

# SPIS TREŚCI

Przedmowa.....	9
Stosowane symbole.....	11
1. PODSTAWY PLANOWANIA EKSPERYMENTÓW.....	13
1.1. Wstęp.....	13
1.2. Pojęcia podstawowe .....	14
1.3. Cele eksperymentu .....	18
1.3.1. Selekcja zmiennych niezależnych.....	20
1.3.2. Identyfikacja modelu matematycznego.....	21
1.3.3. Optymalizacja .....	26
1.4. Organizacja i realizacja eksperymentu.....	28
1.4.1. Sformułowanie problemu badawczego.....	28
1.4.1.1. Cel eksperymentu, analiza warunków i środków .....	28
1.4.1.2. Struktura procesu, wybór i klasyfikacja zmiennych – „czarna skrzynka” .....	29
1.4.1.3. Dobór zakresu zmiennych, ograniczenia i obszar eksperymentu.....	31
1.4.2. Wybór, przygotowanie i wykonanie planu eksperymentu .....	32
1.4.2.1. Plany selekcji zmiennych .....	33
1.4.2.2. Plany czynnikowe, całkowite i ułamkowe (typu $2^k$ i $2^{k-p}$ ) .....	34
1.4.2.3. Plany kompozycyjne drugiego stopnia.....	35
1.4.2.4. Metoda simpleksów.....	35
1.4.2.5. Metoda największego spadku (gradientowa Boxa-Wilsona) .....	38
1.4.3. Opracowanie wyników planu eksperymentu .....	39
1.4.3.1. Liniowa regresja wielokrotna .....	39
1.4.3.2. Selekcja zmiennych niezależnych .....	41
1.4.3.3. Identyfikacja modelu na postawie planu czynnikowego typu $2^k$ lub $2^{k-p}$ ..	42
1.4.3.4. Identyfikacja modelu na podstawie planu rotatabilnego .....	44
1.4.3.5. Identyfikacja modelu na podstawie wyników bezplanowych .....	46
1.4.3.6. Optymalizacja.....	46
1.4.4. Ocena uzyskanych wyników – testowanie hipotez statystycznych .....	49
1.4.4.1. Wariancja powtarzalności.....	49
1.4.4.2. Wariancja resztkowa.....	49
1.4.4.3. Wariancja współczynników równania regresji i prognozowanej wartości $\hat{y}$ .....	50
1.4.4.4. Wariancja adekwatności .....	51
1.4.4.5. Testowanie istotności równania regresji.....	51
1.4.4.6. Testowanie istotności współczynników równania regresji, $b_i$ .....	51
1.4.4.7. Badanie adekwatności modelu .....	52
1.4.5. Wyciąganie wniosków i podejmowanie decyzji .....	53

1.5.	Przykład – optymalizacja syntezy kwasu dibenzoilowinowego (KDBW) .....	54
	Sformułowanie problemu (por. p. 1.4.1).....	54
	Wybór, przygotowanie i wykonanie planu eksperymentu (por. p. 1.4.2) .....	57
	Opracowanie i ocena wyników (por. p. 1.4.3 i 1.4.4) .....	58
	Wyciągnięcie wniosków i podjęcie decyzji (por. p. 1.4.5) .....	67
2.	<b>WYBRANE ALGORYTMY .....</b>	69
2.1.	Uwagi wstępne.....	69
2.2.	MS Excel.....	70
2.2.1.	Wprowadzenie danych.....	71
2.2.2.	Funkcje .....	71
2.2.3.	Definiowanie tablic.....	72
2.2.4.	Szacowanie współczynników równania regresji .....	73
2.3.	Mathcad.....	74
	<b>Algorytm P1: Zmienne naturalne i kodowane .....</b>	75
P1.1.	Wstęp .....	75
P1.2.	Plan eksperymentu (zmienne naturalne).....	75
P1.3.	Zmienne kodowane .....	76
P1.4.	Plan eksperymentu (zmienne kodowane) .....	77
	<b>Algorytm P2: Plan Placketta-Burmana .....</b>	78
P2.1.	Wstęp .....	78
P2.2.	Tworzenie planu Placketta-Burmana .....	79
P2.3.	Opracowanie wyników doświadczeń.....	80
P2.4.	Przykład – rozwiązywanie ogólne .....	82
P2.5.	Przykład – zastosowanie MS Excel .....	83
P2.6.	Przykład – zastosowanie programu Mathcad.....	85
	<b>Algorytm P3: Tworzenie planów czynnikowych typu <math>2^k</math> .....</b>	87
P3.1.	Wstęp .....	87
P3.2.	Całkowity plan czynnikowy typu $2^2$ .....	87
P3.3.	Całkowite plany czynnikowe typu $2^k$ .....	88
P3.4.	Rozszerzone plany czynnikowe typu $2^k$ .....	89
P3.5.	Właściwości całkowitego planu czynnikowego (zmienne kodowane).....	90
P3.6.	Przykład .....	90
	<b>Algorytm P4: Tworzenie ułamkowych planów czynnikowych typu <math>2^{k-p}</math> .....</b>	92
P4.1.	Wstęp .....	92
P4.2.	Tworzenie ułamkowego planu czynnikowego .....	92
	<b>Algorytm P5: Szacowanie równania regresji na postawie planu czynnikowego typu <math>2^k</math> lub <math>2^{k-p}</math> .....</b>	95
P5.1.	Wstęp .....	95
P5.2.	Obliczanie współczynników liniowego równania regresji .....	96
P5.3.	Testowanie hipotez statystycznych .....	98
P5.3.1.	Wstępna ocena .....	98
P5.3.2.	Test $F$ .....	99
P5.3.3.	Analiza wariancji .....	100
P5.3.4.	Wielokrotnie realizowany plan eksperymentu typu $2^k$ .....	102
P5.3.5.	Istotność współczynników równania regresji $b_i$ .....	104
P5.4.	Przykłady – rozwiązywanie ogólne .....	105
P5.4.1.	Przykład 1 (rozwiązywanie wg P5.3.2 i P5.3.5).....	105
P5.4.2.	Przykład 2 (analiza wariancji) .....	106
P5.4.3.	Przykład 3 (wielokrotnie realizowany plan $2^k$ ).....	109

P5.5. Przykłady – zastosowanie MS Excel .....	111
P5.5.1. Rozwiązywanie przykładu 1 (pkt P5.4.1) .....	111
P5.5.2. Rozwiązywanie przykładu 2 (pkt P5.4.2) .....	112
P5.5.3. Rozwiązywanie przykładu 3 (pkt P5.4.3) .....	114
<b>Algorytm P6: Liniowe równanie regresji w zmiennych naturalnych .....</b>	<b>116</b>
P6.1. Wstęp.....	116
P6.2. Przekształcenie liniowego równania regresji .....	116
P6.3. Przykład – rozwiązywanie ogólne .....	117
P6.4. Przykład – zastosowanie MS Excel .....	119
<b>Algorytm P7: Tworzenie planów kompozycyjnych drugiego stopnia.....</b>	<b>122</b>
P7.1. Wstęp.....	122
P7.2. Plan rotatabilny .....	123
P7.2.1. Wartość ramienia gwiazdnego $\alpha$ .....	123
P7.2.2. Liczba doświadczeń $n_0$ w punkcie centralnym.....	123
P7.2.3. Tworzenie planu rotatabilnego drugiego stopnia .....	124
P7.2.4. Przykład.....	124
P7.3. Plan ortogonalny .....	126
P7.3.1. Wartość ramienia gwiazdnego $\alpha$ .....	126
P7.3.2. Liczba doświadczeń $n_0$ w punkcie centralnym.....	127
P7.3.3. Tworzenie planu ortogonalny drugiego stopnia .....	128
P7.3.4. Przykład.....	128
<b>Algorytm P8: Obliczanie równania regresji na podstawie kompozycyjnego planu rotatabilnego drugiego stopnia.....</b>	<b>130</b>
P8.1. Wstęp.....	130
P8.2. Obliczenie współczynników równania regresji .....	130
P8.3. Wariant obliczania współczynników równania regresji .....	132
P8.4. Obliczanie wariancji powtarzalności, resztowej i adekwatności .....	133
P8.5. Testowanie hipotez statystycznych .....	134
P8.6. Przykład – rozwiązywanie ogólne .....	136
P8.7. Przykład – zastosowanie MS Excel .....	141
P8.8. Rozwiązywanie równania macierzowego – zastosowanie programu Mathcad .....	146
<b>Algorytm P9: Obliczanie równania regresji na podstawie kompozycyjnego planu ortogonalnego drugiego stopnia.....</b>	<b>152</b>
P9.1. Wstęp.....	152
P9.2. Przekształcenia liniowe zmiennych $x_j^2$ .....	152
P9.3. Obliczenie współczynników równania regresji .....	154
P9.4. Obliczanie wariancji powtarzalności, resztowej i adekwatności .....	155
P9.5. Testowanie hipotez statystycznych .....	156
P9.6. Przykład – rozwiązywanie ogólne .....	157
P9.7. Przykład – zastosowanie MS Excel .....	161
P9.8. Rozwiązywanie równania macierzowego – zastosowanie programu Mathcad .....	170
<b>Algorytm P10: Punkt stacjonarny i analiza kanoniczna wielomianu drugiego stopnia.....</b>	<b>176</b>
P10.1. Wstęp.....	176
P10.2. Tworzenie układu równań i jego rozwiązywanie (dwie zmienne niezależne).....	177
P10.3. Tworzenie układu równań i jego rozwiązywanie ( $k$ zmiennych niezależnych).....	179

P10.4. Przykłady.....	180
P10.4.1. Paraboloida (minimum).....	180
P10.4.2. Minimaks (siodło).....	181
P10.4.3. Grzbiet .....	182
P10.4.4. Wielomian drugiego stopnia (trzy zmienne niezależne).....	183
P10.5. Punkt stacjonarny i równanie kanoniczne (stosowanie programu Mathcad).....	185
<b>Algorytm P11: Równanie regresji drugiego stopnia w zmiennych naturalnych .....</b>	<b>187</b>
P11.1. Wstęp.....	187
P11.2. Przekształcenie równania regresji .....	187
P11.3. Przykład – rozwiązanie ogólne .....	188
<b>Algorytm P12: Optymalizacja metodą simpleksów (metoda klasyczna) .....</b>	<b>189</b>
P12.1. Wstęp.....	189
P12.2. Simpleks początkowy.....	190
P12.3. Poszukiwanie simpleksowe metodą klasyczną.....	191
P12.4. Zakończenie poszukiwania optimum .....	193
P12.5. Przykład – rozwiązanie ogólne .....	193
P12.6. Przykładu – zastosowanie MS Excel .....	194
<b>Algorytm P13: Optymalizacja metodą simpleksów (modyfikacja Neldera-Meada) .....</b>	<b>197</b>
P13.1. Wstęp.....	197
P13.2. Simpleks początkowy.....	197
P13.3. Zasada modyfikacji Neldera-Meada.....	198
P13.4. Realizacja modyfikacji Neldera-Meada .....	201
P13.5. Zakończenie poszukiwania optimum .....	203
P13.6. Szczególne przypadki zaplanowanych doświadczeń .....	203
P13.7. Przykłady.....	204
P13.7.1. Metoda simpleksów – zakres zmiennych nieograniczony .....	204
P13.7.2. Metoda simpleksów – zakres zmiennych ograniczony (wersja 1) .....	209
P13.7.3. Metoda simpleksów – zakres zmiennych ograniczony (wersja 2) .....	209
P13.8. Rozwiązywanie przykładu – zastosowanie MS Excel .....	212
<b>Algorytm P14: Optymalizacja metodą największego spadku .....</b>	<b>213</b>
P14.1. Wstęp.....	213
P14.2. Początek poszukiwania optimum .....	214
P14.3. Realizacja poszukiwania optimum .....	215
P14.4. Zakończenie poszukiwania optimum .....	216
P14.5. Przykład – rozwiązanie ogólne .....	216
P14.6. Przykład – zastosowanie MS Excel .....	219
<b>Algorytm P15: Plan Boxa-Behnkena.....</b>	<b>222</b>
P15.1. Wstęp.....	222
P15.2. Plany Boxa-Behnkena o trzech lub czterech zmiennych .....	223
P15.3. Szacowanie równania regresji o trzech lub czterech zmiennych niezależnych .....	224
P15.4. Testowanie hipotez statystycznych .....	226
P15.5. Przykład – rozwiązanie ogólne .....	226
P15.6. Przykład – zastosowanie MS Excel .....	229
<b>Literatura.....</b>	<b>233</b>
<b>Załącznik. Tablice statystyczne.....</b>	<b>237</b>
<b>Słownik polsko-angielski stosowanych terminów.....</b>	<b>240</b>
<b>Indeks.....</b>	<b>243</b>