

Obsah

1 ÚVOD (MARTIN ŠTRONER)	19
2 PRINCIPY FUNGOVÁNÍ TERESTRICKÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ (JIŘÍ POSPÍŠIL)	20
2.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ.....	20
2.2 ZÁKLADNÍ TYPY SKENERŮ	22
2.2.1 Metoda prostorového protínání vpřed.....	23
2.2.2 Prostorová polární metoda.....	24
2.3 ZÁKLADNÍ SOUČÁSTI SKENERŮ.....	24
2.3.1 Zdroje záření.....	24
2.3.1.1 Lasery.....	25
2.3.1.2 Projektoř.....	27
2.3.2 CCD snímače.....	27
2.3.2.1 Princip snímání osvětlení a převodu náboje na napětí.....	28
2.3.2.2 Parametry důležité pro CCD snímače	30
2.3.2.2.1 Kvantová účinnost EQ (Quantum Efficiency).....	30
2.3.2.2.2 Proud za temna (Dark Current).....	31
2.3.2.2.3 Čtecí šum (Read noise).....	31
2.3.2.2.4 Bitové rozlišení A/D převodníku	31
2.3.3 Princip určení délky.....	31
2.3.3.1 Elektronické určení délky.....	31
2.3.3.1.1 Impulsní určování délky.....	32
2.3.3.1.2 Fázové určování délky.....	33
2.3.3.1.3 Frekvenční určování délky	35
2.3.3.2 Optoelektronické určení délky.....	36
2.3.4 Principy rozmitání svazku.....	37
2.4 DĚLENÍ SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ	42
2.4.1 Statické systémy.....	42
2.4.1.1 Dělení skenerů podle principu.....	42
2.4.1.2 Dělení skenerů podle dosahu	43
2.4.1.3 Dělení skenerů podle přesnosti	43
2.4.1.4 Dělení skenerů podle rychlosti skenování	43
2.4.2 Kinematické systémy.....	44
3 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA MĚŘENÍ TERESTRICKÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ (MARTIN ŠTRONER)	45
3.1 VNITŘNÍ VLIVY (CHYBY SKENERU)	45
3.2 VNĚJŠÍ VLIVY	46
3.2.1 Vliv prostředí na průchod svazku.....	46
3.2.2 Vliv geometrie skenovaných objektů na měření	49
3.2.3 Vliv úhlu dopadu na přesnost měření délky (Pavel Třasák).....	51

3.2.3.1	Testované měřické přístroje	52
3.2.3.2	Přípravek simulující odraznou plochu	52
3.2.3.3	Popis experimentu	53
3.2.3.4	Stanovení počtu opakování měření délky	54
3.2.3.5	Postup zpracování	54
3.2.3.6	Vyloučení odlehlých hodnot	55
3.2.3.7	Ověření normality náhodných výběrů	55
3.2.3.8	Posouzení homogenity náhodných výběrů	55
3.2.3.9	Interval spolehlivosti pro směrodatnou odchylku měřené délky	57
3.2.3.10	Stanovení lineární změny směrodatné odchylky měřené délky	58
3.2.3.11	Grafická interpretace vývoje přesnosti měřené délky	60
3.2.3.12	Závěr	60
3.2.4	Systematické chyby při měření na objekty s nenulovou křivostí	61
3.2.4.1	Podstata problému	61
3.2.4.2	Použité algoritmy ortogonálního prokládání	66
3.2.4.2.1	Algoritmus pro kružnici	66
3.2.4.2.2	Algoritmus pro kouli	68
3.2.4.3	Simulace působení systematického vlivu	69
3.2.4.3.1	Výsledky simulace skenování kružnice	69
3.2.4.3.2	Výsledky simulace skenování koule	70
3.2.4.4	Závěr	72
3.2.5	Vliv povrchů na přesnost měření délky (Tomáš Křemen)	72
4	MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT (MARTIN ŠTRONER)	76
4.1	REKOGNOSKACE OBJEKTU MĚŘENÍ, VOLBA STANOVISEK SKENOVÁNÍ	76
4.2	SIGNALIZACE A ZAMĚŘENÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ	76
4.3	MĚŘENÍ	77
4.4	VSTUPNÍ ÚPRAVY MRAČEN BODŮ	78
4.5	SPOJOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SKENŮ POMOCÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ	78
4.6	SPOJOVÁNÍ SKENŮ NA ZÁKLADĚ PŘEKRYTU	79
4.7	ÚPRAVY MRAČEN BODŮ	80
4.7.1	Odstraňování nadbytečných bodů	80
4.7.2	Potlačování šumu v datech 3D skenování (Václav Smitka, Martin Štroner)	80
4.7.2.1	Opakované měření délky	81
4.7.2.2	Redukce šumu v softwaru Geomagic Studio	82
4.7.2.3	Metoda Super-resolution	82
4.7.2.4	Průměrování polárních souřadnic blízkých bodů	82
4.7.2.5	Průměrování délek blízkých bodů s testováním výskytu odlehlých hodnot	84
4.7.2.6	Průměrování délek sousedních bodů	85
4.7.2.7	Prokládání rovinami	85
4.7.2.8	Non-local průměrování	86
4.7.2.9	Zvyšování přesnosti dat laserového skenování pomocí metody průměrování opakovaných skenů	88
4.7.2.9.1	Popis algoritmu zpracování	88
4.7.2.9.2	Přepoččet souřadnic na zprostředkující veličiny	89

4.7.2.9.3	Algoritmus vyhledání odpovídajícího bodu	89
4.7.2.9.4	Výpočet výsledných souřadnic a charakteristik přesnosti	90
4.7.2.9.5	Popis programu	90
4.7.2.9.6	Testování měření plné sféry v členitém prostředí	93
4.7.2.9.7	Testování v malém úhlovém rozsahu v laboratorních podmínkách	95
4.7.2.9.8	Testování vlivu průměrování na kvalitu trojúhelníkových sítí	96
4.7.2.9.9	Shrnutí	99
4.7.2.10	Redukce šumu v datech 3D skenování na základě prokládání okolních dat polynomickými plochami	100
4.7.2.10.1	Popis algoritmu zpracování	100
4.7.2.10.2	Přepočet souřadnic na zprostředkující veličiny	100
4.7.2.10.3	Algoritmus vyhledání zvoleného okolí bodu	100
4.7.2.10.4	Proložení okolí bodů plochou – konstrukce ploch pomocí polynomů a Čebyševových bivariantních polynomů	101
4.7.2.10.5	Řešení proložení plochy metodou nejmenších čtverců a pomocí normy L_1	101
4.7.2.10.6	Výpočet vyhlazené délky, souřadnic a doplňující kritéria	102
4.7.2.10.7	Popis programu	102
4.7.2.10.8	Testování využití metod vyhlazení	104
4.7.2.10.9	Testování metod na rovinném tělese	104
4.7.2.10.10	Testování metod na kulovém tělese	106
4.7.2.10.11	Testování metod na válcovém tělese	108
4.7.2.10.12	Testování metod na tělese s nepravidelným povrchem	110
4.7.2.10.13	Roh	114
4.7.2.10.14	Shrnutí	115
4.7.3	Přiřazování skutečných barev, využití digitálních fotografií	115
4.7.3.1	Postup určení barvy bodu ze snímkových souřadnic	116
4.7.3.2	Interpolace	116
4.7.3.3	Vážený průměr	117
4.8	ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ	117
4.8.1	Aproximace objektů matematickými primitivy	117
4.8.1.1	Algebraické prokládání	118
4.8.1.2	Ortogonální prokládání	118
4.8.1.3	Určení parametrické rovnice přímky – jednokrokový algoritmus	119
4.8.1.4	Určení parametrické rovnice přímky – dvoukrokový algoritmus	122
4.8.1.5	Řetězovka – jednokrokový algoritmus	124
4.8.1.5.1	Matematická formulace problému	124
4.8.1.5.2	Výpočet přibližných hodnot	126
4.8.1.5.3	Výpočet vyrovnáním	128
4.8.1.5.4	Testování postupu výpočtu	129
4.8.1.6	Řetězovka – dvoukrokový algoritmus	129
4.8.1.7	Požadavky a problémy výpočtu	130
4.8.2	Liniové vyhodnocení (drátový model)	130
4.8.3	Vyhodnocení založené na trojúhelníkových sítích	131
4.8.3.1	Triangulace mračna bodů	131
4.8.3.2	Redukce trojúhelníkových sítí	132

4.8.3.2.1	Výšková pole	133
4.8.3.2.2	Obecné povrchy	133
4.8.3.2.3	Redukce vrcholů	133
4.8.3.2.4	Redukce hran	134
4.8.3.2.5	Redukce trojúhelníků (oblasti)	134
4.8.3.2.6	Geometrická chyba aproximace	135

4.9 ZHUŠTĚNÍ BODŮ POVRCHU NA ZÁKLADĚ DIGITÁLNÍ FOTOGRAFIE

4.9.1	Postup zhuštění	136
4.9.2	Určení souřadnic bodu s DLT	136
4.9.3	Určení souřadnic bodu projektivní transformací	137
4.9.4	Určení, zda bod leží uvnitř trojúhelníka	137
4.9.4.1	Řešení výpočtem ploch	137
4.9.4.2	Řešení výpočtem úhlů	138
4.9.5	Algoritmus řešení úlohy	139

4.10 VIZUALIZACE

5 VÝPOČETNÍ METODY A POSTUPY VYUŽÍVANÉ PRO ZPRACOVÁNÍ DAT 3D SKENOVÁNÍ (MARTIN ŠTRONER)

5.1 TRANSFORMACE SOUŘADNIC V PROSTORU

5.1.1	Rovnice transformace	141
5.1.2	Lineární transformace	141
5.1.3	Obecná afinní transformace	143
5.1.4	Výpočet transformačního klíče metodou MNČ	144
5.1.5	Výpočet počátečních hodnot pro iteraci ze čtyř identických bodů	145
5.1.6	Výpočet počátečních hodnot pro iteraci ze tří identických bodů	147
5.1.6.1	Výpočet rotační matice R	147
5.1.6.2	Výpočet měřítkového koeficientu m	148
5.1.6.3	Výpočet translací T	148
5.1.6.4	Závěr	149
5.1.7	Shrnutí postupu výpočtu	149

5.2 ZÁKLADY FOTOGRAMMETRIE (RUDOLF URBAN)

5.2.1	Určení vnitřní orientace kamery (kalibrace)	149
5.2.2	Určení vnější orientace kamery	150
5.2.2.1	Iterační vyrovnání polohy vstupní pupily	151
5.2.2.2	Voxelová metoda (určení polohy vstupní pupily)	153
5.2.2.3	Genetický algoritmus (poloha vstupní pupily)	155
5.2.2.4	Určení úhlů stočení	158
5.2.3	Určení prostorových souřadnic	159
5.2.3.1	Výpočet přibližných prostorových souřadnic	159
5.2.3.2	Výpočet přesných prostorových souřadnic	160
5.2.4	Direktní lineární transformace	161
5.2.4.1	Matematický základ	161
5.2.4.2	Iterační výpočet	162

5.2.4.3	Výpočet přibližných hodnot pro iterační výpočet	163
5.2.4.4	Iterační výpočet s korekcí distorze objektivu	163
5.2.4.5	Shrnutí.....	164
5.2.5	Úloha protínání svazku paprsků.....	164
5.2.5.1	Výpočet prvků orientace vyrovnáním.....	165
5.2.5.2	Vyrovnání svazku paprsků.....	168
5.2.5.3	Vyrovnání svazku paprsků s dalšími parametry.....	169
5.2.5.4	Výpočet přibližných hodnot pro vyrovnání.....	170
5.2.5.5	Shrnutí postupu výpočtu.....	170
5.2.6	Epipolární geometrie	170
5.2.6.1	Fundamentální matice	171
5.2.6.2	Matice fotoaparátu	173
5.2.6.3	Esenciální matice.....	173
5.2.6.4	Epipóly a epipolární přímky	174
5.2.6.5	Výpočet matice fotoaparátu	174
5.2.6.6	Metoda Gold Standard.....	176
5.2.6.7	Shrnutí postupu výpočtu a využití	176
5.3	APROXIMACE OBJEKTŮ MAT. PRIMITIVY (BRONISLAV KOSKA)	177
5.3.1	Rozdělení funkcí.....	177
5.3.2	Algebraické prokládání.....	178
5.3.3	Historický vývoj ortogonálního prokládání	179
5.3.4	Současný stav	179
5.3.5	Matematický zápis definice ortogonálního prokládání	179
5.3.6	Detailní popis vybrané metody ortogonálního prokládání.....	180
5.3.6.1	Oddělení parametrů tvaru a polohy	180
5.3.6.2	Algoritmus III	181
5.3.6.2.1	Maticová formulace řešení	181
5.3.6.2.2	Řešení s podmínkami pro určované parametry.....	181
5.3.6.2.3	Hledání ortogonálního průmětu bodu na útvar v implicitním tvaru ..	182
5.3.6.2.4	Newtonova metoda	182
5.3.6.2.5	Metoda Lagrangeových multiplikátorů	182
5.3.6.2.6	Algoritmus III v implicitním tvaru geometrického útvaru	183
5.3.6.2.7	Algoritmus III pro geometrický útvar v parametrickém tvaru	184
5.3.7	Metody získání přibližných hodnot hledaných parametrů	185
5.3.7.1	Momentová metoda	185
5.3.7.2	Evoluční metoda	185
5.3.7.3	Metoda náhodného výběru	185
5.3.8	Přesnost výpočtu.....	186
5.3.8.1	Používané metody.....	186
5.3.8.2	Nové metody.....	186

6 POROVNÁNÍ S DALŠÍMI METODAMI MĚŘENÍ, PRAKTICKÉ VYUŽITÍ, EKONOMICKÉ PŘÍNOSY (MARTIN ŠTRONER)

6.1	POROVNÁNÍ S DALŠÍMI METODAMI	187
-----	------------------------------------	-----

6.2	PRAKTICKÉ VYUŽITÍ.....	188
-----	------------------------	-----

6.2.1	Zaměřování reálného stavu stavebních konstrukcí	189
6.2.2	Dopravní stavby	189
6.2.3	Topografické mapování terénních útvarů	189
6.2.4	Využití v podzemních prostorech	189
6.2.5	Dokumentace památek v oblasti architektury a archeologie	190
6.2.5.1	Zaměřování historických budov	190
6.2.5.2	Zaměřování objektů v oblasti archeologie	191
6.2.6	Měření posunů a přetvoření objektů	191
6.3	EKONOMICKÉ PŘÍNOSY	193
6.4	PRAKTICKÉ APLIKACE 3D SKENOVÁNÍ (BRONISLAV KOSKA, TOMÁŠ KŘEMEN)	195
6.4.1	Použití 3D skenování při experimentálních požárních zkouškách	195
6.4.1.1	Laserné skenování při požární zkoušce v Mokrsku	195
6.4.1.1.1	Měření	195
6.4.1.1.2	Zpracování	197
6.4.1.1.3	Zpracování a vyhodnocení stropních nosníků	198
6.4.1.1.4	Zpracování a vyhodnocení stěnových konstrukcí	200
6.4.1.1.5	Vyhodnocení středového sloupu	201
6.4.1.1.6	Závěr	202
6.4.1.2	Měření dynamických deformací vnějšího pláště konstrukce při požární zkoušce ve Veselí nad Lužnicí technologií laserového skenování	203
6.4.1.2.1	Popis druhé požární zkoušky	203
6.4.1.2.2	Dynamické měření přetvoření v průběhu druhé požární zkoušky	204
6.4.2	Určování průhybů svislých ocelových nosníků při zátěžových zkouškách	206
6.4.2.1.1	Objekt měření a průběh zátěžových zkoušek	206
6.4.2.1.2	Geodetická měření	207
6.4.2.1.3	Vyhodnocení	207
6.4.2.1.4	Určení přesnosti použité metody	209
6.4.2.1.5	Výsledky a závěr	210
6.4.3	Určení počátečního stavu a deformací ocelových nosníků při zátěžových zkouškách technologií laserového skenování	210
6.4.3.1	Předmět měření	210
6.4.3.2	Použitá technologie	211
6.4.3.3	Zpracování	212
6.4.3.3.1	Export dat	212
6.4.3.3.2	Úprava dat	212
6.4.3.3.3	Transformace mračen bodů (Registrace)	212
6.4.3.3.4	Modelování	213
6.4.3.3.5	Řezy	213
6.4.3.4	Analýza dosažené přesnosti	214
6.4.3.5	Shrnutí	215
6.4.4	Kontrola geometrického tvaru jeřábové dráhy technologií 3D terestrického skenování	215
6.4.4.1	Jeřábová dráha a kontrola jejího geometrického tvaru	216
6.4.4.2	Charakteristika kontrolované jeřábové dráhy	216
6.4.4.3	Experimentální kontrola jeřábové dráhy HDS 3000	217

6.4.4.4	Měření.....	217
6.4.4.5	Zpracování naměřených dat	218
6.4.4.6	Výsledky	219
6.4.4.7	Analýza přesnosti.....	220
6.4.4.8	Porovnání výsledků získaných TLSS a klasickými metodami	220
6.4.4.9	Závěr.....	221
6.4.5	Sledování dynamických deformací zdymadlových vrat	221
6.4.5.1	Měření.....	222
6.4.5.2	Vyhodnocení naměřených dat.....	223
6.4.5.3	Srovnání 3D skenování s elektronickým měřicím systémem.....	227
6.4.5.4	Analýza přesnosti.....	229
6.4.5.5	Závěr.....	229
6.4.6	Vytvoření stavební dokumentace kostela Sv. Mikuláše na Staroměstském náměstí v Praze	229
6.4.7	Vytvoření prostorového modelu palácového torza hradu Dražice	233
6.4.8	Vytvoření prostorového modelu sklepení zámku Hrubý Rohozec	234
6.4.9	Prostorový model nádvoří královského paláce na hradě Zvíkov	236
6.4.10	Dokumentace části parkánové zdi na hradě Kost.....	238
6.4.11	Vytvoření kopie středověké madony s využitím unikátní kombinace 3D technologií.....	241
6.4.11.1	Použité technologie	241
6.4.11.1.1	Počítačová tomografie.....	241
6.4.11.1.2	3D skenování - LORS	243
6.4.11.1.3	3D tisk	245
6.4.11.1.4	3D frézování.....	246
6.4.11.2	Shrnutí.....	247
6.4.12	Kontrola provedení zemních prací technologií pozemního skenování automaticky řízeným dozerem	248
6.4.12.1	Měření.....	249
6.4.12.2	Zemní práce	250
6.4.12.3	Kontrolní měření.....	250
6.4.12.4	Zpracování a vyhodnocení měření.....	251
6.4.12.5	Závěr.....	253

7 TESTOVÁNÍ TERESTRICKÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ A PŘESNOSTI JEJICH MĚŘENÍ (MARTIN ŠTRONER, JIŘÍ POSPÍŠIL)

7.1	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘESNOST MĚŘENÍ DÉLEK	254
7.2	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘESNOST MĚŘENÍ ÚHLŮ	261
7.3	TESTY ZKOUMAJÍCÍ VLIV ODRAZIVOSTI POVRCHU SKENOVANÉHO MATERIÁLU A ÚHLU DOPADU SVAZKU PAPERŮ	262
7.4	TESTY ZKOUMAJÍCÍ PŘÍSTROJOVÉ CHYBY.....	266
7.5	TESTY ZKOUMAJÍCÍ VLIV GEOMETRIE SKENOVANÉHO OBJEKTU	267
7.6	DALŠÍ TESTY	270

7.7 KOMPLEXNÍ METODIKA TESTOVÁNÍ (DLE [63])	273
---	-----

7.7.1 Popis testovacích měření	274
--------------------------------------	-----

7.7.2 Popis vyhodnocení měření	275
--------------------------------------	-----

7.7.3 Technologický postup	276
----------------------------------	-----

7.8 ZÁVĚR	279
-----------------	-----

8 VYBRANÉ DOSTUPNÉ SKENERY (RUDOLF URBAN)	280
--	------------

8.1 PRŮMYSLOVÉ SKENERY	280
------------------------------	-----

8.1.1 ATOS Triple Scan 12M	280
----------------------------------	-----

8.1.2 ATOS Compact Scan 5M	280
----------------------------------	-----

8.1.3 ATOS ScanBox 6130	281
-------------------------------	-----

8.1.4 Konica Minolta Vivid 9i	281
-------------------------------------	-----

8.1.5 Konica Minolta Range 7	281
------------------------------------	-----

8.1.6 Next Engine	282
-------------------------	-----

8.1.7 Kreon Solano	282
--------------------------	-----

8.1.8 Steinbichler Comet L3D 8M	283
---------------------------------------	-----

8.1.9 Solutionix Rexcan 4	283
---------------------------------	-----

8.2 VÍCEÚČELOVÉ POLÁRNÍ SKENERY VHODNÉ PRO GEODETICKÉ PRÁCE	283
---	-----

8.2.1 Z+F Imager 5010C	283
------------------------------	-----

8.2.2 Z+F Imager 5006EX	284
-------------------------------	-----

8.2.3 Faro Focus 3D 120	285
-------------------------------	-----

8.2.4 Maptek I-Site 8810	285
--------------------------------	-----

8.2.5 Leica ScanStation P20	286
-----------------------------------	-----

8.2.6 Riegl VZ 6000	286
---------------------------	-----

8.2.7 Riegl VZ 400	287
--------------------------	-----

8.2.8 Trimble CX	287
------------------------	-----

8.2.9 Optech Illris-LR	288
------------------------------	-----

8.2.10 Surphaser 100HSX	288
-------------------------------	-----

8.2.11 MDL Quarryman Pro LR	289
-----------------------------------	-----

8.3 SKENOVACÍ TOTÁLNÍ STANICE	289
-------------------------------------	-----

8.3.1 Topcon Imaging Station IS-3	289
---	-----

8.3.2 Trimble VX	290
------------------------	-----

8.3.3 Leica NOVA MS50	291
-----------------------------	-----

8.4 SPECIALIZOVANÉ SYSTÉMY	291
----------------------------------	-----

8.4.1 C-ALS systém (MDL)	291
--------------------------------	-----

8.4.2 Optech CMS systém	292
-------------------------------	-----

8.4.3 Leica T-Scan TS50	292
-------------------------------	-----

8.4.4 Creaform HandyScan 3D	293
-----------------------------------	-----

8.4.5 Cyberware Whole Body X 3D Scanner	293
---	-----

9 SKENOVACÍ SYSTÉMY A METODY VYVÍJENÉ V LABORATOŘI LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ (MARTIN ŠTRONER)	294
9.1 LASEROVÝ A OPTICKÝ ROTAČNÍ SKENER (LORS)	294
9.1.1 LORS 1	294
9.1.2 LORS 2	295
9.1.3 LORS 3	298
9.1.4 LORS 4	298
9.2 SKENER S VIRTUÁLNÍMI BINÁRNÍMI ZNAČKAMI (RUDOLF URBAN)	300
9.2.1 Základní princip skeneru	301
9.2.2 Základní princip generování a dekodování náhodných značek	303
9.2.2.1 Volba velikosti a tvaru značky	303
9.2.2.2 Celkový počet značek	303
9.2.2.3 Rozmístění a barva značek	303
9.2.3 Konkrétní řešení vyhodnocení a dekodování virtuálních značek	303
9.2.3.1 Praktické vyhodnocení bodů	303
9.2.3.2 Určení, zda je pixel „nula“ nebo „jedna“	304
9.2.3.3 Určení kódu bodu	304
9.2.3.4 Určení snímkových souřadnic bodu	304
9.2.3.5 Výpočet prostorových souřadnic bodů	304
9.2.4 Přístrojové a programové vybavení	305
9.2.5 Testování první verze skeneru	306
9.2.6 Testování druhé verze skeneru	308
9.2.7 Shrnutí, další vývoj a možnosti systému	310
9.3 VIRTUÁLNÍ LASEROVÝ SKENER (VLS)	311
9.3.1 Matematický základ generátoru měření	311
9.3.2 Princip generování bodů	313
9.3.3 Postup generování bodů	315
9.3.4 Dostupné třídy a metody	316
9.3.4.1 Třída <code>skener</code>	316
9.3.4.2 Třída <code>ptstore</code>	316
9.3.4.3 Třída <code>normgen</code>	316
9.3.5 Příklad generování pro eliptický váleček	316
9.3.6 Závěr	317
9.4 KNIHOVNA PRO ORTOGONÁLNÍ PROKLÁDÁNÍ SPATFIG (BRONISLAV KOSKA)	318
9.4.1 Použité algoritmy	318
9.4.2 Realizace knihovny Spatfig	318
9.4.2.1 Přesnost výpočtů	319
9.4.2.2 Implementované geometrické útvary	319
9.4.3 Dostupné komerční implementace ortogonálního prokládání a porovnání se Spatfigem	319
9.5 POINTCLOUDER (MARTIN ŠTRONER)	320

9.5.1	Funkční moduly programu	320
9.5.2	Jádro programu	320
9.5.3	Ovládání pohledů	321
9.5.4	Výběry bodů, viditelnost	321
9.5.5	Funkce	322
9.5.6	Možnosti nastavení	323
9.5.7	Vyvíjené funkce a moduly	323
9.5.7.1	Implementace VLS - Virtual Laser Scanner	323
9.5.7.2	Implementace SPATFIGu	323
9.5.7.3	Další funkce	323
9.5.8	Závěr	323
9.6	FOS (BRONISLAV KOSKA)	324
9.6.1	Implementace	324
9.6.1.1	Software	324
9.6.1.2	Hardware	324
9.6.2	Přesnost systému	324
9.7	AUTONOMNÍ MAPOVACÍ VZDUCHOLOŤ (BRONISLAV KOSKA)	325
9.7.1	Komponenty systému	326
9.7.1.1	Vzducholoď Airship ACC15X	326
9.7.1.2	Měřická platforma	327
9.7.1.3	INS/GPS iMAR iTraceRT F200	327
9.7.1.4	Laserový skener Sick LD-LDR1000	328
9.7.1.5	Termovizní kamera FLIR SC645	328
9.7.1.6	Kamery ve viditelném spektru	328
9.7.2	Kalibrace kónické modifikace liniového skeneru Sick LD-LRS1000	328
9.7.2.1	Modifikace	329
9.7.2.2	Matematický model modifikovaného skeneru	329
9.7.2.3	Vyrovnání	331
9.7.2.4	Dosažené výsledky	333
9.7.2.5	Shrnutí	334
9.7.3	Kalibrace prostorových vztahů senzorů a přímé georeferencování	335
9.7.3.1	INS/GPS a kamera	335
9.7.3.1.1	Jednokroková metoda	335
9.7.3.1.2	Dvoukroková metoda	336
9.7.3.2	INS/GPS a skener	337
9.7.3.2.1	Použití modifikovaného laserového skeneru v bore-sight kalibraci	337
9.7.3.3	Shrnutí	340
10	KINEMATICKÉ SYSTÉMY (JIŘÍ POSPÍŠIL, BRONISLAV KOSKA)	341
10.1	SOUČÁSTI KINEMATICKÝCH SYSTÉMŮ	341
10.1.1	Nosiče	341
10.1.2	Laserový skener	342
10.1.2.1	Rozmítání laserového svazku	342
10.1.2.2	Zorný úhel a velikost stopy	344

10.1.2.3 Vícenásobné odrazy a úplná digitalizace vráceného signálu	345
10.1.3 INS/GPS jednotka	346
10.1.3.1 INS	346
10.2 SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY	347
10.2.1 e-systém	348
10.2.2 l-systém	348
10.2.3 b-systém	348
10.3 PŘEHLED DOSTUPNÝCH SYSTÉMŮ	349
10.3.1 Letecké systémy	349
10.3.2 Terestrické systémy	350
10.3.2.1 Lynx Mobile Mapper M1	350
10.3.2.2 Riegl VMX-450	351
11 ZÁVĚR	353
12 LITERATURA	355
13 SEZNAM OBRÁZKŮ	367
14 SEZNAM TABULEK	374
ABSTRACT	376
OBRAZOVÁ PŘÍLOHA	379