

# Obsah

Předmluva .....	15
<b>1 CHYBY INSTRUMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ .....</b>	<b>21</b>
1.1 Klasifikace chyb měření .....	21
1.2 Charakteristika přesnosti přístrojů .....	23
1.2.1 Mezní hodnoty chyb a třída přesnosti přístroje .....	24
1.2.2 Zařazení přístroje do třídy přesnosti .....	25
1.2.3 Zaokrouhlování chyby výsledku .....	26
1.2.4 Složky chyby výsledku měření .....	28
1.3 Modely měření .....	28
1.3.1 Aditivní model měření .....	29
1.3.2 Modely se systematickou chybou .....	30
1.3.3 Multiplikační model měření .....	31
1.3.4 Kombinovaný model měření .....	32
1.3.5 Rozdělení chyb měřicích přístrojů .....	34
1.4 Kvantilové odhady chyb .....	36
1.5 Sčítání kvantilových chyb .....	39
1.6 Momentové odhady chyb .....	40
1.6.1 Pravděpodobnostní interval chyb .....	41
1.6.2 Toleranční interval chyby .....	42
1.7 Chyba výsledků instrumentálních měření .....	43
1.7.1 Metoda Taylorova rozvoje .....	44
1.7.2 Metoda dvoubodové aproximace .....	49
1.7.3 Metoda simulací Monte Carlo .....	49
1.8 Nejistoty měření .....	51
1.8.1 Modely zahrnující působení neměřených faktorů .....	52
1.8.2 Intervaly spolehlivosti a nejistoty .....	55
1.8.3 Porovnání nejistot výsledků měření .....	58
1.8.3.1 Přímá měření .....	58
1.8.3.2 Nepřímá měření .....	60
1.8.4 Přístup intervalové analýzy k nejistotám .....	61
1.8.5 Doplnující poznámky k nejistotám .....	63
1.9 Postup určení chyby instrumentálních měření .....	66
1.10 Ostatní řešené příklady .....	66
Literatura .....	73
<b>2 PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT .....</b>	<b>75</b>
2.1 Metody průzkumové analýzy dat .....	76
2.1.1 Grafy identifikace statistických zvláštností dat .....	79
2.1.2 Konstrukce a identifikace rozdělení výběru .....	92

2.1.3	Identifikace rozdělení výběru pro diskrétní náhodné veličiny	113
2.1.4	Transformace dat	115
2.1.5	Zpětná transformace	122
2.2	Ověření předpokladů o datech	124
2.2.1	Určení minimální velikosti výběru	125
2.2.2	Ověření předpokladu nezávislosti prvků výběru	126
2.2.3	Ověření normality výběru	128
2.2.4	Ověření homogenity výběru	132
2.3	Postup průzkumové analýzy	137
2.3.1	Postup analýzy rutinních dat	137
2.3.2	Postup při nesplnění předpokladů o datech	138
2.4	Ostatní řešené příklady	140
	Literatura	147

<b>3</b>	<b>STATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT</b>	<b>149</b>
3.1	Bodové odhady parametrů polohy, rozptýlení a tvaru	150
3.1.1	Metoda maximální věrohodnosti	150
3.1.2	Výběrové charakteristiky	152
3.2	Intervalový odhad parametrů polohy a rozptýlení	163
3.2.1	Povaha intervalového odhadu	163
3.2.2	Konstrukce intervalových odhadů	164
3.2.3	Intervaly spolehlivosti pro zešikmená rozdělení	168
3.3	Odhady parametrů polohy rozptýlení a tvaru u vybraných rozdělení	175
3.3.1	Poissonovo rozdělení	175
3.3.2	Normální rozdělení	178
3.3.3	Laplaceovo rozdělení	181
3.3.4	Rovnoměrné rozdělení	182
3.3.5	Exponenciální rozdělení	184
3.3.5.1	Jednoparametrové exponenciální rozdělení	184
3.3.5.2	Dvouparametrové exponenciální rozdělení	185
3.3.6	Logaritmicko-normální rozdělení	187
3.3.6.1	Dvouparametrové logaritmicko-normální rozdělení	188
3.3.6.2	Tříparametrové logaritmicko-normální rozdělení	191
3.4	Robustní odhady parametrů polohy a rozptýlení	193
3.4.1	Medián	194
3.4.2	Uřezaný průměr	195
3.4.3	Robustní $M$ -odhady	199
3.4.4	Analýza malých výběrů	202
3.4.5	Neparametrické odhady rozptýlů	206
3.5	Testování statistických hypotéz	212
3.5.1	Postup testování statistické hypotézy	212
3.5.2	Testy hypotéz o parametrech jednoho souboru	215

3.5.3 Testy hypotéz o parametrech dvou souborů .....	216
3.5.3.1 Testy shody středních hodnot („testy shodnosti“) .....	218
3.5.3.2 Testy shody rozptylů .....	225
3.6 Postup vyhodnocení jednorozměrných výběrů .....	227
3.7 Ostatní řešené příklady .....	229
Literatura .....	239
<b>4 STATISTICKÁ ANALÝZA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT .....</b>	<b>241</b>
<b>Popisné statistiky vícerozměrných dat .....</b>	<b>244</b>
4.1 Pojem vícerozměrné náhodné veličiny .....	244
4.1.1 Charakteristiky vícerozměrných náhodných veličin .....	247
4.1.2 Odhady parametrů polohy, rozptýlení a tvaru .....	251
4.1.3 Vybočující body .....	259
4.1.4 Statistická analýza vektoru středních hodnot .....	264
4.1.5 Statistická analýza kovariančních matic .....	271
4.2 Předúprava vícerozměrných dat .....	274
4.2.1 Různé formy standardizace dat .....	275
4.2.2 Užití statistických vah .....	280
4.3 Průzkumová analýza vícerozměrných dat .....	281
4.3.1 Zobrazení vícerozměrných dat .....	281
4.3.2 Analýza profilů .....	290
4.3.3 Ověření normality .....	293
4.3.3.1 Grafy pro ověření normality .....	293
4.3.3.2 Testy normality .....	295
<b>Určení struktury ve znacích a objektech .....</b>	<b>300</b>
4.4 Analýza hlavních komponent (PCA) .....	301
4.4.1 Zaměření metody PCA .....	301
4.4.2 Podstata metody PCA .....	302
4.4.3 Statistická analýza hlavních komponent .....	322
4.4.4 Grafické pomůcky analýzy hlavních komponent .....	327
4.4.5 Diagnostika metody hlavních komponent .....	330
4.4.6 Určení počtu komponent směsí analýzou absorbanční matice .....	332
4.4.7 Řešení častých problémů v PCA .....	340
4.5 Faktorová analýza (FA) .....	344
4.5.1 Zaměření metody FA .....	344
4.5.2 Podstata metody FA .....	346
4.5.3 Grafické pomůcky FA .....	354
4.5.4 Průběh diagnostikování dle FA .....	355

4.6 Kanonická korelační analýza (CCA) .....	371
4.6.1 Zaměření metody CCA .....	371
4.6.2 Podstata metody CCA .....	371
4.6.3 Průběh diagnostikování CCA .....	378
<b>Klasifikace objektů .....</b>	<b>385</b>
4.7 Diskriminační analýza (DA) .....	387
4.7.1 Zaměření metody DA .....	387
4.7.2 Zařazovací pravidla DA .....	388
4.7.3 Lineární (LDA) a kvadratická (QDA) diskriminační funkce .....	389
4.7.4 Užití kanonické korelace v diskriminační analýze .....	397
4.7.5 Úprava prahového bodu .....	398
4.7.6 Volba znaků, diskriminátorů .....	399
4.7.7 Kvalita zařazení objektů do tříd .....	402
4.7.8 Logistická diskriminace .....	403
4.7.9 Průběh diagnostikování DA .....	405
4.8 Logistická regrese (LR) .....	429
4.8.1 Zaměření metody LR .....	429
4.8.2 Logistický regresní model .....	432
4.8.3 Volba proměnných .....	439
4.8.4 Těsnost proložení logistickým modelem .....	440
4.8.5 Kvalita vyhodnocení logistickou regresí .....	442
4.8.6 Aplikace logistické regrese .....	443
4.9 Analýza shluků (CLU) .....	454
4.9.1 Dendrogramy hierarchického shlukování .....	468
4.9.2 Shlukování metodou nejbližších těžišť (K-Means) .....	477
4.9.3 Shlukování metodou optimálních středů čili medoidů .....	482
4.9.4 Fuzzy shlukování .....	487
4.9.5 Postup obecné analýzy shluků .....	491
4.10 Mapování objektů vícerozměrným škálováním (MDS) .....	497
4.10.1 Zaměření metody MDS .....	497
4.10.2 Podstata metody MDS .....	497
4.10.3 Postup subjektivního mapování objektů .....	502
4.11 Korespondenční analýza (CA) .....	515
4.11.1 Zaměření metody CA .....	515
4.11.2 Podstata metody CA .....	516
4.11.3 Postup korespondenční analýzy .....	518
Literatura .....	526

<b>5 ANALÝZA ROZPTYLU (ANOVA)</b> .....	529
5.1 Základní pojmy analýzy rozptylu .....	529
5.2 Jednofaktorová analýza rozptylu .....	531
5.2.1 Modely s pevnými efekty .....	533
5.2.1.1 Metodologie statistické analýzy .....	533
5.2.1.2 Technika vícenásobného porovnání .....	535
5.2.1.3 Lineární regresní model .....	537
5.2.1.4 Ověření normality chyb .....	539
5.2.1.5 Ověření konstantnosti rozptylu (homoskedasticity) .....	540
5.2.2 Modely s náhodnými efekty .....	541
5.3 Dvoufaktorová analýza rozptylu .....	543
5.3.1 Modely s pevnými efekty .....	545
5.3.1.1 Modely pro případ bez opakování měření (ANOVA#2P) .....	545
5.3.1.2 Vyvážené modely (ANOVA#2B) .....	551
5.3.1.3 Nevyvážené modely (ANOVA#2U) .....	556
5.3.2 Modely se smíšenými efekty .....	557
5.3.3 Modely s náhodnými efekty .....	558
5.4 Zhodnocení postupu při analýze rozptylu .....	560
5.5 Ostatní řešené příklady .....	560
Literatura .....	564
<b>6 LINEÁRNÍ REGRESNÍ MODELY</b> .....	565
6.1 Formulace lineárního regresního modelu .....	565
6.2 Geometrie a předpoklady metody nejmenších čtverců .....	567
6.2.1 Geometrie metody nejmenších čtverců .....	567
6.2.2 Předpoklady metody nejmenších čtverců .....	573
6.3 Statistické vlastnosti metody nejmenších čtverců .....	575
6.3.1 Konstrukce intervalů spolehlivosti .....	584
6.3.2 Testování hypotéz .....	587
6.3.2.1 Test multikolinearity .....	590
6.3.2.2 Test významnosti absolutního členu .....	592
6.3.2.3 Testy složených hypotéz .....	595
6.3.2.4 Test shody dvou lineárních modelů .....	598
6.3.2.5 Testy vhodnosti lineárního modelu .....	601
6.3.3 Porovnání regresních přímek .....	607
6.3.3.1 Test homogenity úseků .....	608
6.3.3.2 Test homogenity směrnic .....	610
6.3.3.3 Test shody regresních přímek .....	610

6.4	Numerické problémy lineární regrese na počítači	613
6.4.1	Metoda ortogonálních funkcí	618
6.4.2	Metoda racionálních hodnotí	621
6.4.3	Metody hřebenové regrese	625
6.5	Regresní diagnostika	628
6.5.1	Využití průzkumové analýzy dat	629
6.5.2	Posouzení kvality dat	630
6.5.2.1	Statistická analýza reziduí	631
6.5.2.2	Analýza prvků projekční matice H	636
6.5.2.3	Grafy identifikace vlivných bodů	638
6.5.2.4	Ostatní charakteristiky vlivných bodů	644
6.5.3	Posouzení kvality navrženého regresního modelu	650
6.5.3.1	Parciální regresní grafy	651
6.5.3.2	Parciální reziduální grafy	653
6.5.3.3	Znaménkový test vhodnosti modelu	656
6.5.4	Ověření předpokladů metody nejmenších čtverců	658
6.5.4.1	Heteroskedasticita (nekonstantnost rozptylu)	658
6.5.4.2	Autokorelace	659
6.5.4.3	Normalita chyb	660
6.6	Postupy při porušení předpokladů metody nejmenších čtverců	661
6.6.1	Omezení na parametry	662
6.6.2	Metoda zobecněných nejmenších čtverců (MZNČ)	666
6.6.2.1	Heteroskedasticita	668
6.6.2.2	Autokorelace	673
6.6.3	Multikolinearita	679
6.6.4	Proměnné zatížené náhodnými chybami	685
6.6.5	Jiná rozdělení chyb	689
6.6.6	Zobecněný lineární regresní model	702
6.7	Kalibrace	704
6.7.1	Druhy kalibrace a kalibrační modely	705
6.7.2	Kalibrační přímka	707
6.7.3	Přesnost kalibrace	713
6.8	Postup při lineární regresní analýze	717
6.9	Ostatní řešené příklady	718
	Literatura	734
<b>7</b>	<b>KORELACE</b>	<b>737</b>
7.1	Korelační modely	738
7.1.1	Korelační modely pro dvě náhodné veličiny	738
7.1.2	Korelační model pro více náhodných veličin	744

7.2 Korelační koeficienty . . . . .	754
7.2.1 Párový korelační koeficient . . . . .	756
7.2.2 Interpretace korelačního koeficientu . . . . .	762
7.2.3 Korelační křivka . . . . .	769
7.2.4 Parciální korelační koeficient . . . . .	772
7.2.5 Vícenásobný korelační koeficient . . . . .	773
7.2.6 Pořadové korelace . . . . .	777
Literatura . . . . .	779
<b>8 NELINEÁRNÍ REGRESNÍ MODELY . . . . .</b>	<b>781</b>
8.1 Formulace nelineárního regresního modelu . . . . .	783
8.2 Modely chyb měření . . . . .	788
8.3 Formulace kritéria regrese . . . . .	793
8.4 Geometrie nelineární regrese . . . . .	799
8.5 Numerické postupy odhadování parametrů . . . . .	805
8.5.1 Nederivační optimalizační postupy . . . . .	806
8.5.1.1 Metody přímého hledání . . . . .	807
8.5.1.2 Simplexové metody . . . . .	808
8.5.1.3 Metody využívající náhodných čísel . . . . .	814
8.5.1.4 Speciální postupy pro metodu nejmenších čtverců (MNČ) . . . . .	817
8.5.2 Derivační metody pro kritérium MNČ . . . . .	821
8.5.2.1 Gaussovy-Newtonovy metody . . . . .	824
8.5.2.2 Metody Marquardtova typu . . . . .	827
8.5.2.3 Postupy typu dog-leg . . . . .	829
8.5.3 Komplikace procesu nelineární regrese . . . . .	831
8.5.3.1 Neodhadnutelnost některých parametrů . . . . .	831
8.5.3.2 Existence minima $U(\beta)$ . . . . .	832
8.5.3.3 Výskyt lokálních minim . . . . .	833
8.5.3.4 Špatná podmíněnost parametrů v modelu . . . . .	834
8.5.3.5 Malé rozmezí experimentálních dat . . . . .	834
8.5.4 Testování spolehlivosti regresních algoritmů . . . . .	837
8.6 Statistická analýza nelineární regrese . . . . .	839
8.6.1 Nelinearita regresního modelu . . . . .	841
8.6.1.1 Vychýlení odhadů parametrů . . . . .	841
8.6.1.2 Asymetrie odhadů parametrů . . . . .	844
8.6.2 Intervalové odhady parametrů . . . . .	845
8.6.2.1 Oblasti spolehlivosti parametrů . . . . .	845
8.6.2.2 Intervaly spolehlivosti parametrů . . . . .	850
8.6.2.3 Intervaly spolehlivosti predikce . . . . .	852
8.6.3 Testy hypotéz o odhadech parametrů . . . . .	853

8.6.4 Těsnost proložení regresní křivky .....	855
8.6.4.1 Statistická analýza reziduí .....	855
8.6.4.2 Analýza vlivných bodů .....	857
8.7 Postup při testování navrženého modelu .....	859
8.8 Ostatní řešené příklady .....	862
Literatura .....	868
<b>9 INTERPOLACE A APROXIMACE .....</b>	<b>871</b>
9.1 Klasické interpolační postupy .....	872
9.1.1 Lagrangeova a Newtonova interpolační formule .....	874
9.1.2 Hermitovská interpolace .....	879
9.1.3 Racionální interpolace .....	881
9.2 Spline interpolace .....	883
9.2.1 Lokální hermitovská interpolace .....	888
9.2.2 Kubický spline .....	893
9.3 Aproximace funkcí .....	901
9.4 Aproximace tabelárních závislostí .....	905
9.4.1 Polynomická aproximace .....	905
9.4.2 Úseková regrese .....	908
9.5 Numerické vyhlazování .....	914
9.5.1 Spline vyhlazování .....	914
9.5.2 Neparametrická regrese .....	924
9.5.3 Číslicová filtrace .....	926
9.6 Postup při interpolaci a aproximaci .....	934
9.7 Ostatní řešené příklady .....	935
Literatura .....	936
 Komentář k CD .....	 939
 Rejstřík .....	 941