

Spis treści

Przedmowa	XI
Rozdział 1. Pomiar: jednostki miar	1
1.1. Wielkości fizyczne i pozafizyczne	1
1.2. Spójne układy miar. Układ SI i jego jednostki podstawowe	3
1.3. Jednostki pochodne układu SI	5
1.4. Jednostki wielokrotne	8
1.5. Jednostki pozaukładowe.	10
1.6. Przepisy prawne dotyczące jednostek miar.	12
1.7. Obliczenia z udziałem jednostek	14
Rozdział 2. Pomiar: liczby i obliczenia liczbowe	16
2.1. Nieciągła natura liczb uzyskiwanych w pomiarach. Rozdzielczość	16
2.2. Cyfry znaczące i nieznaczące	19
2.3. Obliczenia na liczbach pochodzących z pomiaru.	19
2.4. Zastosowanie kalkulatorów	20
2.5. Komputer	21
Rozdział 3. Błąd i niepewność pomiaru	26
3.1. Błąd pomiaru	26
3.2. Klasyczna klasyfikacja rodzajów błędu pomiaru	27
3.3. Wartości odstające.	30
3.4. Sposoby teoretycznego opisu błędu pomiaru	30
3.5. Opis niedokładności pomiaru przyjęty w konwencji GUM	33
3.6. Definicja, oznaczenia i zapis niepewności standardowej	34
Rozdział 4. Statystyczna ocena niepewności pomiaru (ocena typu A)	36
4.1. Opracowanie pomiaru powtarzanego	36
4.2. Dokładność statystycznej oceny niepewności	39
4.3. Inne przypadki oceny typu A	40

Rozdział 5. Alternatywne metody statystycznej oceny niepewności 42

5.1. Założenia standardowej oceny niepewności typu A i ich zaprzeczenia	42
5.2. Jednoczesne występowanie błędu przypadkowego i systematycznego	44
5.3. Pomiary nierównoważne. Średnia ważona	45
5.4. Obserwacje samoskorelowane	48
5.5. Dane z wartościami odstającymi	51
5.6. Pomiar powtarzany w teorii interwałowej	58

Rozdział 6. Ocena niepewności metodami typu B 59

6.1. Mierniki cyfrowe i analogowe	59
6.2. Zamiana niepewności granicznej na niepewność standardową	62
6.3. Wykorzystanie informacji z pomiarów poprzednich	63
6.4. Niepewność średniej liczby zdarzeń przypadkowych	64
6.5. Subiektywna ocena dokładności pomiaru	67

Rozdział 7. Pomiar pośredni. Prawo propagacji niepewności 68

7.1. Matematyczny model pomiaru	68
7.2. Propagacja niepewności dla funkcji jednej zmiennej	71
7.3. Prawo propagacji niepewności	72
7.4. Propagacja niepewności względnych	74
7.5. Skorelowane wielkości wejściowe	77
7.6. Uwagi końcowe	78

Rozdział 8. Niepewność rozszerzona 79

8.1. Obliczanie i zapis niepewności rozszerzonej. Współczynnik rozszerzenia	79
8.2. Porównanie wyniku pomiaru z wartością dokładną lub wartością graniczną	81
8.3. Zgodność wyników dwóch pomiarów	83
8.4. Statystyczny przedział objęcia: pojedynczy pomiar powtarzany	84
8.5. Statystyczny przedział objęcia dla niepewności złożonej	86
8.6. Badanie zgodności jako test statystyczny	89

Rozdział 9. Wykresy zależności funkcyjnych 91

9.1. Układ współrzędnych	91
9.2. Punkty doświadczalne	94
9.3. Krzywa interpretująca wyniki eksperymentu	95
9.4. Histogram	98
9.5. Uwagi końcowe	99

Rozdział 10. Dopasowanie prostej do zbioru punktów doświadczalnych 100

10.1. Metoda graficzna	100
10.2. Metoda najmniejszych kwadratów	101
10.3. Niepewności parametrów prostej	104

10.4. Prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych	105
10.5. Sprowadzanie nieliniowych zależności funkcyjnych do równania prostej	106
10.6. Wpływ błędów grubych i systematycznych na dopasowanie prostej	108

Rozdział 11. Zasada największej wiarygodności i metoda najmniejszych kwadratów

11.1. Zasada największej wiarygodności	110
11.2. Wyprowadzenie metody najmniejszych kwadratów	112
11.3. Przegląd odmian metody najmniejszych kwadratów	113
11.4. Parametry dopasowania jako estymatory. Twierdzenie Gaussa-Markowa	114
11.5. Statystyczne właściwości minimum sumy kwadratów reszt	115
11.6. Opracowanie pomiaru powtarzanego jako dopasowanie funkcji stałej	116

Rozdział 12. Zaawansowane zagadnienia dopasowania prostej metodą najmniejszych kwadratów

12.1. Macierzowy zapis algorytmu obliczania parametrów prostej	118
12.2. Niepewności parametrów prostej	121
12.3. Korelacja między wartościami parametrów	123
12.4. Ustalenie jednego z parametrów dopasowania	125
12.5. Wykorzystanie środka ciężkości punktów eksperymentalnych	126
12.6. Dopasowana prosta jako prosta cechowania	130
12.7. Niezerowa niepewność pomiaru dla obydwu zmiennych	133
12.8. Współczynnik korelacji między zmiennymi, a dopasowanie prostej	133

Rozdział 13. Liniowa metoda najmniejszych kwadratów. Dopasowanie wielomianu

13.1. Macierzowy formalizm metody	135
13.2. Problem jednoznaczności i numerycznej stabilności rozwiązania	136
13.3. Dopasowanie wielomianu	137
13.4. Wielomiany ortogonalne	141
13.5. Interpolacja i ekstrapolacja z wykorzystaniem wielomianu	142
13.6. Styczna do krzywej eksperymentalnej	144
13.7. Inne warianty liniowej metody najmniejszych kwadratów	146

Rozdział 14. Nieliniowa metoda najmniejszych kwadratów

14.1. Funkcja kryterialna: okolica minimum i obraz globalny	148
14.2. Wybrane metody poszukiwania minimum	150
14.3. Niepewności parametrów dopasowania	154
14.4. Metoda częściowej linearyzacja funkcji	158

Rozdział 15. Badanie jakości dopasowania

15.1. Wykresy reszt dopasowania	159
15.2. Statystyczne testy zgodności	164

15.3. Testowanie istotności modelu	168
15.4. Samoskorelowany ciąg reszt	171
15.5. Rozkład prawdopodobieństwa reszt dopasowania	172

Rozdział 16. Alternatywne metody dopasowania prostej i innych funkcji 178

16.1. Samoskorelowane dane wejściowe	178
16.2. Jeszcze o metodzie graficznej.	181
16.4. Metody dopasowania funkcji wykorzystujące estymatory typu M	184
16.5. Metoda najmniejszej mediany kwadratów	185

Rozdział 17. Zastosowanie metody Monte Carlo 188

17.1. Liczby losowe i ich zastosowanie do modelowania błędu pomiaru	188
17.2. Pomiar pośredni: propagacja rozkładów	191
17.3. Zastosowania modelowania MC w zagadnieniach dopasowywania funkcji.	194
17.4. Metody bootstrapowe	195
17.5. Inne zastosowania modelowania MC w analizie danych	195

Dodatek A. Zmienna losowa 196

A1. Dyskretna i ciągła zmienna losowa	196
A2. Parametry zmiennej losowej	198
A3. Suma oraz kombinacja liniowa zmiennych losowych	202
A4. Centralne twierdzenie graniczne	203

Dodatek B. Estymatory 205

B1. Elementarny przykład i terminologia	205
B2. Estymator jako zmienna losowa	206
B3. Właściwości estymatorów	206
B4. Statystyczne właściwości średniej arytmetycznej	207
B5. Estymatory wariancji	208
B6. Estymatory odchylenia standardowego	212
B7. Estymowanie przedziału objęcia	214
B8. Teoria estymacji jako dział statystyki matematycznej	216

Dodatek C. Rozkład Poissona 218

Dodatek D. Testowanie hipotez statystycznych 220

D1. Podstawowe pojęcia związane z testem statystycznym	220
D2. Przykład kostki do gry	222
D3. Praktyczna realizacja testów. Prawdopodobieństwo testowe	223
D4. Uwagi końcowe	223

Dodatek E. Zmienne losowe skorelowane i samoskorelowane 225

E1. Definicja i opis zmiennych statystycznie zależnych	225
E2. Kowariancja i współczynnik korelacji. Zmienne losowe skorelowane	226
E3. Suma i kombinacja liniowa zmiennych skorelowanych	228
E4. Skorelowane zmienne o rozkładzie normalnym	229
E5. Samoskorelowana próba losowa i metody jej opisu	230
E6. Funkcja autokorelacji.	233
E7. Estymatory położenia i skali, funkcja autokorelacji znana a priori	235
E8. Przypadek funkcji autokorelacji estymowanej z danych	239

Dodatek F. Statystyka odpornościowa 242

F1. Geneza statystyki odpornościowej	242
F2. Modelowe funkcje rozkładu o wolno zanikających ogonach	244
F3. Przykłady nieodpornych i odpornych estymatorów położenia	246
F4. Estymatory skali	248
F5. Właściwości estymatorów odpornych	250
F6. Estymatory typu M	252
F7. Metoda iteratywnie ważonych najmniejszych kwadratów	255
F8. Uwagi końcowe.	256

Dodatek D. Powstanie i rozwój konwencji GUM 257

G1. Powstanie <i>Przewodnika</i>	257
G2. Rozwój konwencji GUM po 1995 roku	259
G3. Znaczenie konwencji	259

Dodatek H. Struktura logiczna i *excepta* układu SI 261

H1. Wybór wielkości podstawowych	261
H2. Stała magnetyczna i elektryczna	262
H3. Temperatura w układzie SI	263
H4. Zasady tworzenia jednostek wielokrotnych	264
H5. Wielkości pozafizyczne w układzie SI	264

Dodatek I. Kwantowy układ SI 266

I1. Sformułowanie nowych podstaw układu SI	266
I2. Kwantowe wzorce wielkości elektrycznych	267
I3. Problem odtwarzalnego wzorca masy	268
I4. Perspektywy przyjęcia zmian w układzie SI	269

Literatura 271

Wykaz przykładów 279

Skorowidz polsko-angielsko-matematyczny 281