

# Obsah

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod .....                                                                                             | 17 |
| 2 Základy teorie chyb měření .....                                                                       | 18 |
| 2.1 Chyby měření .....                                                                                   | 18 |
| 2.1.1 Omyly a hrubé chyby .....                                                                          | 19 |
| 2.1.2 Chyby nevyhnutelné (náhodné a systematické) .....                                                  | 19 |
| 2.2 Zákonitosti náhodných chyb. Elementární chyby, základní a výběrové míry přesnosti, mezní chyba ..... | 21 |
| 2.2.1 Charakteristiky náhodných veličin .....                                                            | 21 |
| 2.2.1.1 Charakteristiky polohy .....                                                                     | 23 |
| 2.2.1.2 Charakteristiky proměnlivosti .....                                                              | 23 |
| 2.2.1.3 Charakteristiky šikmosti a špičatosti .....                                                      | 24 |
| 2.2.2 Elementární chyby .....                                                                            | 24 |
| 2.2.3 Základní soubor chyb .....                                                                         | 25 |
| 2.2.4 Přesnost měření a základní střední chyba .....                                                     | 26 |
| 2.2.5 Úplná chyba a úplná střední chyba .....                                                            | 27 |
| 2.2.6 Průměrná a pravděpodobná chyba .....                                                               | 28 |
| 2.2.7 Parametry základního souboru chyb a mezní chyba .....                                              | 29 |
| 2.2.8 Střední chyba empirické střední chyby .....                                                        | 30 |
| 2.3 Některá rozdělení náhodných veličin. ....                                                            | 32 |
| 2.3.1 Binomické rozdělení .....                                                                          | 33 |
| 2.3.2 Normální rozdělení (Laplace – Gaussovo) .....                                                      | 33 |
| 2.3.3 Rozdělení $\chi^2$ .....                                                                           | 35 |
| 2.3.4 Studentovo t-rozdělení .....                                                                       | 36 |
| 2.3.5 Rozdělení $F$ (Snedecorovo - Fisherovo) .....                                                      | 37 |
| 2.3.6 Rozdělení některých výběrových funkcí ve výběru z $N(E(x); \sigma^2)$ .....                        | 38 |
| 2.4 Intervalové odhady .....                                                                             | 39 |
| 2.4.1 Bodový a intervalový odhad .....                                                                   | 40 |
| 2.4.1.1 Bodový odhad .....                                                                               | 40 |
| 2.4.1.2 Intervalový odhad .....                                                                          | 40 |
| 2.4.2 Konstrukce intervalů spolehlivosti .....                                                           | 41 |
| 2.4.3 Interval spolehlivosti pro parametry normálního rozdělení .....                                    | 41 |
| 2.4.3.1 Interval spolehlivosti pro střední hodnotu $E(x) = \bar{X}$ základního souboru. ...              | 41 |
| 2.4.3.2 Interval spolehlivosti pro varianci $\sigma^2$ základního souboru .....                          | 42 |
| 2.5 Vícerozměrná náhodná veličina .....                                                                  | 44 |
| 2.5.1 Charakteristiky vícerozměrné náhodné veličiny .....                                                | 45 |
| 2.5.2 Vícerozměrné normální rozdělení .....                                                              | 46 |
| 2.6 Rozdělení vícerozměrných chyb .....                                                                  | 47 |
| 2.6.1 Chyby jednorozměrné .....                                                                          | 47 |



|         |                                                                |    |
|---------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2   | Chyby dvojrozměrné.....                                        | 47 |
| 2.6.2.1 | Hustota pravděpodobnosti pro celý obvod elipsy chyb .....      | 50 |
| 2.6.2.2 | Kružnice chyb .....                                            | 52 |
| 2.6.2.3 | Pravděpodobnost chyb v mezích 0 až $t$ .....                   | 52 |
| 2.6.2.4 | Stočené soustavy chybových souřadnic $x, y$ .....              | 54 |
| 2.6.2.5 | Elipsa chyb v případě vyrovnání zprostředkujících měření ..... | 55 |
| 2.6.2.6 | Helmertova křivka.....                                         | 56 |
| 2.6.3   | Zákon rozdělení chyb v prostoru .....                          | 57 |
| 2.7     | Zákon hromadění skutečných a středních chyb .....              | 60 |
| 2.7.1   | Skutečná chyba funkce měřených veličin.....                    | 60 |
| 2.7.2   | Přesnost počítání a ekonomické měření .....                    | 62 |
| 2.7.3   | Zákon hromadění středních chyb.....                            | 62 |
| 2.7.4   | Zákon hromadění vah .....                                      | 66 |
| 2.7.5   | Zákon hromadění chyb při působení systematických chyb.....     | 67 |
| 2.7.5.1 | Případ konstantní chyby .....                                  | 67 |
| 2.7.5.2 | Případ skupinové chyby. ....                                   | 67 |
| 3       | Vyrovnání měření obecně .....                                  | 72 |
| 3.1     | Metody vyrovnání .....                                         | 72 |
| 4       | Metoda nejmenších čtverců .....                                | 74 |
| 4.1     | Váhy měření .....                                              | 74 |
| 4.2     | Formulace vyrovnávacích úloh .....                             | 75 |
| 4.3     | Vyrovnání přímých měření .....                                 | 75 |
| 4.3.1   | Aritmetický a obecný průměr .....                              | 75 |
| 4.3.1.1 | Formulace úlohy .....                                          | 75 |
| 4.3.1.2 | Postup řešení. ....                                            | 76 |
| 4.3.2   | Střední chyba obecného průměru.....                            | 76 |
| 4.3.3   | Výpočet empirických středních chyb z oprav .....               | 77 |
| 4.3.4   | Postup vyrovnání měření přímých .....                          | 78 |
| 4.3.5   | Zdůvodnění aritmetického a obecného průměru .....              | 79 |
| 4.3.6   | Dvojice měření.....                                            | 80 |
| 4.3.6.1 | Soubor dvojic stejné váhy .....                                | 80 |
| 4.3.6.2 | Soubor dvojic různé váhy.....                                  | 81 |
| 4.4     | Vyrovnání zprostředkujících měření.....                        | 83 |
| 4.4.1   | Formulace úlohy .....                                          | 83 |
| 4.4.2   | Postup řešení .....                                            | 83 |
| 4.4.3   | Kontroly .....                                                 | 85 |
| 4.4.4   | Střední chyby .....                                            | 86 |
| 4.4.4.1 | Odhad jednotkové střední chyby.....                            | 86 |
| 4.4.4.2 | Střední chyby vyrovnaných neznámých .....                      | 88 |
| 4.4.4.3 | Střední chyba funkce vyrovnaných neznámých.....                | 88 |



|         |                                                                                           |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.4.4 | Střední chyba vyrovnaného měření.....                                                     | 89  |
| 4.4.4.5 | Střední chyby oprav určených z vyrovnání.....                                             | 89  |
| 4.4.5   | Přehled postupu vyrovnání.....                                                            | 90  |
| 4.4.6   | Speciální případy.....                                                                    | 94  |
| 4.4.6.1 | Vyrovnaní různorodých měření.....                                                         | 94  |
| 4.4.6.2 | Chybná volba počtu neznámých.....                                                         | 94  |
| 4.4.7   | Uplatnění chyb ve výchozích (daných) veličinách.....                                      | 95  |
| 4.4.8   | Eliminace neznámých.....                                                                  | 96  |
| 4.4.9   | Sekvenční vyrovnání.....                                                                  | 97  |
| 4.5     | Vyrovnaní podmínkových měření.....                                                        | 102 |
| 4.5.1   | Formulace úlohy.....                                                                      | 102 |
| 4.5.2   | Postup řešení.....                                                                        | 102 |
| 4.5.3   | Vyrovnaní pomocí korelát.....                                                             | 103 |
| 4.5.4   | Kontroly.....                                                                             | 104 |
| 4.5.4.1 | Kontrola linearizace podmínkových rovnic.....                                             | 104 |
| 4.5.4.2 | Závěrečná kontrola.....                                                                   | 105 |
| 4.5.5   | Střední chyby.....                                                                        | 105 |
| 4.5.5.1 | Střední chyba jednotková.....                                                             | 105 |
| 4.5.5.2 | Střední chyby vyrovnaných veličin a jejich funkcí.....                                    | 105 |
| 4.5.6   | Přehled postupu vyrovnání.....                                                            | 107 |
| 4.5.7   | Speciální případy.....                                                                    | 109 |
| 4.5.7.1 | Nesprávný počet podmínkových rovnic.....                                                  | 109 |
| 4.5.7.2 | Vyrovnaní různorodých veličin.....                                                        | 109 |
| 4.5.7.3 | Vyrovnaní měření s daným součtem.....                                                     | 109 |
| 4.5.7.4 | Ekvivalentní měření.....                                                                  | 111 |
| 4.6     | Kombinované vyrovnání.....                                                                | 112 |
| 4.6.1   | Vyrovnaní zprostředkujících měření s podmínkami.....                                      | 112 |
| 4.6.2   | Vyrovnaní podmínkových měření s neznámými.....                                            | 113 |
| 4.7     | Vyrovnaní korelovaných měření. Obecný model vyrovnání a přehledy vzorců.....              | 114 |
| 4.7.1   | Zákon hromadění vah pro korelovaná měření.....                                            | 116 |
| 4.7.2   | Určení matice $Q_f$ .....                                                                 | 116 |
| 4.7.3   | Volba metody vyrovnání a vliv zanedbání korelace mezi měřeními na výsledky vyrovnání..... | 117 |
| 4.7.4   | Obecný model vyrovnání a přehled vzorců pro jeho speciální případy.....                   | 117 |
| 4.7.4.1 | Vyrovnaní měření zprostředkujících.....                                                   | 119 |
| 4.7.4.2 | Vyrovnaní měření podmínkových.....                                                        | 120 |
| 4.7.4.3 | Vyrovnaní měření podmínkových s neznámými.....                                            | 121 |
| 4.7.4.4 | Vyrovnaní měření zprostředkujících s podmínkami pro neznámé.....                          | 122 |
| 5       | Metody robustního odhadu.....                                                             | 124 |
| 5.1     | Třídy odhadů robustní statistiky.....                                                     | 124 |



|        |                                                                     |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2    | M-odhady .....                                                      | 124 |
| 5.2.1  | Huberův M-odhad .....                                               | 128 |
| 5.2.2  | Odhady pomocí $L_p$ – normy .....                                   | 130 |
| 5.2.3  | Generalizované M-odhady .....                                       | 131 |
| 5.3    | Přehled používaných M-odhadů .....                                  | 131 |
| 5.3.1  | Huberův odhad .....                                                 | 131 |
| 5.3.2  | Modifikovaný Huberův odhad .....                                    | 132 |
| 5.3.3  | Hampelův odhad .....                                                | 132 |
| 5.3.4  | Talwarův odhad .....                                                | 133 |
| 5.3.5  | Odhad Cauchyho rozdělení .....                                      | 134 |
| 5.3.6  | Tukeyho biweight odhad .....                                        | 134 |
| 5.3.7  | German – McClureův odhad .....                                      | 135 |
| 5.3.8  | Andrewsův odhad .....                                               | 135 |
| 5.3.9  | Welschův odhad .....                                                | 136 |
| 5.3.10 | Fair odhad .....                                                    | 136 |
| 5.3.11 | $L_p$ – norma .....                                                 | 137 |
| 5.3.12 | $L_1$ – norma .....                                                 | 137 |
| 5.3.13 | Hybridní $L_1/L_2$ – norma .....                                    | 138 |
| 5.3.14 | Dánská metoda .....                                                 | 138 |
| 5.4    | LMS-odhad .....                                                     | 138 |
| 5.5    | Metoda RANSAC .....                                                 | 139 |
| 5.6    | Metoda redukovaných (useknutých) pozorování .....                   | 140 |
| 5.6.1  | Metoda useknutí (Trimming) .....                                    | 140 |
| 5.6.2  | Metoda Windsorizování (Windsorizing) .....                          | 140 |
| 5.7    | Metoda detekce odlehklých měření založená na M-odhadech .....       | 140 |
| 5.8    | Využití robustních M-odhadů pro závislé (korelované) veličiny ..... | 141 |
| 5.9    | Závěr .....                                                         | 142 |
| 6      | Metody řešení normálních rovnic .....                               | 143 |
| 6.1    | Výpočet inverzní matice .....                                       | 143 |
| 6.1.1  | Jordanův algoritmus .....                                           | 144 |
| 6.1.2  | LU rozklad .....                                                    | 144 |
| 6.1.3  | QR rozklad .....                                                    | 145 |
| 6.2    | Přímé řešení normálních rovnic .....                                | 146 |
| 6.2.1  | Gaussova eliminační metoda .....                                    | 146 |
| 6.2.2  | Choleskyho metoda .....                                             | 148 |
| 6.2.3  | Metoda postupné iterace .....                                       | 150 |
| 6.3    | Pseudoinverze .....                                                 | 151 |



|         |                                                                       |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.1   | Definice a vlastnosti pseudoinverze .....                             | 151 |
| 6.3.2   | Metody výpočtu pseudoinverzní matice .....                            | 151 |
| 6.3.2.1 | Rozklad na součin matic.....                                          | 152 |
| 6.3.2.2 | Iterační metoda Ben-Israela a Cohena .....                            | 152 |
| 6.3.2.3 | Metoda využívající singulární rozklad .....                           | 153 |
| 6.3.3   | Využití pseudoinverze při řešení vyrovnaní MNČ.....                   | 154 |
| 6.3.3.1 | Výpočet inverzní matice pseudoinverzí .....                           | 154 |
| 6.3.3.2 | Přímé řešení rovnic oprav pseudoinverzí .....                         | 154 |
| 6.3.3.3 | Řešení inverze singulární matice normálních rovnic .....              | 155 |
| 6.4     | Výběr hlavního prvku (pivoting) .....                                 | 155 |
| 6.4.1   | Částečný výběr hlavního prvku.....                                    | 156 |
| 6.4.2   | Úplný výběr hlavního prvku.....                                       | 157 |
| 7       | Optimalizace geodetických sítí .....                                  | 158 |
| 7.1     | Design 0. řádu .....                                                  | 159 |
| 7.2     | Design 1. řádu .....                                                  | 159 |
| 7.3     | Design 2. řádu .....                                                  | 160 |
| 7.4     | Design 3. řádu .....                                                  | 160 |
| 7.5     | Aplikace: Design 2.řádu .....                                         | 160 |
| 8       | Aproximace funkčních vztahů. Regresní a korelační analýza .....       | 164 |
| 8.1     | Podstata aproximace funkčních vztahů (regresní analýza) .....         | 164 |
| 8.1.1   | Úvod do problematiky .....                                            | 164 |
| 8.1.2   | Obecný postup aproximace .....                                        | 166 |
| 8.2     | Vyrovňovací přímka a rovina .....                                     | 168 |
| 8.2.1   | Měřené hodnoty $y$ jsou zatíženy chybami.....                         | 169 |
| 8.2.2   | Měřené hodnoty $x$ jsou zatíženy chybami.....                         | 170 |
| 8.2.3   | Obojí měřené veličiny $x$ , $y$ jsou zatíženy měřickými chybami ..... | 171 |
| 8.2.4   | Vyrovňovací rovina .....                                              | 172 |
| 8.3     | Aproximace funkce trigonometrickou řadou (harmonická analýza) .....   | 173 |
| 8.4     | Aproximace parametricky vyjádřených funkcí .....                      | 176 |
| 8.4.1   | Určení parametrické rovnice přímky – jednokrokový algoritmus.....     | 177 |
| 8.4.2   | Určení parametrické rovnice přímky – dvoukrokový algoritmus.....      | 180 |
| 8.4.3   | Algoritmus pro kružnici.....                                          | 182 |
| 8.4.4   | Algoritmus pro kouli .....                                            | 183 |
| 8.4.5   | Řetězovka – jednokrokový algoritmus .....                             | 184 |
| 8.4.5.1 | Matematická formulace problému .....                                  | 184 |
| 8.4.5.2 | Výpočet přibližných hodnot .....                                      | 187 |
| 8.4.5.3 | Výpočet vyrovnaním .....                                              | 188 |
| 8.4.5.4 | Testování postupu výpočtu.....                                        | 190 |
| 8.4.6   | Řetězovka – dvoukrokový algoritmus .....                              | 190 |



|         |                                                                                                                         |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.4.7   | Požadavky a problémy výpočtu.....                                                                                       | 191 |
| 8.5     | Aproximace polynomem .....                                                                                              | 191 |
| 8.6     | Aproximace ortogonálním polynomem .....                                                                                 | 192 |
| 8.7     | Základy korelačního počtu. Analýza korelace .....                                                                       | 193 |
| 8.7.1   | Základní pojmy.....                                                                                                     | 193 |
| 8.7.2   | Koeficient korelace a analýza korelace .....                                                                            | 197 |
| 8.7.2.1 | Výpočet koeficientu korelace z kovarianční matice .....                                                                 | 198 |
| 8.7.2.2 | Interpretace koeficientu korelace .....                                                                                 | 198 |
| 8.7.3   | Testování empirického koeficientu korelace.....                                                                         | 199 |
| 8.7.4   | Jiné druhy korelace. Pořadová (rangová) korelace .....                                                                  | 200 |
| 9       | Testování statistických hypotéz.....                                                                                    | 202 |
| 9.1     | Ověření hypotézy o typu rozdělení pravděpodobnosti (testy shody) ...                                                    | 202 |
| 9.1.1   | Testy pro obecné rozdělení .....                                                                                        | 203 |
| 9.1.1.1 | Pearsonův $\chi^2$ - test pro jeden výběr.....                                                                          | 203 |
| 9.1.1.2 | Kolmogorovův - Smirnovův test pro jeden výběr.....                                                                      | 204 |
| 9.1.2   | Testování normality náhodných výběrů .....                                                                              | 204 |
| 9.1.2.1 | Test šikmosti .....                                                                                                     | 205 |
| 9.1.2.2 | Test špičatosti .....                                                                                                   | 206 |
| 9.1.2.3 | D'Agostinův (omnibus) test .....                                                                                        | 207 |
| 9.2     | Testování střední hodnoty.....                                                                                          | 207 |
| 9.2.1   | Ověřování hypotézy o střední hodnotě základního souboru s normálním rozdělením při známé základní střední chybě .....   | 207 |
| 9.2.2   | Ověřování hypotézy o střední hodnotě základního souboru s normálním rozdělením při neznámé základní střední chybě ..... | 208 |
| 9.2.3   | Ověření hypotézy o rovnosti středních hodnot dvou normálně rozdělených základních souborů .....                         | 208 |
| 9.3     | Testování střední chyby (variance) .....                                                                                | 210 |
| 9.3.1   | Testování hypotézy o shodnosti výběrové a základní střední chyby .....                                                  | 210 |
| 9.3.2   | Testování hypotézy o shodnosti dvou výběrových směrodatných odchylek... ..                                              | 210 |
| 9.3.3   | Mezní výběrová směrodatná odchylka .....                                                                                | 211 |
| 9.3.4   | Testování výběrové směrodatné odchylky pomocí normálního rozdělení.....                                                 | 211 |
| 9.4     | Kritéria pro testování opakovaných měření.....                                                                          | 211 |
| 9.4.1   | Mezní rozdíl .....                                                                                                      | 211 |
| 9.4.2   | Testování oprav opakovaných měření od průměru .....                                                                     | 212 |
| 9.4.2.1 | Jednoduchý test oprav.....                                                                                              | 212 |
| 9.4.2.2 | McKay - Nairův test oprav při známé základní střední chybě .....                                                        | 212 |
| 9.4.2.3 | Pearson-Sekharův (Grubbsův) test oprav .....                                                                            | 212 |
| 9.4.2.4 | Testování mezní opravy pomocí střední opravy.....                                                                       | 213 |
| 9.4.3   | Ověřování hypotézy o odlehlosti krajních měření ve výběru z normálního rozdělení.....                                   | 213 |
| 9.4.3.1 | Testování variačního rozpětí.....                                                                                       | 214 |



|          |                                                                                                              |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.4.3.2  | Testování krajních hodnot náhodného výběru.....                                                              | 214 |
| 9.5      | Ověřování hypotéz o parametrech regresních funkcí. ....                                                      | 214 |
| 9.5.1    | Individuální testy jednotlivých hodnot parametrů.....                                                        | 215 |
| 9.5.2    | Test hypotéz o vektoru $a$ , nebo jeho části .....                                                           | 215 |
| 9.5.3    | Porovnání regresních funkcí ze dvou nezávislých výběrů .....                                                 | 216 |
| 9.6      | Ověření hypotéz o korelačních koeficientech .....                                                            | 216 |
| 9.6.1    | Hypotéza o existenci korelačního koeficientu $\rho$ v základním souboru. ....                                | 217 |
| 9.6.2    | Hypotéza o rovnosti korelačních koeficientů $\rho_1=\rho_2$ ve dvou základních souborech.....                | 217 |
| 9.6.3    | Hypotéza o existenci korelačního koeficientu $\rho = 0$ v základním souboru. ....                            | 218 |
| 9.7      | Ověření hypotézy o skupinové systematické chybě.....                                                         | 218 |
| 10       | Rozbory přesnosti v inženýrské geodézii .....                                                                | 220 |
| 10.1     | Rozbory před měřením .....                                                                                   | 220 |
| 10.1.1   | Výpočet požadované směrodatné odchylky geodetických prací .....                                              | 220 |
| 10.1.2   | Jednorozměrný případ rozboru před měřením .....                                                              | 221 |
| 10.1.3   | Dvou a vícerozměrný případ rozboru před měřením.....                                                         | 222 |
| 10.2     | Rozbory při měření .....                                                                                     | 223 |
| 10.3     | Rozbory po měření.....                                                                                       | 223 |
| 10.4     | Volba koeficientu spolehlivosti .....                                                                        | 223 |
| 10.5     | Vliv realizace, vliv přesnosti centrace a určení výšky přístroje a cíle na přesnost určovaných veličin ..... | 224 |
| 10.5.1   | Vliv realizace na výsledky vytyčení .....                                                                    | 225 |
| 10.5.2   | Obecný postup určení celkové přesnosti měřené veličiny.....                                                  | 225 |
| 10.5.2.1 | Popis přesnosti centrace a výšky cíle nebo přístroje .....                                                   | 225 |
| 10.5.2.2 | Výpočet vlivu centrace a určení výšky cíle nebo přístroje na měřenou veličinu                                | 226 |
| 10.5.2.3 | Výpočet vzájemných závislostí mezi veličinami měřenými na stanovisku                                         | 226 |
| 10.5.3   | Vliv na přesnost měření vodorovných směrů.....                                                               | 227 |
| 10.5.3.1 | Vliv centrace přístroje .....                                                                                | 227 |
| 10.5.3.2 | Vliv centrace cíle .....                                                                                     | 228 |
| 10.5.3.3 | Celkový vliv centrací na přesnost.....                                                                       | 228 |
| 10.5.3.4 | Závislost měřených vodorovných směrů na stanovisku .....                                                     | 229 |
| 10.5.4   | Vliv na přesnost měření zenitových úhlů .....                                                                | 230 |
| 10.5.4.1 | Vliv centrace a určení výšky přístroje .....                                                                 | 230 |
| 10.5.4.2 | Vliv centrace a určení výšky cíle.....                                                                       | 231 |
| 10.5.4.3 | Celková přesnost.....                                                                                        | 231 |
| 10.5.4.4 | Závislost měřených zenitových úhlů na stanovisku.....                                                        | 232 |
| 10.5.5   | Vliv na přesnost měření šikmých délek .....                                                                  | 233 |
| 10.5.5.1 | Vliv centrace a určení výšky přístroje .....                                                                 | 234 |
| 10.5.5.2 | Vliv centrace a určení výšky cíle.....                                                                       | 234 |
| 10.5.5.3 | Celkový vliv na přesnost.....                                                                                | 234 |



|          |                                                                                                                   |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.5.5.4 | Závislost měřených šikmých délek na stanovisku.....                                                               | 235 |
| 10.5.6   | Vzájemná závislost různých typů měření na stanovisku .....                                                        | 236 |
| 10.6     | Praktické případy rozborů přesnosti bez vyrovnání.....                                                            | 237 |
| 10.6.1   | Vytyčení polohy bodu polární metodou.....                                                                         | 237 |
| 10.6.1.1 | Vliv měření na přesnost souřadnic .....                                                                           | 238 |
| 10.6.1.2 | Vliv měření na polohovou a souřadnicovou směrodatnou odchylku.....                                                | 239 |
| 10.6.1.3 | Vliv podkladu na přesnost souřadnic.....                                                                          | 240 |
| 10.6.1.4 | Vliv centrace přístroje a cíle a realizace na přesnost souřadnic.....                                             | 241 |
| 10.6.1.5 | Rozbor přesnosti před měřením .....                                                                               | 242 |
| 10.6.1.6 | Rozbor přesnosti při měření .....                                                                                 | 243 |
| 10.6.1.7 | Rozbor přesnosti po měření.....                                                                                   | 244 |
| 10.6.2   | Vytyčení úsečky polární metodou .....                                                                             | 244 |
| 10.6.2.1 | Rozbor přesnosti před měřením pro rozměr úsečky .....                                                             | 244 |
| 10.6.2.2 | Rozbor přesnosti při měření pro rozměr úsečky .....                                                               | 248 |
| 10.6.2.3 | Rozbor přesnosti po měření pro rozměr úsečky.....                                                                 | 248 |
| 10.7     | Apriorní rozbor modelováním úloh s vyrovnáním (i bez).....                                                        | 249 |
| 11       | Vyrovnání a analýza přesnosti geodetických sítí .....                                                             | 251 |
| 11.1     | Zpracování a analýza přesnosti měření před vyrovnáním .....                                                       | 251 |
| 11.1.1   | Hodnocení přesnosti měření z opakování.....                                                                       | 251 |
| 11.1.1.1 | Hodnocení přesnosti vodorovných směrů.....                                                                        | 253 |
| 11.1.1.2 | Hodnocení přesnosti zenitových úhlů .....                                                                         | 254 |
| 11.1.1.3 | Hodnocení přesnosti vodorovných délek .....                                                                       | 255 |
| 11.1.2   | Hodnocení přesnosti z úhlových uzávěrů.....                                                                       | 255 |
| 11.1.2.1 | Testování velikosti úhlových uzávěrů .....                                                                        | 256 |
| 11.1.2.2 | Výpočet přesnosti z úhlových uzávěrů .....                                                                        | 256 |
| 11.1.3   | Hodnocení přesnosti z protisměrných měření .....                                                                  | 257 |
| 11.1.3.1 | Testování dosažené přesnosti.....                                                                                 | 257 |
| 11.1.3.2 | Určení přesnosti z protisměrných měření .....                                                                     | 258 |
| 11.1.4   | Hodnocení přesnosti z výškových uzávěrů.....                                                                      | 258 |
| 11.1.4.1 | Testování dosažené přesnosti.....                                                                                 | 258 |
| 11.1.4.2 | Určení přesnosti z výškových uzávěrů .....                                                                        | 259 |
| 11.2     | Vyrovnání geodetické sítě vyrovnáním měření zprostředkujících ....                                                | 259 |
| 11.2.1   | Vázaná síť.....                                                                                                   | 260 |
| 11.2.2   | Volná síť.....                                                                                                    | 263 |
| 11.2.2.1 | Počet nutných parametrů pro umístění volné sítě do prostoru.....                                                  | 264 |
| 11.2.2.2 | Řešení pseudoinverzí .....                                                                                        | 266 |
| 11.2.2.3 | Volba umístění pomocí vyřazení souřadnic z vyrovnání.....                                                         | 266 |
| 11.2.2.4 | Volba umístění pomocí fixování souřadnic podmínkami .....                                                         | 266 |
| 11.2.2.5 | Bod a směrník .....                                                                                               | 267 |
| 11.2.2.6 | Helmertova transformace.....                                                                                      | 268 |
| 11.2.3   | Vázaná síť s chybami podkladu do vyrovnání.....                                                                   | 270 |
| 11.2.4   | Exaktní vyrovnání s využitím konceptu pseudobodu pro uvážení vlivu centrace a určení výšky přístroje a cíle ..... | 271 |



|          |                                                                                        |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.2.4.1 | Příklad využití pseudobodu u polární metody .....                                      | 272 |
| 11.2.4.2 | Příklad využití pseudobodu u úlohy volného stanoviska .....                            | 272 |
| 11.2.4.3 | Závěr .....                                                                            | 275 |
| 11.2.5   | Vyrovňání prostorové sítě s redukcí délek .....                                        | 276 |
| 11.2.5.1 | Redukce měřených veličin na spojici stabilizačních značek .....                        | 276 |
| 11.2.5.2 | Úprava vzorců pro vyrovňání .....                                                      | 278 |
| 11.3     | Hodnocení aposteriorní přesnosti vyrovňání MNC .....                                   | 278 |
| 11.3.1   | Testování velikosti aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky .....                  | 279 |
| 11.3.2   | Hodnocení velikosti oprav .....                                                        | 280 |
| 11.3.3   | Hodnocení vlivu každého měření na kvalitu vyrovňání .....                              | 281 |
| 11.3.4   | Robustní metody vyhledání hrubých chyb .....                                           | 281 |
| 11.4     | Výpočet parametrů elipsoidu chyb z kovarianční matice .....                            | 281 |
| 12       | Transformace souřadnic .....                                                           | 282 |
| 12.1     | Rovnice lineární transformace .....                                                    | 282 |
| 12.2     | Lineární transformace v rovině .....                                                   | 282 |
| 12.3     | Lineární prostorová transformace .....                                                 | 284 |
| 12.3.1   | Obecná afinní transformace .....                                                       | 286 |
| 12.3.2   | Výpočet transformačního klíče metodou MNC .....                                        | 287 |
| 12.3.3   | Výpočet počátečních hodnot pro iteraci ze čtyř identických bodů .....                  | 288 |
| 12.3.4   | Výpočet počátečních hodnot pro iteraci ze tří identických bodů .....                   | 290 |
| 12.3.4.1 | Výpočet matice rotace $R$ .....                                                        | 290 |
| 12.3.4.2 | Výpočet měřítkového koeficientu $m$ .....                                              | 291 |
| 12.3.4.3 | Výpočet translací $T$ .....                                                            | 291 |
| 12.4     | Uvážení přesnosti souřadnic při výpočtu transformačního klíče .....                    | 291 |
| 12.4.1   | Řešení přesnosti uvážením přesnosti souřadnic v jedné soustavě .....                   | 292 |
| 12.4.2   | Řešení přesnosti předtransformací a sečtením kovariančních matic .....                 | 292 |
| 12.4.3   | Řešení přesnosti rozšířením souboru měření na souřadnice v obou soustavách .....       | 293 |
| 12.4.4   | Závěr .....                                                                            | 295 |
| 12.5     | Transformace kovarianční matice souřadnic .....                                        | 296 |
| 13       | Globální optimalizační algoritmy .....                                                 | 298 |
| 13.1     | Rozdělení globálních optimalizačních algoritmů .....                                   | 299 |
| 13.2     | Pravděpodobnostní (Monte-Carlo) metody .....                                           | 300 |
| 13.2.1   | Náhodné prohledávání .....                                                             | 300 |
| 13.2.2   | Horolezecký algoritmus (Hill Climbing) .....                                           | 301 |
| 13.2.3   | Horolezecký algoritmus s náhodnými restarty (Hill Climbing with Random Restarts) ..... | 301 |
| 13.2.4   | Náhodná optimalizace (Random Optimization) .....                                       | 302 |
| 13.2.5   | Řízené náhodné prohledávání (Controlled Random Search) .....                           | 302 |



|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 13.2.6 Simulované žhání (Simulated Annealing)                   | 302 |
| 13.3 Evoluční metody                                            | 303 |
| 13.3.1 Genetické algoritmy                                      | 303 |
| 13.3.1.1 Princip genetického algoritmu                          | 303 |
| 13.3.1.2 Obecné schéma genetického algoritmu                    | 304 |
| 13.3.1.3 Výhody a nevýhody genetických algoritmů                | 304 |
| 13.3.2 Evoluční strategie                                       | 305 |
| 13.3.2.1 Populace (1+1)                                         | 305 |
| 13.3.2.2 Populace ( $\mu + 1$ )                                 | 305 |
| 13.3.2.3 Populace ( $\mu + \lambda$ )                           | 305 |
| 13.3.2.4 Populace ( $\mu, \lambda$ )                            | 305 |
| 13.3.2.5 Populace ( $\mu/\rho, \lambda$ )                       | 305 |
| 13.3.2.6 Populace ( $\mu/\rho + \lambda$ )                      | 305 |
| 13.3.2.7 Populace ( $\mu', \lambda'(\mu, \lambda)^\gamma$ )     | 306 |
| 13.3.3 Diferenciální evoluce                                    | 306 |
| 13.4 Metody kolektivní inteligence (Swarm Intelligence)         | 306 |
| 13.4.1 Optimalizace hejnem částic (Particle Swarm Optimization) | 307 |
| 13.4.2 Algoritmus SOMA (Self-Organizing Migration Algorithm)    | 307 |
| 13.5 Přímé vyhledávací metody                                   | 307 |
| 13.5.1 Neinformované vyhledávání (Uninformed Search)            | 307 |
| 13.5.1.1 Prohledávání do šířky (Breadth-First Search)           | 307 |
| 13.5.1.2 Prohledávání do hloubky (Depth-First Search)           | 307 |
| 13.5.1.3 Prohledávání náhodné cesty (Random Walks)              | 308 |
| 13.5.2 Informované vyhledávání (Informed Search)                | 308 |
| 13.5.2.1 Hladové vyhledávání (Greedy Best-First Search)         | 308 |
| 13.5.2.2 Adaptivní prohledávání cesty (Adaptive Walks)          | 308 |
| 13.5.2.3 Simplexová metoda (Downhill Simplex)                   | 308 |
| 14 Literatura                                                   | 312 |
| 15 Seznam obrázků                                               | 315 |
| 16 Seznam tabulek                                               | 317 |
| 17 Přílohy                                                      | 318 |
| 18 Rejstřík                                                     | 328 |
| Abstrakt                                                        | 332 |
| Abstract                                                        | 333 |