

# ANALIZA STATYSTYCZNA

Microsoft Excel® 2016 PL



Tytuł oryginału: Statistical Analysis: Microsoft Excel 2016

Tłumaczenie: Przemysław Janicki

ISBN: 978-83-283-4467-9

Authorized translation from the English language edition, entitled:  
STATISTICAL ANALYSIS: MICROSOFT EXCEL 2016; ISBN 0789759055;  
by Conrad Carlberg; published by Pearson Education, Inc, publishing as QUE Publishing.  
Copyright © 2018 by Pearson Education, Inc.

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

Polish language edition published by HELION S.A. Copyright © 2018.

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

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/anstae>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:

<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/anstae.zip>

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- Lubię to! » Nasza społeczność

# Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	<b>13</b>
Stosowanie Excela do analizy statystycznej .....	13
Czytelniczy i Excel .....	14
Porządkowanie terminów .....	15
Upraszczanie spraw .....	16
Zły produkt? .....	17
Odwracanie kota ogonem .....	19
Co zawiera książka? .....	20
<b>1 Zmienne i wartości</b> .....	<b>21</b>
Zmienne i wartości .....	21
Zapisywanie danych w postaci list .....	22
Korzystanie z list .....	23
Skale pomiarowe .....	25
Skale nominalne .....	25
Skale liczbowe .....	27
Określanie wartości przedziałowych na podstawie wartości tekstowych .....	28
Graficzna prezentacja zmiennych liczbowych w Excelu .....	31
Graficzna prezentacja dwóch zmiennych .....	31
Pojęcie rozkładów liczebności .....	33
Stosowanie rozkładów liczebności .....	36
Budowanie rozkładu liczebności na podstawie próby .....	40
Tworzenie symulowanych rozkładów liczebności .....	49
<b>2 Jak się skupiają wartości</b> .....	<b>51</b>
Obliczanie średniej arytmetycznej .....	53
Funkcje, argumenty i wyniki .....	54
Formuły, wyniki i formaty .....	56
Minimalizowanie rozproszenia .....	58
Obliczanie mediany .....	64
Decyzja o użyciu mediany .....	65
Stabilna czy raczej odporna? .....	66
Obliczanie wartości modalnej .....	67
Otrzymywanie wartości modalnej kategorii za pomocą formuły .....	73
Od tendencji centralnej do rozrzutu .....	80
<b>3 Rozrzut — jak się rozpraszają wartości</b> .....	<b>81</b>
Mierzenie rozproszenia za pomocą rozstępu .....	82
Rozstęp a liczebność próby .....	84
Zmiennosc na bazie rozstępu .....	85

Koncepcja odchylenia standardowego .....	87
Dopasowanie do standardu .....	88
Myślenie w kategoriach odchyłeń standardowych .....	89
Obliczanie odchylenia standardowego i wariancji .....	91
Podnoszenie odchyłeń do kwadratu .....	94
Parametry populacji i przykładowe statystyki .....	95
Dzielenie przez $N-1$ .....	96
Obciążoność estymatora a stopnie swobody .....	98
Funkcje Excela do mierzenia rozproszenia .....	100
Funkcje odchylenia standardowego .....	100
Funkcje wariancji .....	101
<b>4 Jak zmienne wspólnie się zmieniają — korelacja .....</b>	<b>103</b>
Pojęcie korelacji .....	103
Wyznaczanie współczynnika korelacji .....	105
Korzystanie z funkcji WSP.KORELACJI() .....	112
Korzystanie z narzędzi analitycznych .....	115
Korzystanie z narzędzia Korelacja .....	117
Korelacja nie oznacza przyczynowości .....	120
Stosowanie korelacji .....	122
Usuwanie efektów skali .....	123
Korzystanie z funkcji Excela .....	125
Prognozowanie wartości .....	127
Szacowanie funkcji regresji .....	129
Stosowanie funkcji REGLINW() do regresji wielorakiej .....	131
Łączenie predyktorów .....	131
Najlepsza kombinacja liniowa .....	133
Pojęcie współdzielonej zmienności .....	136
Dodatek techniczny: algebra macierzowa i regresja wieloraka w Excelu .....	138
<b>5 Tworzenie wykresów .....</b>	<b>141</b>
Właściwości wykresów w Excelu .....	142
Osie wykresów .....	142
Wartości daty a oś kategorii .....	144
Inne wartości liczbowe a oś kategorii .....	146
Histogramy .....	148
Używamy tabeli przestawnej do zliczania obiektów .....	148
Używamy zaawansowanego filtra i funkcji CZĘSTOŚĆ() .....	151
Histogram jako część dodatku Analiza danych .....	154
Histogram na palecie wykresów .....	154
Serie danych i ich adresy .....	156

Wykresy pudełkowe .....	157
Obserwacje odstające .....	160
Badamy asymetrię .....	160
Porównujemy rozkłady .....	160
<b>6 Jak zmienne są wspólnie klasyfikowane — tabele kontyngencji .....</b>	<b>163</b>
Jednowymiarowe tabele przestawne .....	163
Przeprowadzanie testu statystycznego .....	167
Stawianie założeń .....	173
Dobór losowy .....	173
Niezależność elementów .....	175
Wzór na prawdopodobieństwo w rozkładzie dwumianowym .....	175
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.DWUM.ODWR() .....	177
Dwuwymiarowe tabele przestawne .....	183
Prawdopodobieństwa i zdarzenia niezależne .....	187
Sprawdzanie niezależności klasyfikacji .....	189
O regresji logistycznej .....	195
Efekt Yule'a i Simpsona .....	196
Podsumowanie funkcji $\chi^2$ .....	199
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.CHI() .....	199
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.CHI.PS() i ROZKŁAD.CHI() .....	200
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.CHI.ODWR() .....	202
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.CHI.ODWR.PS() i ROZKŁAD.CHI.ODW() .....	202
Korzystanie z funkcji CHI.TEST() i TEST.CHI() .....	203
Stosowanie mieszanych i bezwzględnych odwołań do obliczenia oczekiwanych częstości .....	204
Korzystanie z wyświetlania indeksu tabeli przestawnej .....	205
<b>7 Praca z rozkładem normalnym w Excelu .....</b>	<b>207</b>
Opis rozkładu normalnego .....	207
Charakterystyki rozkładu normalnego .....	207
Standaryzowany rozkład normalny .....	213
Funkcje Excela dla rozkładu normalnego .....	214
Funkcja ROZKŁ.NORMALNY() .....	214
Funkcja ROZKŁ.NORMALNY.ODWR() .....	216
Przedziały ufności i rozkład normalny .....	220
Znaczenie przedziału ufności .....	220
Konstruowanie przedziału ufności .....	221
Funkcje arkusza Excela, które wyznaczają przedziały ufności .....	225
Korzystanie z funkcji UFNOŚĆ.NORM() i UFNOŚĆ() .....	226
Korzystanie z funkcji UFNOŚĆ.T() .....	229

Zastosowanie dodatku Analiza danych do przedziałów ufności .....	230
Przedziały ufności i testowanie hipotez .....	232
Centralne twierdzenie graniczne .....	233
O pewnej osobliwości tabel przestawnych słów kilka .....	234
Upraszczanie spraw .....	235
Ulepszanie spraw .....	238
<b>8 Prawdomówność statystyki .....</b>	<b>239</b>
Kontekst wnioskowania statystycznego .....	240
Zapewnienie trafności wewnętrznej .....	241
Zagrożenia trafności wewnętrznej .....	243
Problemy z dokumentacją Excela .....	247
Test F z dwiema próbami dla wariancji .....	249
Po co przeprowadzać ten test? .....	250
Replikowalność badań .....	262
Uwagi końcowe .....	265
<b>9 Testowanie różnic pomiędzy średnimi — podstawy .....</b>	<b>267</b>
Testowanie średnich — przesłanki .....	268
Stosowanie testu z .....	270
Stosowanie błędu standardowego średniej .....	272
Tworzenie wykresów .....	277
Stosowanie testu t zamiast testu z .....	285
Definiowanie reguły decyzyjnej .....	287
Pojęcie mocy statystycznej .....	292
<b>10 Testowanie różnic pomiędzy średnimi — dalsze zagadnienia .....</b>	<b>299</b>
Stosowanie funkcji Excela ROZKŁ.T() i ROZKŁ.T.ODWR() do weryfikacji hipotez .....	300
Hipotezy jednostronne a hipotezy dwustronne .....	300
Dobieranie funkcji rozkładu t-Studenta w Excelu do stawianych hipotez .....	302
Uzupełnienie obrazu za pomocą funkcji ROZKŁ.T() .....	310
Korzystanie z funkcji T.TEST() .....	311
Stopnie swobody w funkcjach Excela .....	312
Równe i nierówne liczebności grup .....	312
Składnia funkcji T.TEST() .....	315
Korzystanie z narzędzi do testów t w dodatku Analiza danych .....	329
Wariancje grupowe w testach t .....	329
Wizualizacja mocy statystycznej .....	335
Kiedy unikać testów t .....	336

<b>11 Testowanie różnic pomiędzy średnimi — analiza wariancji .....</b>	<b>337</b>
Dlaczego nie testy t? .....	338
Koncepcja analizy wariancji .....	340
Dzielenie wyników .....	340
Porównywanie wariancji .....	343
Test F .....	348
Stosowanie funkcji F arkusza Excela .....	352
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.F() i ROZKŁ.F.PS() .....	352
Korzystanie z funkcji ROZKŁ.F.ODWR() i ROZKŁAD.F.ODW() .....	353
Rozkład F .....	355
Nierówne liczebności grup .....	357
Procedury porównań wielokrotnych .....	358
Procedura Scheffégo .....	360
Planowane kontrasty ortogonalne .....	365
<b>12 Analiza wariancji — dalsze zagadnienia .....</b>	<b>369</b>
Czynnikowa analiza wariancji .....	369
Inne przesłanki dla zastosowania wielu czynników .....	371
Korzystanie z narzędzia do dwuczynnikowej analizy wariancji .....	373
Znaczenie interakcji .....	376
Istotność statystyczna interakcji .....	377
Obliczanie efektu interakcji .....	379
Problem nierównych liczebności grup .....	384
Powtarzane obserwacje — analiza dwuczynnikowa bez powtórzeń .....	387
Funkcje i narzędzia Excela — ograniczenia i rozwiązania .....	388
Modele mieszane .....	390
Moc testu F .....	390
<b>13 Planowanie eksperymentu a ANOVA .....</b>	<b>393</b>
Czynniki skrzyżowane i czynniki zagnieżdżone .....	393
Prawidłowy opis eksperymentu .....	395
Czynniki uciążliwe .....	397
Czynniki stałe i czynniki losowe .....	397
Narzędzia ANOVA dostępne w dodatku Analiza danych .....	399
Układ danych .....	402
Wyznaczamy wartości statystyki F .....	403
Dostosowujemy dodatek Analiza danych do czynników losowych .....	403
Idea testu F .....	404
Model mieszany: wybór postaci mianownika .....	406
Dostosowujemy dodatek Analiza danych do czynników zagnieżdżonych .....	408

Układ danych dla schematu zagnieżdżonego .....	409
Sumy kwadratów .....	410
Statystyka F dla czynnika zagnieżdżającego .....	411
Blokki zrandomizowane .....	412
Interakcja między czynnikami a blokami .....	413
Test nieaddytywności Tukeya .....	415
Zwiększamy moc statystyczną .....	418
Blokki: stałe czy losowe? .....	419
Schemat czynnikowy split-plot .....	420
Tworzymy schemat split-plot .....	420
Analiza schematu split-plot .....	422
<b>14 Moc statystyczna .....</b>	<b>427</b>
Kontrola ryzyka .....	428
Testy jednostronne i dwustronne .....	428
Zmiana liczebności próby .....	429
Wizualizacja mocy testu .....	429
Moc statystyczna testów t .....	433
Test dwustronny .....	434
Testy jednostronne .....	437
Zwiększanie rozmiaru próby .....	438
Test t dla grup zależnych .....	439
Parametr niecentralności w rozkładzie F .....	441
Oszacowania wariancji .....	442
Parametr niecentralności a funkcja gęstości prawdopodobieństwa .....	446
Obliczamy moc testu F .....	448
Wyznaczamy wartość dystrybucyjny rozkładu F .....	449
Wykorzystanie mocy testu do optymalizacji liczebności próby .....	450
<b>15 Analiza regresji wielorakiej i rekodowanie zmiennych nominalnych — podstawy .....</b>	<b>455</b>
Regresja wieloraka a analiza wariancji .....	456
Stosowanie rekodowania zmiennych .....	458
Rekodowanie zmiennych — ogólne zasady .....	459
Inne sposoby kodowania .....	461
Regresja wieloraka a alokacja wariancji .....	461
Gładkie przejście od analizy wariancji do regresji .....	464
Znaczenie rekodowania zmiennych .....	467
Rekodowanie zmiennych w Excelu .....	469
Korzystanie z narzędzia Regresja w Excelu do analizy grup o nierównych liczebnościach .....	472



Rekodowanie zmiennych, regresja i schematy czynnikowe w Excelu .....	474
Stosowanie kontroli statystycznej z korelacjami semicząstkowymi .....	476
Stosowanie kwadratów współczynników korelacji semicząstkowej do otrzymania prawidłowej sumy kwadratów .....	478
Stosowanie funkcji REGLINW() zamiast kwadratów współczynników korelacji semicząstkowej .....	479
Praca z resztami .....	482
Stosowanie bezwzględnego i względnego adresowania Excela do wyznaczania kwadratów współczynników korelacji semicząstkowej .....	484
<b>16 Analiza regresji wielorakiej i rekodowanie zmiennych nominalnych</b> .....	<b>489</b>
— <b>dalsze zagadnienia</b> .....	<b>489</b>
Analiza nierównoważonych schematów czynnikowych za pomocą regresji wielorakiej .....	490
W schemacie zrównoważonym zmienne nie są skorelowane .....	491
W schemacie nierównoważonym zmienne są skorelowane .....	493
Kolejność zmiennych w schemacie zrównoważonym nie jest istotna .....	494
Kolejność zmiennych w schemacie nierównoważonym jest istotna .....	497
Wahające się udziały wariancji .....	499
Schematy eksperymentalne, badania obserwacyjne i korelacja .....	500
Kompletny zestaw wyników funkcji REGLINP() .....	504
Tajniki funkcji REGLINP() .....	511
Jak działa REGLINP() .....	512
Współczynniki regresji .....	514
Sumy kwadratów dla regresji oraz reszt .....	518
Statystyki diagnostyczne regresji .....	521
Jak funkcja REGLINP() radzi sobie ze współliniowością .....	525
Restrykcje zerowe na wyraz wolny .....	531
Excel 2007 .....	532
Nierówne liczebności grup w prawdziwym eksperymencie .....	540
Nierówne liczebności grup w badaniach obserwacyjnych .....	543
<b>17 Analiza kowariancji — podstawy</b> .....	<b>547</b>
Cele analizy kowariancji .....	548
Większa moc .....	548
Redukcja obciążenia .....	549
Stosowanie analizy kowariancji w celu zwiększenia mocy statystycznej .....	549
Analiza wariancji nie znajduje znaczącej różnicy średnich .....	550
Dodawanie zmiennej towarzyszącej do analizy .....	552
Testowanie średniego współczynnika regresji .....	560
Usuwanie obciążenia — inny przypadek .....	563

<b>18 Analiza kowariancji — dalsze zagadnienia .....</b>	<b>569</b>
Korygowanie średnich za pomocą funkcji REGLINP() i rekodowania zmiennych .....	569
Rekodowanie zmiennych a skorygowane średnie grup .....	575
Wielokrotne porównania po analizie kowariancji .....	578
Metoda Scheffégo .....	579
Kontrasty planowane .....	584
Analiza kowariancji wielorakiej .....	586
Decyzja o zastosowaniu wielu zmiennych towarzyszących .....	586
Dwie zmienne towarzyszące — przykład .....	587
Kiedy nie stosować metody ANCOVA .....	589
Grupy zdeterminowane .....	589
Ekstrapolacja .....	591
<b>Skorowidz .....</b>	<b>593</b>

# Prawdomówność statystyki

Kilkadziesiąt lat temu niejaki Darrell Huff napisał książkę zatytułowaną *How to Lie with Statistics* („Jak kłamać za pomocą statystyki”). W książce opisano różnorodne zdumiewające sposoby użycia statystyki, zastosowane często w sposób niezamierzony i powodujące zmylenie odbiorców.

Podczas przygotowywania tej książki przejrzałem ponownie publikację Huffa (nie byłam nawet w przedszkolu, gdy została ona wydana) i przypomniała mi ona, że częstym powodem zejścia na manowce podczas stosowania statystyki jest błędny kontekst.

W kolejnym rozdziale będziemy kontynuować zapoczątkowane w rozdziale poprzednim przejście od statystyki opisowej do wnioskowania statystycznego — wnioskowania o parametrach i rozkładach w populacji na podstawie ich odpowiedników w próbie. Zanim jednak wejdem głębiej w tematykę wnioskowania statystycznego z wykorzystaniem Excela, powinienem, jak sądzę, zwrócić Twoją uwagę na to, że w pewnych sytuacjach zarówno statystyka opisowa, jak i wnioskowanie statystyczne mogą sprowadzić Cię na manowce.

W moim przekonaniu źródłem problemu są przede wszystkim trzy kwestie:

- pozyskiwanie danych na drodze błędnie zaplanowanego eksperymentu,
- niezrozumienie sposobu działania aplikacji statystycznych lub błędna interpretacja uzyskiwanych w nich wyników,
- utrata kontroli nad warunkami przebiegu eksperymentu.

## 8

### W TYM ROZDZIALE:

Kontekst wnioskowania statystycznego ...	240
Problemy z dokumentacją Excela .....	247
Test F z dwiema próbami dla wariancji ...	249
Replikowalność badań .....	262
Uwagi końcowe .....	265



Dlatego zamierzam poświęcić część tego rozdziału na omówienie **kontekstu** analizy statystycznej, tzn. jak stworzyć sytuację, w której wyniki analizy faktycznie będą miały przypisywane im znaczenie. Kiedy dane są zbierane poza kontekstem ściśle zdefiniowanego eksperymentu, nie są wiarygodne. Gorzej nawet: jak zauważa Huff, łatwo mogą wprowadzić w błąd. Aby upewnić się na sto procent, że umiejscowiłeś swoje analizy we właściwym kontekście, powinieneś zadać sobie wprost pytanie o to, co może zagrażać wiarygodności Twoich badań. Najlepszą odpowiedzią na to pytanie będzie w pełni zgodne z regułami sztuki zaplanowanie całego eksperymentu.

Większą część tego rozdziału zamierzam poświęcić omówieniu problemów, które wynikają głównie ze sposobu, w jaki Excel implementuje i dokumentuje wybrane narzędzia służące do automatyzacji analiz statystycznych.

W dalszej części rozdziału nawiążę również do pewnego eksperymentu poznawczego, który być może pozwoli nam odpowiedzieć na pytanie, czy wyniki mogą być zreplikowane (odtworzone). Odpowiedzi tej poszukują obecnie członkowie grupy badawczej z USA — być może słyszałeś o tym eksperymencie, zwanym często **projektem badania replikowalności**.

Zakładam, że nie sięgnąłeś po tę książkę — a w każdym razie nie na tym etapie jej lektury — by dowiedzieć się, w jakich sytuacjach (i dlaczego) statystyka może okazać się zwodnicza. Mogę więc jedynie zachęcić Cię, byś przeczytał ten rozdział z uwagą i wziął sobie do serca przynajmniej część z płynących z niego wniosków. Jeżeli niewłaściwie zaplanujesz swój eksperyment badawczy, dalsza analiza uzyskanych wyników będzie pozbawiona sensu: będzie stratą czasu zarówno dla samego badacza, jak i odbiorców rezultatów jego pracy. Pamiętaj też, że nie ma lepszego sposobu na utratę wiarygodności w oczach środowiska (szczególnie w środowisku badaczy) niż wyrażenie przekonania, że oprogramowanie samo dobrze wie, co robi.

## Kontekst wnioskowania statystycznego

Statystyka dostarcza sposobu badania, jak osoby i rzeczy reagują na świat, i jako taka jest fascynująca, irytująca, a czasami kontrowersyjna. Szczególnie statystyka opisowa jest praktykowana z dużym upodobaniem przez niektóre osoby. Kibice sportowi potrafią przerzucać się średnią trafień, dorobkiem napastników oraz osiągnięciami w grze swoich ulubionych graczy.

Pokrewna gałąź statystyki, wnioskowanie statystyczne, wykorzystuje nieco inne podejście, opierające się m.in. na budowie formalnych testów wykorzystujących pomiary średnich arytmetycznych, odchyłeń standardowych i korelacji nie tylko do oszacowania parametrów w populacji, ale również do oceny stopnia precyzji tych szacunków.

Właśnie o weryfikacji hipotez myśli większość Czytelników tej książki, gdy napotyka termin *statystyka*. Jest to naturalne, skoro na początku studiów czytali o badaniach wykorzystujących wnioskowanie statystyczne, a później na zajęciach laboratoryjnych konstruowali własne badania, zbierali dane i za pomocą metod wnioskowania statystycznego podsumowywali liczby, aby na ich podstawie móc wyciągnąć bardziej ogólne wnioski.

Można to zrozumieć, ponieważ statystyka na studiach jest po prostu często źle wykładana. Być może Twoje doświadczenie jest inne — mam taką nadzieję — ale wiele osób nigdy nie podejmuje dodatkowej nauki statystyki po spełnieniu wymagań uczelni lub wydziału. Przeżyłem to samo w pewnym cenionym kolegium sztuk wyzwolonych. Statystyka nie interesowała mnie do czasu studiów magisterskich, kiedy to rozpocząłem pobieranie nauk od osób, które rzeczywiście wiedziały, o czym mówią.

Mimo tego statystyka wydaje się pełnić wiodącą rolę w badaniach doświadczalnych w kolegiach i na uniwersytetach. Jest to jednak przerost formy nad treścią. Gdy przychodzi do prowadzenia rzeczywistych badań, okazuje się, że statystyka jest *najmniej* ważnym narzędziem w dostępnej Ci pałecie rozwiązań.

Jestem w zasadzie pewien swoich racji. Spędziłem lata, czytając raporty z badań, w których dużo wysiłku włożono w analizę statystyczną. Podczas tych badań nie postarano się jednak zbytnio w fazie projektowania i wdrażania eksperymentu, który nadałby statystyce rzeczywisty sens.

W połowie lat 60. ubiegłego wieku Donald Campbell i Julian Stanley opublikowali monografię zatytułowaną *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research* („Eksperymentalne i quasi-eksperymentalne projekty badań”). To opracowanie, znane szerzej pod nazwiskami autorów, opiera się na rozróżnieniu pomiędzy dwoma typami trafności: uogólnianiem, czyli zewnętrzną trafnością, i wewnętrzną trafnością.

Campbell i Stanley stwierdzili, że oba typy trafności są niezbędne do tego, aby badanie eksperymentalne było przydatne. Musi być poprawne wewnętrznie, czyli zaprojektowane tak, aby jego procedury były wiarygodne.

Równocześnie eksperyment musi być poprawny zewnętrznie, czyli nadawać się do uogólnienia: objekty badań muszą być wybrane tak, aby dało się uogólnić wyniki doświadczalne na populację, która nas interesuje. Firma farmaceutyczna mogłaby przeprowadzić badanie, które wykazałoby z całkowitą wewnętrzną trafnością, że nowy lek nie ma znaczących efektów ubocznych. Jeżeli jednak przedmiotem badań byłyby mrówki, nie zażywałbym tego leku.

## Zapewnienie trafności wewnętrznej

Poprawny eksperyment, tzw. „złoty standard” projektu, zaczyna się od losowego wybrania obiektów z populacji, dla której chcesz przeprowadzić uogólnienia i wyciągać wnioski. (Jeżeli testujesz lek z myślą o populacji wszystkich ludzi, nie powinieneś ograniczać

składu próbki jedynie do studentów). Następnie przyjmujesz  $\alpha$ , czyli poziom błędu: ryzyko, które jesteś w stanie ponieść, wnioskując *błędnie*, że Twoje działanie (np. kuracja lecznicza) przyniosło efekt.

#### UWAGA

Istnieje kilka wspaniałych opracowań na temat budowania dobrych planów próbkowania. Są to m.in. *Sampling Techniques* („Techniki próbkowania”) Williama Cochra (1977) i *Survey Sampling* („Próbkowanie badań”) Lesiego Kisha (1995).

Następnym krokiem jest losowe przypisanie obiektów do jednej z dwóch lub wielu grup. W najprostszym projekcie występuje jedna grupa eksperymentalna i jedna „kontrolna” lub „porównawcza”. Traktujesz swoją grupę eksperymentalną w określony sposób i aplikujesz odmienne traktowanie grupie porównawczej lub po prostu pozostawiasz ją samą sobie. W końcu wykonujesz pewien rodzaj pomiarów związanych z eksperymentem: jeżeli podawałeś statynę, możesz zmierzyć poziom cholesterolu badanych osób. Jeżeli pokazałeś jednej z grup podburzający blog polityczny, możesz zapytać jej członków o zdanie na temat pewnego polityka. Jeżeli zastosowałeś różne rodzaje nawozów sztucznych do różnych zbiorów uprawianych drzew cytrusowych, mógłbyś zobaczyć, jak ich owoce różnią się miesiąc później.

W końcu mógłbyś przepuścić wyniki pomiarów przez taką czy inną procedurę statystyczną, aby zobaczyć, czy np. dane uzyskane na drodze eksperymentu przeczą hipotezie braku efektu oddziaływania danego czynnika przy zadanym poziomie błędzie ( $\alpha$ ).

Głównym przesłaniem tej nieco jeszcze chaotycznej opowieści jest to, że potrzebne są dwie grupy, które są równoważne we wszystkich aspektach oprócz jednego — efektu oddziaływania na jedną z grup, którego nie doświadczyła druga grupa. Odbywający się na początku losowy przydział do grup pomaga zmniejszyć ryzyko wystąpienia systematycznej różnicy pomiędzy grupami. Takie samo traktowanie obydwu grup, z wyjątkiem wpływu badanego czynnika, pomaga wyizolować ten czynnik jako jedyne źródło zaobserwowanych różnic. Te właśnie różnice mamy zmierzyć w ramach eksperymentu.

Jeżeli sposób, w jaki wyodrębniłeś obie grupy, uwiarygadnia stwierdzenie, że jedyna znacząca różnica pomiędzy nimi jest wywołana oddziaływaniem danego czynnika, Twój eksperyment jest określany jako wewnętrznie trafny. Wewnętrzne porównanie pomiędzy dwiema grupami jest prawidłowe.

Jeżeli obiekty badań są reprezentatywne dla populacji, na którą chcesz uogólnić swoje wnioski, eksperyment jest określany jako spełniający wymogi trafności zewnętrznej. Wtedy uogólnienie wniosków z próby losowej na populację jest uzasadnione.

## Zagrożenia trafności wewnętrznej

Oprócz błędu próbkowania Campbell i Stanley zidentyfikowali i opisali około siedmiu zagrożeń mogących podważyć wewnętrzną trafność eksperymentu. Ustanowienie przez losowy dobór (i odpowiednie późniejsze zarządzanie) równoważnych grup eksperymentalnej i kontrolnej służy do eliminacji większości z tych zagrożeń.

### Dobór

Sposoby doboru obiektów do grup eksperymentalnej i kontrolnej mogą zagrozić wewnętrznej spójności doświadczenia, szczególnie jeżeli poszczególne obiekty współdecydują o swoim statusie. Załóżmy, że badacz chciałby porównać proporcje sukcesów dwóch procedur medycznych, z których każda jest prowadzona w innym szpitalu w dużym mieście.

Podczas porównywania wyników tych dwóch procedur nie jest możliwe wyznaczenie, czy dowolna różnica — powiedzmy, w proporcjach przeżycia — wynika z kuracji, czy z różnic w populacjach, z których pochodzą pacjenci. Może to być niewykonalne, ale zwykle zaleca się przypisywanie uczestników losowo do badanych grup, co zgodnie z oczekiwaniem ma wyrównać efekt przynależności do jednej lub drugiej populacji. Obciążenie wyboru w badaniach przeprowadzanych na dużą skalę może być kontrolowane dzięki zbieraniu wyników z wielu szpitali, którym losowo przydzielono stosowanie jednej lub drugiej kuracji. (To podejście może powodować inne problemy).

### Historia

Może wystąpić zdarzenie o dużej sile oddziaływania, które będzie mieć wpływ na reakcję obiektów na działanie eksperymentu. Załóżmy, że badasz efekt wpływu kampanii politycznej na nastawienie elektoratu do osoby rządzącej. W tym samym czasie ma miejsce krach finansowy, który dotyka wszystkich, bez względu na preferencje polityczne. Odróżnienie efektu kampanii od efektu kryzysu jest teraz bardzo trudne. Jednak przy założeniu, że jego wpływ na obie grupy (odbiorców kampanii oraz grupę kontrolną złożoną z osób, które nie miały okazji śledzić jej przebiegu) jest w przybliżeniu jednakowy, możesz przypisać zaobserwowane różnice efektowi kampanii. Bez równoważnych grup, eksperymentalnej i kontrolnej, odróżnienie efektów kampanii od wpływu czynników zewnętrznych byłoby niemożliwe.

Inny przykład: jeżeli osoby badające wpływ kuracji medycznej są świadome, który z pacjentów znajduje się w której grupie, jest możliwe, że ich zachowanie może zakłócić efekty oddziaływania, gdy (zwykle niechcący) będą sygnalizowali swoje oczekiwania względem poszczególnych grup lub też będą delikatnie wpływać na zachowanie pacjentów, tak by było ono zgodne z oczekiwanymi wynikami. Aby temu zapobiec — aby świadomość przynależności do grupy, a zatem odmiennego traktowania, nie miała wpływu na wyniki — zwykle stosuje się metodę podwójnie ślepej próby, która oznacza, że zarówno osoba nadzorująca kurację, jak i ta, której ona dotyczy, nie wiedzą, który specyfik, lek czy placebo, jest podawany danemu pacjentowi.

## Narzędzia

Stosowany tutaj termin *narzędzia* wykracza poza urządzenia pomiarowe, takie jak suwmiarka, i obejmuje wszystkie metody, które zwracają informacje ilościowe, takie jak choćby prosty kwestionariusz. Zmiana w sposobie mierzenia wyników może spowodować duże trudności w interpretacji. Na przykład, abstrahując od pytania o same porównania między grupą badawczą i kontrolną, wielu badaczy autyzmu wierzyło, że widoczne zwiększenie częstotliwości występowania tej choroby w ostatnich kilku dekadach jest związane głównie ze zmianami w jej diagnozowaniu, które doprowadziły do znacznie częstszej wykrywalności.

## Testowanie

Wielokrotne poddawanie obiektów z danej grupy wpływowi badanego czynnika może wpływać na uzyskiwane wyniki. Do pewnego stopnia może ono wzmocnić (lub osłabić) reakcję obiektu na dany czynnik.

Na ten efekt podatni są nie tylko ludzie i inne istoty żywe. Również na przykład metale, które są obiektami wielokrotnie powtarzanych testów obciążeniowych, mogą pod ich wpływem zmienić swoje charakterystyki fizyczne. Mimo wszystko testowanie pozostaje nieodłączną częścią każdego badania ilościowego.

## Dojrzwianie

Stopień dojrzałości różni się pomiędzy różnymi przedziałami wieku, co może zmniejszyć wiarygodność niektórych porównań. Nawet gdyby grupa eksperymentalna i kontrolna były równoważne pod względem wieku obiektów dzięki losowemu doborowi i analizie kowariancji (patrz rozdział 17., „Analiza kowariancji — podstawy”, i 18., „Analiza kowariancji — dalsze zagadnienia”), może się zdarzyć i tak, że zróżnicowanie obiektów, które wystąpi w trakcie badania, będzie skutkowało tym, że rozróżnienie pomiędzy efektami wynikającymi z oddziaływania badanego czynnika a skutkami tego zjawiska stanie się trudniejsze.

## Regresja

Regresja w stronę średniej (patrz rozdział 4., „Jak zmienne wspólnie się zmieniają — korelacja”) może mieć wyraźny wpływ na wyniki eksperymentu, szczególnie gdy obiekty są wybrane z powodu ekstremalnych wartości pewnej miary związanej z tą użytą do pomiaru wyników. Będą one podążać w stronę średniej bez względu na jakikolwiek efekt oddziaływania. Użycie dopasowanych par, z których pojedyncze elementy zostaną przypisane do różnych grup, ma na celu większą od zwykłego losowania efektywność wyrównania dwóch grup przed poddaniem ich oddziaływaniu czynnika. Jednak często się zdarza, że efekt regresji niweczy te zamierzenia z powodu niedoskonałej korelacji wyników mierzonych w parach.



## Śmiertelność

Śmiertelność podczas eksperymentu dotyczy sytuacji, gdy obiekty z grupy eksperymentalnej lub kontrolnej nie są w stanie dotrzeć do końca swojego uczestnictwa w eksperymencie. (W tym kontekście „śmiertelność” nie musi oznaczać straty uczestników z powodu ich śmierci — dotyczy dowolnego efektu lub efektów, które powodują, że obiekty przestają uczestniczyć w eksperymencie). Chociaż losowe przypisanie na początku pomaga wyrównać grupy pod względem prawdopodobieństwa późniejszej utraty obiektów, bardzo trudno odróżnić opuszczenie próby z przyczyn leżących po stronie samego eksperymentu od opuszczenia jej z innego powodu. Ten problem jest szczególnie wyraźny w badaniach medycznych, gdzie w wielu eksperymentach biorą udział osoby, których przewidywana długość życia jest względnie krótka.

## Przypadek

Pod koniec eksperymentu, gdy wszystko przeprowadzono zgodnie z regułami sztuki, wykonano niezbędne badania i pomiary itp., na scenę wchodzi analiza statystyczna. Zwykle używasz jej do oceny tego, jakie jest prawdopodobieństwo, że uzyskane wyniki otrzymałeś przez czysty przypadek, tak że rezultaty podobnego badania na całej populacji byłyby inne, gdybyś tylko mógł je przeprowadzić.

Jeżeli postąpisz zgodnie z tzw. „złotym standardem” losowego doboru, zrobisz wszystko, co tylko możliwe, aby ustanowić równoważne grupy — grupy, które mają następujące właściwości:

- Nie są wynikiem autodoboru obiektów ani żadnego rodzaju systematycznego przypisania, które mogłyby wprowadzić wcześniej istniejące obciążenie.
- Podlegają tym samym historycznym zdarzeniom podczas eksperymentu — od politycznych zamieszek do przypadkowego wprowadzenia kurzu do wrażliwego środowiska produkcyjnego.
- Są mierzone tym samym zestawem narzędzi w trakcie całego przebiegu eksperymentu.
- Prowadzący test nie dają grupom odczuć różnego traktowania.
- Członkowie wszystkich grup dojrzewają w równym stopniu w trakcie trwania eksperymentu.
- Obiekty testów nie zostały przypisane do grup na podstawie ekstremalnych wartości pewnych cech.
- Obiekty nie opuszczały każdej z grup z różnym nasileniem.

Losowy wybór i przypisanie obiektów stanowią łącznie najlepszy sposób zapewnienia, że grupy eksperymentalne posiadają wymienione cechy. Jednak i te techniki nie są doskonałe. Mimo wszystko może zdarzyć się i tak, że pewne czynniki zewnętrzne będą wywierały większy wpływ na jedną grupę niż na inną lub że dobór losowy nie wyeliminował efektu wstępnego obciążenia grup albo też że więcej niż tylko przypadek wpłynął na różną śmiertelność obiektów w poszczególnych grupach itd.

Zatem czynniki mogące podważyć założenie o trafności wewnętrznej eksperymentu istnieją i chociaż będziesz robił, co tylko w Twojej mocy, by je zmniejszyć, nigdy nie możesz całkowicie wykluczyć ich wpływu jako alternatywnego wyjaśnienia obserwowanych wyników.

W zależności od stopnia nasilenia tych zagrożeń analiza statystyczna może stracić swój sens. Tradycyjnie używana podczas testowania hipotez analiza statystyczna służy do określenia ilościowego roli przypadku w wyniku eksperymentu. Jednak dokładne przypisanie stopnia, w jakim przypadek odgrywa swoją rolę, zależy od obecności dwóch lub więcej grup, które są sobie równoważne z jednym jedynym wyjątkiem — aplikacji (lub jej braku) wpływu badanego czynnika.

Rozważmy taką sytuację: przez jeden miesiąc podawałeś nowy lek grupie eksperymentalnej, a grupie kontrolnej w jego miejsce poddawałeś przez ten czas placebo. Lek ma na celu redukcję poziomu tzw. złego cholesterolu, czyli lipoprotein niskiej gęstości (LDL) w krwi. Na koniec miesiąca próbki krwi zostały pobrane i przeprowadziłeś analizę statystyczną wyników. Ta analiza pokazała, że prawdopodobieństwo tego, iż średni poziom LDL w grupie eksperymentalnej i kontrolnej pochodzą z tej samej populacji, wynosi ok. 1 do 1000.

Wniosek, że średnie grup pochodzą z tej samej populacji, oznaczałoby, iż kuracja nie doprowadziłaby do powstania populacji, których średnie poziomy LDL różniłyby się w stopniu usprawiedliwionym przez zażywanie leku. Jednak wynik analizy uznaje za statystycznie istotny wniosek, że grupy pochodzą teraz z dwóch różnych populacji. Wydaje się to wspaniałą wiadomością... **jeżeli** starannie porównałeś te grupy na początku i utrzymałeś ten poziom równoważności. W przeciwnym przypadku nie możesz stwierdzić, że różnica wynika ze stosowania leku. Mogłaby powstać na przykład dlatego, że członkowie grupy kontrolnej zaprzyjaźnili się i co dzień po przyjęciu swoich placebo chodzili na cheeseburgery.

Możemy wyobrazić sobie łatwo sytuacje, kiedy analiza statystyczna nie zostaje poprzedzona eksperymentem w pełnym tego słowa znaczeniu. Na przykład tworzenie i analiza testów psychologicznych oraz ankiet politycznych są uzupełniane analizą regresji (która jest podstawą większości analiz opisanych w drugiej części tej książki). Nie muszą być one jednak w żadnym razie ograniczone do testowania możliwości poznawczych osobników czy badania ich przekonań politycznych, ale mogą obejmować inne obszary — od medycyny i testowania leków do kontroli jakości w środowiskach produkcyjnych. Ich budowa i interpretacja zależy w dużej mierze od wybranych metod analizy statystycznej — które ta książka omawia (przy zastosowaniu Excela jako platformy obliczeniowej). Nie zmienia to jednak faktu, że nie formułują one żadnej hipotezy, która byłaby poddawana weryfikacji. Mają one bardziej za zadanie ocenę samego testu i tego, co jest przedmiotem badania, w różnych grupach.

Tym niemniej stosowanie analizy statystycznej do wyeliminowania przypadku jako czynnika wpływającego na wyniki eksperymentów jest czymś normalnym, typowym i powszechnym. Gdy myślimy o wynikach eksperymentu, uwzględniając warunki, sytuację, a nawet chorobę, która nas interesuje, chcemy znać naturę użytej analizy statystycznej. W przypadku doświadczeń analiza statystyczna jest *bezcelowa*, jeżeli nie zostanie wykonana w kontekście solidnego projektu eksperymentalnego — takiego, który jest dokładnie zaplanowany i prowadzony.

## Problemy z dokumentacją Excela

Jednym z głównych założeń (a zarazem przesłań) tej książki jest to, że Excel *jest* dokładnym i rzetelnym narzędziem do wykonywania analiz statystycznych. Około dwudziestoletnia praktyka z korzystaniem z funkcjonalności Excela — łącznie z zagłębieniem do wnętrza kodu, by przekonać się, jak one działają — upewnia mnie o słuszności tego stanowiska.

Nie oznacza to jednak, że każda funkcja Excela jest bezwarunkowo warta pieniędzy, które wydałeś na jego zakup. Nawet gdy ograniczymy się jedynie do funkcji arkusza — podstawowych elementów składowych każdej analizy z użyciem tego narzędzia — nie da się ukryć, że uzyskanie wiarygodnych rezultatów może wymagać od Ciebie wiele ostrożności i uwagi. W rozdziale 15., „Analiza regresji wielorakiej i rekodowanie zmiennych nominalnych — podstawy”, wspominam na przykład o tym, że jedna z podstawowych funkcji statystycznych Excela przez wiele lat zawierała błąd, który sprawiał, że potrafiła zwrócić sumę kwadratów reszt, która była ujemna.

W poprzednim podrozdziale skupiliśmy się na omówieniu tego, jak nie do końca przemyślany proces doboru danych może sprawić, że dalsza analiza (i uzyskane wyniki) będą pozbawione sensu. Większość pozostałych pomyłek podczas przeprowadzania analizy statystycznej jest związana z błędnym zrozumieniem podstawowych pojęć. Niestety, Excel gdzieś tam daje nam tego rodzaju mylące wskazówki. Znajdują się one głównie w dodatku, który towarzyszy Excelowi od połowy lat 90. ubiegłego wieku. Był on znany jako *Analysis ToolPak* lub *ATP*, a ostatnio jako dodatek *Analiza danych*. Dodatek ten jest zbiorem narzędzi statystycznych. Ma na celu dostarczenie użytkownikowi sposobów przeprowadzania (przede wszystkim) analiz wnioskowania statystycznego, takich jak analizy wariancji i regresji. Takie analizy możesz przeprowadzić bezpośrednio w arkuszu za pomocą funkcji Excela. Jednak narzędzia dostępne w tym dodatku porządkują i prezentują te analizy poprzez zastosowanie praktycznych formatów i opcji okien dialogowych zamiast dość niewygodnych argumentów funkcji. Dlatego mogą one ułatwić życie. Ponieważ dodatek ten jest dostarczany wraz z Excelem, wielu nowych użytkowników może zakładać (całkiem racjonalnie), że grupuje on wszystkie funkcjonalności Excela przydatne do analiz statystycznych. W rzeczywistości zawiera on trzy metody analizy wariancji, testy  $z$  i testy  $t$ , narzędzia do wyznaczania macierzy kowariancji i analizy korelacji, statystyki opisowe itd.

Jednak narzędzia mogą także zmylić lub po prostu nie poinformować o konsekwencjach podjęcia pewnych decyzji. Oczywiście ta uwaga może dotyczyć dowolnego oprogramowania statystycznego, ale szczególnie narażeni są użytkownicy dodatku *Analiza danych*, ponieważ jego dokumentacja jest niezwykle skąpa.

Dobrym przykładem jest narzędzie *Wyglądanie wykładowe*. Ogólnie rzecz biorąc, jest to metoda wykorzystująca średnie ruchome do prognozowania kolejnej wartości w szeregu czasowym. Zwracane przez nią wyniki zależą w dużym stopniu od parametru liczbowego, tzw. **stałej wyglądzania**. Służy ona do uwzględniania w prognozie efektu błędów popełnianych w poprzednich okresach prognozy, a więc ułatwia autokorektę.

Co z tego, skoro sam wybór wartości stałej wygładzania nie jest prosty: wymaga podjęcia decyzji odnośnie do charakteru szeregu wynikowego (czy zależy nam na mniejszym błędzie, czy na większym „wygładzeniu szeregu wyjściowego”), identyfikacji występujących w danych trendów (rosnący, malejący, brak trendu) itp. Jakby tego było mało, to choć stosując tę metodę, podajemy zwykle wartość stałej wygładzania, i tak narzędzie wbudowane w dodatek do Excela z niewiadomych przyczyn domaga się podania tzw. **współczynnika tłumienia**. Pojęcie *stałej wygładzania* pojawia się w różnego rodzaju publikacjach mniej więcej dziesięć razy częściej niż *współczynnik tłumienia*, zatem nie ma racjonalnego powodu, by od nowego użytkownika tego narzędzia oczekiwać, że będzie wiedział, czym on jest. Współczynnik tłumienia jest dopełnieniem do 1 stałej wygładzania, więc w praktyce problem ten okazuje się trywialny, ale jest dobrym przykładem niepotrzebnego zamieszania, jakie spowodowali twórcy Excela. Dobra dokumentacja, pisana z myślą o użytkownikach, powinna posługiwać się raczej terminem, który jest szerzej znany (stała wygładzania), albo przynajmniej wyjaśniać, w jaki sposób można uzyskać wartość wymaganą w narzędziu. Dokumentacja stworzona przez Microsoft przez wiele lat nie spełniała tego warunku. Firma zmieniła jej treść dopiero wraz z wydaniem Excela 2013, ale — niestety — choć nazywa go teraz stałą wygładzania, nadal oczekuje podania współczynnika tłumienia. I bądź tu mądry!

Podobnie ma się sytuacja z innymi narzędziami dostępnymi w dodatku *Analiza danych*, a sprawę pogarsza jeszcze fakt, że zwracane przez nie wyniki nie mają postaci formuł, ale wartości liczbowych. To wszystko znacznie utrudnia próbę zrozumienia, co dane narzędzie faktycznie liczy i zwraca jako wynik.

Załóżmy na przykład, że jedno z narzędzi dodatku *Analiza danych* informuje Cię, że średnia wartość konkretnej zmiennej wynosi 4,5 — dodatek umieszcza w komórce wartość 4,5. Jeżeli ta wartość wyda Ci się nieprawidłowa, znalezienie źródła rozbieżności będzie wymagać żmudnej pracy. Natomiast gdyby dodatek pokazywał *formułę* kryjącą się za wynikiem 4,5, byłbyś już na drodze do znacznie szybszego rozwiązania problemu.

Parę narzędzi jest dość dobrych: *Korelacja* i *Kowariancja* dostarczają wyniki, których obliczenie za pomocą wbudowanych funkcji arkusza byłoby żmudne, nie myślą się ani nie są szczególnie trudne do opanowania, a ich wyniki są przydatne w sensie praktycznym. Ale są to wyjątki. (Nadal jednak dostarczają wyniki w postaci stałych wartości zamiast formuł, co jest niewygodne). W celu wyczerpującego przedstawienia przykładu problemów, jakie opisuję, w drugiej części tego rozdziału zajmę się dość szczegółowym omówieniem jednego z narzędzi — *Test F: z dwiema próbami dla wariancji*. Mam ku temu dwa powody:

- Swego czasu statystycy przeprowadzali ten test, aby upewnić się co do braku różnic w wartościach średnich między dwoma populacjami. Z czasem wykazano jednak, że efekt naruszenia tego założenia jest w wielu sytuacjach nieistotny. Nadal istnieją dobre powody korzystania z tego narzędzia, szczególnie w zastosowaniach produkcyjnych, które zależą od analiz statystycznych, jednak prawie nie ma dokumentacji na temat tej techniki, a zwłaszcza dotyczącej posługiwania się nią w dodatku *Analiza danych* Excela.

- Rozważanie problemów z dodatkiem pozwala dobrze poznać sprawy, o które musisz się zawsze zatroszczyć, gdy zaczynasz używać nieznanego oprogramowania statystycznego — również Excela. Jeżeli coś Cię zadziwia, nie bierz nic na wiarę. Zbadaj to dogłębnie.

Mam nadzieję, że dzięki tej prezentacji zrozumiesz, że i drugi kraniec statystycznego continuum — etap czystej analizy, następujący po zaplanowaniu eksperymentu — również wymaga Twojej uwagi. I że tę uwagę musisz poświęcić nie tylko pracy z dodatkiem *Analiza danych*, ale także wtedy, kiedy pracujesz ze zwykłymi funkcjami arkusza.

## Test F z dwiema próbami dla wariancji

Teraz, gdy poświęciłem kilka pierwszych stron tego rozdziału na omówienie, czemu rozumienie statystyki może mieć niższy priorytet — przynajmniej w porównaniu z etapem projektowania eksperymentu — chcę przyjąć inny punkt widzenia i przyjrzeć się temu, dlaczego rozumienie statystyki jest ważne: jeżeli nie rozumiesz założeń i stosowanych metod, prawdopodobnie nie będziesz w stanie interpretować wyników analizy. Innymi słowy, kiedy już dane zostały pozyskane w sposób prawidłowy, analiza liczb *ma* znaczenie. Czasami zdarza się, że oprogramowanie prawidłowo przelicza liczby, ale kiepsko wyjaśnia, co zostało zrobione. Oczekujemy, że dokumentacja oprogramowania dostarczy wyjaśnienia, lecz często jesteśmy rozczarowani. Jedno z narzędzi dodatku *Analiza danych* — *Test F: z dwiema próbami dla wariancji*, jest wspaniałym przykładem, dlaczego dosłowne traktowanie dokumentacji jest złym pomysłem.

### UWAGA

Nie chciałbym, byś odniósł wrażenie, że testy *F* w dodatku *Analiza danych* są jakoś szczególnie problematyczne. Ich jakość jest nawet wyższa od średniego poziomu dla pozostałych narzędzi dostarczanych w ramach tego pakietu. Po prostu testy *F* stanowią bardzo dobry punkt wyjścia do dalszego omówienia. Wszystkie uwagi, które formułuję w tej sekcji, reprezentują *ten* sposób myślenia, który chciałbym, by towarzyszył Ci również wtedy, gdy będziesz pracował z innymi pakietami oprogramowania do analiz statystycznych.

Oto treść tej dokumentacji z Pomocy programu Excel 2016:

Narzędzie oblicza wartość *f* statystyki *F* (lub współczynnika *F*). Wartość *f* zbliżona do 1 stanowi dowód na to, że wariancje rozkładu podstawowego są równe. Jeżeli w tabeli wyników  $f < 1$ , „P( $F \leq f$ ) jednostronna” daje prawdopodobieństwo obserwowania wartości statystyki *F* mniejszej niż *f*, gdy wariancje rozkładu są równe i „Wartość krytyczna jednostronna *F*” jest wartością krytyczną mniejszą od 1 dla wybranego poziomu istotności *Alfa*. Jeżeli  $f > 1$ , „P( $F \leq f$ ) jednostronna” daje prawdopodobieństwo obserwowania wartości statystyki *F* większej od *f*, gdy wariancje rozkładu są równe i „Wartość krytyczna jednostronna *F*” daje wartość krytyczną większą od 1 dla wartości *Alfa*.

Rozumiesz? Ja też nie.

Poza innymi zastosowaniami test  $F$  — koncepcja statystyczna, a nie narzędzie Excela — pomaga wyznaczyć, czy wariancje dwóch różnych prób losowych są równe w populacjach, z których zostały pobrane. Narzędzie *Test  $F$*  próbuje wykonać ten test za Ciebie. Jednak, jak widzisz, wymaga to większej znajomości podstaw teoretycznych niż tylko użycia narzędzia do wyprowadzenia przydatnych informacji.

## Po co przeprowadzać ten test?

Jak przeczytasz w rozdziałach 10., „Testowanie różnic pomiędzy średnimi — dalsze zagadnienia”, i 11., „Testowanie różnic pomiędzy średnimi — analiza wariancji”, jednym z podstawowych założeń pewnych testów statystycznych jest to, że różne grupy mają tę samą wariancję — lub równoważnie: to samo odchylenie standardowe — mierzonych wyników. W pierwszej połowie ubiegłego wieku podręczniki zalecały przeprowadzenie testu  $F$  dla równych wariancji przed weryfikacją hipotezy, że różne grupy mają równe średnie. Jeżeli test  $F$  wykazywał, że grupy mają różne wariancje, zalecano zaniechanie testowania różnic pomiędzy średnimi, ponieważ nie było spełnione podstawowe założenie takiego testu.

Wtedy nadeszły badania nad „odpornością” testów z lat 50. i 60. Te prace badały skutki naruszania podstawowych założeń wielu testów statystycznych. Statystycy, którzy studiowali te problemy, byli zainteresowani określeniem, czy założenia użyte do wyprowadzenia modeli teoretycznych są istotne podczas rzeczywistego stosowania tych modeli.

Zgodnie z oczekiwaniami niektóre z tych założeń są istotne. Na przykład zwykle ważne jest, aby obserwacje były niezależne od siebie, żeby na przykład wynik testu Jana nie miał wpływu na wynik Janiny, jak mogłoby się to zdarzyć, gdyby Jan i Janina byli bliźniętami, które zostały poddane pomiarowi pewnej cechy biochemicznej. Jeżeli nie korzystasz z testu, który dopuszcza (i odpowiednio kwantyfikuje) ten stopień zależności, wiarygodność wyniku może być wątpliwa.

Jednak założenie o równych wariancjach jest często nieistotne. Gdy wszystkie grupy mają tę samą liczbę obserwacji, ich wariancje mogą się bardzo różnić, co jednak pozostanie bez wpływu na poprawność testu statystycznego. Natomiast kombinacja różnych liczebności grup z różnymi wariancjami może powodować problemy. Załóżmy, że jedna grupa ma 20 obserwacji i wariancję 5, a inna grupa 10 obserwacji i wariancję 2,5. A zatem jedna grupa jest dwukrotnie większa niż druga i jej wariancja jest dwukrotnie większa niż drugiej. W tej sytuacji tabele statystyczne i funkcje mogą wskazywać, że prawdopodobieństwo błędnej decyzji wynosi 5%, gdy rzeczywistość jest równa 3%. Jest to dość mała różnica w przypadku tak niezgodnych liczebności prób losowych i wariancji. Dlatego statystycy zwykle uważają niektóre testy za *odporne* pod względem naruszania założenia równych wariancji.

Nie oznacza to, że nie powinieneś używać testu  $F$  do zdecydowania, czy *wariancje* dwóch prób losowych w populacji są równe. Jeżeli jednak celem jest testowanie różnic *średnich* grup, a liczebności grup są z grubsza równe, wtedy nie powinieneś się tym przejmować. Ponadto jeżeli zarówno liczebności grup, jak i wariancje są bardzo rozbieżne, lepiej spędzić czas, ustalając, dlaczego losowy wybór i losowe przypisanie daty w wyniku te rozbieżności. Zawsze ważniejsze jest upewnienie się, że zaprojektowałeś poprawne porównania, niż skrupulatne wykonanie testu, który może okazać się nadmiarowy.

Przy braku powyższej przesłanki — wykorzystania testu  $F$  jako wstępu do testowania równości średnich w grupach — zasadność przeprowadzania testu  $F$  tylko w celu porównania wariancji jest raczej ograniczona. Oczywiście pewne dyscypliny, takie jak badania operacyjne i teoria sterowania, często testują rozproszenia miar jakości. Jednak inne obszary zastosowań, takie jak medycyna, biznes i nauki behawioralne, skupiają się częściej na różnicach wartości średnich niż różnicach miar rozproszenia.

#### UWAGA

Łatwo pomylić test  $F$  opisany tutaj z testem  $F$  używanym w analizie wariancji i kowariancji opisanym w rozdziałach od 10. do 15. Test  $F$  jest **zawsze** oparty na ilorazie dwóch wariancji. W tym zastosowaniu służy do odpowiedzi na pytanie, czy dwie próbkowane grupy mają różne wariancje populacji, z których pochodzą. W przypadku analizy wariancji i kowariancji skupia się na rozproszeniu średnich grup podzielonym przez rozproszenie wartości w tych grupach. W obydwu przypadkach statystyką testową jest  $F$  — iloraz wariancji. W obydwu przypadkach porównujesz iloraz  $F$  z wartością z rozkładu, który jest prawie tak dobrze znany jak rozkład normalny. Jedynie cel tych testów się różni: testowanie różnic w wariancjach jako sam wynik końcowy, a testowanie różnic w wariancjach w celu wnioskowania na temat różnic wartości średnich.

Zakładam, że o ile nie działasz w branży wytwórczej, tylko okazjonalnie będziesz używać narzędzia *Test F: z dwiema próbami dla wariancji*. W takim przypadku chciałbyś wiedzieć, jak ochronić się przed sytuacjami, które mogą Cię zmylić. Jeśli nie, może zechcesz dowiedzieć się bardziej szczegółowo, jak dokumentacja Excela potrafi sprowadzić Cię na manowce.

### Korzystanie z narzędzia — przykład liczbowy

Rysunek 8.1 pokazuje przykład, jak możesz użyć narzędzia *Test F*.

Załóżmy, że określiłeś zakres A1:A21 (*Mężczyźni*) jako *Zakres zmiennej 1* w oknie dialogowym, a B1:B21 (*Kobiety*) jako *Zakres zmiennej 2*. Zaznaczyłeś pole wyboru *Tytuły*, zaakceptowałeś domyślną wartość *Alfa* równą 0,05 i zaznaczyłeś komórkę D2 jako lokalizację dla zakresu wyników.

Po kliknięciu *OK* narzędzie *Test F* działa i wyświetla wyniki pokazane w komórkach D2:F11 na rysunku 8.2.



**Rysunek 8.1.**  
Przypisanie zbioru obserwacji do zmiennej 1 daje inne wyniki niż przypisanie go do zmiennej 2

	A	B	C	D	E	F
1	Mężczyźni	Kobiety				
2	10	62				
3	24	60				
4	6	76				
5	76	84				
6	91	71				
7	95	55				
8	98	30				
9	30	41				
10	73	73				
11	87	99				
12	77	22				
13	89	39				
14	95	93				
15	89	50				
16	30	86				
17	45	45				
18	16	42				
19	77	80				
20	10	51				
21	21	69				
22						
23	<b>Wariancje:</b>					
24	1198,8	460,8				

Test F: z dwiema próbami dla wariancji

Wejście

Zakres zmiennej 1:

Zakres zmiennej 2:

Tytuły

Alfa:

Opcje wyjścia

Zakres wyjściowy:

Nowy ałkusz:

Nowy gkoroszyt

OK Anuluj Pomoc

#### UWAGA

Zauważ na rysunku 8.1, że możesz zaakceptować domyślną wartość *Alfa* równą 0,05 lub zmienić ją na jakąś inną. Dokumentacja Excela, w tym dokumentacja dodatku *Analiza danych*, używa terminu „alfa” niespójnie w różnych kontekstach. W dokumentacji Excela dla narzędzia *Test F* termin ten został użyty poprawnie.

Zastosowana w narzędziu *Test F: z dwiema próbami dla wariancji* koncepcja wartości *alfa* jest taka jak opisana w rozdziale 6, „Jak zmienne są wspólnie klasyfikowane — tabele kontyngencji”, oraz ponownie w rozdziale 9, „Testowanie różnic pomiędzy średnimi — podstawy”. Jest to prawdopodobieństwo, że dojdiesz do wniosku, iż istnieje różnica, gdy faktycznie nie ma żadnej różnicy. W naszym przykładzie jest to prawdopodobieństwo tego, że na podstawie danych z próby dojdiesz do wniosku, iż populacje, z których je pobrałeś, mają różne wariancje, podczas gdy faktycznie są one jednakowe. To zastosowanie jest zgodne ze zwykłą statystyczną interpretacją tej wartości.

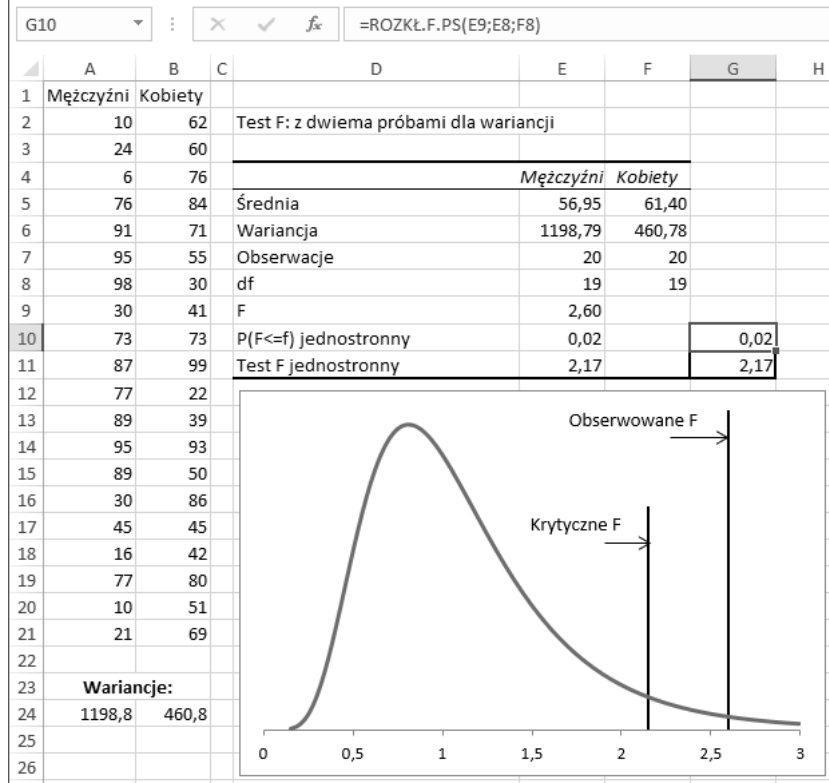
Warto także zauważyć, że dwa założenia, na których bazuje test *F* — założenie, że próby pochodzą z populacji o rozkładzie normalnym oraz że są niezależne od siebie — mają fundamentalne znaczenie. Jeżeli któreś z tych założeń nie jest spełnione, możesz założyć, że test *F* nie będzie odpowiedni.

Żadne źródło nie mówi — ani dokumentacja, ani okno dialogowe, ani inne książki na temat dodatku *Analiza danych* — że dane wyznaczone jako *Zakres zmiennej 1* w oknie dialogowym narzędzia *Test F* są zawsze traktowane jako licznik ilorazu *F*.



**Rysunek 8.2.**

Zauważ, że wariancja zmiennej Mężczyźni jest większa niż zmiennej Kobiety w próbach losowych, a więc iloraz  $F$  jest większy niż 1,0

**Narzędzie Test F zawsze dzieli zmienną 1 przez zmienną 2**

Dlaczego należy to wiedzieć? Załóżmy, że postawiłeś hipotezę, iż mężczyźni mają większe od kobiet rozproszenie dowolnej cechy zmierzonej na rysunkach 8.1 i 8.2. Jeżeli uporządkowałeś dane jak na rysunku 8.2, z pomiarami dla mężczyzn w liczniku ilorazu  $F$ , wszystko jest w porządku. Twoja badana hipoteza jest taka, że mężczyźni mają większe rozproszenie danej cechy, a sposób skonfigurowania testu  $F$  odpowiada tej hipotezie. Tak skonfigurowany test pyta, czy rozproszenie cechy u mężczyzn jest na tyle większe niż u kobiet, że możesz wyeliminować przypadek — czyli błąd próbkowania — jako wyjaśnienie różnicy w ich wariancjach.

Założmy jednak, że nie wiedziałeś, iż narzędzie *Test F* zawsze umieszcza zmienną 1 w liczniku, a zmienną 2 w mianowniku. W takim przypadku możesz w pełni nieświadomie poinstruować narzędzie *Test F*, aby traktowało pomiary kobiet jako zmienną 1, a mężczyzn jako zmienną 2. Z danymi na rysunkach 8.1 i 8.2 otrzymałbyś wartość  $F$  mniejszą niż 1. Postawiłbyś hipotezę, że mężczyźni mają większe rozproszenie danej cechy, choć w rzeczywistości przetestowałbyś hipotezę przeciwną.

Tak długo, jak długo masz świadomość tego, co robisz, żadna wielka szkoda z tego nie wyniknie. Właściwa interpretacja wyników jest dość łatwa. Może jednak też prowadzić do pomyłek, szczególnie jeżeli próbujesz interpretować znaczenie wartości krytycznej raportowanej przez narzędzie *Test F*. Więcej na ten temat w następnym fragmencie.

### Narzędzie *Test F* zmienia regułę decyzyjną

Narzędzie *Test F* zmienia sposób obliczania ilorazu  $F$  w zależności od tego, który zbiór danych jest identyfikowany jako zmienna 1, a który jako zmienna 2. Narzędzie zmienia także sposób przeprowadzania wnioskowania statystycznego w zależności od tego, czy obliczona statystyka  $F$  jest większa, czy mniejsza niż 1,0. Zwróć uwagę na wykres na rysunku 8.2. Wykres nie jest częścią wyników narzędzia *Test F*. Utworzyłem go, używając funkcji arkusza Excela `ROZKŁ.F()`.

#### WSKAZÓWKA

Jeżeli pobrałeś skoroszyty Excela do tej książki (<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/anstae.zip>), możesz się dokładnie przyjrzeć, jak ten wykres został utworzony, otwierając skoroszyt do rozdziału 8., a w nim arkusz do rysunku 8.2.

Krzywa na wykresie reprezentuje wszystkie możliwe wartości  $F$ , jakie mógłbyś otrzymać, używając prób losowych po 20 obserwacji, pod warunkiem że obydwie próby pochodzą z populacji o tej samej wariancji. (Kształt rozkładu  $F$  zależy od liczby obserwacji w każdej próbie).

W pewnym momencie iloraz wariancji staje się tak duży, że wiara, iż obie populacje mają tę samą wariancję, staje się irracjonalna. Jeżeli populacje mają tę samą wariancję, powinieneś wierzyć, że wartość  $F$  różna od 1 wynika z błędu próbkowania. Nie potrzeba dużego błędu próbkowania, aby otrzymać wartość  $F$  równą, powiedzmy, 1,05 lub 1,10. Ale jeżeli otrzymasz próbę, której wariancja jest dwa razy taka jak innej próby — wtedy albo wystąpił nieprawdopodobnie duży stopień błędu próbkowania, albo obie populacje mają jednak różne wariancje.

„Nieprawdopodobnie duży” jest subiektywnym określeniem. To, co jest bardzo nieprawdopodobne dla mnie, może być czymś zwykłym dla Ciebie. Dlatego badacz decyduje, co stanowi linię podziału pomiędzy nieprawdopodobnym a niewiarygodnym (często wskazaną przez koszt podjęcia błędnej decyzji). Wyrażanie tej linii podziału w terminach prawdopodobieństwa jest tu standardem. W oknie dialogowym *Test F* pokazanym na rysunku 8.1, jeżeli zaakceptujesz domyślną wartość *Alfa* równą 0,05, uznasz za niewiarygodne coś, co zdarza się co najwyżej w 5% przypadków. W przypadku testu  $F$  powiedziałbyś, że uznajesz za niewiarygodne otrzymanie ilorazu tak dużego, że mógłby wystąpić tylko w 5% przypadków, gdy obie populacje mają tę samą wariancję.

Wskazuje na to pionowa linia z etykietą „Krytyczne F” na rysunku 8.2. Pokazuje ona, gdzie zaczyna się największe 5% wartości  $F$ . Dowolna otrzymana wartość  $F$ , która byłaby większa niż krytyczna wartość  $F$ , należałaby do tych 5% i, ponieważ wybrałeś 0,05 jako kryterium  $Alfa$ , posłużyłaby jako dowód, że badane populacje mają inne wariancje.

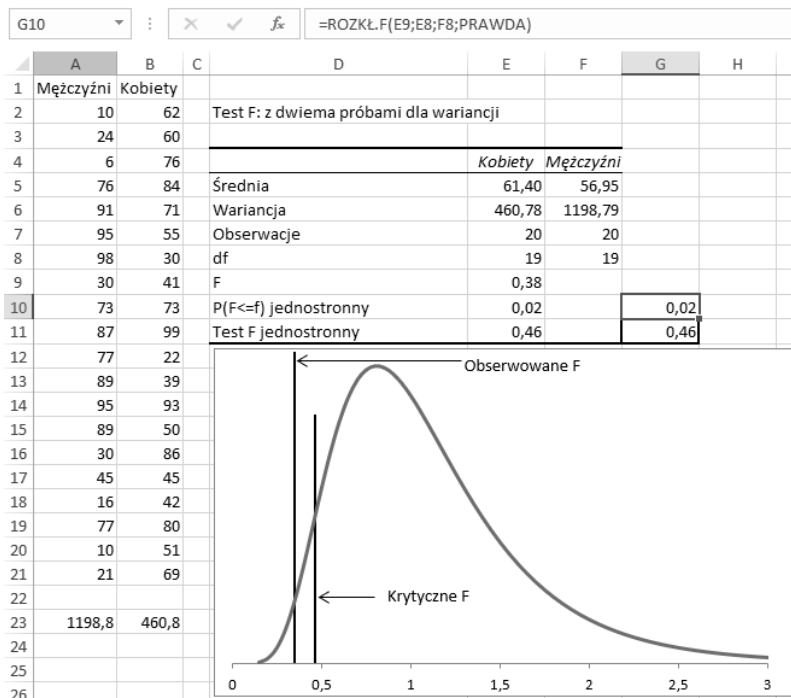
Druga pionowa linia z etykietą „Obserwowane F” jest rzeczywistą wartością  $F$  obliczoną na podstawie danych z zakresu A2:B21 i stanowiącą iloraz wariancji. Wariancje te są obliczone dynamicznie za pomocą funkcji WARIANCJA.PRÓBK(I) w komórkach A24:B24 oraz zwracane jako statyczne wartości przez narzędzie *Test F* w komórkach E6:F6. Narzędzie *Test F* zwraca także współczynnik  $F$  w komórce E9 i jest to ta wartość, która pojawia się na wykresie jako pionowa linia z etykietą „Obserwowane F”.

Obserwowana wartość  $F$  równa 2,60 na rysunku 8.2 znajduje się jeszcze dalej od wartości 1,0 niż krytyczna wartość 2,17. Dlatego jeżeli użyłś wartości  $\alpha$  równej 0,05, Twoja reguła decyzyjna doprowadziłaby Cię do odrzucenia hipotezy, że dwie populacje podlegające próbom losowym mają równe wariancje.

Co się jednak zdarzy, jeżeli badacz, nie wiedząc, co Excel robi podczas wyznaczania wartości  $F$ , przypadkiem poda miary kobiet jako zmienną 1? Wtedy narzędzie *Test F* umieści wariancję kobiet 460,8 w liczniku, a wariancję mężczyzn 1198,8 w mianowniku. Wartość  $F$  jest teraz mniejsza niż 1,0 i otrzymasz wyniki pokazane na rysunku 8.3.

### Rysunek 8.3.

Teraz z mniejszą wariancją w liczniku ilorazu  $F$  wyniki są nadal znaczące, ale odwrócone



Jeżeli wiesz, co się dzieje — a wiesz — nie jest trudno stwierdzić, że obserwowana wartość  $F$  równa 0,38 jest tak samo nieprawdopodobna jak 2,60. Jeżeli wariancje populacji są równe, najbardziej prawdopodobnym wynikiem podzielenia wariancji jednej próby przez wariancję drugiej próby będzie wartość bliska 1,0. Patrząc na dwie wartości krytyczne na rysunkach 8.2 i 8.3, wartości 2,17 na górze i 0,46 na dole odcinają 5% obszaru pod krzywą — 5% w każdym z ogonów rozkładu. Czy umieścisz większą wariancję w liczniku, podając ją jako zmienną 1, czy też w mianowniku, podając ją jako zmienną 2, mało prawdopodobne jest uzyskanie takiego ilorazu, kiedy populacje mają równe wariancje, więc jeżeli zaakceptujesz 5% jako rozsądne kryterium, odrzucisz tę hipotezę.

### Podstawy funkcji rozkładu $F$

Komórki G10:G11 na rysunkach 8.2 i 8.3 zawierają funkcje arkusza, które dotyczą rozkładu  $F$ . Narzędzie *Test F* ich nie podaje — sam to zrobiłem — ale zauważ, że wartości pokazane w komórkach G10:G11 są identyczne z tymi w komórkach E10:E11, podanymi przez narzędzie *Test F*. Jednak narzędzie *Test F* nie podaje formuł ani funkcji używanych do obliczania wyników — podaje tylko stałe wyniki. Dlatego aby lepiej zrozumieć, jak działa dane narzędzie, na przykład *Test F* z dodatku *Analiza danych*, warto znać i rozumieć używane przez nie funkcje arkusza.

Komórka G10 na rysunku 8.2 zawiera formułę:

$$=ROZKŁ.F.PS(E9;E8;F8)$$

Funkcja  $ROZKŁ.F.PS$  zwraca prawdopodobieństwo, które możesz interpretować jako pole powierzchni pod krzywą. Sufiks  $PS$  w nazwie funkcji mówi Excelowi, że potrzebne jest pole powierzchni pod prawym ogonem krzywej. Gdybyś użył zamiast tego funkcji  $ROZKŁ.F()$ , Excel zwróciłby pole powierzchni pod lewym ogonem krzywej.

Pierwszym argumentem funkcji, tutaj  $E9$ , jest wartość  $F$ . Używana jako argument funkcji  $ROZKŁ.F.PS()$  wartość w komórce  $E9$  powoduje wyliczenie pola powierzchni obszaru pod krzywą, który leży po prawej stronie tej wartości. Na rysunku 8.2 wartość w  $E9$  to 2,60, więc Excel zwraca 0,02 — 2% obszaru pod krzywą leży po prawej stronie wartości  $F$  równej 2,60.

Zgodnie z opisem w poprzednim fragmencie kształt rozkładu  $F$  zależy od liczby obserwacji, które kształtują wariancję w liczniku i mianowniku ilorazu  $F$ . Ścisłe rzecz biorąc, używasz tutaj stopni swobody zamiast rzeczywistej liczby obserwacji — stopnie swobody to liczba obserwacji minus 1. Drugi i trzeci argument funkcji  $ROZKŁ.F.PS()$  to odpowiednio stopnie swobody w liczniku i mianowniku.

Na podstawie wyników zwracanych przez tę funkcję możesz dojść do wniosku, że zakładając taką samą wariancję populacji mężczyzn i kobiet, stwierdziłbyś wartość  $F$  równą co najmniej 2,60 w tylko 2% próbek, które mogły zostać wzięte z tych populacji. Możesz uznać za bardziej rozsądny wniosek, że założenie o równych wariancjach populacji jest nieprawidłowe, niż stwierdzenie, że otrzymałeś dosyć nieprawdopodobną wartość  $F$ .

Formuła w komórce G11 na rysunku 8.2 ma postać:

$$=ROZKŁ.F.ODWR(0,95;E8;F8)$$

Zamiast zwracać pole powierzchni pod krzywą, jak funkcje  $ROZKŁ.F()$  i  $ROZKŁ.F.PS()$ , funkcja  $ROZKŁ.F.ODWR()$  przyjmuje pole powierzchni jako argument i zwraca wartość  $F$ . Tutaj drugi i trzeci argument w komórkach E8 i F8 są takie same jak w przypadku funkcji  $ROZKŁ.F.PS()$  — liczba stopni swobody w liczniku i mianowniku. Argument 0,95 instruuje Excela, że potrzebna jest wartość  $F$  odpowiadająca 95% pola powierzchni pod krzywą. Funkcja zwraca 2,17 w komórce G11, więc 95% krzywej leży po lewej stronie wartości 2,17 w rozkładzie  $F$  z 19 stopniami swobody w liczniku i mianowniku. Narzędzie *Test F* zwraca tę samą wartość jako wartość w komórce E11.

(Sufiks *ODWR* funkcji jest skrótem od słowa *odwrotny*. Funkcja, która zwraca wartość statystyki jest zgodnie z konwencją uważana za funkcję odwrotną do funkcji mierzącej pole powierzchni pod krzywą).

Porównaj funkcje na rysunku 8.2, które zostały już opisane, z wersjami na rysunku 8.3. Tutaj w komórce G10 znajduje się formuła:

$$=ROZKŁ.F(E9;E8;F8;PRAWDA)$$

Tym razem zamiast funkcji  $ROZKŁ.F.PS()$  została użyta funkcja  $ROZKŁ.F()$ . Funkcja  $ROZKŁ.F()$  zwraca pole powierzchni obszaru pod krzywą po lewej stronie wartości  $F$ , którą podałeś (tutaj wartość wynosi 0,38, co jest wartością komórki E9, ilorazu wariancji kobiet przez wariancję mężczyzn).

#### UWAGA

Funkcja  $ROZKŁ.F()$  przyjmuje czwarty argument, którego nie przyjmuje funkcja  $ROZKŁ.F.PS()$ . W funkcji  $ROZKŁ.F()$  możesz podać wartość *PRAWDA*, jak wyżej, aby zażądać pola powierzchni po lewej stronie wartości  $F$ . Jeżeli zamiast tego podasz *FAŁSZ*, Excel zwróci wysokość krzywej w punkcie  $F$ . Poza innymi zastosowaniami wartość wysokości jest nieodzowna do przedstawienia rozkładu  $F$  na wykresie. Podobne rozważania dotyczą kreślenia rozkładów normalnych, rozkładów *t*-Studenta, rozkładów  $\chi^2$  itd.

Porównując wykresy na rysunkach 8.2 i 8.3, możesz się łatwo przekonać, że otrzymanie ilorazu 0,38 (wariancji kobiet do mężczyzn) i otrzymanie ilorazu 2,60 (wariancji mężczyzn do kobiet) jest tak samo nieprawdopodobne. Jednak może Cię zmylić fakt, że w tych dwóch zbiorach wyników krytyczna wartość jest różna. Na rysunku 8.2 jest to 2,17, ponieważ narzędzie *Test F* działa z wartością  $F$  większą niż 1,0, więc pytanie dotyczy tego, o ile większa od 1,0 musi być obserwowana wartość  $F$ , aby odciąć górne 5% rozkładu (lub inną wybraną wartość  $\alpha$  zamiast 0,05).

Na rysunku 8.3 krytyczna wartość wynosi 0,46, ponieważ narzędzie *Test F* działa z wartością  $F$  mniejszą niż 1,0, więc pytanie dotyczy tego, o ile mniejsza od 1,0 musi być obserwowana

wartość  $F$ , abyś uznał ją za nieprawdopodobnie małą — mniejszą niż najmniejsze 5% obserwowanych wartości, jeżeli populacje mają tę samą wariancję.

Ta krytyczna wartość równa 0,46 w komórce G11 rysunku 8.3 jest zwracana przez następującą formułę:

$$=ROZKŁ.F.ODWR(0,05;E8;F8)$$

Podczas gdy, jak wcześniej wspomniałem, formuła w komórce G11 rysunku 8.2 ma postać:

$$=ROZKŁ.F.ODWR(0,95;E8;F8)$$

W tej ostatniej wersji funkcja zwraca wartość  $F$ , która odcina dolne 95% obszaru pod krzywą — dlatego większe wartości mają co najwyżej 5% szans wystąpienia.

W pierwszej wersji funkcja zwraca wartość  $F$ , która odcina dolne 5% obszaru pod krzywą. Jest to wartość krytyczna, jeżeli tak ustanowiłeś obserwowaną wartość  $F$ , by mniejsza wartość była w liczniku.

Istnieje funkcja `ROZKŁ.F.ODWR.PS()`, której możesz użyć zamiast `=ROZKŁ.F.ODWR(0,95;E8;F8)`. Jest to po prostu sprawa osobistych upodobań. Funkcja `ROZKŁ.F.ODWR.PS()` zwraca wartość  $F$ , która odcina prawy ogon, a nie lewy, jak w przypadku funkcji `ROZKŁ.F.ODWR()`. Dlatego poniższe dwie funkcje są równoważne:

$$=ROZKŁ.F.ODWR(0,95;E8;F8)$$

i

$$=ROZKŁ.F.ODWR.PS(0,05;E8;F8)$$

#### UWAGA

Narzędzie *Test F* nie pokazuje wykresu. Dobrym pomysłem jest wyświetlenie wyników testu na wykresie, abyś lepiej zrozumiał, co się dzieje, ale musisz go skonstruować samodzielnie. Pobierz skoroszyt z witryny wydawcy, aby zobaczyć, jak zdefiniować wykres.

## Stawianie hipotezy dwustronnej

Do tej pory interpretowaliśmy wyniki narzędzia *Test F* pod względem dwóch wzajemnie wykluczających się hipotez:

- Pomiędzy dwiema populacjami nie ma różnicy mierzonej ich wariancjami.
- Populacja mężczyzn ma większą wariancję niż populacja kobiet.

Druga hipoteza jest nazywana hipotezą **kierunkową**, ponieważ określa, że któraś z dwóch wariancji jest zgodnie z oczekiwaniami większa. (Jest ona także nazywana, cokolwiek nieładnie, hipotezą **jednostronną**, ponieważ przywiązujesz wagę tylko do jednego ogona rozkładu. Jest to dość nieładnie określenie, ponieważ — jak zobaczysz w dalszych rozdziałach — wiele dwustronnych hipotez odnosi się tylko do jednego ogona w rozkładzie  $F$ ).

A co, jeżeli nie chcesz z góry określać, która wariancja jest większa? Wtedy Twoje dwie wzajemnie się wykluczające hipotezy (w podręcznikach zwane **zespołem hipotez**) mogą być następujące:

- *Nie ma żadnej różnicy pomiędzy dwiema populacjami pod względem zmierzonych wariancji.*
- *Istnieje różnica pomiędzy dwiema populacjami pod względem zmierzonych wariancji.*

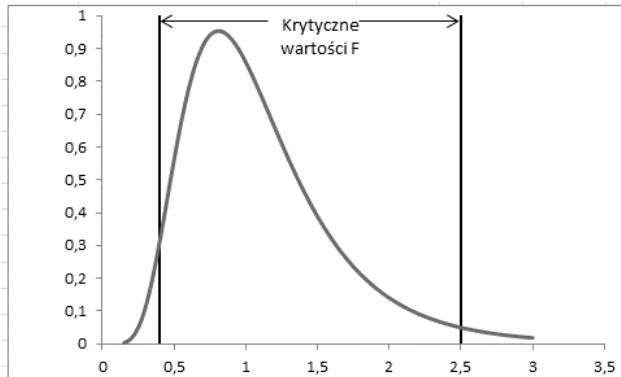
Zauważ, że druga hipoteza nie zakłada, która populacja ma większą wariancję — a po prostu, że wariancje dwóch populacji są różne. Jest to hipoteza **dwustronna**. Ma to duży wpływ na sposób parametryzacji i interpretacji testu  $F$  (i testów  $t$ , jak zobaczysz w rozdziałach 10. i 11.).

### Podejście graficzne

Rysunek 8.4 pokazuje, w jaki sposób testy dwustronne różnią się od testów jednostronnych pokazanych na rysunkach 8.2 i 8.3.

#### Rysunek 8.4.

W przypadku hipotezy dwustronnej obszar  $\alpha$  jest podzielony pomiędzy dwa ogony



W przypadku podobnym do pokazanego na rysunku 8.4 nie przyjmujesz z góry, która populacja ma większą wariancję, a tylko to, że są one nierówne. Dlatego jeżeli zdecydujesz, że jesteś gotów uznać wyniki z 5-procentowym prawdopodobieństwem za wystarczająco nieprawdopodobne, aby odrzucić hipotezę zerową, wtedy 5% prawdopodobieństwa musi być dzielone pomiędzy oba ogony rozkładu. Dolny i górny ogon dostają po 2,5%. (Oczywiście możesz zdecydować, że do odrzucenia hipotezy niezbędne jest nie 5%, a 1% lub dowolna inna wartość, którą Twój osobisty i zawodowy osąd uzna za „nieprawdopodobną”. Zwróć jednak uwagę, że w teście dwustronnym dzielisz ten nieprawdopodobny poziom  $\alpha$  pomiędzy dwa ogony rozkładu).

Jedną z konsekwencji przyjęcia dwustronnej hipotezy alternatywnej jest to, że wartości krytyczne są bliżej ogonów rozkładu. Na rysunku 8.4 dwustronna hipoteza przesuwą górną wartość krytyczną do około 2,5, podczas gdy na rysunku 8.2 hipoteza kierunkowa umieszczała wartość krytyczną na poziomie 2,17. (To tylko przypadek, że górna wartość krytyczna wynosi około 2,5 i odcina 2,5% pola powierzchni).

Powodem przesunięcia się wartości krytycznej jest to, że na rysunku 8.4 wartości krytyczne odcinają dolne i górne 2,5% rozkładów zamiast dolnego 5% lub górnego 5%, jak na rysunkach 8.2 i 8.3. Dlatego wartości krytyczne są bardziej oddalone od środka rozkładu na rysunku 8.4.

### Stosowanie narzędzia Test F do hipotezy dwustronnej

Jeżeli chcesz użyć dwustronnej hipotezy, zmniejsz poziom  $\alpha$  o połowę. Dostosuj go w oknie dialogowym narzędzia *Test F*. Jeżeli chcesz, aby ogólny poziom  $\alpha$  wynosił 5%, wpisz **0,025** w oknie tego narzędzia.

Określenie poziomu  $\alpha$  wpływa **tylko** na krytyczną wartość  $F$  zwracaną przez narzędzie *Test F*. Możesz zawsze spojrzeć na wartość  $p$  obserwowanej wartości  $F$  zwracaną przez narzędzie (na przykład w komórce E10 na rysunku 8.3), która nie ulegnie zmianie. Następnie zdecyduj, czy wartość  $p$  jest wystarczająco niska, aby uznać za nieprawdopodobną hipotezę, że ten wynik jest spowodowany błędem próbkowania. W praktyce zależy to od tego, czy chcesz myśleć w kategoriach prawdopodobieństw (przywiązać uwagę do wartości  $\alpha$  i  $p$ ), czy w kategoriach wartości  $F$  (zastanawiać się nad obserwowaną i krytyczną wartością  $F$ ).

### Pułapka do ominięcia

Tym, czego *nie* wolno zrobić, jeżeli postawiłeś *hipotezę dwustronną*, jest sugerowanie się danymi przy decyzji o tym, którą grupę danych umieścić w liczniku ilorazu  $F$ , używając tej grupy jako zmiennej 1 w oknie dialogowym narzędzia *Test F*.

Możesz zdecydować — przed zerknięciem w dane — że będziesz traktować dowolną grupę o większej wariancji jako zmienną 1. Nie: „Widzę, że mężczyźni mają większą wariancję, więc potraktuję ich dane jako zmienną 1”, ale: „Umieszczę dowolną grupę o większej wariancji w liczniku ilorazu  $F$ , wyznaczając tę grupę jako zmienną 1”.

Nie ma też nic złego w tym, aby przypisać jeden z dwóch zbiorów danych do zmiennej 1 za pomocą rzutu monetą lub innego źródła losowości.

Jeżeli zdecydujesz, że zawsze umieścisz większą wariancję w liczniku ilorazu  $F$ , nigdy nie otrzymasz wartości  $F$  mniejszej niż 1,0. Pytasz jednak zarówno o górny ogon rozkładu, jak i o dolny. Dlatego jeżeli test jest dwustronny, na pewno musisz umieścić w oknie dialogowym połowę wartości  $\alpha$ , którą chcesz uwzględnić. Zauważ, że jest to spójne z radą, jaką dałem we wcześniejszym fragmencie, aby podać połowę wartości  $\alpha$ , którą rzeczywiście chcesz otrzymać, gdy masz do czynienia z oknem dialogowym narzędzia *Test F* i stawiasz dwustronną hipotezę alternatywną.

### Dostępne wybory

Podsumowując, sposób określenia parametrów w narzędziu *Test F* dodatku *Analiza danych* zależy od tego, czy stawiasz hipotezę jednostronną, czy dwustronną. W następujących dwóch fragmentach krótko opiszę każdą alternatywę przy założeniu, że podałeś  $\alpha$  — prawdopodobieństwo, iż obserwowane wyniki są przypadkowe — równe 0,05.



### Hipoteza kierunkowa

Postaw hipotezę kierunkową, jeżeli znajduje ona pokrycie w jakiegokolwiek teorii. Jeżeli teoria głosi, że mężczyźni powinni mieć większą wariancję pewnej cechy niż kobiety, niech hipoteza alternatywna będzie kierunkowa: mężczyźni mają większą wariancję danej cechy. Użyj okna dialogowego narzędzia *Test F* do umieszczenia wariancji mężczyzn w liczniku ilorazu  $F$  (przypisz dane mężczyzn zmiennej 1) i podaj wartość *Alfa* równą 0,05. Uznaj swoją hipotezę alternatywną za prawidłową tylko wtedy, gdy obserwowana wartość  $F$  przekracza krytyczną wartość  $F$ .

Nie odrzucaj hipotezy zerowej o braku różnicy, nawet jeżeli wariancja próby losowej mężczyzn jest znacznie mniejsza niż kobiet. Gdy raz postawisz hipotezę kierunkową, która wskazuje na konkretny kierunek, musisz się jej trzymać. Postawienie hipotezy kierunkowej po analizie danych byłoby zwykłym nagięciem faktów do wniosków.

Jeżeli jednak będziesz uważnie stosował się do zasad rządzących formułowaniem hipotez kierunkowych, zwiększysz moc testu  $F$  służącego do ich weryfikacji (w porównaniu z mocą tego testu dla hipotez dwustronnych), a więc częściej prawidłowo potwierdzisz, że różnica między średnimi w populacji faktycznie istnieje.

### Hipoteza dwustronna

Postaw hipotezę dwustronną, że próbkowane populacje mają różne wariancje, ale nie określaj, która jest większa. Dla wygody traktuj grupę z większą wariancją jako zmienną 1, przedziel wartość  $\alpha$  na pół, gdy będziesz wypełniać pola okna dialogowego, i uruchom test  $F$  jednokrotnie. Jeżeli wyliczona wartość  $p$  jest mniejsza niż nominalna wartość  $\alpha$ , przyjmij hipotezę alternatywną, że populacje mają różne wariancje.

Zignoruj etykietę wyników testu  $F$  „ $P(F \leq f)$  jednostronny”. Ta etykieta jest sama w sobie myląca, symbole są niezdefiniowane i pozostaje niezmieniona bez względu na to, czy otrzymana wartość  $F$  jest większa, czy mniejsza od wartości krytycznej. Co więcej, prawdopodobieństwo tego, że jedna liczba jest mniejsza bądź równa drugiej wynosi albo 1, albo 0. Bo albo ta nierówność zachodzi, albo nie. Wartości  $F$  oraz  $f$  są takimi właśnie dwiema liczbami, dlatego też stwierdzenia w rodzaju „Prawdopodobieństwo, że 2,6 jest większe niż 2,17, wynosi 0,02” są pozbawione sensu.

I na odwrót: w wynikach narzędzia *Test F* wielkość z etykietą „ $P(F \leq f)$  jednostronny” jest prawdopodobieństwem uzyskania obserwowanej wartości  $F$  przy założeniu, że populacje, z których zostały pobrane próby losowe, mają taką samą wariancję.

## Replikowalność badań

Od mniej więcej 2015 roku w prasie branżowej zaczęto zwracać uwagę na pewien zaskakujący fakt, utrudniający interpretację i ocenę wyników badań empirycznych (wątpliwości te przedostały się następnie do prasy popularnej). Chodzi o kwestię **replikowalności** (powtarzalności) wyników badań. The Center for Open Science z siedzibą w amerykańskim stanie Wirginia włożyło sporo wysiłku w próbę powtórzenia wyników uzyskanych w trakcie badań empirycznych przeprowadzonych w przeszłości, które uznano za kluczowe dla rozwoju takich dziedzin jak psychologia czy medycyna (w tym drugim przypadku chodziło głównie o badania nad przerzutami nowotworów oraz najbardziej skutecznymi sposobami ich zwalczania).

Do czasu gdy piszę te słowa, uczestnicy projektu nie byli w stanie opublikować żadnych jednoznacznych wniosków ze swoich badań. Ogłosili mianowicie, że jak dotąd nie udało im się zreplikować wyników uzyskanych w licznych badaniach z zakresu psychologii i medycyny, z drugiej jednak strony przyznali, że byli w stanie potwierdzić wnioski uzyskane w ramach innych badań.

Nie wdając się w szczegóły, jest to efekt dość nieoczekiwany. Okazuje się, że w badaniach, z których wnioski udało się powtórzyć, wnioskowanie prowadzone było na tzw. poziomie istotności z przedziału od 0,05 do 0,001. Jak wyjaśnię to w dalszej części książki, informacja ta oznacza, że udało się zgromadzić wystarczające dowody, by uznać, że uzyskane rezultaty w zaledwie 5 procentach (lub odpowiednio: 1 procencie czy 0,01 procenta) przeprowadzonych w porównywalnych warunkach badań można by uznać za przypadkowe.

Tymczasem uczestnicy projektu stwierdzili, że w badaniach z zakresu psychologii jedynie w 47 procentach przypadków (około połowy) wielkość efektu (ang. *effect size*) mieściła się w 95-procentowym przedziale ufności zbudowanym wokół wyników, które udało się zreplikować (zgodnie z definicją przedziału ufności należałoby oczekiwać, że wielkość efektu będzie się mieściła w granicach takiego przedziału w ok. 95 procentach przypadków, a nie 47 procentach; wielkość efektu to standaryzowana miara wyników badań empirycznych, którą można zdefiniować np. jako stosunek różnicy (dystansu) między średnimi wartościami badanej cechy w dwóch grupach do odchylenia standardowego w próbie czy choćby zwykłego współczynnika korelacji).

Pozostało przy tym zagadką, dlaczego nie udało się zreplikować wyników dość znaczącego odsetka badań z zakresu medycyny, choć z drugiej strony porównywalny odsetek innych badań znalazł potwierdzenie we wnioskach płynących z powtórzonych badań.

Taka sytuacja może wręcz rodzić frustracje, gdy okazuje się, że nie udaje się potwierdzić wniosków (czy wręcz przeczy się im), które uzyskano w wyniku dobrze przemyślanego (przynajmniej w teorii) badania. Replikowalność jest jednak bardzo ważnym narzędziem tzw. metody naukowej, które chroni nas przed zbyt pochopnym akceptowaniem wyników zgodnych ze stanem naszej wiedzy.

Zanim powstanie końcowy raport podsumowujący kompleksowo wysiłki zespołu z Wirginii, minie trochę czasu. Już dziś jednak na podstawie cząstkowych wyników tego eksperymentu możemy sformułować hipotezę, że przyczyną uniemożliwiającą pełną replikację wyników badań dokonanych w przeszłości może być problem odtworzenia warunków, w jakich te badania były prowadzone. Badania z zakresu biochemii są niezwykle skomplikowane, przez co łatwo jest nieumyślnie naruszyć założenia leżące u ich podstaw. To zaś sprawia, że wtórne badanie nie będzie dokładnym powtórzeniem badania pierwotnego, nawet jeżeli tak by się nam wydawało. Czy możemy więc wyciągnąć jakieś wnioski z tego eksperymentu, zanim doczekamy się finalnego raportu?

W części tego rozdziału poświęconej wewnętrznej trafności badań stwierdziliśmy, że w wielu z nich porównuje się średnią wartość analizowanej cechy w grupie eksperymentalnej z jej odpowiednikiem w próbie kontrolnej (średnie te są zwykle liczone z wyników pomiaru odpowiedniego dla stawianej hipotezy). Choć jest to prawda, chciałbym teraz nawiązać do materiału, który znajdziesz w dalszych rozdziałach tej książki, uprzedzając nieco fakty: jak się przekonasz, jest możliwa analiza efektów dwóch lub większej liczby czynników w ramach jednego eksperymentu.

Na przykład możemy łatwo rozszerzyć zakres badania, którego celem jest zbadanie wielkości efektu w zakresie skuteczności pewnego leku (względem efektu działania placebo) poprzez dodanie kolejnego czynnika, jakim może być płeć pacjenta. W takim przypadku musielibyśmy porównać więcej niż tylko dwie średnie, zestawiając ze sobą: grupę eksperymentalną z grupą kontrolną oraz kobiety z mężczyznami, a także średnie w każdej z czterech grup: kobiety w grupie eksperymentalnej, kobiety w grupie kontrolnej, mężczyźni w grupie eksperymentalnej, mężczyźni w grupie kontrolnej. Wartość takiego eksperymentu będzie wyższa od wartości dwóch niezależnych badań, z których każde analizowałoby pojedynczą cechę. I to z wielu powodów, które omawiam szczegółowo w następujących rozdziałach. W tym miejscu skupię się na jednym z nich: dodaniu nowego *rodzaju* zmiennej.

Wyobraź sobie, że prowadzisz eksperyment, który ma za zadanie zbadać wielkość efektu związanego z podaniem nowego leku losowo wybranej grupie dorosłych pacjentów w porównaniu z podaniem placebo innej grupie losowo wybranych dorosłych pacjentów. Badacze określają taką zmienną (nowy lek kontra placebo) jako **czynnik stały**. Twoim celem jest bowiem wyłącznie porównanie efektów zastosowania konkretnego leku ze skutkami zażycia placebo. Nie traktujesz tego leku jako jednoelementowej próbki z populacji wielu możliwych leków. Twoja uwaga skupia się **stale** na tym leku i tylko na nim.

Wyobraź sobie teraz, że możesz przeprowadzić testy takiego leku w kilku niezależnych laboratoriach. Eksperyment prowadzony przez ekspertów z The Center for Open Science uzmysłowił Ci, że niewielkie różnice w warunkach prowadzenia eksperymentu mogą skutkować całkowicie odmiennymi wnioskami z badania. Zdecydowałeś więc, że powtórzysz badanie w dziesięciu różnych laboratoriach.

Rozumiesz zatem, że możesz uzyskać różne wyniki z każdego z tych laboratoriów. Mogą one być nieistotne statystycznie, ale też mogą znacząco wpłynąć na końcowe wnioski. Co więcej, nie będziesz tak bardzo zaskoczony, gdy okaże się, że kolejne z badań nie są w stanie zreplikować wyników poprzednich.

W tak zdefiniowanym podejściu dwuczynnikowym — efekt działania leku w zależności od laboratorium — Twoja uwaga jest nadal skupiona na badaniu efektów zażycia konkretnego leku w porównaniu z efektem placebo. Ale z założenia (z góry) chciałbyś dodatkowo uogólnić wnioski z takiego badania na dowolne laboratorium (eliminując wpływ czynnika miejscowego). W tym celu traktowałbyś wybrane 10 z nich jako losową próbę pobraną z populacji wszystkich laboratoriów biochemicznych świata. Badacze mówią w tym kontekście o **czynniku losowym**. To, czy daną zmienną traktujesz jako czynnik stały, czy losowy, wpływa bezpośrednio na przebieg badania i sposób interpretacji wniosków. (Więcej miejsca czynnikom stałym i losowym poświęcam w rozdziale 13., „Planowanie eksperymentu a ANOVA”).

W pierwszych latach XX wieku, kiedy używane przez nas po dziś dzień metody analizy statystycznej dopiero powstawały, stosowano je w praktyce głównie w rolnictwie. Badano skuteczność pewnych specyfików czy technik — nawozów, środków owadobójczych, rozplanowania kanałów irygacyjnych itp. — na masową skalę, zatem i uzyskiwane wyniki mierzone były w dużych jednostkach, np. plony liczone w setkach kwintali. Nawet jednak przy tych uwarunkowaniach największe umysły epoki potrafiły zaproponować techniki, które pozwalały uwzględnić efekty tzw. zmiennych uciążliwych.

Badanie wpływu zmiennych uciążliwych — na przykład różnic między laboratoriami — ma sens także i dziś, gdy w ramach prowadzonych badań analizujemy wyniki tak precyzyjnych pomiarów, jak skala penetracji komórek rakowych przez peptydy (w celu zwiększenia efektywności innych środków mających zniszczyć komórki rakowe). Możesz sobie wyobrazić, jak łatwo jest w takiej sytuacji dojść do wniosku o niereplikowalności wyników pewnych badań, gdy znaczenie może mieć  $n$ -ta cyfra po przecinku.

Jak wspomniałem powyżej, dodanie czynnika losowego, takiego jak przypadkowo wybrane laboratorium, zmienia naturę samego eksperymentu i charakter prowadzonych analiz statystycznych. Nadal jednak nie jest to zmiana, którą można by porównać w skutkach do fundamentalnej zmiany w planie eksperymentu. Te dwa obszary, analiza statystyczna i planowanie eksperymentów, są ze sobą ściśle powiązane. Zwracam na to uwagę w rozdziale 13. Chcę Cię jednocześnie zachęcić, byś na zawsze zapamiętał, że nawet niewielka zmiana w planie eksperymentu może mieć daleko idące konsekwencje dla przeprowadzanych analiz i wniosków z nich płynących.

## Uwagi końcowe

W tym rozdziale starałem się zwrócić Twoją uwagę na to, jak różnorodne są przypadki, gdy analiza statystyczna może zwieść Cię na manowce, i w jaki sposób możesz się przed tym obronić. Co więcej, metoda naukowa nakazuje nam kontrolować możliwe przyczyny uzyskania takich, a nie innych wyników eksperymentu, mogących nierzadko wykraczać poza czynniki, które były dla nas faktyczną motywacją do jego przeprowadzenia. Z punktu widzenia planowania eksperymentów faktyczna analiza statystyczna i elementy jej kontroli są w gruncie rzeczy nieistotne. Kontrolowanie wpływu przypadkowości na wnioski z badań jest oczywiście sprawą ważną, niemniej przypadkowość jest tylko jednym z wielu zagrożeń, jakie mogą podważyć trafność (ważność) eksperymentu.

Nie wolno Ci również zapominać, jak ważne jest szczegółowe rozpoznanie narzędzi, które w ogóle pozwalają Ci przeprowadzić jakąkolwiek analizę statystyczną. W drugiej części rozdziału starałem się uczulić Cię na to, jak bardzo musisz mieć się na baczności, by uniknąć pułapek zastawionych przez autorów aplikacji statystycznych, z których korzystasz — bez względu na to, na którą się zdecydowałeś. Dokumentacja oprogramowania do analiz statystycznych bywa uboga, szczególnie gdy ograniczysz się do jej wersji oficjalnej, dostarczanej przez producenta. Wiele potencjalnych pułapek w ogóle jest w niej pomijanych. Twoim najlepszym orężem w tej nierównej walce będzie pozyskanie gruntownej wiedzy z zakresu teorii statystyki uzupełnione o praktyczne eksperymenty z oprogramowaniem — by oswoić się z wszystkimi jego dziwactwami.

Tyle tytułem podsumowania. W kolejnym rozdziale dowiesz się, w jaki sposób wnioskowanie statystyczne w ogólności, a z użyciem Excela w szczególności, pozwala nam potwierdzać istnienie różnic między średnimi w grupach lub mu zaprzeczać.



# Skorowidz

## A

adresowanie  
    bezwzględne, 484  
    względne, 484  
alfa, 181, 275, 295, 427  
algebra macierzowa, 138  
alokacja wariancji, 461  
analiza  
    czynnikiowa, 369  
        modele mieszane, 390  
    danych, 115  
        instalacja, 116  
        wady, 120  
    grup o nierównych liczebnościach, 472  
    kowariancji, 326, 547, 569  
        ekstrapolacja, 591  
        grupy zdeterminowane, 589  
        redukcja obciążenia, 549  
        wielorakiej, 586  
        zmienna objaśniana, 552  
        zmienna towarzysząca, 552  
        zwiększanie mocy statystycznej, 548, 549  
    niezrównoważonych schematów czynnikowych, 490  
    regresji, 122  
        wielorakiej, 455, 489  
    schematu split-plot, 422  
    wariancji, 337, 340, 351, 369, 393, 399, 456, 464  
        dwuczynnikowa bez powtórzeń, 387, 399  
        dwuczynnikowa z powtórzeniami, 373, 401  
        dzielenie wyników, 340  
        jednoczynnikowa, 371, 399, 551  
        porównywanie wariancji, 343  
        raport, 361  
Analysis ToolPak, *Patrz* Analiza danych, 115  
ANCOVA, *Patrz* analiza kowariancji  
ANOVA, *Patrz* analiza wariancji  
aproksymacja rozkładów, 238  
argument  
    funkcji, 54  
    strony, 316  
asymetria, *Patrz* skośność

automatyczne  
    rozszerzanie formuły, 486  
    wyszukiwanie zakresu, 156

## B

badanie  
    interakcji, 371  
    obserwacyjne, 500, 543  
beta, 294, 427  
bloki  
    losowe, 419  
    stałe, 419  
    zrandomizowane, 412  
błąd, 33, 467  
    #N/D!, 504  
    I rodzaju, 181, 275, 427  
    II rodzaju, 294, 427  
    próbkiowania, 243, 550  
    resztowy, 414, 548  
    standardowy, 506  
        dla grup zależnych, 324  
        kontrastu, 362  
        różnicy pomiędzy średnimi, 328  
        średniej, 223, 270–274, 327  
        współczynnika, 524  
    wariancji średniej, 272

## C

centralne  
    rozkłady F, 442  
    twierdzenie graniczne, 233  
charakterystyki rozkładu normalnego, 207  
czynniki  
    główne, 377  
    losowe, 264, 397, 399, 403  
    skrzyżowane, 370, 393  
    stałe, 397  
    uciążliwe, 397  
    zagnieżdżone, 370, 393, 395, 399, 408  
czynnikowa analiza wariancji, 369

**D**

definiowanie  
 hipotezy, 167  
 reguły decyzyjnej, 287  
 dekompozycja QR, 527  
 dobór losowy, 173  
 dodatek  
 Analiza danych, 115  
 Solver, 38, 59  
 dokumentacja Excela, 247  
 dystrybuanta rozkładu F, 449

**E**

efekt  
 skali, 123  
 Yule'a i Simpsona, 196  
 efekty  
 główne, 423  
 międzyblokowe, 421  
 wewnątrzblokowe, 421  
 eksperyment, 393  
 czynnikowy, 369  
 ekstrapolacja, 591  
 elementy niezależne, 175  
 estymator, 98

**F**

filtr zaawansowany, 152  
 format komórki, 58  
 formuły, 54, 56  
 automatyczne  
 kopiowanie, 174  
 rozszerzanie, 486  
 Inspekcja formuł, 58  
 Pokaż formuły, 58  
 ponowne wyliczanie, 79  
 Szacowanie formuły, 77  
 tablicowe, 75  
 Ctrl+Shift+Enter, 42  
 zliczanie wartości, 74  
 funkcja, 54  
 CHI.TEST(), 189, 193, 203  
 CZĘSTOŚĆ(), 41, 55, 151  
 gęstości dla niecentralnego rozkładu F, 447  
 gęstości prawdopodobieństwa, 446

gęstości rozkładu, 37  
 gęstości w punkcie  
 rozkład chi-kwadrat, 446  
 rozkład F-Snedecora, 447  
 rozkład t-Studenta, 446  
 standardowy rozkład normalny, 446  
 ILE.LICZB(), 54  
 KOMBINACJE(), 236  
 KOWARIANCJA.POPUL(), 108  
 KOWARIANCJA.PRÓBK(I), 108  
 KURTOZA(), 212  
 LOG(), 38  
 MACIERZ.ILOCZYN(), 139, 364  
 MEDIANA(), 65  
 NACHYLENIE(), 129  
 ODCH.KWADRATOWE(), 521  
 ODCH.STAND.POPUL(), 93, 100  
 ODCH.STANDARD.POPUL(), 100  
 ODCH.STANDARD.POPUL.A(), 100  
 ODCH.STANDARD.PRÓBK(I), 100  
 ODCH.STANDARDOWE(), 91, 100  
 ODCH.STANDARDOWE.A(), 100  
 ODCIĘTA(), 129  
 PEARSON(), 106  
 PIERWIASTEK(), 38, 93  
 POTĘGA(), 38  
 PRÓG.ROZKŁAD.DWUM(), 183  
 R.KWADRAT(), 485  
 REGLINP(), 129, 134, 504, 511, 527, 554, 569, 572  
 błędy standardowe, 506  
 działanie, 512  
 statystyki diagnostyczne, 539  
 wiersz wyników, 508  
 współczynnik R2, 536, 540  
 współczynniki regresji, 505, 514, 517  
 współliniowość, 525  
 wyraz wolny, 506, 531  
 REGLINW(), 126–132, 479, 482, 520  
 regresji, 129  
 ROZKŁ.CHI(), 193, 199  
 ROZKŁ.CHI.ODWR(), 193, 199  
 argumenty, 202  
 ROZKŁ.CHI.ODWR.PS(), 202  
 ROZKŁ.CHI.PS(), 200  
 ROZKŁ.DWUM(), 168, 170, 183  
 argumenty, 177  
 ROZKŁ.DWUM.ODWR(), 177, 183  
 ROZKŁ.F(), 257  
 argumenty, 352



ROZKŁ.F.ODWR(), 353, 583  
 ROZKŁ.F.PS(), 256, 257, 352  
 ROZKŁ.NORMALNY(), 214, 276  
   argumenty, 214  
 ROZKŁ.NORMALNY.ODWR(), 216, 290  
 ROZKŁ.NORMALNY.S(), 218  
 ROZKŁ.NORMALNY.S.ODWR(), 219  
 ROZKŁ.T(), 293, 300, 310  
 ROZKŁ.T.ODWR(), 300, 307  
 ROZKŁAD.CHI(), 200  
   argumenty, 200  
 ROZKŁAD.CHI.ODW(), 202  
 ROZKŁAD.F(), 353  
 ROZKŁAD.F.ODW(), 353  
 ROZKŁAD.NORMALNY(), 280  
 ROZKŁAD.NORMALNY.S(), 280  
 SKOŚNOŚĆ(), 38  
 SUMA(), 54  
 SUMA.ILOCZYNÓW(), 364  
 ŚREDNIA(), 53  
 T.TEST(), 311, 328  
   argument strony, 316  
   argument typ, 322, 329  
   identyfikacja tablic, 316  
   interpretacja wyniku, 317  
   składnia, 315  
 TEST.CHI(), 199, 203  
 TRANSPONUJ(), 140, 364, 515  
 UFNOŚĆ(), 226  
 UFNOŚĆ.NORM(), 226, 227  
   argumenty, 228  
 UFNOŚĆ.T(), 229  
 WARIANCJA(), 91, 101  
 WARIANCJA.A(), 101  
 WARIANCJA.POP(), 101  
 WARIANCJA.POPUL(), 101  
 WARIANCJA.POPUL.A(), 101  
 WARIANCJA.PRÓBK(I), 101  
 WIERSZ(), 236  
 WSP.KORELACJI(), 105, 111, 112  
 WYST.NAJCZĘŚCIEJ(), 67, 70  
 WYSZUKAJ.PIONOWO(), 469  
 ZAOKR(), 235

## funkcje

argumenty, 54  
 zwracanie wyniku, 56

**G**

generowanie liczb losowych, 175  
 grupa, 41  
 grupowanie  
   funkcja CZĘSTOŚĆ(), 41  
   tabela przestawna, 45  
 grupy zdeterminowane, 589

**H**

hipoteza, 167  
   alternatywna, 167, 181  
   badawcza, 269  
   dwustronna, 258, 261, 300  
   jednostronna, 258, 300  
   dobieranie funkcji, 302  
   kierunkowa, 258, 261  
   testowanie, 232  
   weryfikacja, 181, 300  
   zerowa, 167, 181, 269  
   odrzućcie, 292  
 histogram, 148, 154

**I**

indeks tabeli przestawnej, 205  
 instalowanie dodatku  
   Analiza danych, 116  
   Solver, 60  
 interakcja, 371, 376, 423  
   istotność statystyczna, 377  
   obliczanie, 379  
   między czynnikami a blokami, 413, 425  
 istotność, 19  
   statystyczna interakcji, 377

**J**

język VBA, 50

**K**

klasa, 41  
 klasyfikacje niezależne, 189  
 kodowanie  
   ortogonalne, 461  
   z życiem zmiennych sztucznych, 461

kombinacja liniowa, 133  
 konstruowanie  
   przedziału ufności, 221  
   rozkładu liczebności, 45  
 kontrasty  
   ortogonalne, 366  
   planowane, 584  
 kontrola  
   ryzyka, 428  
   statystyczna, 476  
 kopiowanie formuły, 174  
 korekta  
   średnich dla grup, 555  
   średniego kwadratu reszt, 580  
 korelacja, 103, 111, 116, 327, 500  
   cząstkowa, 477  
   dodatnia, 104  
   kierunek efektu, 121  
   przyczynowość, 120  
   semicząstkowa, 476, 479, 484  
   stosowanie, 122  
   trzecia zmienna, 120  
   ujemna, 104  
   współczynnik, 105  
 koszt zadanego poziomu  $\alpha$ , 435  
 kowariancja, 107, 109, 114, 136  
   bezwymiarowa, 123  
   wieloraka, 586  
 krzywa normalna, 37  
 kurtoza, 210  
   obliczanie, 211  
 kwadraty współczynników korelacji semicząstkowej, 479

## L

liczba stopni swobody, 97, 453, 511  
 liczebności  
   nierówne grup, 357, 384, 472, 540, 543  
   obserwowane, 194  
   oczekiwane, 194  
 liczebność próby, 84  
   optymalizacja, 450  
   zmiana, 429  
 linia  
   regresji, 122, 124  
   trendu, 32, 108  
 lista, 22, 24, 164  
 losowanie próby, 173

## M

macierz  
   korelacji, 119, 491  
   SSCP, 515, 524  
     odwrotna, 516  
    $X'X$ , 527  
 mediana, 51, 159  
   obliczanie, 64  
 metoda  
   najmniejszych kwadratów, 33, 196  
   największej wiarygodności, 196  
   Scheffégo, 579  
 mierzenie rozproszenia, 82  
 moc statystyczna, 292, 418, 427  
   obliczanie, 436  
   testów t, 433  
   testu F, 390, 448, 555  
   wizualizacja, 335, 429  
   zwiększanie, 451  
 modele mieszane, 390, 398, 406

## N

nachylenie linii regresji, 566  
 nadużywanie danych, 368  
 najmniejsze kwadraty, 58, 62  
 narzędzia  
   analityczne, 115  
   do testów t, 329  
 narzędzie  
   Analiza wariancji  
     dwuczynnikowa bez powtórzeń, 387  
     dwuczynnikowa z powtórzeniami, 373  
     jednoczynnikowa, 371, 551  
   Korelacja, 115, 117  
   Polecane wykresy, 25  
   Regresja, 135, 472  
   Solver, 59  
   Statystyka opisowa, 230  
   Szacowanie formuły, 77  
   Test F, 249, 253, 254  
 niecentralne rozkłady F, 391, 444  
 nierówne wariancje grup, 313  
 niezależność  
   elementów, 175  
   klasyfikacji, 189  
   obserwacji, 323  
   zdarzeń, 187  
 normalność rozkładów, 322

**O**

obciążoność estymatora, 98  
obliczanie  
  błędu standardowego, 305  
  efektu interakcji, 379  
  funkcji gęstości  
    dla niecentralnego rozkładu F, 447  
    w punkcie, 446  
  kurtozy, 211  
  mediany, 64  
  mocy testu, 436, 448  
  oczekiwanych częstości, 204  
  odchylenia standardowego, 91  
  planowanych kontrastów ortogonalnych, 367  
  prawdopodobieństwa, 328  
  prawdopodobieństwa skumulowanego, 214  
  przedziału ufności, 230  
  skorygowanych średnich, 557  
  skośności, 209  
  statystyki t, 306, 328  
  sumy kwadratów, 463  
  sumy kwadratów odchyień, 303  
  średniej arytmetycznej, 53  
  wariancji, 91  
  wariancji sumarycznej, 304  
  wartości modalnej, 67  
  współczynnika korelacji, 105  
  współczynników regresji, 517  
obserwacje  
  odstające, 160  
  niezależne, 323  
oczekiwane  
  częstości, 204  
  liczebności, 194  
odchylenie, 519  
  ćwiartkowe, 86  
  standardowe, 87, 89, 273  
  funkcje, 100  
  obliczanie, 91  
odrzućcie hipotezy zerowej, 292  
odstęp międzykwartylowy, 85, 159  
odwołanie  
  bezwzględne, 487  
  mieszane, 487  
  względne, 487  
ogólny iloczyn wektorowy, 576  
określanie  
  poziomu  $\alpha$ , 275  
  wartości przedziałowych, 28

optymalizacja liczebności próby, 450

oś

  kategorii, 142, 144, 146  
  wartości, 142

**P**

paradoks

  hazardzisty, 187  
  Simpsona, 198

parametr niecentralności, 391, 441, 446

parametry populacji, 95

pasek

  formuły, 57  
  stanu, 63

Pearson Karl, 106

planowane kontrasty ortogonalne, 365

populacja

  parametry, 95

porównania wielokrotne, 358, 578

poziom

  istotności statystycznej  $\alpha$ , 181, 275, 295, 427  
  ufności, 222, 232

prawdopodobieństwo, 187

  skumulowane, 214, 338

  w rozkładzie dwumianowym, 175

predyktor, 131, 140, 389

  kombinacja liniowa, 133

problem Behrensa-Fishera, 358

procedura

  kontrolna, 425  
  Scheffégo, 360

prognozowanie wartości, 127

przeciętna, 53

przedział, 41

  ufności, 220

  funkcje arkusza, 225

  konstruowanie, 221

  narzędzie Statystyka opisowa, 230

  obliczenia, 230

**R**

regresja, 122, 129, 135, 464, 474

  logistyczna, 195

  szacowanie wariancji, 466

  wieloraka, 131, 136, 138, 456, 461, 489, 490

reguła decyzyjna, 287

rekodowanie zmiennych, 455–459, 467, 469, 474, 569, 575, 576

- kody grup, 459
- liczba wektorów, 459
- nominalnych, 489
- sposoby kodowania, 461

rekord, 22

replikowalność badań, 262

reszta, 33

reszty regresji, 483, 520

rozkład

- chi-kwadrat, 190, 446
- dwumianowy, 168
  - wzór na prawdopodobieństwo, 175
- F, 355
  - centralny, 442
  - niecentralny, 444
  - parametr niecentralności, 441
  - wartość dystrybuanty, 449
- F-Snedecora, 355, 443, 447
- liczebności, 33
  - dotatnio skośny, 35
  - na podstawie próby, 40
  - symulowany, 49
  - ujemnie skośny, 36
  - w tabeli przestawnej, 45
- normalny, 37, 88, 207
  - centralne twierdzenie graniczne, 233
  - charakterystyki, 207
  - funkcje arkusza, 214
  - kurtoza, 210
  - przedział ufności, 220
  - skośność, 208
  - standaryzowany, 213
- próbkiowania, 167, 181
- q, 360
- t-Studenta, 229, 302, 446

rozmiar próby, 438

rozproszenie, 58, 82
 

- w grupach, 327

rozrzut, 81

rozszerzenie, 82, 84
 

- studentyzowany, 360

równanie regresji, 133, 134

różnica między średnimi, 431, 432

ryzyko, 428

## S

schemat

- czynnikowy, 474
  - skrzyżowany, 395
  - split-plot, 420
- niezrównoważony
  - kolejność zmiennych, 497
  - zmiennie nieskorelowane, 491
  - zmiennie skorelowane, 493
- zrównoważony
  - kolejność zmiennych, 494
- eksperymentalny, 500

serie danych, 156

skale

- ilorazowe, 28
- liczbowe, 27
- nominalne, 25
- pomiarowe, 25
- porządkowe, 28
- przedziałowe, 28

skorygowane średnie grup, 567, 575

skośność, 160, 208
 

- dotatnia, 35, 158
- obliczanie, 209
- ujemna, 36, 157

Solver, 38, 59
 

- instalacja, 60

split-plot, 420
 

- analiza schematu, 422
- tworzenie schematu, 420

SSE, 519, 521

SSR, 519, 521

SST, 521

stała wygładzania, 247

standardowy
 

- błąd szacunku, 522
- rozkład normalny, 446

standaryzowany rozkład normalny, 213

statystyka, 95
 

- diagnostyczna regresji, 521
- F, 249, 403, 442
  - a wartość krytyczna, 351
  - dla czynnika zagnieżdżającego, 411
  - dla regresji, 523
  - z próby, 349
- opisowa, 20, 37, 230
- studentyzowanego rozstępu, 359
- $\chi^2$ , 190

stopnie swobody, 97, 312  
 pomiędzy grupami, 581  
 suma kwadratów  
 dla regresji, 518–521  
 odchyień, 452  
 pomiędzy grupami, 342, 345, 465  
 reszt, 518, 525  
 wewnątrz grup, 342, 343, 465  
 symetria połączona, 387  
 szacowanie  
 funkcji regresji, 129  
 wariancji, 464  
 za pomocą regresji, 466  
 Szybka analiza, 24

## Ś

średni  
 błąd kwadratowy, 467  
 kwadrat reszt, 580  
 współczynnik regresji, 558, 560  
 średnia  
 arytmetyczna, 51, 53  
 dla grupy  
 eksperymentalnej, 319  
 kontrolnej, 319  
 skorygowana, 557, 575  
 średnie odchylenie, 95

## T

tabela, 23  
 kontyngencji, 163, 185, 193  
 przestawna, 23  
 dwuwymiarowa, 183  
 jednowymiarowa, 163  
 problem etykiet, 234  
 tworzenie, 45  
 wyświetlanie indeksu, 205  
 zliczanie obiektów, 148  
 tendencja centralna, 80  
 test statystyczny, 167, 275  
 dwustronny, 320, 428, 434  
 F, 249, 348, 404  
 liczba stopni swobody, 511  
 z dwiema próbami dla wariancji, 249  
 jednostronny, 319, 428, 437  
 Newmana-Keulsa, 360

t, 285, 329  
 dla grup zależnych, 313, 439  
 nierówne wariancje, 333  
 równe wariancje, 330  
 unikanie, 336  
 wariancje grupowe, 329  
 wartość krytyczna, 290  
 wielokrotny, 338  
 z, 270  
 wartość krytyczna, 289  
 testowanie  
 hipotez, 232  
 różnic pomiędzy średnimi, 267, 299, 337  
 średnich, 268  
 średniego współczynnika regresji, 560  
 trafność wewnętrzna  
 plan próbkowania, 241  
 zagrożenia, 243  
 transpozycja macierzy, 515  
 trend, 108  
 tworzenie  
 kombinacji liniowej, 133  
 symulowanych rozkładów liczebności, 49  
 tabeli przestawnej, 45  
 wykresów, 29, 141, 277, 281

## U

uchwyt zaznaczania, 486  
 układ  
 danych, 402  
 dla schematu zagnieżdżonego, 409  
 hierarchiczny, 409  
 usuwanie  
 efektów skali, 123  
 obciążenia, 563

## W

wariancja, 89, 91, 95  
 analiza czynnikowa, 369  
 analiza dwuczynnikowa, 373  
 bez powtórzeń, 399  
 z powtórzeniami, 401  
 analiza jednoczynnikowa, 371, 399  
 błędu, 467  
 funkcje, 101  
 niedoszacowanie, 96

- wariancja
  - obliczanie, 91
  - porównywanie, 343
  - suma kwadratów
    - między grupami, 345
    - wewnątrz grup, 343
  - szacowanie, 464
  - udziały, 499
- wariancje
  - grupowe, 329
  - międzygrupowe, 442
  - nierówne, 333
  - równe, 330
  - wewnątrzgrupowe, 442
  - współdzielone, 462
- wartość, 22, 26
  - krytyczna, 453
    - dla testu t, 290
    - dla testu z, 289
  - modalna, 72
    - formuła, 73
    - obliczanie, 67
  - oczekiwana, 405
  - standaryzowana, 88
- wartości
  - porównywanie, 291, 310
  - wyznaczenie, 307
- wektor, 458
  - interakcji, 492
- weryfikacja hipotez, 181, 300
- wielokrotne porównania, 578
- wieloraki R<sup>2</sup>, 137
- wizualizacja mocy testu, 429
- wnioskowanie statystyczne, 20, 38
  - zagrożenia trafności wewnętrznej, 243
  - założenia, 173
  - zapewnienie trafności wewnętrznej, 241
- współczynnik
  - determinacji, 137
  - kontrastu, 362
  - korelacji, 105, 111, 492
    - semicząstkowej, 477, 478, 484
    - wyznaczanie, 105
  - R<sup>2</sup>, 536, 540
  - regresji, 505, 514, 558
    - testowanie, 560
  - tłumienia, 248
  - współliniowość, 140
  - Wstaw wykres kolumnowy, 25
  - wykres, 31, 141, 277
    - kolumnowy, 142
    - przystawny, 23, 149
    - pudełkowy, 157
    - punktowy, *Patrz* wykres XY
    - słupkowy, 27
    - XY, 31, 143
  - wykresy
    - osie, 142
    - oś kategorii, 146
    - tworzenie, 277, 281
    - wartości liczbowe, 146
    - właściwości osi, 145
    - zakresy danych wejściowych, 278
  - wyświetlanie indeksu tabeli przestawnej, 205
  - wyznaczanie kwadratów współczynników korelacji
    - semicząstkowej, 484

## Z

- zaawansowany filtr, 152
- Zakres
  - wejściowy, 118
  - wyjściowy, 118
- założenia
  - dobór losowy, 173
  - niezależność elementów, 175
- zapisywanie danych, 22
- zdarzenia niezależne, 187
- zliczanie próby losowej, 40
- zmiana liczebności próby, 429
- zmienna objaśniająca, *Patrz* predyktor
- zmiennie, 22
  - ilościowe, 27
  - nieskorelowane, 491
  - nominalne, 27, 163
  - skorelowane, 493
  - towarzyszące, 547, 551, 586, 587
  - wskaźnikowe, 458
- zmiennosc, 85
  - międzyblokowa, 424
  - międzygrupowa, 442
  - wewnątrzgrupowa, 442
  - współdzielona, 136, 138
- zwiększanie mocy statystycznej, 549

# 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>



# ANALIZA STATYSTYCZNA: Z EXCELEM TO ŁATWE!

Microsoft Excel jest naprawdę wszechstronnym narzędziem. Umożliwia tworzenie raportów, inteligentnych modeli, a także prowadzenie złożonych analiz statystycznych. Profesjonaliści badacze, studenci i biznesmeni, którzy zajmują się analizą danych i statystyką, właśnie Excela traktują jako ulubione narzędzie pracy. Osiągnięcie biegłości w posługiwaniu się nim wymaga odrobiny wysiłku, jednak zdobyta w ten sposób wiedza okazuje się bardzo przydatna!

Niniejsza książka jest praktycznym przewodnikiem po analizie statystycznej i funkcjach statystycznych Excela. Dzięki licznym przykładom nauczysz się dobrać właściwe narzędzia do rozwiązania konkretnego problemu. Dowiesz się, jak korzystać z korelacji, regresji oraz analizy wariancji i kowariancji. Zastosujesz Excela do testowania hipotez statystycznych z zastosowaniem rozkładów normalnych, dwumianowych, t-Studenta i F-Snedecora. Zapoznasz się ze znaczeniem najważniejszych pojęć statystycznych i unikniesz typowych błędów. W tym wydaniu książki uwzględniono nowe funkcje, które pojawiły się w Excelu 2016. Dowiesz się, do czego służą i jak je można wykorzystać.

## Najważniejsze zagadnienia ujęte w książce:

- podstawowe pojęcia w statystyce, statystyce opisowej i wnioskowaniu statystycznym
- ważniejsze funkcje statystyczne Excela
- testy z, testy *t* i dodatek *Analiza danych Excela*
- histogramy i wykresy w Excelu
- analiza wariancji i kowariancji oraz metody regresji

**Conrad Carlberg** jest uznanym autorytetem w dziedzinie statystyki i analizy danych. Doskonale zna takie aplikacje jak MS Excel, SAS i Oracle. Wielokrotnie otrzymywał nagrodę MVP. Od ponad 20 lat doradza firmom, które chcą podejmować decyzje biznesowe na podstawie analizy danych. Z radością pisze o tych technikach, ze szczególnym upodobaniem dzieląc się swoją ogromną wiedzą o MS Excelu, którego uważa za najpopularniejszy w świecie program do analiz numerycznych.

**Helion** 

 [helion.pl](http://helion.pl)

 **HELION SA**  
ul. Kościuszki 1c  
44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
helion@helion.pl

Sprawdź nasze szkolenia

**SZKOLENIA**



AKADEMIA IT & BUSINESS

[WWW.SZKOLENIA.HELION.PL](http://WWW.SZKOLENIA.HELION.PL)

KOD KORZYŚCI  
Ślepnij po więcej! ▶



ISBN 978-83-283-4467-9



9 788328 344679

INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU

Cena: 89,00 zł

 **Pearson**