacja Boxa–Coxa	110
5.2.1. Kiedy transformacja jest potrzebna?	110
5.2.2. Definicja i przykłady	112
5.2.3. Wybór parametru λ	114
5.2.4. Transformacja Boxa–Coxa a konstrukcja prognoz	114
5.3. Różnicowanie	115
5.3.1. Różnicowanie z opóźnieniem 1	116
5.3.2. Różnicowanie z opóźnieniem sezonowym	118
5.3.3. Własności operacji różnicowania	121
5.3.4. Operacja odwrotna do różnicowania	122
5.3.5. Negatywny efekt różnicowania	123
5.3.6. Różnicowanie i modele niestacjonarne szeregów	125
5.4. Agregacja danych	126
5.4.1. Przykłady agregacji w R	126
5.4.2. Dezagregacja danych	128
5.5. Pozostałe transformacje	132
5.5.1. Wygładzanie szeregów i eliminacja trendów	132
5.5.2. Eliminacja sezonowości (odsezonowanie szeregu)	132
5.5.3. Przekształcenia związane ze zmianą skali	133
5.5.4. Usuwanie lub uzupełnianie brakujących wartości (<i>missing values</i>)	133

5.5.5.	Zastępowanie obserwacji odstających (ang. <i>outliers</i>)	134
5.5.6.	Korekty związane ze specyfiką danych	135
5.6.	Prawidłowa kolejność wykonywania transformacji	135
5.7.	Ćwiczenia	136
6.	Dekompozycja szeregów czasowych	137
6.1.	Idea dekompozycji	137
6.1.1.	Regularne składowe szeregu	139
6.1.2.	Cel wykonywania dekompozycji	141
6.1.3.	Rodzaje dekompozycji	142
6.1.4.	Parametryczne i nieparametryczne metody dekompozycji	143
6.1.5.	Symulacja szeregu na podstawie modelu dekompozycji	143
6.2.	Wyglądanie za pomocą ruchomej średniej	145
6.2.1.	Symetryczna (obustronna) ruchoma średnia	146
6.2.2.	Ważona ruchoma średnia	150
6.3.	Dekompozycja klasyczna – estymacja trendu i sezonowości	152
6.3.1.	Dekompozycja na podstawie ruchomej średniej	153
6.3.2.	Dekompozycja na podstawie modelu regresji: trend liniowy + sezonowość	158
6.3.3.	Dekompozycja na podstawie modelu regresji: trend wielomianowy + sezonowość	166
6.4.	Eliminacja trendu i sezonowości z danych	171
6.5.	Zaawansowane metody dekompozycji szeregów czasowych	174
6.6.	Ćwiczenia	175
7.	Modele ARIMA	177
7.1.	Szeregi stacjonarne i niestacjonarne	178
7.2.	Przegląd modeli stacjonarnych: AR, MA, ARMA	181
7.3.	Przegląd modeli niestacjonarnych: ARIMA, SARIMA	187
7.4.	Symulacja szeregów ARMA i ARIMA w R	190
7.5.	Identyfikacja modelu – wybór rzędów: p , q , P , Q , d i D	193
7.5.1.	Przygotowanie danych przed identyfikacją – przekształcenie szeregu do postaci stacjonarnej	194
7.5.2.	Identyfikacja modeli $WN(\sigma^2)$ i $MA(q)$ na podstawie funkcji ACF	196
7.5.3.	Identyfikacja modelu autoregresji ($AR(p)$)	202
7.5.4.	Identyfikacja modelu $ARMA(p, q)$	204
7.5.5.	Identyfikacja modeli – podsumowanie	207
7.6.	Estymacja parametrów modelu	208
7.7.	Diagnostyka: analiza reszt, narzędzia graficzne i testy statystyczne	216
7.8.	Wybór optymalnego modelu	225
7.8.1.	Kryteria oceniające dobroć dopasowania (AIC, AICC, BIC)	225
7.8.2.	Analiza istotności współczynników modelu	229
7.8.3.	Kryteria oceniające dokładność prognoz	231
7.8.4.	Automatyczny wybór optymalnego rzędu różnicowania	232
7.8.5.	Automatyczny wybór optymalnego modelu	233
7.8.6.	Podsumowanie	237
7.9.	Ćwiczenia	238

8. Prognozowanie	241
8.1. Proste metody prognozowania	241
8.1.1. Prognoza oparta na średniej	242
8.1.2. Metody naiwne	246
8.1.3. Metoda uwzględniająca dryf	248
8.2. Ocena i porównanie dokładności prognoz	251
8.2.1. Kryteria oceniające dokładność prognoz	251
8.2.2. Przedziały predykcyjne i wykresy wachlarzowe	257
8.2.3. Podział danych na zbiór uczący i testowy	261
8.2.4. Analiza własności reszt (błędów predykcji na zbiorze uczącym)	264
8.3. Prognozowanie na podstawie modeli ARIMA	267
8.3.1. Prognozy dla modeli stacjonarnych i niestacjonarnych	267
8.3.2. Przedziały predykcyjne (prognoza przedziałowa)	268
8.3.3. Automatyzacja konstrukcji prognoz	275
8.4. Algorytmy wygładzania wykładniczego	278
8.4.1. Proste wygładzanie wykładnicze (Single Exponential Smoothing (SES))	279
8.4.2. Metoda liniowa Holta	287
8.4.3. Wariant metody Holta – model trendu tłumionego	290
8.4.4. Wariant metody Holta – model trendu wykładniczego	291
8.4.5. Warianty metody Holta w środowisku R	292
8.4.6. Metoda sezonowa Holta–Wintersa	294
8.4.7. Klasyfikacja metod wygładzania wykładniczego	305
8.5. Prognozy oparte na dekompozycji	309
8.5.1. Prognozowanie na podstawie dekompozycji klasycznej	309
8.5.2. Złożoność modelu trendu a dokładność prognoz	320
8.6. Jak wybrać optymalną metodę prognozowania?	326
8.6.1. Charakter danych i wybór metody prognozowania	326
8.6.2. Ocena i porównanie dokładności prognoz	328
8.7. Ćwiczenia	329
Dodatek A. Jak nauczyć się R?	333
Bibliografia	335
Skorowidz	337