

1 ÚVOD.....	13
2 ZÁKLADNÍ POJMY O POSUNECH A DEFORMACÍCH	14
2.1 TERMINOLOGIE	14
2.2 PROJEKT MĚŘENÍ POSUNŮ.....	14
2.3 VYBRANÉ NORMY PRO POSUNY A DEFORMACE	15
2.3.1 ČSN ISO 7077 (ČSN 73 0212) – Geometrická přesnost ve výstavbě.....	15
2.3.2 ČSN 73 0202 – Geometrická přesnost ve výstavbě – základní ustanovení	15
2.3.3 ČSN 73 0205 – Navrhování geometrické přesnosti	16
2.3.4 ČSN 73 0405 – Měření posunů stavebních objektů	16
2.3.5 ČSN 73 6209 – Zatěžovací zkoušky mostů.....	16
2.3.6 ČSN 73 5130 – Jeřábové dráhy	16
2.3.7 ČSN 73 2030 – Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí.....	17
2.3.8 ČSN 73 2603 – Ocelové mostní konstrukce.....	17
2.3.9 ČSN EN 13 670 – Provádění betonových konstrukcí	17
3 STABILIZACE A SIGNALIZACE BODŮ	18
3.1 STABILIZACE VZTAŽNÝCH BODŮ	18
3.2 STABILIZACE POZOROVANÝCH BODŮ	19
4 METODY MĚŘENÍ.....	22
4.1 MĚŘENÍ VODOROVNÝCH POSUNŮ A DEFORMACÍ.....	22
4.1.1 Polární metoda	23
4.1.2 Metoda záměrné přímky	27
4.1.2.1 Kontrola stability záměrné přímky.....	29
4.1.3 Metoda polygonového pořadu.....	30
4.1.4 Metoda protínání z úhlů (trigonometrická)	32
4.1.5 Metoda protínání z délek (trilaterační)	34
4.1.6 Metoda promítání	36
4.1.7 Metoda provažování.....	37
4.1.8 Metoda fotogrammetrická (jednosnímková)	39
4.1.8.1 Metoda časové základny.....	40
4.1.8.2 Metoda světelných řezů	41
4.2 MĚŘENÍ SVISLÝCH POSUNŮ A DEFORMACÍ	42
4.2.1 Metoda geometrické nivelace.....	42
4.2.1.1 Chyby přístroje a latě	43
4.2.1.2 Přesnost geometrické nivelace	45
4.2.2 Metoda hydrostatické nivelace	47
4.2.3 Metoda trigonometrického určování výškových rozdílů.....	48

4.2.3.1	Vliv refrakce na trigonometrickou nivelaci.....	51
4.2.4	Metoda fotogrammetrická (jednosnímková).....	52
4.3	MĚŘENÍ PROSTOROVÝCH POSUNŮ A DEFORMACÍ	54
4.3.1	Polární prostorová metoda	54
4.3.2	Metoda prostorového protínání z úhlů.....	55
4.3.3	Metoda průsekové fotogrammetrie.....	57
4.3.3.1	Prvky vnitřní a vnější orientace.....	59
4.3.3.2	Výpočet prostorových souřadnic bodu.....	60
4.3.3.2.1	Výpočet přibližných prostorových souřadnic.....	60
4.3.3.2.2	Výpočet přesných prostorových souřadnic.....	61
4.3.4	Metoda prostorové sítě.....	62
4.3.5	Metoda 3D skenování.....	63
4.3.5.1	Laserové skenování.....	64
4.3.5.1.1	Metoda průměrování opakovaných skenů	64
4.3.5.2	Optické skenování.....	67
4.3.5.2.1	Laserová triangulace.....	67
4.3.5.2.2	Strukturované světlo	67
4.3.5.2.3	Fotogrammetrie	69
4.3.6	Metoda globálních navigačních satelitních systémů (GNSS).....	69
4.3.6.1	Srovnání měření GNSS v síti referenčních stanic na území Prahy	71
4.3.6.2	Testování lokální přesnosti GNSS přijímačů Trimble Geo XR	72
4.4	VYBRANÉ FYZIKÁLNÍ METODY	74
4.4.1	Metoda pozemní radarové interferometrie (InSAR).....	74
4.4.2	Mikro elektro mechanické systémy (MEMS).....	75
5	APLIKACE GEODETICKÝCH METOD PŘI MĚŘENÍ STAVEBNÍCH OBJEKTŮ	76
5.1	POZEMNÍ STAVBY	76
5.2	JEŘÁBOVÉ DRÁHY.....	76
5.3	MOSTNÍ OBJEKTY.....	76
5.4	VÝŠKOVÉ OBJEKTY.....	76
5.5	VODOHOSPODÁŘSKÁ DÍLA	77
5.6	PRŮMYSLOVÁ A TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ	77
5.7	TUNELY.....	77
6	ROZBORY POŽADOVANÉ PŘESNOSTI.....	78
6.1	APRIORNÍ ROZBORY PŘESNOSTI	78
6.1.1	Obecné modelování geodetické úlohy.....	80
6.1.1.1	Model protínání z délek.....	82
6.1.1.2	Model protínání z úhlů.....	83
6.1.2	Modelování úloh s vyrovnáním	84
6.2	ROZBORY PŘESNOSTI PŘI MĚŘENÍ.....	85

6.3	APOSTERIORNÍ ROZBORY PŘESNOSTI.....	86
6.3.1	Detekce posunu.....	87
7	SPECIÁLNÍ METODY ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	88
7.1	FOTOGRAMMETRICKÉ VÝPOČETNÍ METODY	88
7.1.1	Určení přibližných hodnot vnější orientace.....	88
7.1.1.1	Iterační vyrovnání polohy vstupní pupily	89
7.1.1.2	Voxelová metoda (poloha vstupní pupily).....	92
7.1.1.3	Genetický algoritmus (poloha vstupní pupily).....	93
7.1.1.4	Určení úhlů stočení	97
7.1.2	Svazkové vyrovnání	97
7.1.2.1	Výpočet svazkového vyrovnání.....	98
7.1.2.1.1	Výpočet prvků orientace vyrovnáním	100
7.1.2.2	Svazkové vyrovnání s dalšími parametry.....	102
7.1.2.3	Výpočet přibližných hodnot pro vyrovnání	103
7.1.3	Direktní lineární transformace	103
7.1.3.1	Matematický základ	103
7.1.3.2	Iterační výpočet	105
7.1.3.3	Výpočet přibližných hodnot pro iterační výpočet	105
7.1.3.4	Iterační výpočet s korekcí distorze objektivu	106
7.1.3.5	Shrnutí.....	106
7.1.4	Epipolární geometrie.....	106
7.1.4.1	Fundamentální matice	107
7.1.4.2	Matice fotoaparátu	109
7.1.4.3	Esenciální matice	110
7.1.4.4	Epipóly a epipolární přímky	110
7.1.4.5	Výpočet matice fotoaparátu	111
7.1.4.6	Metoda Gold Standard	113
7.1.4.7	Shrnutí postupu výpočtu a využití	113
7.2	3D SKENOVÁNÍ	113
7.2.1	Potlačení šumu (denoising)	114
7.2.1.1	Opakované měření délky	115
7.2.1.2	Metoda Super-resolution	115
7.2.1.3	Průměrování polárních souřadnic blízkých bodů	115
7.2.1.4	Prokládání rovinami	117
7.2.1.5	Non-local průměrování	117
7.2.1.6	Prokládání polynomickými plochami.....	119
7.2.2	Spojování skenů.....	119
7.2.3	Prokládání skenu	119
7.3	VYROVNÁNÍ PROSTOROVÉ GEODETICKÉ SÍTĚ	120
7.3.1	Redukce měřených dat.....	120
7.3.2	Obecný model vyrovnání.....	123
7.3.2.1	Směrodatná odchylka jednotková	125
7.3.2.2	Směrodatná odchylka vyrovnaných neznámých	125

7.3.2.3	Směrodatná odchylka vyrovnaných měření	125
7.3.2.4	Směrodatná odchylka funkce vyrovnaných neznámých	125
7.3.2.5	Směrodatná odchylka oprav z vyrovnání.....	126
7.3.2.6	Elipsoid chyb	126
7.3.2.7	Transformace kovarianční matice souřadnic.....	126
7.3.3	Volba zprostředkujících veličin pro jednotné vyrovnání.....	128
7.3.4	Vázaná síť.....	129
7.3.5	Volná síť.....	132
7.3.5.1	Nutné parametry pro umístění volné sítě do prostoru	133
7.3.5.2	Podmínka bod a směrník	135
7.3.5.3	Podmínka Helmertovy transformace.....	136
7.3.6	Robustní metody vyrovnání	137
7.3.6.1	Huberův M-odhad.....	138
7.3.6.2	L1 - norma	139
7.3.6.3	Dánská metoda	139
7.3.6.4	RANSAC	140
7.4	TRANSFORMACE MĚŘENÝCH DAT	140
7.4.1	2D model transformace.....	141
7.4.1.1	Helmertova podobnostní transformace	142
7.4.2	3D model transformace.....	144
7.4.2.1	Výpočet přibližných hodnot neznámých	146
7.4.3	Robustní transformace	147
7.5	PROKLÁDÁNÍ MĚŘENÝCH DAT.....	148
7.5.1	2D prokládání.....	148
7.5.1.1	Měřené hodnoty y jsou zatíženy chybami	149
7.5.1.1.1	Proložení obecným polynomem	149
7.5.1.1.2	Proložení ortogonálním polynomem	150
7.5.1.2	Měřené hodnoty x jsou zatíženy chybami	151
7.5.2	3D prokládání.....	151
7.5.2.1	Proložení vyrovnávací rovinou.....	151
7.5.2.2	Proložení koulí.....	152
7.5.2.3	Proložení obecnou rovinou.....	153
8	STATISTICKÉ TESTOVÁNÍ A KORELAČNÍ ANALÝZA VÝSLEDKŮ.....	156
8.1	TESTOVÁNÍ JEDNOTKOVÉ SMĚRODATNÉ ODCHYLKY.....	156
8.1.1	Shoda základní a výběrové směrodatné odchylky	156
8.1.2	Shodnost dvou výběrových směrodatných odchylek.....	157
8.2	KORELAČNÍ ANALÝZA	157
8.2.1	Výpočet koeficientu korelace z kovarianční matice	158
8.2.2	Testování koeficientu korelace.....	158
8.2.3	Pořadová korelace	158
8.3	TESTOVÁNÍ VLIVU TEPLoty A ČASU NA VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	159

9 VYBRANÉ DOSTUPNÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY162

9.1	GEODETICKÉ SLEDOVÁNÍ.....	162
9.1.1	Totální stanice.....	162
9.1.1.1	Trimble S8.....	162
9.1.1.2	Leica Nova TS50.....	163
9.1.1.3	Topcon MS05AXII.....	164
9.1.1.4	Leica TDRA 6000.....	164
9.1.2	Laserové trackery.....	165
9.1.2.1	ETALON LaserTRACER-NG.....	165
9.1.2.2	FARO Laser Tracker Vantage.....	166
9.1.2.3	API Tracker3 (T3).....	166
9.1.2.4	Leica AT960.....	167
9.1.3	Provažovače.....	168
9.1.3.1	FOIF JC100.....	168
9.1.3.2	FPM Holding GmbH FGL-100.....	169
9.1.4	Nivelační přístroje a soupravy pro hydrostatickou nivelaci.....	169
9.1.4.1	Trimble DiNi Level.....	169
9.1.4.2	Leica DNA03.....	170
9.1.4.3	FOIF EL03.....	170
9.1.4.4	Sokkia SDL1X.....	171
9.1.4.5	FOIF DS03.....	171
9.1.4.6	FPM Holding GmbH PSW 2.....	172
9.1.4.7	VÚGTK HYNI.....	173
9.1.5	Cílová zařízení a ostatní pomůcky.....	173
9.1.5.1	Kulový odrazný hranol.....	174
9.1.5.2	Rohové přípravky.....	174
9.1.5.3	Tyčový přípravek.....	174
9.1.5.4	Krátká nivelační lať.....	175
9.1.5.5	Leica Disto D810 Touch.....	176
9.2	3D SKENOVÁNÍ.....	176
9.2.1	Laserové skenery.....	176
9.2.1.1	Z+F Imager 5010C.....	176
9.2.1.2	Faro Focus 3D X 330.....	177
9.2.1.3	Leica ScanStation P20.....	177
9.2.1.4	Surphaser 100HSX.....	178
9.2.1.5	Trimble TX8.....	178
9.2.2	Optické skenery.....	179
9.2.2.1	ATOS Triple Scan 16 M.....	179
9.2.2.2	Steinbichler Comet L3D 8M.....	179
9.2.2.3	Solutionix Rexcan 4.....	180
9.2.3	Skenovací totální stanice.....	180
9.2.3.1	Topcon Imaging Station IS-3.....	180
9.2.3.2	Trimble VX.....	181
9.2.3.3	Leica NOVA MS50.....	181

9.3	FOTOGRAMMETRIE	182
9.3.1	Geodetic systems INCA3.....	182
9.3.2	Phase one 645DF + IQ 280.....	183
9.3.3	HASSELBLAD H5D-200 MS	183
9.3.4	Trimble V10.....	184
9.4	GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY	184
9.4.1	Trimble R10 LT	184
9.4.2	Leica Viva GS15.....	185
9.4.3	Topcon GR-5	186
10	VYBRANÉ GEODETICKÉ PRÁCE	187
10.1	ZAMĚŘENÍ PŘETVOŘENÍ ŽELEZNIČNÍHO MOSTU	187
10.1.1	Metodika.....	188
10.1.2	Přesnost geodetického měření.....	188
10.1.3	Porovnání etap a stabilita bodů	188
10.2	ZÁTĚŽOVÁ ZKOUŠKA BETONOVÉHO NOSNÍKU	189
10.2.1	Fotogrammetrické měření.....	191
10.2.2	Prostorová mikrosíť	191
10.2.3	Prostorová transformace.....	192
10.2.4	Výsledky	192
10.3	MĚŘENÍ VODOROVNÝCH POSUNŮ VÝŠKOVÝCH BUDOV	192
10.3.1	Metoda provážení	193
10.3.2	Metoda GNSS.....	194
10.3.3	NEP Twin Towers (Frankfurt).....	194
10.4	POŽÁRNÍ ZKOUŠKA MOKRSKO	195
10.4.1	Laserové skenování.....	195
10.4.2	Automatizované měření totální stanicí	197
10.5	DEFORMACE HISTORICKÝCH OBJEKTŮ PRAŽSKÉHO HRADU.....	199
10.5.1	Letohrádek královny Anny (královský letohrádek).....	199
10.5.1.1	Svislé posuny.....	199
10.5.1.2	Vodorovné náklony a převýšení sloupů.....	200
10.5.2	Vladislavský sál	201
10.5.2.1	Svislé posuny.....	201
10.5.2.2	Vodorovné náklony.....	202
10.5.3	Bazilika sv. Jiří	203
10.5.3.1	Svislé posuny.....	203
10.5.3.2	Náklony věží	204
10.6	MĚŘENÍ PRŮHYBU BETONOVÝCH MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ.....	205
11	PŘÍLOHY.....	207
11.1	CHÍ-KVADRÁT ROZDĚLENÍ	207

11.2	F - ROZDĚLENÍ	208
11.3	STUDENTOVO ROZDĚLENÍ	209
12	LITERATURA.....	210
13	SEZNAM OBRÁZKŮ	221
14	SEZNAM TABULEK.....	224
ABSTRACT	225