



Obsah

Úvod	13
1. ČÁST	
1. Základní pojmy	16
1.1 Náhodný jev	16
1.2 Pravděpodobnost	19
1.2.1 Podmíněná pravděpodobnost, sčítání a násobení pravděpodobností	20
1.2.2 Úplná pravděpodobnost	22
1.3 Opakované pokusy	23
1.3.1 Nezávislé pokusy	23
1.3.2 Závislé pokusy	25
2. Náhodná veličina	27
2.1 Pojem náhodné veličiny a rozdělení náhodné veličiny	27
2.2 Charakteristiky náhodných veličin	30
2.2.1 Charakteristiky polohy	33
2.2.2 Charakteristiky proměnlivosti	34
2.2.3 Charakteristiky šikmosti a špičatosti	36
2.3 Vícerozměrná náhodná veličina	36
2.3.1 Nezávislost náhodných veličin	39
2.4 Charakteristiky vícerozměrné náhodné veličiny	39
2.5 Některá rozdělení diskretních a spojitých náhodných veličin	41
2.5.1 Alternativní a binomické rozdělení	41
2.5.2 Normální rozdělení (Laplace-Gaussovo)	43

2.5.3	Rozdělení χ^2 (čti chí-kvadrát)	45
2.5.4	Studentovo t -rozdělení	47
2.5.5	Rozdělení F (Snedecorovo- Fisherovo)	48
2.5.6	Vícerozměrné normální rozdělení	49
2.6	Některé limitní věty	50
2.6.1	Zákon velkých čísel	50
2.6.2	Centrální limitní věta	51
3.	Základy teorie náhodného výběru a teorie odhadu	52
3.1	Střední hodnota a variance výběrového průměru a výběrové variance	53
3.2	Rozdělení některých výběrových funkcí ve výběru z $N(E(x); \sigma^2)$	54
3.3	Bodový a intervalový odhad	56
3.4	Konstrukce intervalů spolehlivosti	56
3.5	Intervaly spolehlivosti pro parametry normálního rozdělení	58
3.5.1	Interval spolehlivosti pro střední hodnotu $E(x) = X$ základního souboru	58
3.5.2	Interval spolehlivosti pro varianci σ^2 základního souboru	59
3.6	Testování statistických hypotéz	61
3.6.1	Základní pojmy	61
3.6.2	Testování hypotézy o střední hodnotě základního souboru s normálním rozdělením	64
3.6.3	Testování hypotézy o varianci σ^2 v základním souboru s normálním rozdělením	64
3.6.4	Testování hypotézy o rovnosti variancí dvou normálně rozdělených základních souborů	65
3.6.5	Testování hypotézy o rovnosti středních hodnot dvou normálně rozdělených základních souborů	65
4.	Základy teorie chyb měření	67
4.1	Chyby měření	67
4.1.1	Měření	67
4.1.2	Omyly a hrubé chyby	69
4.1.3	Chyby nevyhnutelné (náhodné a systematické)	69
4.2	Zákonitosti náhodných chyb. Elementární chyby, základní a výběrové míry přesnosti, mezní chyba	70

4.2.1	Zákonitosti náhodných chyb	70
4.2.2	Elementární chyby	71
4.2.3	Základní soubor chyb	72
4.2.4	Přesnost měření a základní střední chyba	74
4.2.5	Parametry základního souboru chyb a mezní chyba	75
4.2.6	Empirická střední chyba	76
4.2.7	Průměrná a pravděpodobná chyba	76
4.2.8	Přehled základních a výběrových měř přesnosti v souborech chyb měření	77
4.3	Zkoušky normality souboru měření	78
4.3.1	Uspořádání statistického souboru	78
4.3.2	Zkoušky (kritéria) normality pomocí empirických momentů	80
4.3.3	Zkouška normality pomocí třídních četností	82
4.4	Rozdělení vícerozměrných chyb	91
4.4.1	Chyby jednorozměrné	91
4.4.2	Chyby dvojrozměrné	92
4.4.3	Hustota pravděpodobnosti pro celý obvod elipsy chyb	95
4.4.4	Kružnice chyb	97
4.4.5	Pravděpodobnost chyb v mezích 0 až t	98
4.4.6	Stočené soustavy chybových souřadnic x, y	99
4.4.7	Elipsa chyb v případě vyrovnání zprostředkujících měření	101
4.4.8	Helmertova křivka	102
4.4.9	Zákon rozdělení chyb v prostoru	103
4.5	Zákon hromadění skutečných a středních chyb	106
4.5.1	Skutečná chyba funkce měřených veličin	106
4.5.2	Přesnost počítání a ekonomické měření	108
4.5.3	Zákon hromadění středních chyb	109
5.	Vyrovnaní obecně	113
5.1	Úvod	113
5.2	Metody vyrovnání	113
5.3	Metoda nejmenších čtverců	114
5.4	Formulace vyrovnávacích úloh	115

6. Vyrovnání přímých měření	116
6.1 Aritmetický a obecný průměr	116
6.1.1 Formulace úlohy.	116
6.1.2 Postup řešení.	116
6.2 Střední chyba obecného průměru	117
6.3 Výpočet empirických středních chyb z oprav	118
6.4 Postup vyrovnání měření přímých	120
6.5 Zdůvodnění aritmetického a obecného průměru	121
6.6 Dvojice měření	123
6.6.1 Soubor dvojic stejné váhy	123
6.6.2 Soubor dvojic různé váhy	124
7. Vyrovnání zprostředkujících měření	125
7.1 Formulace úlohy	125
7.2 Postup řešení	126
7.3 Gaussův algoritmus	127
7.4 Kontroly	129
7.4.1 Kontrola linearizace rovnic oprav	129
7.4.2 Kontrola sestavení koeficientů normálních rovnic	129
7.4.3 Kontroly řešení systému normálních rovnic a výpočtu oprav	129
7.4.4 Závěrečná kontrola	130
7.5 Střední chyby	130
7.5.1 Odhad jednotkové střední chyby	131
7.5.2 Střední chyby vyrovnaných neznámých	133
7.5.3 Střední chyba funkce vyrovnaných neznámých	134
7.5.4 Střední chyba vyrovnaného měření	135
7.6 Speciální případy	136
7.6.1 Vyrovnání různorodých měření	136
7.6.2 Chybná volba počtu neznámých	137
7.6.3 Uplatnění chyb ve výchozích (daných) veličinách	137
7.6.4 Efektivní (eficientní) vyrovnání	138

7.7	Přehled postupu vyrovnání. Schema řešení normálních rovnic	139
7.8	Metody řešení normálních rovnic	142
7.8.1	Řešení pomocí determinantů	142
7.8.2	Gaussova eliminační metoda	143
7.8.3	Choleskyho metoda	143
7.8.4	Metoda inverze matic	144
7.8.5	Pseudoinverzní matice	144
7.8.6	Metoda postupné iterace	146
Tabulky		148
Literatura		158
2. ČÁST		
8.	Vyrovnaní podmínkových měření	12
8.1	Formulace úlohy	12
8.2	Postup řešení	13
8.2.1	Pravidla řešení a instruktivní příklad	13
8.3	Přechod na vyrovnání zprostředkujících měření	16
8.4	Vyrovnaní pomocí korelát	17
8.5	Řešení normálních rovnic Gaussovým algoritmem	18
8.6	Kontroly	19
8.6.1	Kontrola linearizace podmínkových rovnic	19
8.6.2	Kontrola sestavení koeficientů normálních rovnic	19
8.6.3	Kontroly řešení normálních rovnic a výpočtu oprav	19
8.6.4	Závěrečná kontrola	20
8.7	Střední chyby	20
8.7.1	Střední chyba jednotková	20
8.7.2	Střední chyby vyrovnaných veličin a jejich funkcí	21
8.8	Přehled postupu vyrovnání	23
8.9	Speciální případy	25
8.9.1	Úpravy v přetvořených podmínkových rovnicích	25

8.9.2	Nesprávný počet podmínkových rovnic	25
8.9.3	Vyrovnaní různorodých veličin	26
8.9.4	Vyrovnaní měření s daným součtem	26
8.9.5	Ekvivalentní měření	27
9.	Kombinované vyrovnaní	29
9.1	Vyrovnaní zprostředkujících měření s podmínkami	29
9.2	Vyrovnaní podmínkových měření s neznámými	30
9.3	Kolokace	32
9.3.1	Princip metody	32
9.3.2	Přehled vzorců pro výpočet výsledků	34
9.3.3	Přehled vzorců pro výpočet středních chyb	36
9.3.4	Kovarianční funkce	37
9.3.5	Zhodnocení	38
9.4	Optimalizace geodetických sítí	38
10.	Aproximace funkčních vztahů. Regresní a korelační analýza	39
10.1	Některé předpoklady pro regresní a korelační analýzu	40
10.2	Podstata aproximace funkčních vztahů (regresní analýza)	41
10.2.1	Uvedení do problematiky	41
10.2.2	Obecný postup aproximace	43
10.2.3	Volba typu a stupně vyrovnávací křivky k empirickému polygonu	44
10.3	Vyrovňovací přímka a rovina	46
10.3.1	Měřené hodnoty y jsou zatíženy chybami	47
10.3.2	Měřené hodnoty x jsou zatíženy chybami	49
10.3.3	Obojí měřené veličiny x, y jsou zatíženy měřicími chybami	50
10.3.4	Vyrovňovací rovina	51
10.4	Aproximace funkce trigonometrickou řadou (harmonická analýza)	52
10.5	Přibližné metody aproximace	56
10.5.1	Metoda skupinová (průměrová)	57
10.5.2	Použití transformace proměnných	57
10.6	Základy korelačního počtu. Analýza korelace	57

10.6.1	Základní pojmy	57
10.6.2	Koeficient korelace a analýza korelace	61
10.6.3	Testování empirického koeficientu korelace	63
10.7	Jiné druhy korelace . Význam korelačního počtu	64
10.7.1	Pořadová (rangová) korelace	64
10.7.2	Parciální korelace	65
10.7.3	Mnohonásobná korelace	66
10.7.4	Nelineární korelace	67
10.8	Korelace výsledků měření nebo vyrovnání. Obecný zákon sčítání středních chyb a vah	68
10.8.1	Úvod	68
10.8.2	Kovariance a váhové koeficienty. Obecný zákon sčítání středních chyb a vah	68
10.8.3	Užití koeficientu korelace	70
11.	Vyrovnání korelovaných měření. Obecný model vyrovnání a přehledy vzorců	72
11.1	Zákon hromadění vah pro korelovaná měření	73
11.2	Určení matice Q_f	74
11.3	Volba metody vyrovnání a vliv zanedbání korelace mezi měřeními na výsledky vyrovnání	75
11.4	Obecný model vyrovnání a přehled vzorců pro jeho speciální případy	76
11.4.1	Vyrovnání měření zprostředkujících	78
11.4.2	Vyrovnání měření podmínkových	79
11.4.3	Vyrovnání měření podmínkových s neznámými	80
11.4.4	Vyrovnání měření zprostředkujících s podmínkami pro neznámé	81
11.4.5	Programy VÚGTK	82
11.5	Historie a význam metody nejmenších čtverců	82
12.	Geodetické aplikace rozdělení náhodných veličin a testování hypotéz	87
12.1	Chyba z diskretizace (digitalizace) měření	87
12.2	Mezní chyba, plánování přesnosti měření	89
12.2.1	Pojem mezní chyby	89

12.2.2	Testování chyb při neznámé základní střední chybě	90
12.3	Kritéria a vylučování odlehlých měření	91
12.3.1	Rozdělení oprav. Vzorec Petersův	91
12.3.2	Testování oprav (odlehlých měření)	92
12.3.3	Přímý test	95
12.3.4	Testování variačního rozpětí $l_{(n)} - l_{(1)}$	95
12.4	Mezní výběrová střední chyba	95
12.4.1	Testování střední chyby podle jejího rozdělení	95
12.4.2	Testování empirické střední chyby pomocí normálního rozdělení . . .	96
12.4.3	Závěr o interpretaci kritéria m_α	97
12.5	Interval spolehlivosti u základní střední chyby	97
12.6	Testování homogenity přesnosti	98
12.7	Problém aplikace Studentova rozdělení v geodézii a test polohových změn .	99
12.7.1	Aplikace Studentova rozdělení v praxi	99
12.7.2	Test naměřené polohové změny	99
12.8	Zákon hromadění chyb při působení systematických chyb	100
12.8.1	Systematické chyby	100
12.8.2	Úplná chyba a úplná střední chyba	101
12.8.3	Zjednodušený zákon hromadění úplných chyb	102
12.9	Jednoduchá kritéria působení systematické chyby a odhad její hodnoty . . .	105
12.9.1	Zkouška znamének	105
12.9.2	Průměrná hodnota chyby	106
12.10	Dynamická kritéria systematických chyb	107
12.10.1	Iterace	108
12.10.2	Postupný součet chyb a argumentu	108
12.10.3	Vývojová kritéria	111
12.11	Závěr k systematickým chybám	112

13. Analýza rozptylu (variance)	115
13.1 Testování poměru apriorní a aposteriorní střední chyby (jednoduchá analýza variance)	115
13.2 Jednorozměrná (jednofaktorová) analýza variance	116
13.2.1 Stejně skupiny	116
13.2.2 Nestejně velké skupiny	120
13.2.3 Nestejně přesná měření l_{ij}	121
13.3 Dvourozměrná (dvoufaktorová) analýza variance	122
Tabulky	129
Literatura	139