



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

DETEKCE PROSTOROVÝCH OBJEKTŮ V MRAČNĚ BODŮ

DETECTION OF SPATIAL OBJECTS IN A POINT CLOUD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Veený

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Petr Venený
Název	Detekce prostorových objektů v mračně bodů
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

NOVÁČKOVÁ, Soňa. Testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS. Brno, 2011. 47 s., 27 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

DEUTSCH, Jiří. Mobilní mapování v architektuře. Brno, 2013. 56 s., 15 s. příl., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

KLIMEŠOVÁ, K. Pasportizace komunikací mobilním mapovacím systémem. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Manuál SW CloudCompare

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte rešerši odborných článků, které pojednávají o modelování terénu z mračna bodů obecně a dále ty, jejichž autoři využívají mobilní mapovací systém. Navrhněte postup, jak pracovat s mračnem bodů (klasifikace, segmentace a filtrace) pro účely modelování terénu, zejména s důrazem na detekci prostorových objektů - hran, sloupů, vegetace, apod. Výstupem a přílohou práce bude datová vrstva GIS pilotní lokality. Pracovní postup zhodnoťte v závěru práce.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zpracováním bodového mračka získaného prostřednictvím mobilního mapovacího systému. V teoretické části je obecně popsáno téma mapování a následně konkrétněji rozebrána problematika mobilních mapovacích systémů a jejich částí. V praktické části je popsán proces od sběru dat, přes testování automatické detekce prostorových objektů z mračka bodů po následnou vizualizaci. Výsledkem této diplomové práce jsou datové vrstvy GIS a slovní zhodnocení postupu práce s mračnem bodů.

KLÍČOVÁ SLOVA

mobilní mapovací systém, mobilní mapování, mračno bodů, detekce prostorových objektů, automatizace, vizualizace

ABSTRACT

The diploma thesis deals with processing of a point cloud that was collected via mobile mapping system. The first part sets a theoretical background, starting with mapping in general moving to mobile mapping systems and their particular parts. The practical part describes the whole process of data collecting, testing the automatic detection of spatial objects based on a point cloud and its visualisation. The results of the diploma thesis are GIS data layers and an evaluation of the process.

KEYWORDS

mobile mapping system, mobile mapping, point cloud, detection of spatial objects, automatization , visualisation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Petr Veený *Detekce prostorových objektů v mračně bodů*. Brno, 2019. 63 s., 0 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Detekce prostorových objektů v mračně bodů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 1. 2019

Bc. Petr Venený
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Detekce prostorových objektů v mračně bodů* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 1. 2019

Bc. Petr Venený
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Tomáši Volaříkovi, Ph.D. za poskytnuté rady, předávání zkušeností a podporu během vypracovávání diplomové práce.

Tato práce byla vytvořena v rámci aktivit a s podporou projektu TA ČR Centrum kompetence TE02000077 s názvem „Inteligentní Regiony – Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj“.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	MAPOVÁNÍ.....	9
2.1	Klasické geodetické metody	10
2.2	Fotogrammetrie	10
2.3	Laserové skenování.....	12
2.4	Mobilní mapování	14
3	MOBILNÍ MAPOVACÍ SYSTÉMY	16
3.1	Historie.....	16
3.2	Současnost a vývoj.....	19
3.3	Složení mobilního mapovacího systému.....	25
3.3.1	Přijímač GNSS.....	26
3.3.2	IMU – Inerciální měřící jednotka.....	29
3.3.3	DMI - Odometr	31
3.3.4	Laserové skenery.....	32
3.3.5	Digitální kamery	33
3.4	Mobilní mapovací systém RIEGL VMX-450.....	34
4	TEXTY ZABÝVAJÍCÍ SE MOBILNÍM MAPOVÁNÍM A PRACÍ S MRAČNEM BODŮ	36
5	DETEKCE PROSTOROVÝCH OBJEKTŮ Z MRAČNA BODŮ.....	38
5.1	Mobilní mapování testovacích lokalit.....	38
5.2	Zpracování trajektorie a mračna bodů.....	40
5.3	Klasifikace vzdušného vedení.....	41
5.4	Detekce sloupů a vegetace	43
5.5	Vizualizace zpracovaných dat.....	46
6	ZÁVĚR.....	51
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	60
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

1 ÚVOD

Tématem této diplomové práce je navrhnout postup jak pracovat s mračnem bodů pomocí metod klasifikace, segmentace, filtrace a dalších pro účely modelování terénu. Jedná se o zpracování velkého množství bodů získaného metodou mobilního mapování. Mobilní mapování je moderní metoda sběru dat, při které získáváme množství bodů se souřadnicemi a panoramatické fotky.

Při zpracování a vizualizaci bodového mračna je kladen důraz na automatickou detekci prostorových objektů, jako jsou hrany, sloupy, vegetace a podobně. Cílem této diplomové práce jsou datové vrstvy GIS, které budou obsahovat jednotlivé vizualizované prostorové objekty.

Lokality, které byly zaměřeny mobilním mapovacím systémem pro účely zpracování, jsou městy Ostrov u Macochy a ulice Kounicova a ulice Jana Babáka v Brně. Tyto lokality byly zvoleny z důvodu jejich rozdílné infrastruktury, technické vybavenosti a vegetace. Konkrétní vyčlenění částí zaměřených lokalit pro účely zpracování bylo projednáno a následně schváleno jejím vedoucím Ing. Tomášem Volaříkem, Ph.D. na základě vyskytujících se prostorových objektů možných pro detekci.

Navržené postupy pro práci s mračnem bodů mohou být v budoucnu využity při dalších obdobných mapováních pro rychlejší a účelnější detekci prostorových objektů.

Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část, která obsahuje kapitoly *Mapování, Mobilní mapovací systémy* a *Texty zabývající se mobilním mapováním a prací s mračnem bodů*, můžeme označit jako teoretickou. Druhá část, ve které je popsán sběr dat a jejich následné zpracování a vizualizace, se týká praktické části diplomové práce.

2 MAPOVÁNÍ

Sběr dat pro pořízení mračna bodů můžeme považovat za moderní metodu mapování. Nejprve bude tedy teoreticky vysvětleno a rozděleno mapování jako takové.

Terminologický slovník výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického definuje mapování jako „*soubor činností (šetření, měření, výpočty, zobrazení) vykonávaných při vyhotovení původní mapy.*“ [1]

Jiný pohled na termín mapování nabízí ve své práci David Havel, který ho představuje jako geodetické práce většího rozsahu. Obecně ho dělí na mapování pro projektování, měření polohopisů a výškopisů a také technické mapy měst nebo základní mapy závodů a v poslední řadě zmiňuje i mapování pro obnovu operátu katastru nemovitostí. [2]

Vincent Tao a Jonathan Li se ve své knize *Advances in Mobile Mapping Technology* nezabývají dělením mapování, ale nabízí na něj úplně jiný náhled. Uvádějí, že mapování je velmi dobře zavedeným technickým předmětem a že skrze průnik moderních technologií (internetové mapování, satelitní zobrazování, osobní navigace, atd.) na trh se geoprostorovým firmám a společnostem otevřely velké výzkumné a obchodní možnosti. Dále zmiňují důležitost a význam mapování, když říkají, že včasné shromažďování a přesná aktualizace mapových a obrazových informací se stává velmi významnou. [17]

Mapování se uskutečňuje metodou podrobného měření, což je: „*ověřený měřický způsob mapování, který se volí podle požadované přesnosti výsledků mapování, měřítka mapy, typu území a hospodárnosti prací.*“ [3] Podrobné měření může být prováděno několika různými metodami, jako jsou klasické geodetické metody, fotogrammetrie, laserové skenování a mobilní mapování. [4]

Při zaměřování lokalit této práce byla pro pořízení bodového mračna využita metoda mobilního mapování. Metody podrobného měření budou stručně popsány v následujícím dělení. Mobilnímu mapování bude věnována v další části samostatná kapitola.

2.1 Klasické geodetické metody

Nejčastěji využívanou metodou klasické geodézie pro určování podrobných bodů je polární metoda. [5] Měření probíhá tak, že „určujeme polohu bodu pomocí polárních souřadnic, tj. vodorovného úhlu (mezi orientačním směrem a určovaným bodem) a délky (od stanoviska k určovanému bodu).“ [6]

Pro měření polární metody jsou v současné době využívány elektronické totální stanice, které umožňují měřit snadno a rychle úhly i délky s vysokou přesností, v kombinaci s GPS stanicí. [2]

Mezi další metody klasické geodézie, kterými je možné určovat polohu podrobných bodů, patří metoda ortogonální, metoda konstrukčních oměrných a metoda protínání ze směrů či z délek. Tyto další technologické postupy doplňují polární metodu a používají se v případech, kdy není možné nebo účelné použití této metody pro zaměření podrobných bodů. [6]

Žádná z klasických metod nebyla využita při sběru dat v tomto případě, vzhledem k tomu, že pro takové množství bodů, které bylo potřeba získat, by to bylo časově velmi náročné a v daném množství téměř nemožné.

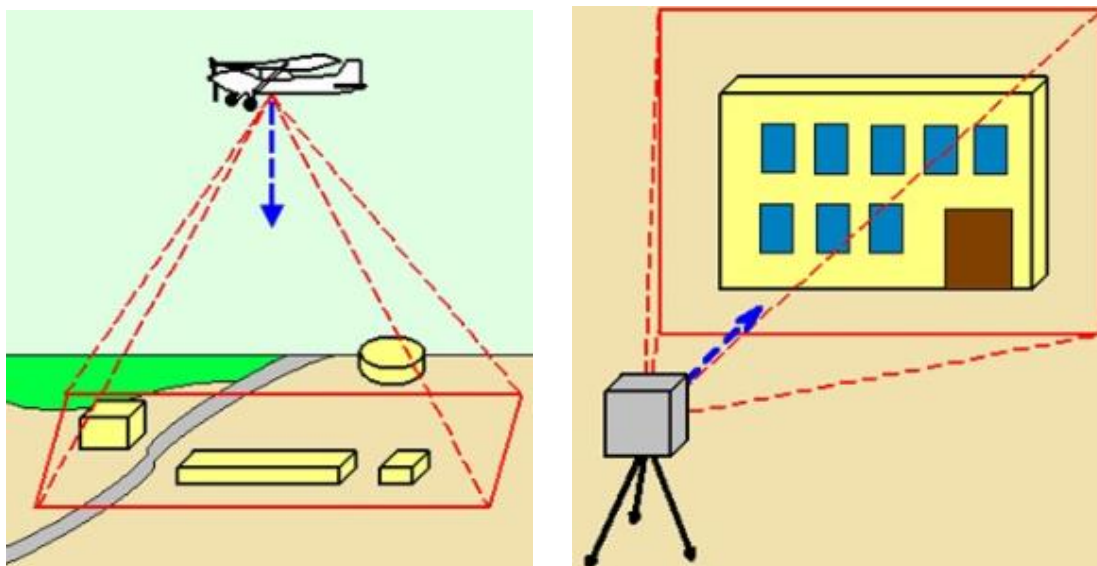
2.2 Fotogrammetrie

Další metodou mapování, která bude v této práci zmíněna, je fotogrammetrie. Terminologický slovník ji definuje jako „obor, zabývající se zjišťováním geometrických vlastností a polohy objektů a jejich změn z fotografických měřických snímků a obrazových záznamů.“ [7] Fotogrammetrie se věnuje měřickým vlastnostem družicových a leteckých snímků s cílem přesných měření polohy bodů a získáváním map nebo digitálních modelů terénu z těchto snímků. [8]

Lze ji dělit podle polohy stanoviska, podle počtu a konfigurace snímků a podle technologického postupu zpracování. [8]

Dle polohy stanoviska rozdělujeme fotogrammetrii na pozemní a leteckou.

V případě pozemní fotogrammetrie je stanovisko nepohyblivé a je umístěno na zemi, zatímco při letecké fotogrammetrii je stanovisko umístěno v letadle nebo jiném pohybujícím se nosiči. [8]



Obr. 2.1 Letecká a pozemní fotogrammetrie [9]

Dále se fotogrammetrie dělí podle počtu snímků na jednosnímkovou a dvoj a vícesnímkovou.

Jednosnímková metoda umožňuje vyhodnotit předměty jen ve dvou rozměrech. Dvoj a vícesnímková se ještě dále rozděluje a to na průřezovou fotogrammetrii, stereofotogrammetrii a paralaxovou fotogrammetrii s časovou základnou.

Při průřezové metodě jsou osy záběru konvergentní, při stereofotogrammetrii jsou osy záběru téměř rovnoběžné. Paralaxová fotogrammetrie se používá pro deformace a posuny. [8]

Poslední dělení, které ve svém textu Ing. Tajovská uvádí, je fotogrammetrie dle technologického postupu zpracování. Rozlišujeme metody analogové a analytické.

Metody analogové se dnes již víceméně nepoužívají. Jde o mechanickou či optickou rekonstrukci stavu při snímkování. Při analytických metodách se pracuje s digitálním obrazem a pro zpracování snímků jsou vyžadovány speciální hardwarové doplňky, jako jsou například speciální brýle či planparalelní monitory. [8]

Při použití fotogrammetrie pro sběr geodetických dat je možné získat mračno bodů stejně jako z mobilního mapování. Nicméně pro sběr dat v případě této práce nebyla fotogrammetrie využita po dohodě s vedoucím práce.

2.3 Laserové skenování

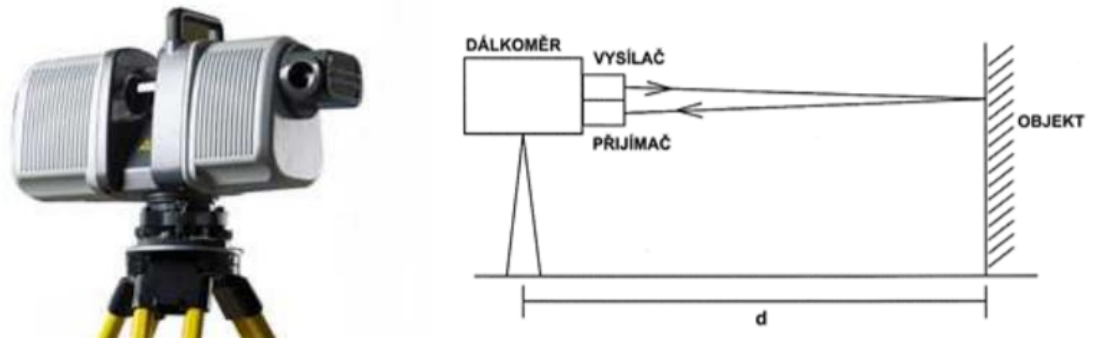
Další z metod mapování, která bude v této práci popsána, je metoda laserového skenování. Tato metoda je využita i při mobilním mapování a jejím výsledkem je velké množství naměřených geodetických dat. V terminologickém slovníku je tato technologie definována jako *„způsob detekce objektu pomocí pohyblivého laserového paprsku, jehož stopy na povrchu objektu jsou uspořádány v řádcích nebo rastru (tzv. mračno bodů).“* [10]

Jedná se o jednu z nejmodernějších metod sběru 3D dat o objektech a jevech na zemském povrchu, jejíž přesnost je velmi vysoká. [11] Laserové skenování je technologie založená na bezkontaktním určování prostorových souřadnic, která vyniká vysokou rychlostí sběru dat, bezpečností při práci a komplexností měření. [12]

Princip laserového skenování je založen na základě měření doby letu vyslaného paprsku. Pro určení vzdálenosti jsou dvě možnosti. První možnost je taková, že je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulsu a přijmutím odrazu. Druhá možnost pro určení vzdálenosti je založena na principu, kdy *„je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou.“* [11]

Laserové skenování můžeme podle způsobu sběru dat rozdělovat na letecké, pozemní a mobilní skenování. [11]

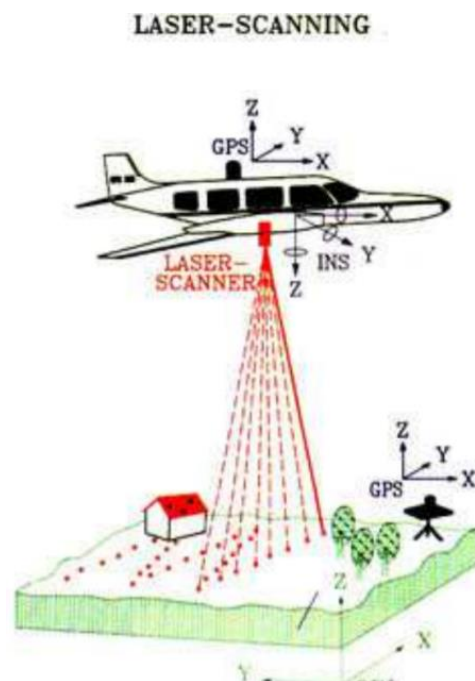
Při pozemním skenování je skener umístěn na stativu. Skener obsahuje rotující zrcadlo nebo hranol, který rozmetá impulsy do svislé roviny. Hlava skeneru se pomalu otáčí a skenuje celé okolí kromě úzkých kuželů nad skenerem a pod ním. [13] Pozemní skenování a jeho výsledky jsou nejčastěji používány při dokumentaci složitých technologických a průmyslových provozů, v architektuře, urbanismu, atd. [11]



Obr. 2.2 Skener a princip pozemního skenování [12] [11]

Letecké laserové skenování se od pozemního laserového skenování liší tím, že skener není umístěn na stativu na zemi, nýbrž je umístěn na pohybuícím se letadlovém nosiči. Součástí leteckých laserových systémů pro skenování jsou kromě skeneru, také palubní aparatura GPS a IMU. [14]

K principu skenování popsanému výše je třeba doplnit, že současně v okamžiku vyslání laserového pulsu pomocí navigačních systémů letadla je měřena přesná poloha skeneru, rychlost a směr letu. Na základě všech těchto údajů, které během skenování získáváme, je možné určit polohu bodů na zemském povrchu s vysokou přesností. [11]



Obr. 2.3 Letecké laserové skenování [11]

Tento způsob skenování nachází uplatnění při získávání digitálního modelu terénu větších území, mapování břehů vodních toků, záplavových území a zejména při dokumentaci liniových staveb, atd. [11]

2.4 Mobilní mapování

Poslední možností mapování, která bude v této práci zmíněna, je technologie mobilního mapování. Ačkoli na základě uvedených zdrojů může být nejasné, zdali má tato metoda mapování být oddělena zvlášť, nebo má být zařazena pod technologii laserového skenování, bude zmíněna v samostatné kapitole. Jedná se totiž o metodu, která využívá laserové skenování, ale je to jen jedna ze složek, nikoliv jediná složka, která tvoří celý systém mobilního mapování.

V posledních letech dochází k čím dál, tím většímu využívání internetových a bezdrátových komunikačních sítí a také další vývoj týkající se senzorových sítí má na mapování kladný vliv. Tyto technologie a dále se rozvíjející možnosti nám umožňují data efektivněji získávat, přenášet a zpracovávat a v důsledku těchto skutečností lze mapování nazývat mobilním a dynamickým. [17]

Na druhou stranu tak velké množství dat, které je možné získat prostřednictvím mobilního mapování, přináší i své nevýhody. Především pro zpracování získaných dat je potřeba využít opravdu výkonného hardwaru a specializovaného softwaru, aby práce s daty byla účinná a ekonomická. [43] [44]

Definice dle terminologického slovníku VÚGTK říká, že jde o „*proces sběru prostorových dat z pohybujícího se objektu vybaveného různými systémy bezkontaktního sběru dat, které obsahují integrovanou soustavu časově synchronizovaných navigačních a obrazových senzorů.*“ [15]

V tomto případě mapování je skener umístěn buď na automobilu, lodi či různých jiných pohybujících se prostředcích, nebo jej může nést i člověk. [11] Princip mobilního mapování je shodný s leteckým laserovým skenováním. Rozdíly jsou jen v tom, že se měří na kratší vzdálenosti a systém je doplněn o další navigační prvky, jako například o snímač otáček kola, tzv. odometr. [13] Souběžně se skenováním většinou probíhá i snímání digitální kamerou, což znamená, že každý bod má rovněž RGB informaci. [11]

Výsledkem mobilního mapování je mračno laserových bodů a většinou i panoramatické snímky. Tyto výstupy měření je možné využít například pro tvorbu 3D modelů měst, 3D modelu terénu nebo pro pasportizaci dopravního značení, veřejného osvětlení, atd. [16]

3 MOBILNÍ MAPOVACÍ SYSTÉMY

V dosavadním průběhu jsme byli v krátkosti seznámeni s jednotlivými metodami a technologiemi sběru geodetických dat. V následující části se podrobněji zaměříme na metodu mobilního mapování, jejíž základní definice a principy byly již zmíněny a nyní bude prostor pro jejich podrobnější rozebrání, definování mobilních mapovacích systémů, jejich historický vývoj a důležitost v dnešním světě moderních technologií.

Princip a využití mobilních mapovacích systémů je v terminologickém slovníku definován tak, že jde o *„zařízení určené k bezkontaktnímu podrobnému měření z mobilního prostředku, které se využívá k inventarizaci nemovitého majetku, monitorování koridorů, sběru geoprostorových dat (3D) a mapování infrastruktury dopravní komunikace (vodní, železniční, silniční, potrubní, energetické aj.), a to před, v průběhu nebo po ukončení její výstavby.“* [18]

Slovník VÚGTK dále definuje i složení těchto systémů a uvádí, že jde o zařízení, které *„obvykle sestává z vlastní mobilní platformy, mobilních laserových skenerů, digitálních kamer (video, černobílých, barevných, infračervených, multispektrálních, termálních), odometrů, přijímačů GNSS, inerciální měřicí jednotky (IMU) a výpočetních prostředků, které slouží k synchronizaci činností všech složek systému a ke správě zaznamenaných dat.“* [18]

3.1 Historie

Mobilní mapovací systémy a všeobecně mobilní mapování se objevilo a začalo se rozvíjet teprve v době nedávno minulé. Samotnému označení mobilní mapování předcházelo několik různých terminologických variant a nejen o tom bude pojednáno v následující kapitole.

V textu *Advances in Mobile mapping technology* její autoři Vincent Tao a Jonathan Li zmiňují, že výzkum mobilního mapování spadá až do konce 80. let minulého století. Prvotně byl vývoj mobilního mapování podnícen především potřebou zmapování silničních komunikací a inventarizací dopravního koridoru. [17]

Obecně je možné rozdělit vývoj mobilního mapování do tří fází, které na sebe navazují, tak jak postupoval vývoj jednotlivých technologií v čase. [17]

První fázi je možné označit jako fotografování, případně jako záznam sekvenčního pořizování fotografií. Tato technologie byla využívána v počátcích mobilního mapování a sloužila pro sledování stavu vozovky a účinnosti její údržby. [17]

Už tehdejší mobilní mapovací systémy byly osazeny inertními zařízeními (gyroskopy, akcelerometry) a odometrem (zařízení snímající počet otáček kola) pro stanovení okamžitých poloh pořizovaných fotografií. Díky těmto systémům každá fotografie nesla geografickou a časovou informaci o poloze. [17]

Hlavní nevýhodou tohoto záznamu situace bylo ukládání a zpracování pořizovaných dat, protože to bylo nákladné a časově náročné. [17]

O druhém kroku vývoje mobilního mapování můžeme hovořit jako o videozáznamu, od něžž byl jen krůček k mobilnímu mapování tak, jak ho známe dnes. [17]

Pořizování fotografií pro monitorování dopravy a komunikací bylo nahrazeno s příchodem a vývojem technologií GPS a videozáznamů. V praxi bylo dokázáno, že tyto nově se rozvíjející technologie poskytují mnohem rychlejší a levnější přístup k inventarizaci silnic, než předchozí záznam fotografií. Nashromážděné záznamy mohou být georeferencovány a takto upravená data umožňují rychlé vyhledávání a efektivní správu. [17]

Ve třetí fázi vývoje se tedy dostáváme již k samotnému mobilnímu mapování. Vývoj systémů pro mobilní mapování je spojen se dvěma výzkumnými skupinami v Severní Americe. Konkrétně jde o Centrum pro mapování na státní univerzitě v Columbusu ve státě Ohio a oddělení geomatiky na univerzitě v Calgary v Kanadě. [17]

Na mobilní vozidlo byly pro mapovací účely namontovány kamery, navigační a polohové senzory – GPS a inerciální měřická jednotka – IMU. [17] První operativní pozemní mapovací systém tohoto typu byl vyvinut již zmíněným Centrem pro mapování na státní univerzitě v Columbusu. Systém vyvinutý touto výzkumnou skupinou se nazýval GPSVan. Základ systému tvořila dodávka, na kterou byl namontovaný integrovaný kódový přijímač GPS, dvě digitální CCD kamery, dvě barevné videokamery a také několik dalších snímačů. [19]

Relativní přesnost, které byl tento systém schopen dosáhnout, se pohybovala kolem deseti centimetrů. Z důvodu použití diferenciálního GPS kódu byla bohužel absolutní přesnost podstatně horší a to 1-3 metry. [19]

Při srovnání s předchozími fázemi vývoje mobilního mapování je tento systém schopen nabídnout plné 3D mapovací schopnosti, které jsou realizovány prostřednictvím uvedených zařízení a senzorů. [17]



Obr. 3.1 GPSVan první generace [24]

V Centru pro mapování na státní univerzitě v Columbusu ve státě Ohio se konalo první mezinárodní sympozium o technologii mobilního mapování v roce 1997.

V době, kdy se mobilní mapování rozvíjelo, byly pro jeho pojmenování používány různé termíny, jako například kinematické mapování, dynamické mapování nebo mapování založené na vozidle. Teprve na onom sympoziu v roce 1997 byl přijat a později často citován termín „mobilní mapování“. [17]

Stejně jako na začátku, tak i dnes je vývoj mobilního mapování primárně založen na pokroku v oblasti technologií digitálního zobrazování a georeferencování. Očekávání, že nově se rozvíjející mobilní mapovací systémy budou mít velký dopad na konvenční průzkum a mapování dopravy, se potvrzuje i v současné době, jelikož se tyto systémy rychle rozvíjejí do mnoha různých oblastí.

3.2 Současnost a vývoj

V posledních letech výzkum mobilních mapovacích systémů rychle pokročil. Důvodem tohoto relativně pomalejšího vývoje v počátcích bylo to, že se mobilní mapovací systémy vyvíjely především v akademických výzkumných zařízeních, zatímco v posledních letech, kdy se vývoj značně zrychlil, to bylo z důvodu zapojení velkých společností, jako Google, Tele Atlas nebo NAVTEQ. [20] Velkou měrou k rychlejšímu vývoji přispěly také výrobci těchto systémů, především jde o firmy, Trimble, Topcon a Leica.

Díky těmto velkým společnostem je možné namontovat mobilní mapovací systémy téměř na jakýkoliv pohybující se prostředek a využít je pro sběr dat nejen na silnicích. V současnosti je tedy možné, aby mobilní mapovací systémy byly umístěny nejen na automobil a na vozidla pohybující se po železnici a vodě, ale také na batoh, vrtulník, UAV či na tříkolky. [20] [23]



Obr. 3.2 Mobilní mapovací systémy na vozidle [25]



Obr. 3.3 Mobilní mapovací systémy na železnici [21]



Obr. 3.4 Mobilní mapovací systémy na vodě [22]



Obr. 3.5 Mobilní mapovací systém na tříkolce [26]



Obr. 3.6 Mobilní mapovací systém na batohu [23]

Mobilní mapovací systémy tedy v současnosti nemají své místo jen při monitorování údržby a inventarizace komunikací, jak tomu bylo v jeho počátcích, ale také v širokém spektru průmyslových odvětví, počínaje mapováním měst a životního prostředí až po mapování železničních sítí. Jejich využití je velmi časté také při pořizování digitálních obrazů z ulice a pro účely kartografického mapování. [20] [23]

Díky společnostem jako je Google, Microsoft nebo Yahoo se obyčejní uživatelé setkávají s výstupy mobilního mapování poměrně často a to prostřednictvím online mapovacích služeb, kde jsou zobrazovány letecké a satelitní snímky. [17]

Nejvyužívanější službou v tomto směru zřejmě je Google Street View, která je speciální funkcí služeb Google Maps a Google Earth. Tato služba umožňuje uživatelům přístup k panoramatickým snímkům, které byly pořízeny v deseti až dvaceti metrových intervalech po ulicích mnoha měst po celém světě.

Nejprve se tato služba objevila v USA v roce 2007 a o rok později pronikla i do Evropy. Poprvé se objevila ve Francii, kde byla využita především pro města, která pořádala Tour de France. [20]

V České republice této službě zdatně konkuruje funkce Panorama, která je součástí Map.cz od společnosti Seznam. Jde především o podrobnější prozkoumání různých oblastí a častější aktualizaci snímků, kterou Google Street View nemůže zajistit pro svůj globální rozměr.

Protože mobilní mapovací systémy využívají největší světové společnosti a jejich snahou je poskytovat uživatelům co nejkvalitnější data, tak se mobilní mapovací systémy rychle vyvíjejí a zdokonalují. Nyní bude pár těchto nejmodernějších a nejvyužívanějších mapovacích systémů představeno.

Trimble MX9 i systém Topcon IP-S3 se montují na střechu vozidla a poskytují husté bodové mračno vysoké přesnosti a také panoramatické i víceúrovňové snímky s vysokým rozlišením. [27]



Obr. 3.7 Trimble MX9 (vlevo) a Topcon IP-S3 [27]

Další často využívaný systém je od firmy Leica Geosystem. Leica Pegasus využívá jeden nebo několik skenerů v kombinaci s přijímači GNSS, IMU a DMI. Tento systém se od předchozích liší tím, že má i snímače hluku, snímače kvality ovzduší či radar pro pronikání zemským povrchem. [27]



Obr. 3.8 Leica Pegasus [27]

Dalším inovativním produktem od této společnosti je Leica Pegasus: Backpack. Tento systém obsahuje pět kamer, které poskytují 360° snímky a dva skenery. Díky tomuto batohu je možné zdokumentovat i vnitřní prostory. [27]



Obr. 3.9 Leica Pegasus Backpack [28]

Poslední dva systémy, které budou zmíněny, se nazývají Hi-Target HiScan-C a Teledyne Optech's Maverick. Systém Maverick je možné namontovat na jakoukoliv platformu a to včetně batohu, což stejně jako u systému od firmy Leica umožňuje kvalitní zmapování vnitřních prostorů. [27]

Nejen výše zmíněné mobilní mapovací systémy umožňují zachytit až 1 000 000 měření za sekundu, což velmi zvyšuje produktivitu práce při mapování. [27]



Obr. 3.10 Hi-Target HiScan-C (vlevo) a Teledyne Optech's Maverick [27]

3.3 Složení mobilního mapovacího systému

Jak již bylo zmíněno, mobilní mapování se uskutečňuje prostřednictvím mobilních mapovacích systémů. Tímto pojmem označujeme souhrnně několik zařízení, která dohromady tvoří celý tento systém. Od prvního sestrojeného mobilního mapovacího systému na univerzitě v Columbusu uběhlo již několik let, nicméně podstata se od té doby nijak nezměnila, jen jednotlivá zařízení prošla během let zřetelným vývojem.

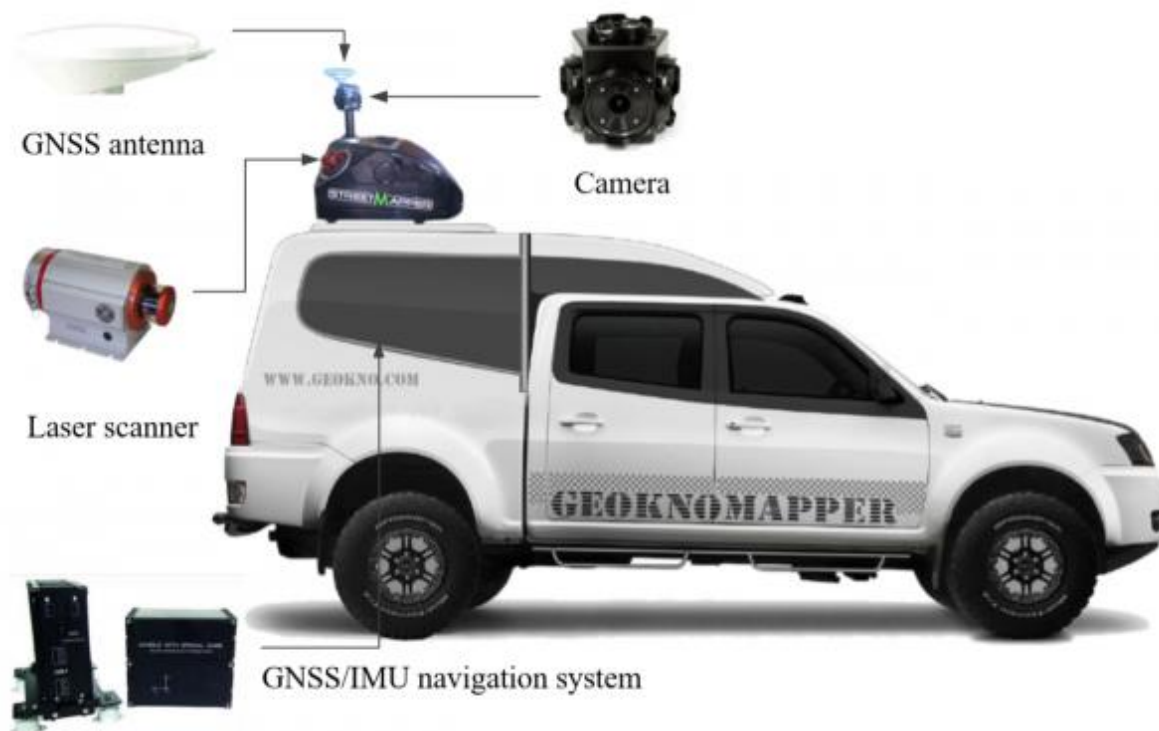
Základem je tedy mobilní pohybující se platforma, nejčastěji vozidlo, na které jsou namontovány polohovací senzory a laserové skenery. [29]

Polohovací senzory jsou zastoupeny přijímačem GNSS, který je integrovaný s jednotkou inerciálního měření. Často bývají polohovací senzory doplněny o externí odometry, které jsou důležitou součástí systému v městských oblastech, kde může být GNSS měření znemožněno kvůli blokováním satelitním signálům. Tyto senzory společně s laserovými skenery mohou být podle účelu mapování doplněny o digitální fotoaparáty či kamery, případně o další senzory, např. tepelné. [29]

Důležitým zařízením je řídicí jednotka, ke které jsou všechny zmíněné senzory a skenery připojeny a jsou z ní i řízeny. Jedná se v podstatě o průmyslový počítač nebo notebook uzpůsobený pro sběr dat. [30]

Požadavky jsou kladeny především na výkon procesorů a grafických karet, neméně důležitá je i rychlost harddisků a jejich kapacita. Svůj význam má také komunikační rozhraní, skrze které probíhá komunikace a přenos dat mezi řídicí jednotkou a mobilním mapovacím systémem. [30]

Mobilní mapovací systém je tedy komplexní systém, který vyžaduje znalosti o každé jeho části. Pro přesné a spolehlivé fungování systému je potřeba, aby byly zajištěny důležité parametry, kterými jsou umístění jednotlivých senzorů, synchronizace senzorů k jednomu časovému rámci, kalibrace a počáteční vyrovnání. Počáteční vyrovnání je důležité, jelikož všechny senzory produkují chyby a je potřeba tyto chyby před začátkem mapování, co nejvíce minimalizovat. [31]



Obr. 3.11 Mobilní mapovací systém – jednotlivé části [40]

3.3.1 Přijímač GNSS

Přijímač GNSS slouží jako hlavní senzor k určení polohy v mobilních mapovacích systémech. Tyto přijímače patří do uživatelské složky Globálních navigačních satelitních systémů. Byly vyvinuty pro příjem a zpracování GPS signálu a rozdělují se dle využití na přijímače navigační, geodetické a přijímače pro časovou synchronizaci. [32]

Systém GPS pracuje na principu jednosměrného dálkoměru, kdy je měřenou veličinou doba šíření signálu z družicové antény k té přijímací. Doba šíření signálu je zjišťována pomocí kódové nebo fázové informace. Následně je „*naměřený čas převáděn pomocí rychlosti šíření signálu na vzdálenost.*“ Díky tomuto radionavigačnímu systému je možné určit polohu přijímače v trojrozměrných souřadnicích a jeho rychlost v reálném čase kdykoliv a kdekoliv na zemském povrchu. [32]

Přijímač signálu GPS tvoří anténa, radiofrekvenční jednotka, mikroprocesor, komunikační jednotka, paměť a zdroj napětí. [32]

Hlavní částí systému je radiofrekvenční sekce, kde radiofrekvenční jednotka zpracovává přijaté signály. Tato jednotka porovnává přijímaný signál se signálem, který je vytvořen z referenční frekvence přijímače, a signály jsou zde také filtrovány. [32]

Další důležitou částí je anténa, která umožňuje příjem signálu ze všech směrů viditelné části oblohy. [32]



Obr. 3.12 Antény GPS přijímačů [34] [33]

Pro geodetická měření je důležité, aby byl přesně definován její fázový střed. Je nutné podchytit možné variace fázového centra antény při měření, protože fázové centrum reprezentuje polohu bodu, ke kterému se vztahují měření polohy. [32]

Poloha fázového centra se odvíjí také od zenitového úhlu a azimutu směru, ve kterém přichází družicový signál. [32]

Pro nosné vlny L1 a L2 nejsou fázová centra identická, vzdálenost mezi nimi dosahuje většinou několika milimetrů a je obvykle známá. [32]

Pro sběr dat pomocí metody mobilního mapování je anténa umístěna na platformu pohybujícího se vozidla. Musí být viditelná pro co nejvíce satelitů, což zaručuje kvalitní příjem signálu GPS. Může být umístěna v podstatě kdekoli na střeše vozidla, ale pro účely kalibrace bývá namontována, co nejbližší k zobrazovacím sensorům. [31]

Množství mobilních mapovacích systémů využívá dva přijímače GPS. Vzdálenost, druhého použitého přijímače GPS s anténou od antény prvního přijímače, je známá. Využití nosné fáze z obou přijímačů poskytuje zvýšenou přesnost měření pohybu vozidla i při malých rychlostech. [20]

Přijímače signálu GNSS je možné dělit podle několika kritérií.

Jedna klasifikace může být dle zpracování naměřených údajů. V tomto případě dělíme přijímače na ty, které jsou založené na bezkódových metodách, dále na ty využívající korelační techniky a na přijímače využívající fázových měření. [32]

Další rozdělení přijímačů je podle počtu přijímaných frekvencí. Přijímače, které přijímají signály pouze na nosné frekvenci L1, označujeme jako jednofrekvenční a přijímače, které přijímají na obou nosných frekvencích L1 a L2, jako dvoufrekvenční.

Přijímače určené pro geodetické účely jsou ve většině přijímačů vybaveny více přijímacími kanály, z nichž každý permanentně přijímá signály ze zvolené družice. [32]

Základní režimy určování polohy pomocí GPS měření se nazývají absolutní (autonomní) a relativní (diferenciální). Obě zmíněné metody je možné použít, jak pro statické, tak kinematické určení polohy. [32]

Při statickém měření polohy je přijímač po celou dobu měření v klidu, zatímco při kinematickém měření, je vzhledem k zemskému povrchu v pohybu. [32]

Kromě metody statické a kinematické je možné využít k určení polohy také metodu rychlou statickou a metodu Stop and Go. Tyto metody kombinují rychlost a přesnost základních metod měření. [32]

V případě mobilního mapování, které bylo použito pro sběr dat pro účely této práce, se využívá metody kontinuální kinematické. Tento způsob měření je možné využít pro určení dráhy pohybujícího se prostředku, na kterém je umístěn přijímač. Kinematickou metodu měření je také možné využít pro navigaci pohybujících se objektů a v letecké fotogrammetrii. [32]

Přijímač signálu GPS bývá v případě mobilních mapování provozován v diferenciálním režimu vzhledem k vhodné místní základnové stanici nebo pomocí globální služby DGPS. [20]

DGPS je metoda, která slouží ke zpřesnění výsledků kódových měření využíváním tzv. diferenčních korekcí. Tyto korekce poskytuje referenční přijímač umístěný na známém bodě. [32]

Vzhledem k tomu, že k využití mobilního mapování dochází často v městských oblastech, kde jsou vysoké budovy či vegetace a přijímání signálu GPS v těchto oblastech může být omezeno nebo úplně ztraceno, využívá se pro určování polohy dalších zařízení, kterými jsou inerciální měřicí jednotka a odometr. [20]

3.3.2 IMU - Inerciální měřicí jednotka

Inerciální měřicí jednotka je jedním ze senzorů integrovaných v rámci mobilního mapovacího systému, který slouží k určení polohy. [35]

IMU určuje svoji polohu a orientaci tím, že neustále měří tři ortogonální lineární zrychlení a tři úhlové hodnoty. [36]

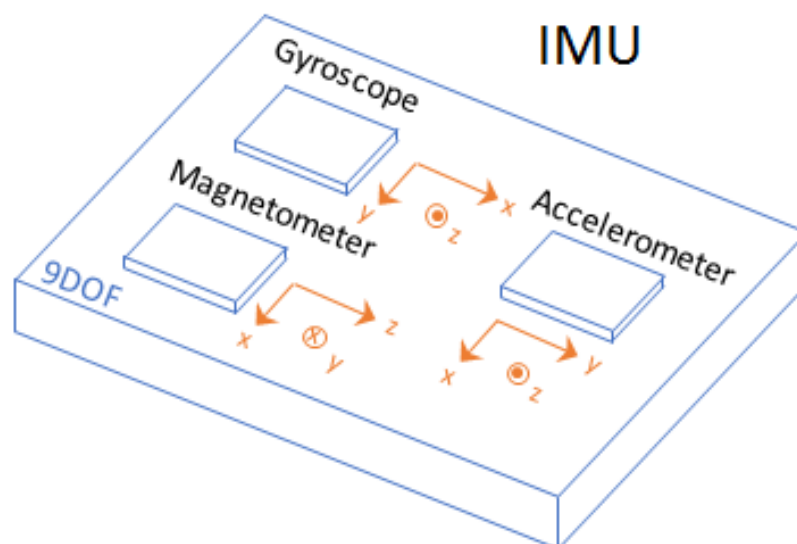
Princip měření polohy pomocí inerciální měřicí jednotky je založen na neustálém zpracování toku dat o pohybu vozidla, tedy nepřetržité měření vektoru okamžitého zrychlení. Měření je zaznamenáváno v souřadnicovém systému měřicího zařízení a následně je transformováno do souřadnicové soustavy, ve které bude určována poloha vozidla. [35]

Pro měření ortogonálních lineárních zrychlení slouží jedna ze součástí inerciální měřické jednotky, kterou je akcelerometr. Běžné akcelerometry se skládají z pružiny nebo závěsu uzpůsobenému k vychýlení jako odezva na zrychlení. [37]

Další část IMU tvoří gyroskopy, které se používají pro detekci úhlových otáček.

Gyroskopy jsou obvykle implementovány v servo smyčce pro stabilizování referenčního rámce, na který mohou být integrovány akcelerometry. Stabilizovaným rámcem může být buď plošina na vozidle, nebo uvnitř vozidla, případně vozidlo samotné.

V jeho nejjednodušší podobě si můžeme gyroskop představit jako rychle rotující rotor nebo setrvačnick podporovaný v rozsahu, který umožňuje volné naklonění osy otáčení vzhledem k podstavci. [37]



Obr. 3.13 Inerciální měřicí jednotka a její části [38]

Obecně existují dva různé systémy IMU.

Systémy, ve kterých je trojice akcelerometrů namontována na vnitřní závěs tří gyroskopů se označují jako závěsné. Tyto systémy jsou velmi přesné, nicméně z mechanického hlediska velmi složité a v důsledku toho i velmi drahé. [35]

Druhý systém, který se nazývá strap down systém, využívá akcelerometry a gyroskopy přesně přichycené k osám pohybujícího se prostředku. V porovnání se závěsnými systémy je mechanická část systému jednodušší, a proto jsou tyto systémy cenově dostupnější a díky tomu využívanější. [35]

Gordon Petrie ve své práci uvádí další typy inerciálních měřících jednotek a uvádí především ty, které se využívají v mobilních mapovacích systémech.

První jsou zmíněny ty, které využívají kruhové laserové gyroskopy a jsou nejpřesnější. Jejich využití je tedy především v aplikacích, které vyžadují největší přesnost.

Jako další uvádí ty inerciální měřící jednotky, které využívají gyroskopy s optickými vlákny. Tyto gyroskopy používají optická vlákna s dlouhým vinutím a jsou levnější. V současných typech IMU jsou široce využívány.

Třetí nejčastěji použitá verze inerciálních měřících jednotek využívá technologie MEMS. Tato technologie využívá drobných křemenných ladících vidlic jako senzorů, které jsou integrovány do křemíkových čipů. [20]

IMU je samostatný přístroj a je nutné, aby byl pevně namontován na platformě pohybujícího se vozidla, kde jsou všechny zobrazovací snímače společně. [31]

Jeho vysoká stabilita se používá pro vyhlazení šumu v měření GPS. Rychlost a předpovídaná pozice získaná pomocí inerciální měřící jednotky, pomáhá GPS přijímači v odhalení cyklických skoků a překonává výpadek signálu ze satelitu. [35]

Inerciální měřící jednotka poskytuje vysokou relativní přesnost. Naproti tomu se absolutní přesnost zhoršuje s časem a to v případě, jestliže přístroj běží v samostatném módu. [35]

3.3.3 DMI - Odometr

Posledním senzorem, který slouží k určení polohy v mobilních mapovacích systémech v kombinaci s přijímačem signálu GNSS a inerciální měřící jednotkou, je odometr.

Odometr, neboli snímač otáček kola či počítadlo kilometrů, zahrnuje optický převodník úhlů na binární signál, připojený kabelem pro přenos dat uvnitř duté tyče, která je upevněna na zadním kole mapovacího vozidla. [20]



Obr. 3.14 Odometr – počítadlo otáček kola [39]

3.3.4 Laserové skenery

Další důležitou složkou mobilních mapovacích systémů jsou laserové skenery.

Díky laserovým skenerům získáváme z mobilního mapování mračno bodů. Tyto zařízení vynikají bezkontaktní vysokou rychlostí sběru dat, která je založená na základě měření doby letu vyslaného paprsku. [12] [11]

V začátcích byly používány skenery, které skenovaly jen ve dvou směrech, horizontálně a vertikálně. Systémy v současnosti se skládají z více profilových skenerů, které skenují dynamicky kolmo ke směru jízdy. [29]

Tyto skenery, používané v mobilních mapovacích systémech, jsou velmi podobné skenerům, které se používají v leteckém laserovém skenování. Třetí rozměr je v těchto případech získáván pohybem platformy, na které je skener integrován. [20]

Konfigurace laserového skeneru se odvíjí od počtu a typu skenerů a také na základě výstupu, který je požadován. [29]

Nejvíce využívané laserové skenery v mobilních mapovacích systémech jsou od firmy SICK. Laserové skenery s delším dosahem dodává firma LASE GmbH. Další firmy, které se specializují na výrobu laserových skenerů, které se hojně využívají v MMS, jsou společnosti Riegl a Optech. [20]



Obr. 3.15 Laserový skener SICK [41]

3.3.5 Digitální kamery

Poslední částí, která tvoří mobilní mapovací systémy a bude popsána v této práci, jsou digitální kamery.

Kamery, které jsou využívány k uspokojení požadavků mobilního mapování, jsou digitální video rámcové kamery, které používají zařízení CCD a CMOS. [20]

Jsou namontovány na platformě mapovacího prostředku a obvykle uzavřeny ve speciálním ochranném pouzdře. [20]

Toto pouzdro chrání kamery před deštěm a prachem. Dále je vybaveno i sluneční clonou a odmrazovací/ohřívací jednotkou, která kameru udržuje v provozu v případě chladného počasí. [20]

Počet digitálních fotoaparátů a volba jejich umístění se odvíjí od účelu, ke kterému budou snímky využity a od způsobu, kterým budou získávány informace z pořízených dat. [29]

Pro vytvoření panoramatických snímků v horizontální rovině je samozřejmostí použití více kamerových polí. [20]

Pokud zobrazovací systém disponuje větším počtem kamer, které mají zajistit nepřetržité pokrytí ulice nebo silnice, je potřebná velmi vysoká rychlost přenosu dat. [20]

Díky digitálním kamerám získáváme velké množství snímků a pro určení trojrozměrných souřadnic objektů vyskytujících se na nich, je potřeba znát některé parametry. [20]

První dva parametry, známé jako parametry vnější orientace, jsou poloha středu pohledu kamery při expoziční době a orientace kamery při expoziční době. [20]

Další dva parametry, které označujeme jako parametry vnitřní orientace, jsou vnitřní geometrie kamerového senzoru a parametry zkreslení objektivu. [20]

Typické modely kamer, které jsou využívány v MMS, jsou kamery série Ladybug, dále kamery Dodeca a modely Elphel. [20]



Obr. 3.16 Digitální kamery Ladybug 5 [42]

3.4 Mobilní mapovací systém RIEGL VMX-450

Mobilní mapovací systém, který byl využit pro sběr dat v případě této diplomové práce, se nazývá RIEGL VMX-450. [47]

Tento systém obsahuje 2 laserové skenery s označením RIEGL VQ-450, které poskytují 360° profily při rychlosti měření 550 000 záznamů/s a rychlosti skenování 200 profilů/s. [47]



Obr. 3.17 RIEGL VMX-450

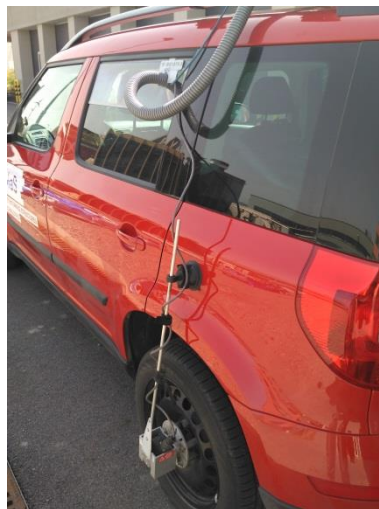
Sběr dat a řízení obsluhy se provádí pomocí řídicí jednotky VMX-450-CU. [47]



Obr. 3.18 Řídicí jednotka VMX-450-CU [autor fotografie: Pavel Belanis]

Běžná konfigurace volitelného kamerového systému se skládá ze 4 kamer s rozlišením 5 megapixelů. Kromě toho mohou být k systému přidány různé kamery a snímače. Celkem je možné integrovat až šest kamer. [47]

Dalším příslušenstvím je zařízení GNSS a IMU, odometr, dotykový displej a další. [47]



Obr. 3.19 Odometr integrovaný s MMS RIEGL VMX-450

4 TEXTY ZABÝVAJÍCÍ SE MOBILNÍM MAPOVÁNÍM A PRACÍ S MRAČNEM BODŮ

V této kapitole bude uveden stručný přehled autorů a jejich odborných prací a článků, kteří se zabývají mobilními mapovacími systémy, jejich částmi či prací s mračnem bodů.

O problematice mobilních mapovacích systémů a jejich výstupů se vyjadřuje poměrně malé množství autorů vzhledem k tomu, o jak rychle rozvíjející technologii se jedná, přičemž v České republice o tomto tématu téměř žádný ucelený text neexistuje.

Hlavní textem, který se věnuje mobilnímu mapování komplexně, je *Mobile Mapping Systems, An Introduction to the Technology* od Gordona Petrieho z roku 2010. [20]

Dalším neméně významným dílem v této oblasti je práce *Advances in Mobile Mapping Technology* od Vincenta C. Taa a Jonathana Li. [17]

Ze zástupců České republiky se tomuto tématu věnovali především zástupci firmy Geodis Brno, konkrétně Jan a Karel Sukupovi, jejichž některé články je možné najít na internetu v anglickém jazyce. [29]

V poslední době se využití mobilních mapovacích systémů věnuje i řada bakalářských a diplomových prací, z nichž za zmínku stojí především ta od Soni Nováčkové. [30]

Ta se ve své práci věnovala testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS. Jiná diplomová práce, která se zabývala využitím mobilního mapovacího systému v architektuře, byla od Jiřího Deutsche. [53]

Obě tyto diplomové práce byly vytvořeny pod VUT v Brně ve spolupráci s firmou Geodis Brno.

Dále budou uvedeny texty, které se věnují práci s mračnem bodů.

Skupina autorů se věnuje automatické detekci sloupů, kterou chtějí nahradit manuální detekci, která je podle nich těžkopádná. Využívají ve své práci nástroj RANSAC, který je využit i v této diplomové práci a uvádějí dále, že tato detekce není úplně snadná, jelikož jsou sloupy často obklopeny vegetací. [48]

Další odborná práce se zabývá obecně detekcí válcových tvarů z mračna bodů. Její autoři uvádí, že tato detekce není úplně snadná, jelikož laserové skenování často neposkytuje úplné údaje, protože některé objekty jsou skenovány jen ze silnice, a navrhuji vlastní algoritmus. [49]

Další detekce, která je diskutována v odborné komunitě, je detekce stromů především v oblasti složité městské zástavby. [50]

Čerpat lze i z Vysokého učení technického v Brně. Za zmínku stojí článek akademiků z Fakulty stavební, kteří se zabývají detekcí hran půdorysu budov. Tato detekce probíhá, co nejvíce automatizovaně, nejprve ve speciálním programu Borland Delphi a poté ve vhodném GIS programu. [51]

Ze stejného prostředí také můžeme zmínit diplomovou práci Romany Lokšové, která se zabývala vektorizací polohopisu z mračna bodů. [52]

5 DETEKCE PROSTOROVÝCH OBJEKTŮ Z MRAČNA BODŮ

Předmětem praktické části diplomové práce bylo seznámení se s mobilním mapovacím systémem a následně práce s mračny bodů získanými technologií mobilního mapování.

Mapovány byly 2 lokality, městys Ostrov u Macochy a ulice Kounicova a Jana Babáka v Brně.

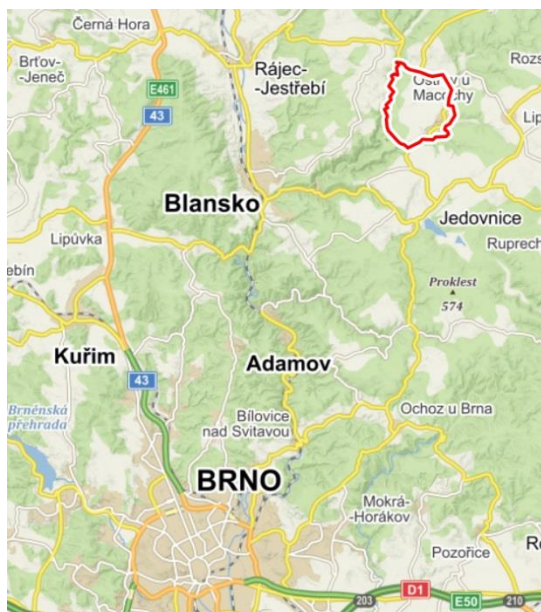
Po vygenerování mračna bodů z těchto lokalit, byla provedena segmentace. Díky segmentaci byla mračna obou lokalit rozdělena na menší části, tzv. dlaždice, ze kterých byla pro testování postupu zpracování vybrána ještě menší dílčí území, která byla pracovně nazvána Kounicova, Ostrov03, Ostrov04_1 a Ostrov04_2. Následně byl na těchto dílčích částech testován automatizovaný způsob detekce objektů z mračna bodů.

5.1 Mobilní mapování testovacích lokalit

Sběr dat ve zvolených lokalitách proběhl technologií mobilního mapování pomocí mobilního mapovacího systému, který je ve vlastnictví výzkumného centra Admas a konkrétněji již byl popsán v předcházející kapitole. Toto výzkumné centrum spadá pod Fakultu stavební, Vysokého učení technického v Brně.

Vybrané lokality byly zmapovány za účasti vedoucího diplomové práce Ing. Tomáše Volaříka Ph.D., Bc. Michaely Zachové a Bc. Petra Veneného. Vedoucí práce automobil řídil a Bc. Michaela Zachová a Bc. Petr Venený obsluhovaly během jízdy palubní počítač.

První zmapovanou lokalitou byl městys Ostrov u Macochy. Tato obec se nachází v okrese Blansko, přibližně 40 km od Brna. Mapování se uskutečnilo 17. 7. 2018 a trvalo přibližně dvě a půl hodiny.



Obr. 5.1 Ostrov u Macochy [zdroj podkladu: mapy.cz]

Druhá lokalita, která byla projeta mobilním mapovacím systémem, se nachází v Brně, v městské části Královo Pole. Konkrétně se jedná o ulici Kounicovu a ulici Jana Babáka. Mapování v této lokalitě proběhlo v pondělí 8. 4. 2019 a trvalo přibližně jednu hodinu. Výše zmíněné lokality byly vybrány tak, aby byl znatelný rozdíl v jejich infrastruktuře.



Obr. 5.2 ulice Kounicova a Jana Babáka [zdroj podkladu: mapy.cz]

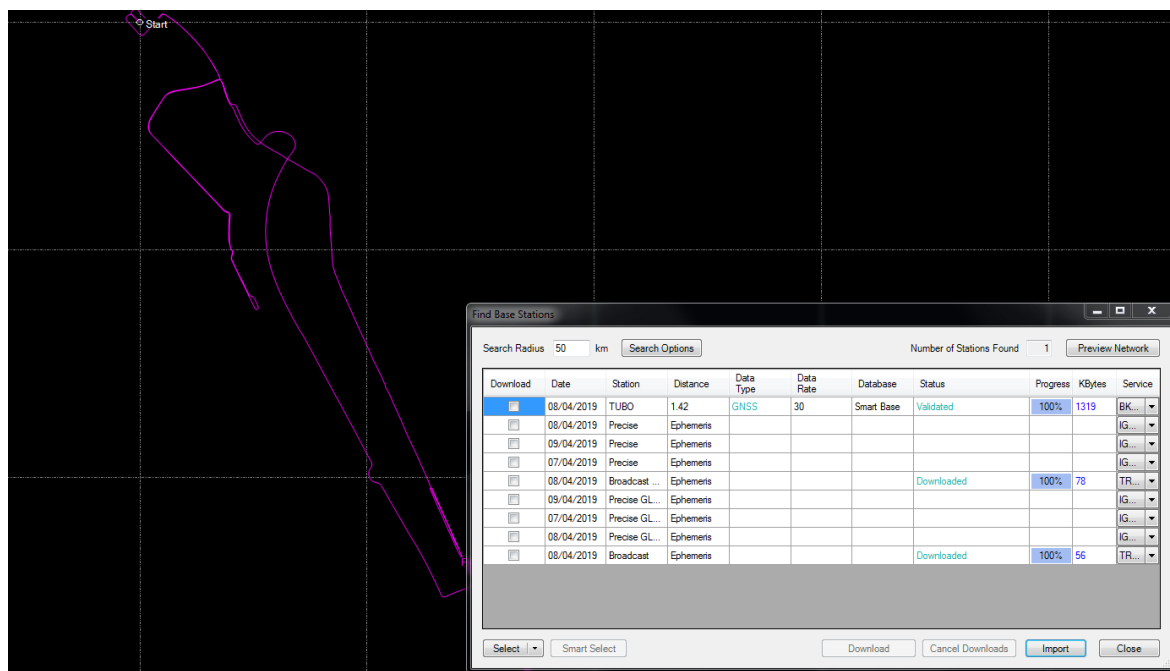
5.2 Zpracování trajektorie a mračna bodů

Poté, co bylo dokončeno mapování v terénu, bylo nutné zpracovat naměřená surová data.

Prvním krokem zpracování byl výpočet trajektorie – polohy a orientace systému v čase, který proběhl v programu Pospac.

Výpočet v tomto případě kombinuje data z polohovacích senzorů mobilního mapovacího systému s daty z jedné nebo více základnových stanic.

Základnové stanice přináší do výpočtu údaje o přesných drahách satelitů a údaje o korekci atomových hodin v satelitech GNSS. Výsledkem zpracování je soubor, který obsahuje údaje o popisu polohy a orientace MMS.



Obr. 5.3 Výpočet trajektorie v programu Pospac

Druhý základní krok zpracování se týká výpočtu poloh středů a orientace pořízených snímků, který má přímou návaznost na trajektorii vypočítanou v prvním kroku. Tento výpočet je možné uskutečnit na základě časových značek a známého prostorového vztahu mezi kamerou a inerciální měřicí jednotkou.

Následně se ve specializovaném softwaru Riprocess z dat skeneru generuje mračno laserových bodů.

Snímky, které obsahují údaje o poloze středů a své orientaci, a mračno bodů jsou základním výstupem mobilního mapování.

Po výpočtu a vygenerování mračna bodů byly tyto soubory bodů jednotlivých lokalit rozděleny na menší části, tzv. dlaždice o rozměrech 100x100 metrů. Z těchto dlaždic byla pro testování postupu zpracování vybrána ještě menší území, která byla pracovně nazvána Kounicova, Ostrov03, Ostrov04_1 a Ostrov04_2. Tato segmentace na menší části proběhla z toho důvodu, že zpracování celého mračna lokality najednou by nebylo téměř možné, protože by to vyžadovalo extra výkonný hardware a software.

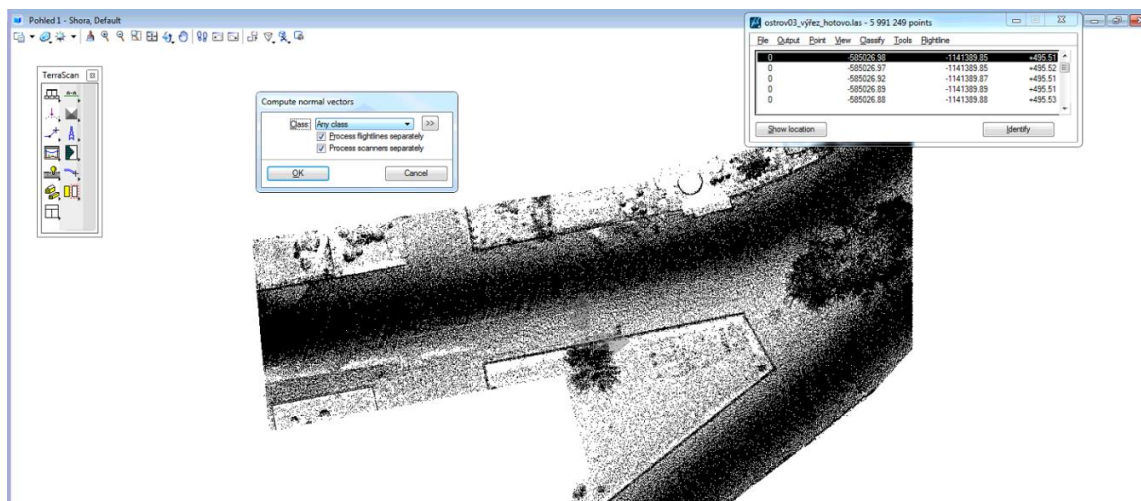
5.3 Klasifikace vzdušného vedení

Po výpočtu dat v programech Riprocess a Pospac pokračovalo zpracování v programu Microstation pomocí nadstavby Terrascan, která je přizpůsobena pro práci s mračnem bodů.

Původní předpoklad práce v tomto programu byl takový, že bude provedena automatická klasifikace mračna pomocí dostupných nástrojů a díky ní získáme prostorové objekty uvedené v zadání.

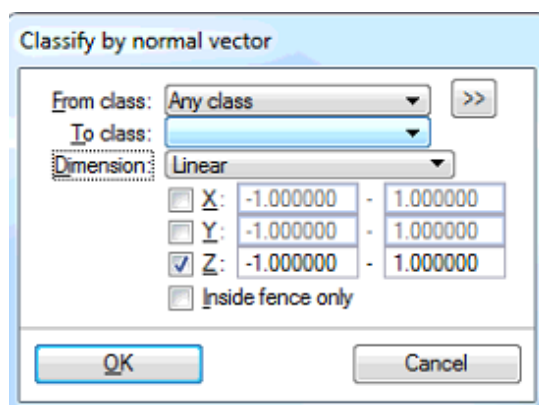
Mračno bodů je možné v tomto programu různě upravovat a jinak s ním pracovat, ale především klasifikovat a to podle mnoha kritérií jako například podle třídy, podle normálových vektorů, podle výšky nad terénem, podle směru skenování, podle absolutní výšky, atd.

Několik z výše uvedených funkcí bylo vyzkoušeno a jako nejvhodnější pro další postup práce byla zvolena klasifikace podle normálových vektorů. Pro použití toho nástroje bylo nejprve nutné, aby byly normálové vektory vypočteny a teprve poté bylo možné spustit samotnou klasifikaci.



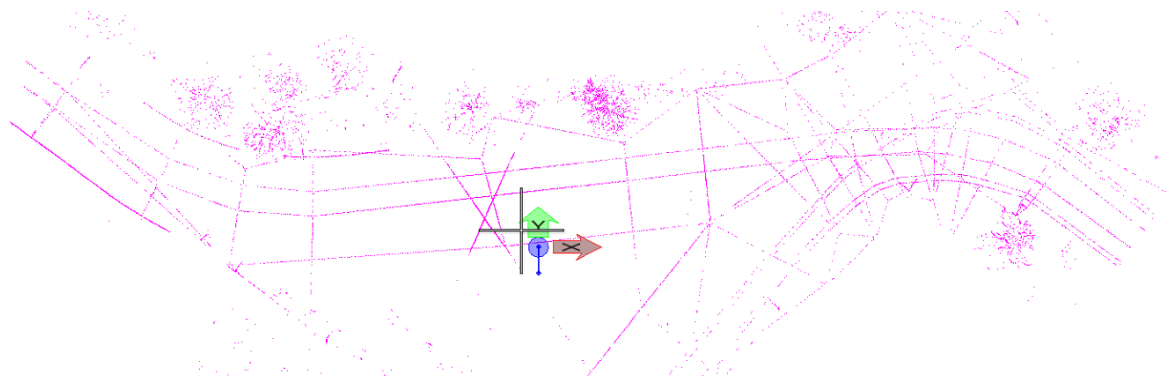
Obr. 5.4 Ukázka výpočtu normálových vektorů

V tomto nástroji je možné využít 3 možné varianty klasifikace, kterými jsou rovinná, lineární a komplexní. Klasifikovat lze v osách X, Y i Z.



Obr. 5.5 Nástroj klasifikace podle normálových vektorů

Jako nejlepší pro účely práce byla zvolena lineární klasifikace v ose Z od hodnoty -1 do 1. Díky této funkci bylo možné vyexportovat část mračna, která obsahovala jen body reprezentující vzdušné vedení, např. vedení vysokého napětí, vedení nízkého napětí, troleje pro tramvaje a trolejbusy, atd.



Obr. 5.6 Mračno klasifikovaného vzdušného vedení

Zbývající část mračna byla exportována již bez další úpravy.

Původní předpoklad pro práci v tomto programu nebyl zcela naplněn, jelikož klasifikovat automaticky jednotlivé objekty z mračna v tomto programu není zcela možné. Nabízené funkce umožňují mračno sice různě klasifikovat, ale tímto způsobem z něj nedokážeme dostat například samostatné mračna reprezentující sloupce, či mračna znázorňující jen vegetaci. Pozitivem práce v této nadstavbě je tedy aspoň schopnost klasifikace vzdušného vedení pomocí normálových vektorů, která poskytuje velmi spolehlivé výsledky.

5.4 Detekce sloupů a vegetace

Po úspěšné detekci vzdušného vedení v programu Microstation prostřednictvím nadstavby Terrascan, bylo potřeba detekovat další části mračna bodů.

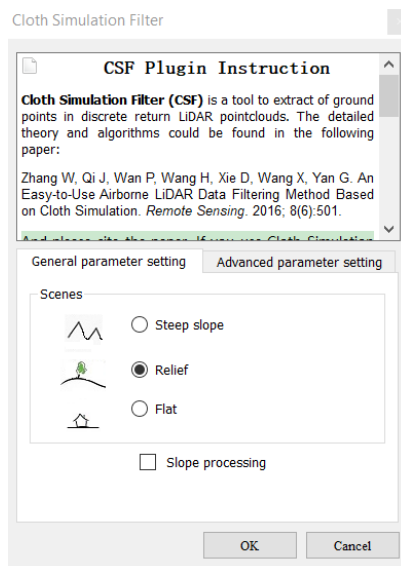
Pro další testování automatizovaného zpracování byl zvolen program CloudCompare. Ten poskytuje širokou škálu funkcí, které umožňují automatizovanou práci s daty získané mobilními mapovacími systémy a laserovým skenováním. [45]

Představa byla taková, že díky tomuto programu budeme schopni automaticky detekovat jednotlivé části mračna, které zatím rozlišeny nebyly, včetně sloupů a vegetace. Dále bylo očekávání, že se povede jednotlivé shluky bodů znázorňující prostorové objekty v mračně bodů vizualizovat do podoby bodových, liniových a plošných prvků.

Zároveň tedy byla načtena dvě upravená mračna ve formátu LAS.

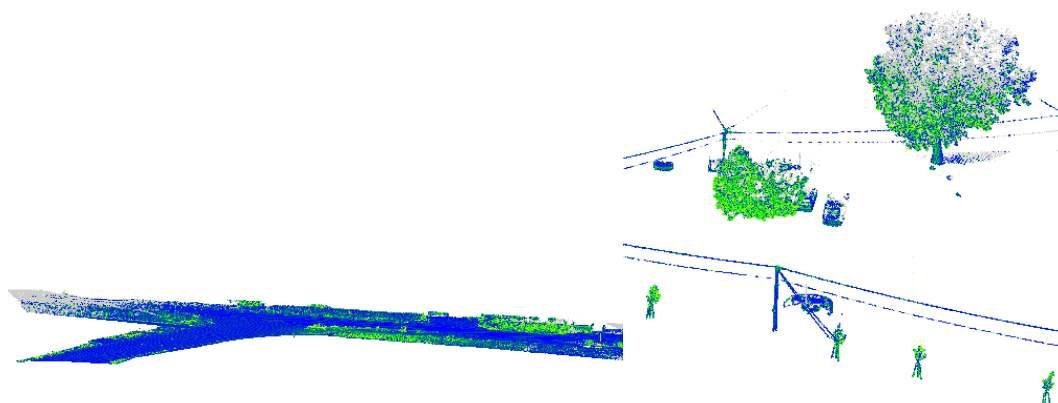
První obsahovalo body, které reprezentovaly vzdušné vedení, a druhé mračno obsahovalo zbytek bodů.

Z mračna obsahujícího všechny body kromě bodů vzdušného vedení byly ručně segmentovány domy, které nebyly pro zpracování této práce zájmovými prvky. Následně na toto mračno byla použita funkce CSF Filter.



Obr. 5.7 Nástroj CSF Filter

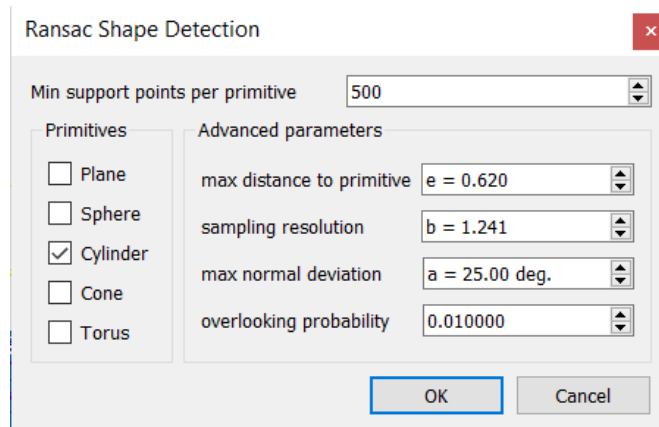
Aplikací této funkce byla vytvořena další dvě nová mračna. Jedno obsahovalo body terénu a druhé všechny body nad terénem, jak je možné vidět na obrázcích níže. Tento postup byl zvolen z důvodu získání bodů, které skener zachytil na vyšší vegetaci a sloupech.



Obr. 5.8 Mračno povrchu země a bodů nad povrchem

Po rozdělení původního mračna na dvě další, byla dále ve zpracování použita funkce RANSAC. Tato funkce automaticky detekuje tvary v mračně bodů, nejen ty které chceme, aby detekovala, ale všechny tvary v mračnu na které je aplikována, a její použití závisí na

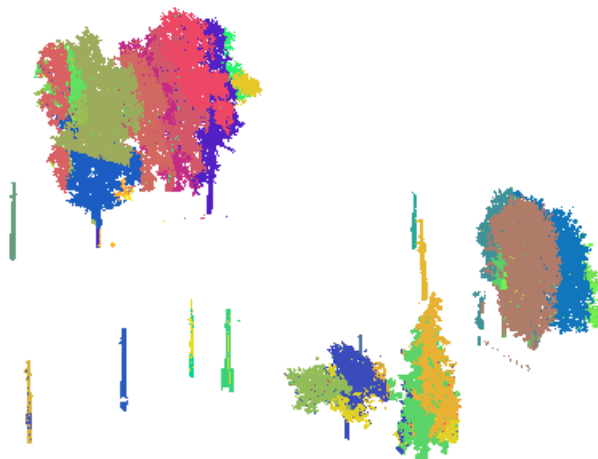
hustotě mračna a velikosti obrazců, které se snažíme získat. Při zadávání parametrů pro tuto funkci, jsme požadovali, aby funkce primárně detekovala sloupy. [45]



Obr. 5.9 Nástroj Ransac Shape Detection

Poté, co proběhla tato funkce, byly vybrány ručně jen ty shluky bodů, které reprezentovaly body na sloupech a body vyšší vegetace.

Tato mračna byla očištěna od nepotřebných shluků a vyexportována do datové vrstvy shapefile pro závěrečnou vizualizaci v dalším programu.



Obr. 5.10 Mračno sloupů a vegetace

Z mračna, které reprezentovalo body vzdušeného vedení, byly také odstraněny nepotřebné shluky bodů, které v předchozí části zpracování výpočet označil jako body vedení.

Následně bylo toto mračno vyexportováno do textového souboru pro jeho další zpracování a vizualizaci.

Představa, která byla před použitím tohoto programu, nebyla opět úplně naplněna. Nebylo možné v tomto programu jednotlivé klasifikované objekty vizualizovat ze stavu bodového mračna do podoby jednotlivých bodových, liniových či plošných prvků. Další nevýhodou bylo, že ačkoli funkce Ransac dokázala spolehlivě označit sloupy, tak označila i jiné prvky mračna. Tyto jiné objekty, které nebyly předmětem zpracování, nebylo možné automatizovaně odfiltrovat nebo jinak smazat, a bylo potřeba to udělat ručně, což bylo časově náročné.

Na druhou stranu tento program poskytuje mnohem větší možnosti, jak pracovat s mračnem bodů oproti nadstavbě Terrascan. Také nabízí mnohem více možností, jak uložit výstup z tohoto programu, oproti programu předchozímu.

5.5 Vizualizace zpracovaných dat

Poté, co byly detekovány všechny potřebné části mračna, byly nakonec vizualizovány v programu ArcMap.

ArcMap je program, který slouží pro všechny mapové úlohy, především pro kartografické účely a prostorové analýzy. Je to ideální program pro vytvoření mapy či odeslání výsledků analýz k publikaci na server. [46]

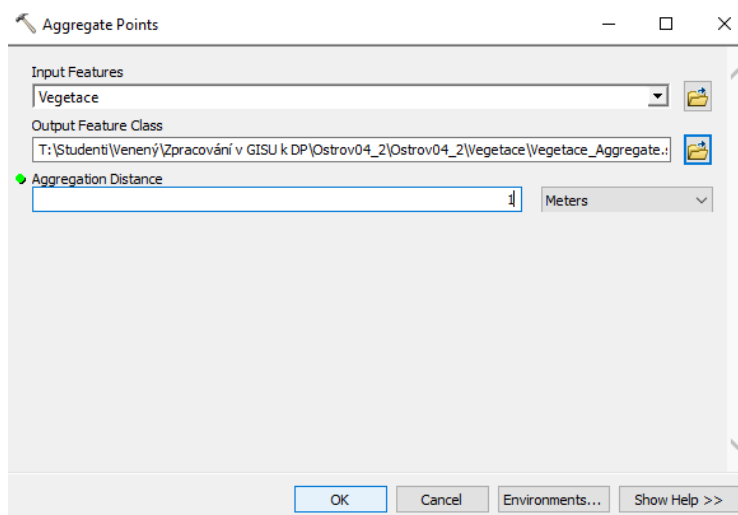
Po předchozích zkušenostech s programem ArcMap byla představa dalšího zpracování zřejmá. Vizualizovat jednotlivé detekované části mračna do podoby bodových, liniových a plošných vrstev.

Vzhledem k tomu, že pro testování automatizovaného zpracování mračna bodů byly vybrány čtyři různé části z naskenovaných lokalit, byly založeny čtyři datové rámce pro zpracování jednotlivých částí zvlášť. Těmto datovým rámcům byly nastaveny souřadnicové systémy JTSK a ETRS v zobrazení UTM 33N, podle toho v jakých systémech byly lokality vypočítány.

Soubory s daty o vegetaci a sloupech byly nahrány jako datové vrstvy shapefile. Tyto datové soubory jsou přímo podporovány programem ArcMap.

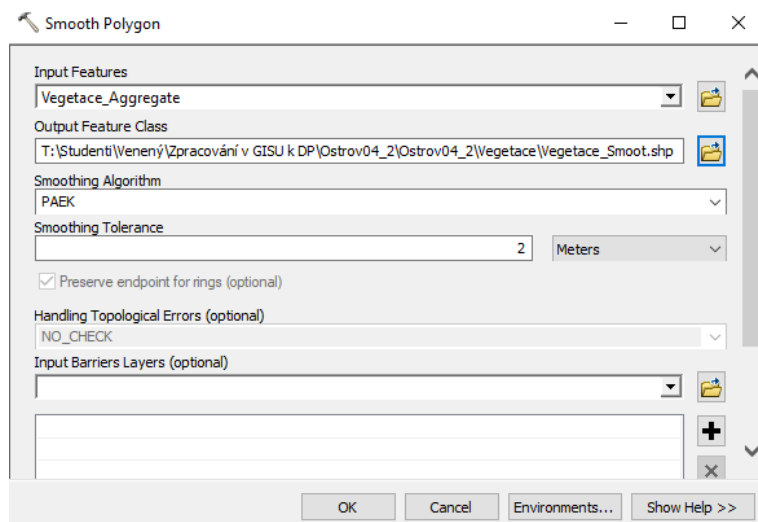
Textový soubor obsahující souřadnice bodů reprezentujících vzdušné vedení byl importován do programu Microsoft Excel. Zde byla data filtrována tak, aby jich bylo menší množství, což zjednodušilo a zrychlilo zpracování, aniž by to jakkoli ovlivnilo výsledek vizualizace. Takto upravená data byla následně přes funkci *Add xy data* nahrána do programu ArcMap a exportována do datové vrstvy shapefile, aby mohla být následně upravována.

Na bodový shapefile „*Vegetace*“ byla použita funkce *Aggregate Points*, která množství jednotlivých bodů převedla na uzavřený obrazec – polygon.



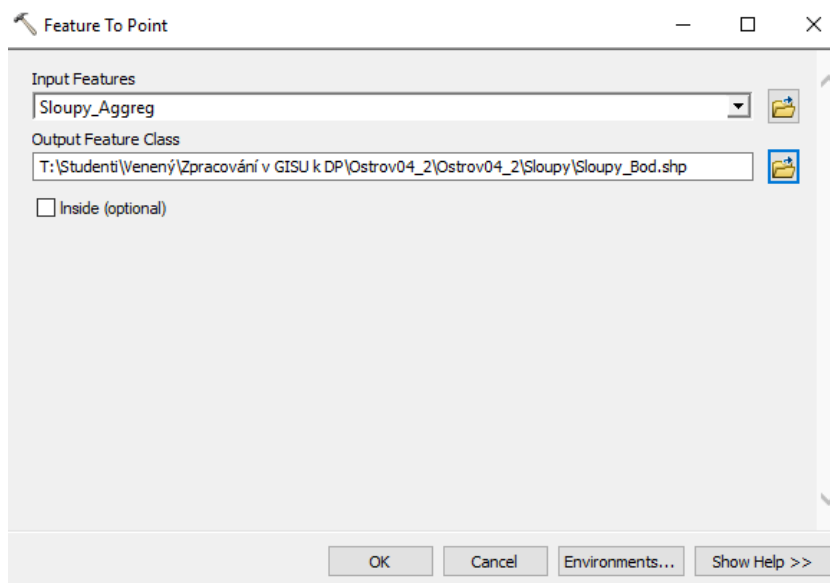
Obr. 5.11 Aggregate points

Následně byla využita funkce *Smooth Polygon*, která vytvořeným obrazcům vyhladila okraje. Poté byla už jen vybrána taková barva, aby uživateli evokovala, že se jedná o vegetaci.



Obr. 5.12 Smooth polygon

Bodový shapefile „*Sloupy*“, byl upraven stejnou funkcí jako datová vrstva „*Vegetace*“. V prvním kroku úpravy jsme tedy dostali malé uzavřené obrazce, které reprezentovaly sloupy. Následně byla využita funkce *Feature to Point*, která z uzavřených obrazců vytvořila v jejich centru bod. Jednotlivé body, tedy reprezentují jednotlivé sloupy.



Obr. 5.13 Feature to point

Poslední vrstvou, která byla vizualizována, byla vrstva s daty o vzdušném vedení. Pro zpracování této vrstvy bylo potřeba založit nový shapefile typu linie.

Původně byla snaha vytvořit linie automatizovaně pomocí funkce, kterou tento program nabízí. Nicméně po důkladném prostudování účelnosti této funkce bylo zjištěno, že bude rychlejší vytvořit linie ručně než automatizovaně. Přes nástroj *editor* byly tedy ručně aproximovány body liniemi, reprezentující vzdušné vedení.

Předpoklad, se kterým byla data otevřena v tomto programu, byl splněn téměř dokonale. Datové vrstvy znázorňující vegetaci i sloupů byly vizualizovány bezproblémově.

Nicméně ani tento program, stejně jako předchozí, nedisponuje funkcí, která by automatizovaně propojila body znázorňující liniové prvky.

Na závěr byla pod výsledné vrstvy podložena ortofotomapa a Open Street Map pro lepší přehlednost a orientaci, kde se lokality konkrétně nachází a jak vypadá situace v daném místě. Vytvořené datové vrstvy jsou přílohou této práce.



Obr. 5.14 Vizualizace vzdušného vedení, vegetace a sloupů v Ostrově u Macochy



Obr. 5.15 Vizualizace vzdušného vedení, vegetace a sloupů v ulici Kounicově

6 ZÁVĚR

Předmětem zájmu této diplomové práce bylo testování automatické detekce prostorových objektů z mračna bodů. Výsledkem jsou datové vrstvy GIS, které jsou elektronickou přílohou této práce.

Mobilní mapování proběhlo ve dvou lokalitách, kterými byly městy Ostrov u Macochy a ulice Kounicova a ulice Jana Babáka v Brně. Mračna bodů z těchto lokalit byla získána mobilním mapovacím systémem Riegl VMX-450 a následně zpracována v několika programech.

Výpočet trajektorie a vygenerování mračna proběhlo ve specializovaných softwarech Pospac a Riprocess. Mračna byla následně rozdělena na menší části, na kterých probíhalo testování automatické detekce prostorových objektů.

V programu Microstation pomocí nadstavby Terrascan bylo úspěšně detekováno pouze vzdušné vedení. Nebylo možné detekovat další jednotlivé části mračna. Proto tento program pro případné další zpracování mračna bodů vyjma zmíněného vzdušného vedení není úplně vhodný.

Dále byl využit program CloudCompare. Díky funkcím CSF Filter a RANSAC bylo možné detekovat zbylé testované prostorové objekty s vysokou úspěšností. Všechny kroky však nebylo možné dělat pomocí automatických funkcí, a proto byly některé části zpracování časově náročné. Nevýhodou je také skutečnost, že po uskutečnění všech kroků se stále jednalo o bodové mračno a nebylo možné dosáhnout jiné vizualizace.

Po předchozích zkušenostech s programem ArcMap byl tento program vybrán pro závěrečnou vizualizaci detekovaných prostorových objektů. Vizualizace byla provedena poměrně rychle a úspěšně z velké části automaticky, což se týkalo vrstev „*Sloupy*“ a „*Vegetace*“. Vykreslení liniové vrstvy obsahující vzdušné vedení nebylo účelné provést automaticky, a proto bylo provedeno ručně.

S ohledem na počet použitých programů a úspěšnost práce v nich, není možné říct, že by byl některý z nich pro detekci prostorových objektů z mračna bodů tím nejvhodnějším. Každý z těchto programů umožňuje pouze část zpracování.

Pro další takové testování automatické detekce bych navrhoval využití některého ze softwarů CAD, případně v kombinaci s využitím některého z programovacích jazyků, přičemž není vyloučeno, že v současné době program, který by umožňoval komplexní detekci a zároveň vizualizaci prostorových objektů z mračna bodů, není k dispozici.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 18. 04. 2019]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=1145&l=mapovani
- [2] HAVEL, David. *Způsoby mapování.* 2001. [cit. 18. 04. 2019]. Dostupné z: <http://climb.sweb.cz/uni/tka/>
- [3] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 18. 04. 2019]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/4031_kleinmessungsmethode-e
- [4] KALVODA, Petr. *Mapování I. Podrobné měření.* Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.
- [5] MANSFELDOVÁ, Jana. *Geodetické výpočty, 1. část.* Praha, 2008. Střední průmyslová škola zeměměřická
- [6] ČADA, Václav. Metody měření polohopisu. In: *Přednáškové texty z Geodézie.* [cit. 19. 04. 2019]. Dostupné z: <http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/gen1/html/ch08.html>
- [7] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 19. 04. 2019]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=cz&tid=3867&l=fotogrammetrie
- [8] TAJOVSKÁ, Kateřina. *Základy fotogrammetrie.* Brno. Masarykova univerzita
- [9] HODAČ, Jindřich. *Získávání topografických informací. Fotogrammetrie – Úvod.* Praha. České vysoké učení technické
- [10] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 19. 04. 2019]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/5529_laserscanning-e

- [11] MIKITA, Tomáš. *Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství. Letecké laserové skenování*. Brno 2014. Mendelova univerzita
- [12] ŘÍHA, Jan. *Terestrické 3D skenování*. Praha 2013. Střední průmyslová škola zeměměřická
- [13] FIALA, Radek. *Laserové skenování – principy*. Plzeň. Západočeská univerzita
- [14] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 20. 04. 2019]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/5531_letecke-laserove-skenovani
- [15] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 20. 04. 2019]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=cz&tid=7526&l=mobilni-mapovani
- [16] DOLEŽALOVÁ, Věra. *Mobilní mapovací systém*. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 22. 04. 2019]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18123790-Mobilni-mapovaci-system.html>
- [17] TAO, C. Vincent; LI, Jonathan. *Advances in Mobile Mapping Technology*. London © 2007. ISBN 978-0-415-42723-4
- [18] Slovník VÚGTK. *VÚGTK, v.v.i.* [online]. Copyright © 2005 [cit. 28. 04.2019]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/7158_mobile-mapping-system
- [19] SHI, Y.; SHIBASAKI, R.; SHI, Z. C. *Towards Automatic Road Mapping By Fusing Vehicle-Borne Multi-Sensor Data*. Beijing 2008. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5.

[20] PETRIE, Gordon. *Mobile Mapping Systems. An Introduction to the Technology*. Leden/Únor 2010

[21] ETS ARCHITA Rail Mobile mapping system - ETS ingegneria. *Home - ETS ingegneria From Your Perspective* [online]. Copyright © 2019 ETS ingegneria [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.etsingegneria.it/en/ets-archita-rail-mobile-mapping-system/>

[22] What is mobile mapping? | Leica Geosystems. *When it has to be right | Leica Geosystems* [online]. Copyright ©2019 Leica Geosystems AG [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/en-us/products/mobile-sensor-platforms/stories-insights/what-is-mobile-mapping>

[23] Mobile Mapping Systems | Mobile LiDAR Technology | 3D Laser Mapping. *LiDAR / Mapping & Monitoring Systems / 3D Laser Mapping* [online]. Copyright © 1999 [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.3dlasermapping.com/mobile-mapping-systems/>

[24] MADEIRA, Sérgio. *Sistema Móvel de Levantamento Terrestre*. 2011. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

[25] Mobilní mapování. *Revoluční způsob mapování terénu pomocí mobilního laserového systému LYNX* [online]. Copyright © 2005-2019 [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.quantum3d.cz/website/topmenu/mobilni-mapovani/>

[26] Google používá k mapování měst i tříkolky – Živě.cz. *Živě.cz – O počítačích, IT a internetu* [online]. Copyright © 2019 [cit. 04. 05. 2019] Dostupné z: <https://www.zive.cz/bleskovky/google-pouziva-k-mapovani-mest-i-trikolky/sc-4-a-147090/default.aspx>

[27] Here are 5 mobile mapping systems that would interest you. *Geospatial World - Top destination for geospatial indLocation Technology & Location Intelligence Featured Page – News, Blogs, Videos* trends [online]. Copyright © Geospatial Media and Communications [cit. 05. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.geospatialworld.net/blogs/here-are-five-mobile-mapping-systems-that-would-interest-you/>

[28] Leica Pegasus:Backpack Wearable Mobile Mapping Solution | Leica Geosystems. *When it has to be right | Leica Geosystems* [online]. Copyright ©2019 Leica Geosystems AG [cit. 05. 05. 2019]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/en-in/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>

[29] Mobile Mapping. *Mapping the world | GIM International* [online]. Copyright © 2019 Geomares. Copyright reserved. [cit. 15. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.gim-international.com/content/article/mobile-mapping-2>

[30] NOVÁČKOVÁ, Soňa. *Testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

[31] IP, A. W. L.; EL-SHEIMY, N.; MOSTAFA, M. M. R. *SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS OF INS/DGPS INTEGRATED SYSTEM FOR MOBILE MAPPING SYSTEM (MMS)*. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary

[32] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; WEIGEL, Josef; MACHOTKA, Radovan. *SEMINÁŘ GPS: MODUL 01, Metodika GPS měření a vyhodnocení*. Brno, 2007. Vysoké učení technické

[33] Specifikace stanic. *Popis sítě* [online]. Copyright © 2019 [cit. 18. 05. 2019] Dostupné z: http://czeapos.cuzk.cz/_specifikace.aspx

[34] Trimble R4 GNSS 3. Generace. GEOTRONICS Praha. *GEOTRONICS PRAHA - Váš GEOSHOP* [online]. Copyright © 2019 [cit. 16. 05. 2019]. Dostupné z: <http://geotronics.cz/geodezie/gnss/trimble-r4-gnss-3-generace/>

- [35] HANZL, Vlastimil. *FOTOGRAMMETRIE: MODUL 01 – Teoretické základy fotogrammetrie*. Brno 2006. Vysoké učení technické
- [36] SEEL, Thomas; RAISCH, Jorg; SCHAUER, Thomas. *IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis*. Berlin. Sensors 2014, 14, 6891-6909; doi:10.3390/s140406891. ISSN 1424-8220
- [37] MORRISON, M. Melvin. *INERTIAL MEASUREMENT UNIT*. USA 1985
- [38] *MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink* [online]. Copyright © 1994 [cit. 17. 05. 2019]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/fusion/gs/model-imu-gps-and-insgps.html>
- [39] GPS and mobile mapping systems uses for off-road equipment. *Home / OEM Off-Highway* [online]. Copyright © 2019 [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.oemoffhighway.com/electronics/smart-systems/telematics/article/10614095/gps-and-mobile-mapping-systems-uses-for-offroad-equipment>
- [40] Mobile Lidar Systems Today and Tomorrow. *Mapping the world | GIM International* [online]. Copyright © 2019 Geomares. Copyright reserved. [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.gim-international.com/content/article/mobile-lidar-systems-today-and-tomorrow>
- [41] Anatomy of a mobile mapping system - EE Publishers. *EE Publishers - Technology & business or development* [online]. Copyright © Copyright 2019 [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.ee.co.za/article/anatomy-mobile-mapping-system.html>
- [42] Cameras - LIDAR USA - UAV DRONE 3D LIDAR MOBILE MODELING MAPPING GIS EXPERTS. *LIDAR USA - UAV DRONE 3D LIDAR MOBILE MODELING MAPPING GIS EXPERTS - Home* [online]. Copyright © 2019 [cit. 18. 05. 2019] Dostupné z: <https://www.lidarusa.com/cameras.html>

[43] NEX, Francesco; RINAUDO, Fulvio. *Digital photogrammetry and LIDAR: New ideas for cultural heritage metric surveys*. Kyoto, Japan 2009. 22nd CIPA Symposium, October 11-15.

[44] HABIB, A. F.; GHANMA, M. S.; TAITA M. *Integration of LIDAR and photogrammetry for close ranger applications*. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary

[45] CloudCompare Version 2.6.1 – user manual

[46] ArcMap - Geografické informační systémy (GIS) - ARCDATA PRAHA. *Geografické informační systémy (GIS) - ARCDATA PRAHA*[online]. Copyright © 2019 [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>

[47] User Instructions. *VMX-450 Compact Mobile Laser Scanning System*. RIEGL '1MX-450. 20/09/2012

[48] TOMBARI, Federico; FIORAIO, Nicola; CAVALLARI, Tommaso; SALTI, Samuele; PETRELLI, Alioscia; DI STEFANO, Luigi. *Automatic detection of pole-like structures in 3D urban environments*. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014) September 14-18, 2014, Chicago, IL, USA

[49] NURUNNABI, Abdul; SADAHIRO, Yukio; LINDENBERGH, Roderik. **ROBUST CYLINDER FITTING IN THREE-DIMENSIONAL POINT CLOUD DATA**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-1/W1, 2017 ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17 – CMRT 17 – ISA 17 – EuroCOW 17, 6–9 June 2017, Hannover, Germany

[50] MONNIER, Fabrice; VALLET, Bruno; SOHEILIAN, Bahman. **TREES DETECTION FROM LASER POINT CLOUDS ACQUIRED IN DENSE URBAN AREAS BY A MOBILE MAPPING SYSTEM**. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia

[51] BUREŠ, Jiří; BARTONĚK, Dalibor; BÁRTA, Ladislav; ŠVÁBENSKÝ, Otakar. *AUTOMATED UPDATING OF SELECTED TECHNICAL AND CADASTRAL MAP COMPONENTS*. Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS, 18-23 June 2018, Sozopol, Bulgaria. ISSN: 1314-0604.

[52] LOKŠOVÁ, Romana. *Vektorizace polohopisu s využitím mračen bodů pořízených skenováním*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

[53] DEUTSCH, Jiří. *Mobilní mapování v architektuře*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

GIS	Geographic Information System (Geografický informační systém)
GPS	Global Positioning System (Globální polohový systém)
IMU	Inertial Measurement Unit (Inerciální měřicí jednotka)
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
GNSS	Global Navigation Satellite System (Globální navigační družicový systém)
RGB	Red-Green-Blue (Červená-Zelená-Modrá, barevný model)
CCD	Charged-Coupled Device
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Bezpilotní letadlo)
USA	United States of America (Spojené státy Americké)
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
DMI	Distance Measuring Instruments (Digitální měřicí nástroje)
DGPS	Diferencial Global Positioning System (Diferenciální GPS)
MMS	Mobile Mapping System (Mobilní mapovací systém)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
VUT	Vysoké učení technické
CSF	Cloth Simulation Filter
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
ETRS	European Terrestrial Reference System (Evropský terestrický referenční systém)
UTM	Universal Transverse Mercator (Mercatorovo univerzální příčné zobrazení)

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1 Letecká a pozemní fotogrammetrie [9]</i>	11
<i>Obr. 2.2 Skener a princip pozemního skenování [12] [11]</i>	13
<i>Obr. 2.3 Letecké laserové skenování [11]</i>	13
<i>Obr. 3.1 GPSVan první generace [24]</i>	18
<i>Obr. 3.2 Mobilní mapovací systémy na vozidle [25]</i>	19
<i>Obr. 3.3 Mobilní mapovací systémy na železnici [21]</i>	20
<i>Obr. 3.4 Mobilní mapovací systémy na vodě [22]</i>	20
<i>Obr. 3.5 Mobilní mapovací systém na tříkolce [26]</i>	21
<i>Obr. 3.6 Mobilní mapovací systém na batohu [23]</i>	21
<i>Obr. 3.7 Trimble MX9 (vlevo) a Topcon IP-S3 [27]</i>	23
<i>Obr. 3.8 Leica Pegasus [27]</i>	23
<i>Obr. 3.9 Leica Pegasus Backpack [28]</i>	24
<i>Obr. 3.10 Hi-Target HiScan-C (vlevo) a Teledyne Optech's Maverick [27]</i>	24
<i>Obr. 3.11 Mobilní mapovací systém – jednotlivé části [40]</i>	26
<i>Obr. 3.12 Antény GPS přijímačů [34] [33]</i>	27
<i>Obr. 3.13 Inerciální měřicí jednotka a její části [38]</i>	30
<i>Obr. 3.14 Odometr – počítadlo otáček kola [39]</i>	31
<i>Obr. 3.15 Laserový skener SICK [41]</i>	32
<i>Obr. 3.16 Digitální kamery Ladybug 5 [42]</i>	34
<i>Obr. 3.17 RIEGL VMX-450</i>	34
<i>Obr. 3.18 Řídící jednotka VMX-450-CU [zdroj fotografie: Bc. Pavel Belanis]</i>	35
<i>Obr. 3.19 Odometr integrovaný s MMS RIEGL VMX-450</i>	35
<i>Obr. 5.1 Ostrov u Macochy [zdroj podkladu: mapy.cz]</i>	39
<i>Obr. 5.2 ulice Kounicova a Jana Babáka [zdroj podkladu: mapy.cz]</i>	39
<i>Obr. 5.3 Výpočet trajektorie v programu Pospac</i>	40
<i>Obr. 5.4 Nástroj klasifikace podle normálových vektorů</i>	42
<i>Obr. 5.5 Ukázka výpočtu normálových vektorů</i>	42
<i>Obr. 5.6 Mračno klasifikovaného vzdušného vedení</i>	43
<i>Obr. 5.7 Nástroj CSF Filter</i>	44
<i>Obr. 5.8 Nástroj Ransac Shape Detection</i>	44
<i>Obr. 5.9 Mračno sloupů a vegetace</i>	45
<i>Obr. 5.10 Mračno povrchu země a bodů nad povrchem</i>	45

<i>Obr. 5.11 Aggregate points</i>	47
<i>Obr. 5.12 Smooth polygon</i>	48
<i>Obr. 5.13 Feature to point</i>	48
<i>Obr. 5.14 Vizualizace vzdušného vedení, vegetace a sloupů v ulici Klusáčkově</i>	49
<i>Obr. 5.15 Vizualizace vzdušného vedení, vegetace a sloupů v Ostrově u Macochy</i>	50

10 SEZNAM PŘÍLOH

1. CD

1.1 Text diplomové práce

1.1.1 Detekce_prostorovych_objektu_v_mracne_bodu.pdf

1.2 Datové soubory

1.2.1 Kounicova

1.2.1.1 Sloupy

1.2.1.2 Vegetace

1.2.1.3 Vzdušné vedení

1.2.2 Ostrov03

1.2.2.1 Sloupy

1.2.2.2 Vegetace

1.2.2.3 Vzdušné vedení

1.2.3 Ostrov04_1

1.2.3.1 Sloupy

1.2.3.2 Vegetace

1.2.3.3 Vzdušné vedení

1.2.4 Ostrov04_2

1.2.4.1 Sloupy

1.2.4.2 Vegetace

1.2.4.3 Vzdušné vedení