

OBSAH

| | |
|---|----|
| Úvod | 14 |
| Přehled některých konstant a matematických vzorců | 15 |

Část I. ZÁKLADNÍ POJMY A TEORIE CHYB (Radouch)

Kap. 1. Základní pojmy

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1 | Náhodný jev | 21 |
| 1.2 | Pravděpodobnost | 24 |
| 1.2.1 | Podmíněná pravděpodobnost, sčítání a násobení pravděpodobností | 26 |
| 1.2.2 | Úplná pravděpodobnost | 27 |
| 1.3 | Opakované pokusy | 28 |
| 1.3.1 | Nezávislé pokusy | 28 |
| 1.3.2 | Závislé pokusy | 30 |
| 1.3.3 | Příklady | 31 |

Kap. 2. Náhodná veličina

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | Pojem náhodné veličiny a rozdělení náhodné veličiny | 37 |
| 2.2 | Charakteristiky náhodných veličin | 40 |
| 2.2.1 | Charakteristiky polohy | 43 |
| 2.2.2 | Charakteristiky proměnlivosti | 44 |
| 2.2.3 | Charakteristiky šikmosti a špičatosti | 45 |
| 2.3 | Vícerozměrná náhodná veličina | 46 |
| 2.3.1 | Nezávislost náhodných veličin | 48 |
| 2.4 | Charakteristiky vícerozměrné náhodné veličiny | 49 |
| 2.5 | Některá rozdělení diskretních náhodných veličin | 51 |
| 2.5.1 | Alternativní a binomické rozdělení | 51 |
| 2.5.2 | Hypergeometrické rozdělení | 53 |
| 2.5.3 | Poissonovo rozdělení | 54 |
| 2.5.4 | Příklady | 55 |
| 2.6 | Některá rozdělení spojitých náhodných veličin | 60 |
| 2.6.1 | Rovnoměrné rozdělení | 60 |
| 2.6.2 | Exponenciální rozdělení | 62 |
| 2.6.3 | Normální rozdělení | 63 |
| 2.6.4 | Vícerozměrné normální rozdělení | 65 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 2.7 | Speciální rozdělení | 66 |
| 2.7.1 | Rozdělení χ^2 | 66 |
| 2.7.2 | Studentovo t-rozdělení | 68 |
| 2.7.3 | Rozdělení F | 69 |
| 2.7.4 | Příklady | 70 |
| 2.8 | Některé limitní věty | 79 |
| 2.8.1 | Zákon velkých čísel | 79 |
| 2.8.2 | Centrální limitní věta | 80 |

Kap. 3. Základy teorie náhodného výběru a teorie odhadu

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Střední hodnota a variance výběrového průměru a výběrové variance | 83 |
| 3.2 | Rozdělení některých výběrových funkcí ve výběru z $N(E(x), \sigma^2)$. . | 84 |
| 3.3 | Bodový a intervalový odhad | 86 |
| 3.4 | Konstrukce intervalů spolehlivosti | 87 |
| 3.5 | Intervaly spolehlivosti pro parametry normálního rozdělení . . . | 88 |
| 3.5.1 | Interval spolehlivosti pro střední hodnotu $E(x) = X$ základního souboru | 88 |
| 3.5.2 | Interval spolehlivosti pro varianci σ^2 základního souboru | 90 |
| 3.5.3 | Příklady | 91 |
| 3.6 | Testování statistických hypotéz | 93 |
| 3.6.1 | Základní pojmy | 93 |
| 3.6.2 | Testování hypotézy o střední hodnotě základního souboru s normálním rozdělením | 96 |
| 3.6.3 | Testování hypotézy o varianci σ^2 základního souboru s normálním rozdělením | 97 |
| 3.6.4 | Testování hypotézy o rovnosti variancí dvou normálně rozdělených základních souborů | 98 |
| 3.6.5 | Testování hypotézy o rovnosti středních hodnot dvou normálně rozdělených základních souborů | 99 |

Kap. 4. Základy teorie chyb měření

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.1 | Chyby nevyhnutelné, omyly a chyby hrubé | 101 |
| 4.1.1 | Měření | 101 |
| 4.1.2 | Omyly a hrubé chyby | 103 |
| 4.1.3 | Chyby nevyhnutelné (náhodné a systematické) | 103 |
| 4.2 | Zákonitosti náhodných chyb, elementární chyby, základní a výběrové míry přesnosti, mezní chyba | 104 |
| 4.2.1 | Zákonitosti náhodných chyb | 104 |
| 4.2.2 | Elementární chyby | 105 |
| 4.2.3 | Základní soubor chyb | 106 |
| 4.2.4 | Přesnost měření a základní střední chyba | 107 |
| 4.2.5 | Parametry základního souboru chyb a mezní chyba | 109 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.2.6 | Empirická střední chyba | 110 |
| 4.2.7 | Průměrná a pravděpodobná chyba | 110 |
| 4.2.8 | Přehled základních a výběrových měř přesnosti v souborech chyb měření | 111 |
| 4.3 | Vícerozměrné rozdělení chyb | 112 |
| 4.3.1 | Chyby jednorozměrné | 112 |
| 4.3.2 | Chyby dvojrozměrné | 113 |
| 4.3.3 | Hustota pravděpodobnosti pro celý obvod elipsy chyb | 116 |
| 4.3.4 | Kružnice chyb | 119 |
| 4.3.5 | Pravděpodobnost chyb v mezích 0 až t | 120 |
| 4.3.6 | Stočené soustavy chybových souřadnic x, y | 122 |
| 4.3.7 | Elipsa chyb v případě vyrovnání zprostředkujících měření | 124 |
| 4.3.8 | Zákon rozdělení chyb v prostoru | 124 |
| 4.4 | Zákon hromadění skutečných a středních chyb | 129 |
| 4.4.1 | Skutečná chyba funkce měřených veličin | 129 |
| 4.4.2 | Přesnost počítání a ekonomické měření | 132 |
| 4.4.3 | Zákon hromadění středních chyb | 133 |

Část II. METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ (Hampacher)

Úvodní obecná pojednání

| | | |
|---|---|-----|
| II.1 | Vyrovnání | 139 |
| II.2 | Metody vyrovnání | 140 |
| II.3 | Metoda nejmenších čtverců | 140 |
| II.3.1 | Váhy měření | 141 |
| II.4 | Formulace úloh | 143 |
| Kap. 5. Vyrovnání přímých měření | | |
| 5.1 | Aritmetický a obecný průměr | 144 |
| 5.1.1 | Formulace úlohy | 144 |
| 5.1.2 | Řešení | 144 |
| 5.2 | Střední chyba obecného průměru | 145 |
| 5.3 | Výpočet empirických středních chyb z oprav | 146 |
| 5.4 | Postup vyrovnání měření přímých | 148 |
| 5.5 | Zdůvodnění aritmetického a obecného průměru | 149 |
| 5.6 | Dvojice měření | 151 |
| 5.6.1 | Soubor dvojic stejné váhy | 151 |
| 5.6.2 | Soubor dvojic různé váhy | 152 |
| Kap. 6. Vyrovnání měření zprostředkujících | | |
| 6.1 | Formulace úlohy | 155 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.2 | Řešení | 156 |
| 6.3 | Gaussův algoritmus | 157 |
| 6.4 | Kontroly | 159 |
| 6.4.1 | Kontrola linearizace rovnic oprav | 159 |
| 6.4.2 | Kontrola sestavení koeficientů normálních rovnic | 159 |
| 6.4.3 | Kontroly řešení systému normálních rovnic a výpočtu oprav | 159 |
| 6.4.4 | Závěrečná kontrola | 160 |
| 6.5 | Speciální případy | 160 |
| 6.5.1 | Zavedení pomocných neznámých | 160 |
| 6.5.2 | Vyrovnaní různorodých měření | 161 |
| 6.5.3 | Chybná volba počtu neznámých | 163 |
| 6.5.4 | Případy jedné neznámé | 163 |
| 6.5.5 | Předběžná eliminace jedné neznámé | 163 |
| 6.5.6 | Uplatnění chyb ve výchozích veličinách | 165 |
| 6.5.7 | Efektivní (eficientní) vyrovnaní | 166 |
| 6.6 | Střední chyby | 167 |
| 6.6.1 | Odhad jednotkové střední chyby | 167 |
| 6.6.2 | Střední chyby vyrovnaných neznámých | 169 |
| 6.6.3 | Střední chyba funkce vyrovnaných neznámých | 171 |
| 6.6.4 | Střední chyba vyrovnaného měření | 172 |
| 6.7 | Přehled postupu vyrovnaní. Schéma řešení normálních rovnic | 173 |
| 6.8 | Metody řešení normálních rovnic | 181 |
| 6.8.1 | Řešení pomocí determinantů | 181 |
| 6.8.2 | Gaussova eliminační metoda | 182 |
| 6.8.3 | Choleskyho metoda | 182 |
| 6.8.4 | Metoda inverze matic | 184 |
| 6.8.5 | Pseudoinverzní matice | 184 |
| 6.8.6 | Metoda postupné iterace | 187 |

Kap. 7. Vyrovnaní podmínkových měření

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1 | Formulace úlohy | 190 |
| 7.2 | Řešení | 191 |
| 7.2.1 | Pravidla řešení a instruktivní příklad | 191 |
| 7.3 | Přechod na vyrovnaní zprostředkujících měření | 194 |
| 7.4 | Vyrovnaní pomocí korelát | 197 |
| 7.5 | Řešení normálních rovnic gaussovým algoritmem | 198 |
| 7.6 | Kontroly | 199 |
| 7.6.1 | Kontrola linearizace podmínkových rovnic | 199 |
| 7.6.2 | Kontrola sestavení koeficientů normálních rovnic | 200 |
| 7.6.3 | Kontroly řešení normálních rovnic a výpočtu oprav | 200 |
| 7.6.4 | Závěrečná kontrola | 200 |
| 7.7 | Střední chyby | 201 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.7.1 | Střední chyba jednotková | 201 |
| 7.7.2 | Střední chyby vyrovnaných veličin a jejich funkcí | 201 |
| 7.8 | Přehled postupu vyrovnání | 203 |
| 7.9 | Speciální případy | 210 |
| 7.9.1 | Úpravy v přetvořených podmínkových rovnicích | 210 |
| 7.9.2 | Nesprávný počet podmínkových rovnic | 210 |
| 7.9.3 | Vyrovnaní různorodých veličin | 211 |
| 7.9.4 | Vyrovnaní měření s daným součtem | 211 |
| 7.9.5 | Ekvivalentní měření | 213 |

Kap. 8. Kombinované vyrovnání

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.1 | Vyrovnaní zprostředkujících měření s podmínkami | 215 |
| 8.2 | Vyrovnaní podmínkových měření s neznámými | 218 |
| 8.3 | Kolokace | 221 |
| 8.3.1 | Princip metody | 221 |
| 8.3.2 | Použití matice a vzorce pro výpočet výsledků | 223 |
| 8.3.3 | Použití vzorce a matice pro výpočet středních chyb | 225 |
| 8.3.4 | Kovarianční funkce | 226 |
| 8.3.5 | Zhodnocení | 228 |
| 8.4 | Optimalizace geodetických sítí | 228 |

Kap. 9. Vyrovnání korelovaných měření. Obecný model vyrovnání a přehledy vzorců

| | | |
|-------|--|-----|
| 9.1 | Zákon hromadění vah pro korelovaná měření | 231 |
| 9.2 | Určení matice Q_f | 231 |
| 9.3 | Příklady | 233 |
| 9.3.1 | Vyrovnaní měření přímých | 233 |
| 9.3.2 | Vyrovnaní zprostředkujících měření | 234 |
| 9.3.3 | Vyrovnaní podmínkových měření | 235 |
| 9.4 | Volba metody vyrovnání a vliv zanedbání korelace mezi měřeními na výsledky vyrovnání | 236 |
| 9.5 | Obecný model vyrovnání a přehled vzorců pro jeho speciální případy | 237 |
| 9.5.1 | Vyrovnaní měření zprostředkujících | 239 |
| 9.5.2 | Vyrovnaní měření podmínkových | 242 |
| 9.5.3 | Vyrovnaní měření podmínkových s neznámými | 245 |
| 9.5.4 | Vyrovnaní měření zprostředkujících s podmínkami pro neznámé | 248 |
| 9.5.5 | Programy Ing. Charamzy | 250 |
| 9.6 | Historie a význam metody nejmenších čtverců | 251 |

Část III. ANALÝZA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ (Böhm)

Kap. 10. Aproximace funkčních vztahů. Regresní a korelační analýza

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.1 | Některé předpoklady pro regresní a korelační analýzu | 256 |
| 10.2 | Podstata aproximace funkčních vztahů (regresní analýza) | 257 |
| 10.2.1 | Úvod | 257 |
| 10.2.2 | Obecný postup aproximace | 259 |
| 10.2.3 | Příklad | 261 |
| 10.2.4 | Volba typu a stupně vyrovnávací křivky k empirickému polygonu | 262 |
| 10.2.5 | Aproximace dané funkce | 265 |
| 10.2.6 | Interpolace a extrapolace empirickou funkcí | 265 |
| 10.3 | Vyrovňovací přímka a rovina | 266 |
| 10.3.1 | Měřené hodnoty y jsou zatíženy chybami | 266 |
| 10.3.2 | Měřené hodnoty x jsou zatíženy chybami | 268 |
| 10.3.3 | Obojí měřené hodnoty x,y jsou zatíženy chybami | 269 |
| 10.3.4 | Příklad | 271 |
| 10.3.5 | Případ ekvidistantního argumentu a stejných vah | 272 |
| 10.3.6 | Vyrovňovací rovina | 273 |
| 10.4 | Aproximace funkce trigonometrickou řadou (harmonická analýza) | 275 |
| 10.5 | Přibližné metody aproximace | 282 |
| 10.5.1 | Metody grafické | 282 |
| 10.5.2 | Metoda momentová | 283 |
| 10.5.3 | Metoda skupinová (průměrová) | 284 |
| 10.5.4 | Použití transformace proměnných | 284 |
| 10.6 | Základy korelačního počtu. Analýza korelace | 285 |
| 10.6.1 | Základní pojmy | 285 |
| 10.6.2 | Koeficient korelace a analýza korelace | 289 |
| 10.6.3 | Testování empirického koeficientu korelace | 291 |
| 10.6.4 | Umělé tvoření tříd | 292 |
| 10.6.5 | Souborný příklad | 293 |
| 10.6.6 | Alternativní řešení s vytvořením tříd | 294 |
| 10.7 | Jiné druhy korelace | 296 |
| 10.7.1 | Pořadová (rangová) korelace | 296 |
| 10.7.2 | Parciální korelace | 297 |
| 10.7.3 | Nelineární korelace | 297 |
| 10.7.4 | Hledání korelačního vztahu | 298 |
| 10.8 | Korelace výsledků měření nebo vyrovnání. Obecný zákon sčítání středních chyb a vah | 299 |
| 10.8.1 | Úvod | 299 |
| 10.8.2 | Kovariance a váhové koeficienty. Obecný zákon sčítání středních chyb a vah | 299 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.8.3 | Užití koeficientu korelace | 302 |
| 10.8.4 | Korelace rozdílu a průměru dvojice měření | 303 |
| 10.8.5 | Korelace oprav a původních chyb | 303 |
| 10.8.6 | Korelace vyrovnaných hodnot | 304 |
| 10.9 | Korelační analýza. Fyzikální korelace | 304 |
| 10.9.1 | Vnitřní korelace | 304 |
| 10.9.2 | Periodický průběh faktoru (systematické chyby) | 307 |
| 10.9.3 | Vliv systematické složky v řadě na korelaci | 307 |
| 10.9.4 | Chyba v určení korelace při použití oprav k sériovému průměru | 308 |
| 10.9.5 | Vnější korelace | 309 |

Kap. 11. Geodetické aplikace rozdělení náhodných veličin a testování hypotéz

| | | |
|---------|---|-----|
| 11.1 | Chyba z diskretizace (digitalizace) měření | 311 |
| 11.2 | Střední hodnota a variance u chyby z náklonu nebo vybočení měřítka | 313 |
| 11.3 | Mezní chyba. Plánování přesnosti měření | 315 |
| 11.4 | Kritéria a vylučování odlehlých měření | 316 |
| 11.4.1 | Rozdělení oprav. Vzorec Petersův | 316 |
| 11.4.2 | Testování oprav (odlehlých měření) | 317 |
| 11.4.3 | Přímý test | 321 |
| 11.4.4 | Testování variačního rozpětí | 322 |
| 11.5 | Mezní výběrová střední chyba | 322 |
| 11.5.1 | Testování střední chyby podle jejího rozdělení | 322 |
| 11.5.2 | Testování empirické střední chyby pomocí normálního rozdělení | 323 |
| 11.5.3 | Uzávěr o interpretaci kritéria m_x | 325 |
| 11.6 | Interval spolehlivosti u základní střední chyby | 325 |
| 11.7 | Riziko při předání nebo přejímce výsledků měření | 326 |
| 11.8 | Testování homogenity měření | 328 |
| 11.9 | Interval pro vyrovnanou hodnotu a interval spolehlivosti pro neznámou skutečnou hodnotu měřené veličiny | 329 |
| 11.9.1 | Aplikace Studentova rozdělení v praxi | 329 |
| 11.9.2 | Působení systematické chyby | 330 |
| 11.9.3 | Tolerance a plánování přesnosti měření | 331 |
| 11.9.4 | Test naměřené polohové změny | 331 |
| 11.10 | Zákon hromadění chyb a sčítání variancí při působení systematických chyb | 333 |
| 11.10.1 | Systematické chyby | 333 |
| 11.10.2 | Úplná chyba a úplná střední chyba | 334 |
| 11.10.3 | Zjednodušený zákon hromadění úplných chyb | 335 |

Kap. 12. Analýza rozptylu (variance)¹

| | | |
|--------|--|-----|
| 12.1 | Testování poměru apriorní a aposteriorní střední chyby | 340 |
| 12.2 | Jednorozměrná (jednofaktorová) analýza variance | 342 |
| 12.2.1 | Stejně skupiny | 342 |
| 12.2.2 | Nestejně velké skupiny | 349 |
| 12.2.3 | Nestejně přesná měření l_{ij} | 349 |
| 12.3 | Dvourozměrná (dvoufaktorová) analýza variance | 350 |

Kap. 13. Statistická kontrola výsledků měření a vyrovnání

| | | |
|--------------------------|--|-----|
| 13.1 | Zkoušky normality souboru měření | 356 |
| 13.1.1 | Uspořádání statistického souboru | 356 |
| 13.1.2 | Zkoušky (kritéria) normality pomocí empirických momentů | 358 |
| 13.1.3 | Zkoušky normality pomocí třídních četností | 365 |
| 13.2 | Jednoduchá kritéria působení systematické chyby a odhad její hodnoty | 374 |
| 13.2.1 | Zkouška znamének | 374 |
| 13.2.2 | Průměrná hodnota chyby | 375 |
| 13.3 | Testování rozdílu mezi dvěma skupinovými průměry | 377 |
| 13.3.1 | Podstata testu | 377 |
| 13.3.2 | Odhad střední systematické chyby | 379 |
| 13.4 | Dynamická kritéria systematických chyb | 382 |
| 13.4.1 | Iterace | 383 |
| 13.4.2 | Postupný součet chyb a argumentu | 383 |
| 13.4.3 | Vývojová kritéria | 386 |
| 13.5 | Závěr k systematickým chybám | 388 |
| Závěr | | 390 |
| Tabulky | | 393 |
| Literatura | | 406 |
| Rezumé | | 409 |
| Věcný rejstřík | | 414 |