

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Diplomová práce

2012

Bc. Adam DUCHAČ

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav regionálních a bezpečnostních věd

Využití dat z mobilního mapování v bezbariérovosti

Adam Duhač

Diplomová práce

2012

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Duchač**
Osobní číslo: **E10284**
Studijní program: **N6202 Hospodářská politika a správa**
Studijní obor: **Regionální rozvoj**
Název tématu: **Využití dat z mobilního mapování v bezbariérovosti**
Zadávající katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Bezbariérovost.
Dálkový průzkum.
Charakteristiku mobilního mapování.
Nástroje pro mobilní mapování.
Aplikace v zájmovém území.
Definování přínosů z hlediska bezbariérovosti.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

55 stran

Forma zpracování diplomové práce:

tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

BEALE, L., et al. Mapping for Wheelchair Users: Route Navigation in Urban Spaces. In: The Cartographic Journal. VB: Maney Publishing, 2006. s. 68-81. ISSN 0008-7041.

BHATTACHARYA, B., et al. Optimal Movement of Mobile Sensors for Barrier Coverage of a Planar Region. In: Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer/Heidelberg, 2008. s. 194-212.

ELLUM, C., EL-SHEIMY, N. Land-based Mobile Mapping Systems. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. USA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2002. s. 13-28. ISSN 0099-1112.

LONGLEY, P.A., et al. Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Sons, 2010.

VINCENT TAO, C. Advances in mobile mapping technology . Netherlands : Taylor & Francis, 2007. 176 s. ISBN 978-0-203-96187-2.

XIAO-LIANG , Z., et al. Accuracy evaluation of POS for land vehicle based on mobile mapping system . In Science of Surveying and Mapping . [s. l.]: [s. n.], 2010. s. 92-122.

Vedoucí diplomové práce:


Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.


Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce:

3. října 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

30. dubna 2012


doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.

děkanka

L.S.


doc. Ing. Jiří Krupka, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 3. října 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako Školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Hradci Králové, dne 29. 4. 2012

.....

Adam Duhač

Anotace

Tato diplomová práce zkoumá možnosti využití dat získaných prostřednictvím mobilních mapovacích systémů v bezbariérovosti. V práci jsou popsány systémy vhodné k pozemnímu mobilnímu mapování a jsou hodnoceny s ohledem na jejich možné využití pro výzkum bezbariérovosti. Následně je stanovena metoda pro zpracování dat získaných pozemním laserovým průzkumem a tato metoda je aplikována na data naměřená v Hradci Králové. Přínos této práce spočívá v definování možných způsobů pro využití mobilního mapování v oblasti bezbariérovosti.

Klíčová slova

Pozemní mobilní mapování, laserový průzkum, bezbariérovost

Title

Usage of Data from Mobile Mapping in Clear-of-Barrier Research

Annotation

This diploma paper examines possible usage of data gained by means of mobile mapping systems, in clear-of-barrier research. Inside the paper are described systems appropriate for terrestrial mobile mapping plus there're assessed with reference to their possible to usage in clear-of-barrier research. Then is given method for processing data acquired by terrestrial laser survey and this method is applied on data measured in Hradec Králové. Contribution of this paper consists in defining possible ways for usage mobile survey in clear-of-barrier research.

Key words

Terrestrial mobile mapping, laser survey, clear-of-barrier research

Obsah

ÚVOD.....	6
1 BEZBARIÉROVOST	8
1.1 LEGISLATIVNÍ ÚPRAVA.....	8
1.2 BEZBARIÉROVÉ PROSTŘEDÍ.....	10
2 DÁLKOVÝ PRŮZKUM	11
2.1 PRINCIP DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU	12
2.2 DRUHY ROZLIŠENÍ	13
2.3 TECHNOLOGIE DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU.....	15
2.4 VYUŽITÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU V BEZBARIÉROVOSTI	17
3 MOBILNÍ MAPOVÁNÍ	19
3.1 LETECKÉ SYSTÉMY MOBILNÍHO MAPOVÁNÍ	20
3.1.1 Využití v bezbariérovosti	26
3.2 POZEMNÍ LASEROVÉ MOBILNÍ MAPOVÁNÍ	28
3.2.1 LIDAR.....	29
3.2.2 Určení polohy v prostoru.....	32
3.2.3 Digitální zobrazovací zařízení.....	36
3.2.4 Zpracování dat	38
3.3 PROJEKTY ŘEŠENÉ ZA POMOCI MMS	39
4 CHARAKTERISTIKA DAT Z MOBILNÍHO MAPOVÁNÍ	42
4.1 SOFTWARE PRO ZPRACOVÁNÍ DAT POŘÍZENÝCH MMS.....	43
4.1.1 PanoramaGIS	43
4.1.2 View Pro	45
4.1.3 Global Mapper	46
4.1.4 ArcGIS Desktop.....	47
4.1.5 Ostatní SW	48
5 VYUŽITÍ DAT Z MOBILNÍHO MAPOVÁNÍ	49
5.1 ZJIŠTĚNÍ GEOMETRIE OBJEKTŮ	49
5.1.1 PanoramaGIS	49
5.1.2 View Pro	52
5.1.3 Global Mapper	54
5.1.4 SketchUp	55
5.2 PASPORTIZACE OBJEKTŮ	57
5.3 DATABÁZE BODŮ BEZBARIÉROVOSTI	60
5.3.1 Entity a atributy	60
5.3.2 Tvorba databáze	61
5.3.3 Výstupy pro bezbariérovost	64
ZÁVĚR	69
PRAMENY A LITERATURA.....	72
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	76
SEZNAM PŘÍLOH	78

Úvod

Tato diplomová práce zkoumá možnosti využití dat získaných prostřednictvím mobilních mapovacích systémů (MMS) v bezbariérovosti. Mobilní mapovací systémy jsou moderní metodou dálkového průzkumu Země a umožňují sběr georeferencovaných dat s vysokým prostorovým rozlišením.

Práce je členěna do pěti základních částí. První kapitola se zabývá problematikou bezbariérovosti. Základem této kapitoly je popis technických vlastností urbanizovaných prostorů, respektive stanovení pojmu bezbariérový prostor či bezbariérová trasa. Pojem bezbariérovost je v této práci chápán, ve většině výkladů, jako možnost pohybu bez bariér pro potřeby občanů s pohybovým handicapem. Tato kapitola obsahuje také praktické zkušenosti handicapovaných spoluobčanů s pohybem, zejména v městském prostředí. V této práci není věnován prostor bezbariérovosti pro potřeby osob nevidomých, slabozrakých či se zbytky zraku. Takovýto výzkum vychází z odlišných předpokladů a je nutné pro něj stanovit odlišné metody. Druhou kapitolu tvoří stručné seznámení s technologiemi a podstatou dálkového průzkumu Země. V této kapitole je, mimo představení dálkového průzkumu, věnována pozornost také srovnání různých technologií pro sběr dat a jejich výhodnosti pro výzkum bezbariérovosti. Třetí kapitola obsahuje detailnější popis technologií využívaných k mobilnímu mapování, s důrazem na pozemní laserové mapování. Toto specifitější zaměření má své opodstatnění, a to ve výhodnosti pozemních technologií pro výzkum v urbanizovaném prostředí. Kapitola obsahuje také představení mapovacích projektů řešených za pomoci mobilních mapovacích systémů a přehled existující literatury. Čtvrtá kapitola specifikuje náležitosti dat získaných pozemním laserovým mapováním a jsou v ní představeny softwarové možnosti pro práci s takovými daty. V poslední kapitole jsou aplikovány poznatky z předcházejících kapitol a jsou naznačeny metody pro využití dat z mobilního mapování v bezbariérovosti. Možnými oblastmi využití dat je zejména zjišťování geometrie objektů, jejich pasportizace a tvorba databáze bodů bezbariérovosti včetně mapových a jiných výstupů.

Místem sběru dat pro účely této práce byly vybrané městské části Hradce Králové. Mobilní mapovací systém použitý při výzkumu (Topcon IP-S2) využívá technologii laserového měření.

Cílem této diplomové práce je definování možných způsobů využití mobilního mapování v bezbariérovosti. Vzhledem k zaměření na bezbariérovost je kladen důraz zejména na mobilní mapování v urbanizovaném prostředí. Prvním úkolem této diplomové práce je popis technologií a současných trendů v dálkovém průzkumu Země, s užším

zaměřením na mobilní mapovací systémy a s důrazem na jejich možné využití v bezbariérovosti. Hlavním úkolem je pak nalezení možností pro využití těchto poznatků v praktickém zpracování dat naměřených laserovým mobilním mapováním a jejich využití z hlediska bezbariérovosti.

1 Bezbariérovost

Vyrovňávání se s pohybovým postižením je záležitostí, která prostupuje každodenním životem postiženého. Je legislativní, ale i morální povinností většinové společnosti, aby takto handicapovaným spoluobčanům byly zajištěny základní podmínky pro normální život, v maximální možné míře. Pohybově postižený člověk nechce žít pasivně, naopak potřebuje přizpůsobit svůj život danému postižení a začlenit či vrátit se do společnosti. Začleňování pohybově postižených občanů probíhá primárně prostřednictvím vytvoření vhodných podmínek pro jejich zaměstnávání a pro další společenské aktivity.

Pohybové bariéry patří, vedle bariér sociálních, k hlavním překážkám v integraci pohybově handicapovaných osob do většinové společnosti. Pohybovým handicapem rozumíme okolnost, která má za důsledek zhoršenou pohybovou schopnost. Nemusí se tedy jednat pouze o osoby tělesně postižené, ale například o staré lidi, maminky s kočárky a malými dětmi, osoby po úrazu či nemoci a podobně. Bezbariérové prostředí pomáhá všem těmto osobám a zároveň žádným způsobem neomezuje majoritní společnost.

1.1 Legislativní úprava

Právní řád České republiky přímo nedefinuje rovné postavení zdravotně postižených. Ovšem nadřazenou normou pro českou legislativu je listina základních práv Evropské unie, jejíž platnost byla potvrzena schválením Lisabonské smlouvy parlamentem ČR v roce 2009. V unijní listině základních práv je podmínka nediskriminace jakékoliv skupiny osob, tedy i pohybově postižených. Listina navíc konkrétně pojmenovává problematiku zdravotně postižených a ve článku 26 (Začlenění osob se zdravotním postižením) je řečeno: "Unie uznává a respektuje právo osob se zdravotním postižením na opatření, jejichž cílem je zajistit jejich nezávislost, sociální a profesní začlenění a jejich účast na životě společnosti" (EU, 2010).

Pro realizaci bezbariérového prostředí jsou stanovovány závazné vyhlášky a normy, které jsou platné pro rekonstrukce a výstavby veřejných prostor a budov občanské vybavenosti. Ovšem odstraňování architektonických zábran je často technicky, časově a finančně náročným procesem. V českém legislativním prostředí je tato problematika aktuálně řešena vyhláškou č. 398/2009, o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Tato vyhláška se týká všech nových staveb a rekonstrukcí staveb stávajících. Normy, které se týkají pohybově postižených osob a veřejných prostor, jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka č. 1).

Tabulka č. 1: Vybrané technické požadavky pro bezbariérovost veřejných prostor

Komunikace pro chodce a vyhrazená stání
Komunikace pro chodce musí mít celkovou šířku nejméně 1.500 mm, včetně bezpečnostních odstupů
Povrch pochozích ploch musí být rovný, pevný a upravený proti skluzu (podélný sklon max. 1:12, příčný 1:50) ¹
Vyhrazená parkovací stání musí mít šířku nejméně 3.500 mm, podélné stání musí mít délku nejméně 7.000 mm, od vyhrazených stání musí být zajištěn přímý bezbariérový přístup
Výškové rozdíly pochozích ploch nesmí být vyšší než 20 mm
Poštovní schránky, telefonní automaty a jiná zařízení
Manipulační plocha smí mít sklon pouze v jednom směru (1:50) a musí mít šířku nejméně 1.000 mm a hloubku nejméně 1.200 mm
Přechody pro chodce
Nástupiště veřejné dopravy musí mít výšku odpovídající použitému vozovému parku
Obrubník do 20 mm, sklon do 1:8
Tlačítko pro ovládání signalizace ve výšce max. 1.200 mm
Schodiště a vyrovnávací stupně
Bezbariérově se řeší hlavní a přiměřeně úniková a ostatní schodiště
Sklon schodiště nesmí být větší než 28° a výška schodišťového nebo vyrovnávacího stupně větší než 160 mm, neplatí pro stavby bytových domů s výtahem
Vstupy do budov
Klika musí být ve výšce do 1.100 mm, horní hrana zvonkového panelu (či jiných ovládacích panelů) do 1.200 mm, spodní od 600 mm
Před vstupem do budovy musí být plocha nejméně 1.500 x 1.500 mm, se sklonem pouze v jednom směru
Vstup do budovy musí mít šířku 1.250 mm, dveře alespoň 800 mm

Zdroj: Vyhláška č. 398/2009

V praktickém životě není, z pohledu pohybově handicapovaného člověka, nutné naplnění všech v tabulce uvedených požadavků. Člověk o něco fyzicky zdatnější či na elektrickém vozíku nemá problém s překonáním vyšší nerovnosti či strmějšího svahu.

¹ Sklon 1:50 odpovídá 2 %, 1:12 odpovídá 8,3 %, 1:8 odpovídá 12,5 % a 1:6 odpovídá 16,6 %.

Pro pohyb handicapovaných občanů je důležitější, aby projektant pochopil smysl bezbariérovosti. Cílem je umožnit normální život pohybově postiženým. V praxi se často stává, že naplnění všech zákonných norem není z technických či finančních důvodů možné. Přesto je vhodné se nad daným prostorem zamyslet tak, aby mohl být využitelný i pro pohybově postižené. Z pohledu postiženého je vždy lepší, když se ve výjimečné situaci (například půdorysný nedostatek místa) vytvoří krátký nájezd se sklonem 1:6, který sice není v souladu s vyhláškou, ale je daleko lépe překonatelný, než například schod (Filipiová 2002, s. 21-29). Podstatné je, aby daná trasa neobsahovala nepřekonatelné překážky a aby byl stanoven koncept, který bude dodržován po celé její délce.

V České republice není omezujícím faktorem pro výstavbu bezbariérového prostředí absence zákonů či norem. Daleko častěji se jedná o nerespektování těchto pravidel, či jejich dodržování pouze v některých místech.

1.2 Bezbariérové prostředí

Jedním z úkolů ve výzkumu bezbariérovosti je identifikace bariér v prostředí. Především v této oblasti se nachází prostor pro uplatnění systémů mobilního mapování.

Bariéry významným způsobem omezují pohyb občanů se sníženou mobilitou. Pro účely této práce je podstatným prvkem bezbariérová trasa, která umožňuje občanům s pohybovým omezením nekomplikovanou dopravu z bodu A do bodu B. Tyto počáteční a koncové body lze s obecnou platností rozdělit na veřejné objekty (například úřady, zdravotnická a sociální zařízení, knihovny), soukromé objekty s přístupem veřejnosti (obchody, služby, volný čas), čistě soukromé objekty (bytová výstavba, rodinné domy) a ostatní místa (parky, lesy). Na všechna tato místa by měl být umožněn přístup jak zdravým, tak pohybově postiženým lidem.

Pro stanovení bezbariérovosti dané trasy je nutné hodnotit bezbariérovost všech jejích prvků. V městském prostředí se trasa skládá z chodníků a jiných stezek, silnic, přechodů pro chodce, zastávek hromadné dopravy, vyhrazených parkovacích míst a různých překážek v pohybu. Aby bylo možno označit trasu za bezbariérovou, všechny její úseky musí splňovat dané požadavky.² Základní pomůckou pro stanovení bezbariérovosti jsou normy uvedené ve vyhlášce č. 398/2009. Tyto normy lze označit za primární zdroj pro posouzení bezbariérovosti.

² V této práci se autor nezabývá vnitřním uspořádáním staveb, které nejsou měřitelné za pomoci mobilního mapování. Pro funkční aplikaci výsledků by bylo vhodné doplnění i těchto údajů.

2 Dálkový průzkum

Obecně přijímaný český ekvivalent pro anglické spojení "remote sensing" je dálkový průzkum Země. V této práci je častěji využíváno obecnější spojení dálkový průzkum, případně dálkový průzkum zemského povrchu, přičemž tyto výrazy jsou používány s ohledem na požadovaný význam. Dálkový průzkum je synonymem původního "remote sensing" a není omezen na zkoumané těleso, naopak dálkový průzkum Země či zemského povrchu již indikuje omezení na planetu Zemi.

Dálkový průzkum je metodou, pomocí které se získávají informace o objektech, a to bez přímého kontaktu s nimi. Tato obecná definice neomezuje dálkový průzkum na specifické technologie, ovšem existují i poměrně úzce zaměřené definice. Například podle Generálního shromáždění Organizace spojených národů (OSN) je dálkový průzkum Země: "... snímání zemského povrchu z vesmíru, za využití vlastností elektromagnetického záření vysílaného, odraženého nebo lomeného snímanými objekty, za účelem lepšího nakládání s přírodními zdroji, využití půdy a ochrany životního prostředí" (UN, 1986).³ Podle definice vědeckého oddělení ze státní univerzity Idaho v USA je dálkový průzkum Země: "... zaznamenávání informací z ultrafialového, viditelného, infračerveného a mikrovlnného elektromagnetického záření, za pomoci vybavení, jakým jsou například fotoaparáty, skenery, lasery a lineární paprsky. Toto vybavení je umístěno na letadle či umělých vesmírných tělesech a analýza informací je získávána skrze vizuální a digitální zpracování obrazu" (Idaho State University, 2011).⁴ Z rozdílnosti definic vyplývá problém se zařazením pozemního mobilního mapování, které je prováděno za pomoci laserových scannerů a zaměřené na využití v bezbariérovosti. Definice OSN nám neumožňuje zahrnout pozemní technologie, z důvodu omezení na vesmír i z důvodu vyžadovaného využití výzkumu (přírodní zdroje, využití půdy, životní prostředí). Definice z Univerzity Idaho sice laserové technologie připouští, ovšem pouze ty, které jsou umístěné na umělých družicích či letadlech.

Na výše popsaných definicích dálkového průzkumu je demonstrována rozdílnost v existujících přístupech. Tato rozdílnost není způsobena ani tak nejednotností v názorech na dálkový průzkum, jako zaměřením jednotlivých institucí a okolnostmi, při kterých jednotlivé snahy o popsání dálkového průzkumu vznikaly. V případě definice OSN je přítomná snaha

³ "... sensing of the Earth's surface from space by making use of the properties of electromagnetic waves emitted, reflected or diffracted by the sensed objects, for the purpose of improving natural resources management, land use and the protection of the environment" (UN, 1986).

⁴ "... recording of information from the ultraviolet, visible, infrared and microwave regions of the electromagnetic spectrum, with equipment such as cameras, scanners, lasers, linear arrays. This equipment is located on aircraft or spacecraft, and the analysis of the information obtained is through visual and digital image processing" (Idaho State University, 2011).

o popis a stanovení základních pravidel spojených s průzkumem planety Země z vesmíru. V definici Univerzity Idaho zase existují omezení, která reflektují její geologické zaměření (obrazy s větším spektrálním a menším prostorovým rozlišením).

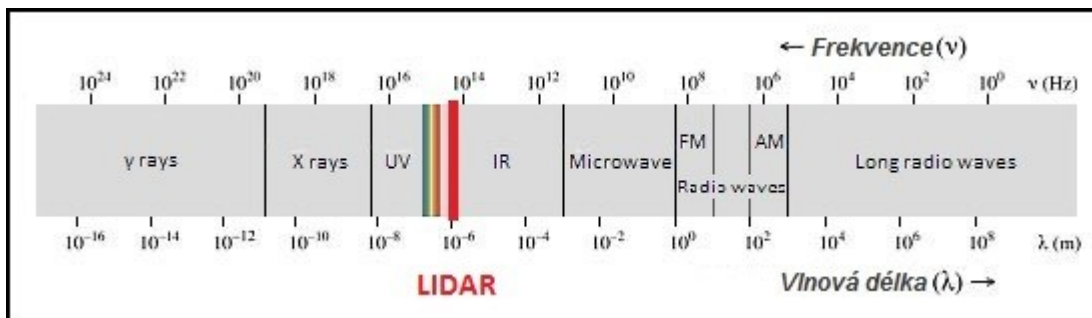
Pro účely této práce je tedy nejvhodnější obecná definice dálkového průzkumu, která není omezena použitými technologiemi, jejich umístěním či charakteristikou zkoumaného objektu. Přesto je možné tuto definici rozšířit o vymezení postupu dálkového průzkumu, a to bez omezení její platnosti. Vhodnou definicí tedy bude: Dálkový průzkum je metodou, pomocí které se získávají informace o objektech, a to bez přímého kontaktu s nimi. Proces dálkového průzkumu se skládá z pořizování, zpracovávání a interpretace obrazových a jiných dat.

2.1 Princip dálkového průzkumu

Existence dálkového průzkumu je umožněna pochopením a využíváním vlastností elektromagnetického záření (EM záření). Základní princip tvoří skutečnost, že každý objekt odráží, láme či pohlcuje elektromagnetické záření, které je emitováno buď z přirozených zdrojů (Slunce, Země), či z umělých (radiové, akustické či laserové skenery). Podle zdroje snímaného záření je možno rozlišit technologie pasivní, které měří záření vyvolané přirozenými zdroji a aktivní, které nejprve vysílají EM záření a následně ho měří. Podle způsobu a intenzity odraženého záření je možné identifikovat různé objekty, povrchy či atmosférické jevy. U aktivních technologií dálkového průzkumu je také možné měřit vzdálenosti a tvořit digitální modely terénu (DEM) či digitální modely povrchu (DSM).⁵

Odlišné technologie dálkového průzkumu slouží především ke snímání různých druhů elektromagnetického záření, respektive ke snímání různých vlnových délek EM záření. Následující graf (obrázek č. 1) zobrazuje vlnové délky a frekvence elektromagnetického spektra, s rozdělením na jednotlivé druhy záření. Na schématu je také červeně zobrazena vlnová délka okolo jednoho mikrometru (1 μm), která je nejčastěji používána při laserovém skenování.

⁵ DEM (Digital Elevation Model), digitální model terénu; DSM (Digital Surface Model), digitální model povrchu.



Obrázek č. 1: Vlnové délky EM záření

Zdroj: NASA, 2011, upraveno

Gama a rentgenové záření (na grafu γ rays a X rays) jsou, kvůli jejich nízké prostupnosti zemskou atmosférou, využívány pouze výjimečně, například u detektorů včasné výstrahy a v ekologii (Halounová a Pavelka 2005, s. 9-10). Ultrafialové záření (UV) je také z větší části pohlceno atmosférou, ovšem možnosti využití jsou poměrně široké, například v geologii. Záření ve viditelném spektru (RGB) za normálních podmínek prochází atmosférou bez ovlivnění. Zdrojem tohoto záření je Slunce, proto jej lze zaznamenávat pouze ve dne a za příznivých povětrnostních podmínek. Využití je velmi široké, většina z umělých družic pořizuje obrazy ve viditelné části spektra (Svatoňová a Lauermann 2010, s. 8-12). Infračervené záření (IR) lze rozdělit na blízké, střední a tepelné. Měření blízkého infračerveného záření je nejvíce využíváno v zemědělství a lesnictví (stav vegetace). Střední infračervené záření se uplatňuje pro rozpoznávání sněhu a ledu či v geologii (druhy minerálů). Tepelné infračervené záření umožňuje získat informace o tepelné bilanci objektů (využití zejména v meteorologii, oceánografii, detekci lesních požárů). Mikrovlnné záření (Microwave) je poslední částí elektromagnetického spektra využívanou v dálkovém průzkumu, zejména v meteorologii. Záření o této vlnové délce není prakticky ovlivňováno počasím, snad s výjimkou velmi hustého deště či sněžení, a proto je používáno v některých aktivních systémech, jejichž funkčnost má být nezávislá na meteorologických jevech (Schowengerdt 2006, s. 8-12).

Z výše uvedeného vyplývá, že odlišné technologie dálkového průzkumu umožňují různé druhy průzkumu (v různých částech elektromagnetického spektra).

2.2 Druhy rozlišení

Výsledkem každého měření (dálkového průzkumu) jsou data. Tato data mohou být v analogové či digitální podobě. Pro určení vhodnosti konkrétní technologie je rozhodující

požadované rozlišení naměřených dat. Rozlišení lze dělit na spektrální, prostorové, radiometrické a časové.

Prostorové rozlišení určuje, jaká velikost ve skutečnosti odpovídá velikosti jednoho pixelu v naměřených datech. Toto rozlišení je dáno především vzdáleností měřicího zařízení od zájmového objektu. Ve většině případů, čím dále je zařízení, tím je prostorové rozlišení nižší. Proto například satelitní systémy na nejvzdálenějších (geostacionárních) drahách poskytují obrazy o rozlišení v řádech kilometrů a naopak pozemní mapování může poskytovat rozlišení v řádech milimetrů (Schowengerdt 2006, s. 77-82). Vysoké prostorové rozlišení je důležité pro identifikaci objektů malého rozměru, naopak nízké prostorové rozlišení je vhodné pro sledování velkého území v jeden okamžik (využití například v meteorologii).

Spektrální rozlišení je určeno tím, jakou část či části elektromagnetického spektra je přístroj dálkového průzkumu schopen zaznamenat. Nejčastěji mluvíme o panchromatických a multispektrálních datech. Data získaná z panchromatického senzoru shrnují všechny měřené části EM spektra do jediného obrazového pásma a vzniká tak černobílý snímek v různých stupních šedi. Multispektrální data obsahují různé intervaly EM spektra, které jsou zachycovány do oddělených obrazových pásem (Ryerson a Rencz 1999, s. 3-8). Multispektrální data mají velmi široké využití v identifikaci a odlišování jednotlivých jevů. Podstatou identifikace je odlišná odrazivost stejného materiálu v různých spektrálních pásmech. Na základě poznatků o spektrálních vlastnostech materiálů je možné provádět automatizované klasifikace, které jsou často využívány v meteorologii, geologii, pro studium vegetace či využití půdy (Hill a Mégier 1994, s. 4-6).

Radiometrické rozlišení určuje počet unikátních informací (hodnot), které lze z naměřených dat získat. Tyto hodnoty jsou v obrazu znázorněny jako stupně šedi, kdy je každému pixelu přiřazena určitá hodnota. Současné standardní technologie dálkového průzkumu umožňují rozlišení okolo 11 bitů, což odpovídá 2048 unikátních hodnot, respektive stupňů šedi. Vysoké radiometrické rozlišení je důležité zejména tam, kde je požadována diference mnoha velmi podobných jevů. (CCRS, 2011)

Časové rozlišení specifikuje dobu, za jakou je stejné území znovu snímáno. U družicových nosičů závisí tato doba na vzdálenosti od Země, u ostatních druhů nosičů je tato doba určována zejména požadavky výzkumu. U nedružicových technologií lze provádět měření s prakticky libovolným časovým rozlišením.

2.3 Technologie dálkového průzkumu

Základní rozdělení rozlišuje technologie aktivní a pasivní, v závislosti na zdroji měřeného záření. Dalším možné rozdělení je na konvenční a nekonvenční metody, přičemž konvenční data jsou pořizována centrální projekcí, nejčastěji pomocí fotoaparátu a nekonvenční metody vznikají postupně, takzvaným řádkováním, za využití skenerů (Halounová a Pavelka 2005, s. 2-3). Atributy dat získaných dálkovým průzkumem jsou také ovlivněny nosičem, na kterém je příslušná technologie umístěna (družice, letadlo, pozemní nosiče).

Viditelná část spektra

Průzkum viditelné části spektra (fotografický průzkum) je řazen ke konvenčním metodám. Fotografie jsou nejčastěji získávány z družicových, leteckých a pozemních nosičů a slouží pro zachycení reality v přirozených barvách z pohledu lidského vnímání. Pokud jsou barevná pásma upravena za účelem zvýraznění některých jevů, jedná se o zobrazení v nepřirozených barvách.

Mimo primárních informací o objektech slouží fotografický průzkum také jako doplňkový zdroj informací v téměř všech ostatních druzích dálkového průzkumu. Obrazový záznam v přirozených barvách je využíván pro snadnější interpretaci dat získaných jiným způsobem (například pomocí laserových skenerů), kdy jsou naměřené výsledky průzkumu zobrazovány spolu s ortorektifikovaným záznamem daného prostoru.

Nevýhodou fotografie je, že z ní nelze přímo extrahovat úplné údaje o objektech. Od skutečnosti se liší zejména zkreslením obrazu, které je způsobeno optickými vlastnostmi fotografie. Tyto vady jsou způsobeny fyzickou podstatou centrální projekce, kdy jsou různé objekty v různé vzdálenosti od objektivu. Dalšími příčinami je vnitřní zkreslení, které vzniká odlišnou polohou fotoaparátu vzhledem ke snímané rovině a vnější zkreslení, které vzniká různou polohou fotoaparátu v prostoru (Böhm 2002, s. 8-10). Pro redukci těchto vad, respektive pro získání přesných informací z obrazových materiálů získaných fotografováním, je nutná aplikace fotogrammetrie.⁶

Fotografický průzkum umožňuje získávání obrazů v různém prostorovém rozlišení (velmi detailní snímky i velmi rozsáhlé oblasti) a v omezeném spektrálním rozlišení (viditelné a blízké infračervené spektrum). Z pohledu bezbariérovosti je podstatná vlastnost věrného

⁶ "Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších údajů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu" (Pavelka 2003).

zobrazení reality, která slouží k snadnější a přesnější interpretaci dat získaných jiným způsobem.

Tepelný průzkum

Tepelný průzkum patří mezi pasivní, nepřímé metody dálkového průzkumu Země. Při tepelném měření získáváme informace o tepelné charakteristice území. Snímky získané tepelným průzkumem mohou být ve vyšším prostorovém rozlišení (měření energetických úniků) i v nízkém prostorovém rozlišení (meteorologie). Spektrální rozlišení takových snímků se omezuje pouze na tepelné infračervené spektrum (Mätzler 2006, s. 1-5). Tepelné skenery jsou nejčastěji používány na družicových a leteckých nosičích.

Z důvodu nižšího prostorového rozlišení a zaměření pouze na jednu část spektra není použití tepelného průzkumu v bezbariérovosti výhodné.

Mikrovlnný průzkum

Průzkum v mikrovlnné části spektra může být prováděn za pomoci pasivních i aktivních technologií, převážně z družicových či leteckých nosičů. K pasivnímu měření slouží radiometry, u kterých je vyžadováno, aby jejich nosič byl v pohybu. Výsledky takového měření poskytují obraz v nízkém prostorovém a vysokém radiometrickém rozlišení, který slouží zejména k charakteristice zemského povrchu, například pro studium minerálů, sněhu a ledu (Svatoňová a Lauermann 2010, s. 18-19).

Pro aktivní měření se využívají radary, které jsou vybaveny vlastním zdrojem mikrovlnného záření.⁷ Principem fungování radaru je vysílání mikrovlnné energie v pulzech v určené časové periodě. Zdrojem vysílání je anténa - vysílač. Tato energie se od povrchu a objektů odráží zpět k anténě - přijímač (Halounová a Pavelka 2005, s. 83-93). Oproti dříve uvedeným technologiím má radar významné odlišnosti. Měření je nezávislé na meteorologických podmínkách, prostorové rozlišení může být od nízkého až po vysoké.⁸ Navíc aktivní technologie umožňují tvorbu modelů terénu (přidání třetího rozměru). To je umožněno prostřednictvím měření doby, po kterou vysílaný signál cestuje od antény k měřenému objektu a zpět. Pokud známe absolutní polohu nosiče, respektive radaru, je možné na základě rozdílu z dvou signálů získaných z odlišných pozic družice sestavit digitální model terénu (Hanssen 2001, s. 13-18).

⁷ RADAR (Radio Detection and Ranging), detekce a měření vzdáleností pomocí radiových vln.

⁸ Například družice se systémem Radarsat umožňuje prostorové rozlišení až 7 m (CCRS, 2011).

Nespornou výhodou radarových systémů je možnost měřit vzdálenost, což je nezbytnou podmínkou pro výzkum bezbariérovosti. Přes tuto výhodu není možné v současné době efektivního využití radarových technologií v bezbariérovosti. Je to způsobeno zejména problémy s odrazy radarových paprsků v urbanizovaném prostředí, radarovými stíny a jinými chybami. Navíc dostupné technologie neumožňují dostatečně detailní prostorové rozlišení při zachování reálných nákladů.

Laserový průzkum

Laserové technologie fungují vždy na principu aktivního měření.⁹ Každá laserová jednotka obsahuje laserový vysílač a laserový přijímač s totožnou optickou cestou (Pavelka 2011, s. 12-13). Podobně jako radary či sonary umožňují lasery měřit vzdálenosti prostřednictvím změření času od emise signálu do jeho přijetí, a to na základě doby mezi vysláním a návratem pulzu a rychlosti světla. V případě laseru je nejčastěji emitováno světelné záření ve viditelném a blízkém infračerveném spektru (Mather 2004, s. 281-289).

Laserová měření jsou využívána k tvorbě digitálních modelů terénu i jakýchkoliv dílčích objektů (3D vizualizace), sledování znečištění atmosféry, měření hlučnosti, sledování struktury vegetace a v meteorologii. Využívání laserových skenerů je nejrozšířenější z leteckých nosičů, ovšem pro detailní data je výhodné použít pozemní průzkum. Konkrétní technologií pro laserový průzkum je LIDAR, a pokud je to požadováno, prostorové rozlišení může být přesné v řádech milimetrů (Kovalev a Eichinger 2004, s. 53-57).¹⁰ K takto detailnímu průzkumu jsou využívány statické, pozemní skenery a používány jsou zejména k evidenci a popisu různých objektů, například archeologických objevů či kulturních památek.

2.4 Využití dálkového průzkumu v bezbariérovosti

Pro získání údajů, které jsou nutné pro výzkum bezbariérovosti pomocí metod dálkového průzkumu, je primární prostorové rozlišení. Ze získaných dat musí být možné dostatečně spolehlivě odvozovat či měřit vzdálenosti a identifikovat jednotlivé překážky v pohybu (povrch chodníků, vertikální značení, sloupy osvětlení, obrubníky a podobně). Pro zpracování výsledků měření je důležité mít, spolu s detailními prostorovými daty, také informace o daném prostoru v přirozených barvách. Naopak spektrální rozlišení či informace o intenzitách jevů ve výzkumu bezbariérovosti nehrají žádnou roli.

⁹ LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), světlo zesílené stimulovanou emisí záření.

¹⁰ LIDAR (Light Detection And Ranging), detekce a měření vzdáleností pomocí světelného záření.

V případech, kdy je požadavkem získání detailní prostorové informace, je nejlepší možností laserový skener či radar. Pro výzkum bezbariérovosti má laserové měření oproti radarovému značné výhody, zejména když je zkoumaným prostorem urbanizované prostředí. U laseru není nutné řešit problematiku s odrazivostí či interferencí světelných paprsků v takové míře, jako je tomu u radarových vln. Navíc laserová měření obecně poskytují detailnější a přesnější obraz.

Pro výzkum bezbariérovosti je tedy nejvhodnější metoda laserového měření v kombinaci s obrazovým záznamem daného prostředí. Takový způsob dálkového průzkumu řadíme k metodám mobilního mapování.

3 Mobilní mapování

Koncept mobilního mapování byl poprvé definován v roce 1995, jako: "... technika používaná ke sběru geografických informací, jako například významných bodů v krajině či inventarizaci cest, z pohybujícího se vozidla" (Bossler a Toth 1995, s. 97).¹¹ Samotný pojem mobilního mapování byl ustálen v roce 1997 na prvním mezinárodním sympóziu o technologiích mobilního mapování v Ohiu, USA. Do té doby byly frekventované výrazy jako pohybový průzkum či dynamické mapování (CFM, 2011).

Mobilní mapování je způsobem sběru dat, za pomoci skeneru umístěného na pohybujícím se nosiči. Vývoj těchto technologií byl v posledních letech akcelerován pokroky v navigačních a jiných technologiích, ale také zvyšujícími se uživatelskými nároky. S existencí online přístupných internetových map a osobních navigací v automobilech, mobilních telefonech či samostatných přístrojích vzniká tlak na uspokojení poptávky po detailních mapových podkladech. Do budoucna tak lze očekávat požadavky na plné 3D mapy měst a krajiny či digitální modely terénu v navigacích. Tohoto kvantitativního i kvalitativního posunu je možno dosáhnout právě díky komercializaci systémů mobilního mapování.

V současné době provádí mobilní mapování ve velkém rozsahu například společnosti Google, Tele Atlas a NAVTEQ. Tyto společnosti přicházejí s řadou inovací, jejichž vlivem dochází ke snížení nákladů a tím k dalšímu rozšiřování technologií mobilního mapování (Petrie 2010, s. 32). Pokrok v systémech mobilního mapování je umožněn zejména díky moderním vědeckým poznatkům v oblasti získávání prostorových dat za pomoci laserových skenerů. Souběžně s touto technologií jsou uskutečňovány pokroky v oblasti určování přesné polohy pomocí globálních družicových polohovacích systémů (GNSS) a inerciálních měřících jednotek (IMU), které jsou podmínkou pro georeferencování naměřených dat (Sukup, 2010a).¹²

Kombinace skenovacího zařízení se zařízením pro určení přesné polohy je základem všech systémů mobilního mapování. Tyto systémy mohou být umístěny na různých nosičích, například na satelitech, letadlech a helikoptérách, lodích, vlacích, automobilech a v poslední době není výjimkou ani používání příručních mapovacích zařízení. Mobilní mapování je tedy způsobem získávání prostorových dat, a to za pomoci systémů (senzorů), které jsou umístěny na pohyblivém nosiči. Z dat získaných prostřednictvím mobilních mapovacích systémů lze získat prostorové informace o objektech, které mohou být dále

¹¹ "... technique used to gather geographical information, such as natural landmarks and the location of roads, from a moving vehicle" (Bossler a Toth 1995, s. 97).

¹² GNSS (Global Navigation Satellite System), globální družicový polohovací systém; IMU (Inertial Measurement Units), inerciální měřící jednotka.

měřeny i jinak analyzovány, například pro účely inventarizace, topografické charakteristiky a podobně.

Základní rozdělení systémů mobilního mapování je na pozemní a letecké (družicové) systémy. Obecně lze říci, že žádný ze současných komerčních systémů připevněných na leteckém či družicovém nosiči nám neumožňuje dostatečně detailní prostorové rozlišení (v řádech centimetrů), které by bylo využitelné pro výzkum bezbariérovosti. Nevýhodou leteckých systémů je vzdálenost skeneru od měřeného objektu. Čím je tato vzdálenost větší, tím méně detailní obraz může být získán a naopak. Z tohoto důvodu se jako výhodnější jeví pozemní systémy.

Další nevýhodou leteckých systémů je zobrazovaná perspektiva. Letecký průzkum je běžně prováděn z výšky několika desítek metrů až několika kilometrů. Zobrazovaná oblast má běžný vertikální úhel okolo 30° - 60° ve směru letu (Mercer 2001, s. 229-230). Pro výzkum bezbariérovosti je vhodnější pozemní průzkum, který umožňuje provádět mapování pod horizontálním záběrem 360°.

Na druhou stranu technologie postupují rychle kupředu a je možné, že v nedaleké budoucnosti bude mobilní mapování prováděno například pomocí autonomních či dálkově ovládaných mini helikoptér, které budou kloubit výhody leteckých a pozemních laserových systémů. Takové mobilní mapování bude možné v urbanizovaných i odlehlých oblastech, s možností operativně měnit letovou výšku a poskytovat detailní prostorové rozlišení (Eisenbeiss 2008, s. 977-983). V současné době jsou také používány postupy, které umožňují kombinaci pozemních či leteckých, laserových či radarových záznamů. Takové použití výrazně zpřesňuje získané údaje a eliminuje nepřesnosti způsobené technologií či použitým nosičem (Rutzinger, Elberink a Vosselman 2009, s. 1-5). Z těchto důvodů je pro výzkum bezbariérovosti vhodné představení jak systémů pozemních, tak i leteckých.

3.1 Letecké systémy mobilního mapování

Jedněmi z prvních technologií mobilního mapování byly systémy MEIS (multispektrální elektro-optický zobrazující skener) a CASI (kompaktní letecké spektrografické zobrazování).¹³ Naopak k současným, technicky nejvyspělejším systémům, patří IFSAR (interferometrický syntetický radar) a LIDAR (Tao a Li 2007, s. 3-4).¹⁴ Konkrétní technologie se od sebe liší a je nutné volit je v závislosti na požadavcích zadavatele, respektive v závislosti na požadovaném výstupu.

¹³ MEIS (Multispectral Electro-optical Imaging Scanner), CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager).

¹⁴ IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar).

MEIS

System multispektrálního elektro-optického zobrazujícího zařízení byl prvním skenerem připevněným na letecký nosič, který umožňoval snímání po řádcích ve směru pohybu. Spektrální rozlišení obsahuje 8 pásem od 0,39 do 1,1 μm (UV, viditelné a blízké infračervené záření), u kterých je možnost volit různé kombinace. System MEIS také umožňuje duální snímání v průběhu jediného letu, což vede ke snížení geometrických chyb a přesnějšímu zobrazení (CCRS, 2011). Výhody systémů MEIS, oproti do té doby využívaným fotografickým systémům, jsou zejména v technologii pořizování záznamu. Obraz nevzniká centrální projekcí, ale řádkováním, čímž se významně snižují geometrické chyby (Cooke, Laubscher a Bore 1996, s. 52-54). Navíc jsou všechna data v digitální podobě a umožňují tak snazší interpretaci i samotnou práci s jejich pořizováním, přesunem a zobrazováním. Na následujícím obrázku je znázorněn panchromatický snímek získaný prostřednictvím systému MEIS, o rozlišení 10 m (obrázek č. 2).



Obrázek č. 2: Panchromatický snímek získaný systémem MEIS

Zdroj: NASA, 2011

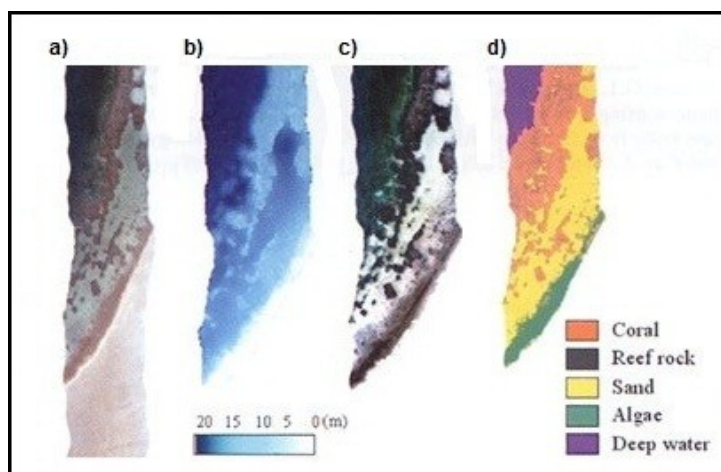
V současné době je využívána technologie MEIS-II. Ta oproti předchozí verzi nabízí lepší prostorové rozlišení, které může dosahovat přesnosti až 0,3 m (CCRS, 2011).

CASI

System leteckého spektrografického zobrazování je jedním z prvních systémů mobilního mapování, využíván byl počátkem devadesátých let. Oblastmi vhodnými pro systém CASI jsou zejména lesnictví, zemědělství, pobřežní studie a vodohospodářství, ale také vojenské účely. Použitá technologie umožňuje zachycení multispektrálních

i hyperspektrálních obrazů ve vlnových délkách EM spektra mezi 0,45 a 0,95 μm (viditelné a blízká část infračerveného spektra). Použití tohoto systému je možné pouze z leteckého nosiče, přičemž pozice zařízení je zjišťována pomocí aktuální výšky a systému GPS. Výhodou tohoto systému je, že může být instalován do jakéhokoliv letadla, bez potřeby permanentních zásahů (Babey a Anger 1989, s. 1028-1031).

Dalšími atributy systému CASI jsou radiometrické rozlišení v řádu 288 unikátních hodnot (přibližně 8 bitů) a prostorové rozlišení 2-4 metry na jeden pixel. Technologie je postavena na řádkovém snímání a jeden řádek obsahuje 512 pixelů. Data získaná pomocí systému CASI slouží pro zobrazení prostorových vztahů v území, extrakci informací z obrazu (například sledování zdravotního stavu lesů) či pro integraci do geografických informačních systémů (Gagnon, Ripley a Jones, 2004). Typický snímek, který je možno získat prostřednictvím systému CASI, je zobrazen na následujícím snímku (obrázek č. 3).



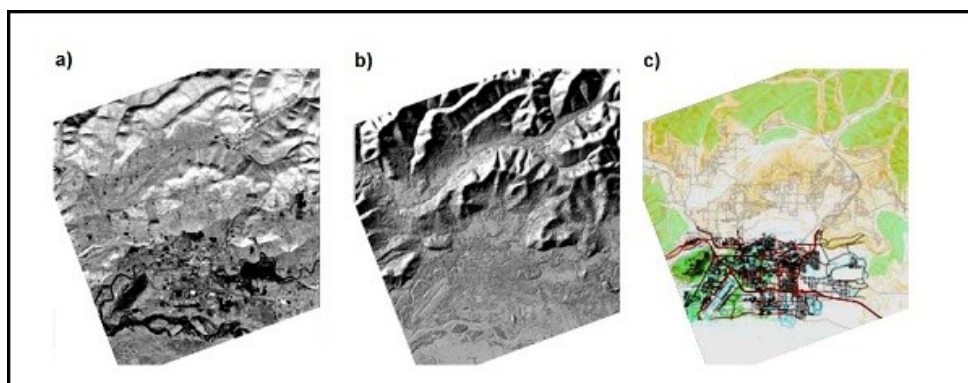
Obrázek č. 3: Snímek pobřeží získaný systémem CASI, a) obraz získaný systémem CASI, b) hloubková charakteristika, c) po provedení radiometrických a geometrických korekcí, d) klasifikovaný obraz

Zdroj: Univerzita Concepción, 2011, upraveno

Stejně jako v případě systému MEIS, i u CASI v současnosti existuje už druhá generace, která umožňuje lepší radiometrické rozlišení (16 bitů) i vyšší prostorové rozlišení (1 m) (NERC, 2011). Využití systému CASI je vhodné zejména pro získání multispektrálních dat ve viditelném a infračerveném spektru. Oproti systému MEIS je kladen důraz na radiometrické rozlišení.

IFSAR

Radarový systém IFSAR je systémem mobilního mapování, který může být využíván k tvorbě 3D mapových produktů. Výškové informace jsou získány měřením rozdílu doby odrazu radarového signálu, současně ze dvou antén. Systém IFSAR sbírá data a zároveň jim přiřazuje informace o poloze, na základě systémů GPS a IMU.¹⁵ Pro další korekce jsou údaje porovnávány s pozemní GPS (Li, Baker a Hutt 2002, s. 1-2). Takto získaná data mohou být poté automatickým procesem zpracována a výstupem jsou digitální modely terénu (DEM), digitální ortorektifikované snímky (ORRI) a topografické liniové mapy (TLM) (Intermap Solutions, 2011). Snímky zobrazující různé využití systému IFSAR jsou předvedeny na obrázku č. 4.



Obrázek č. 4: Způsoby využití systému IFSAR, a) ortorektifikovaný radarový snímek, b) digitální model terénu (stínovaný), c) topografická liniová mapa

Zdroj: Li, Baker a Hutt, 2002, upraveno

Technologie IFSAR je nejčastěji využívána pro vizualizace, topografické a geologické mapování, zjištění využití půdy a podobně. Nespornou výhodou je nezávislost systému na počasí a možnost snímat velké plochy v relativně krátkém časovém úseku. Naopak nevýhodou je existence radarových stínů, či různé výsledky měření v závislosti na pokrytí terénu (rozdílné měření s olistěnými a opadanými stromy) (Damron a Daniel 2000, s. 2). Schopnost prostorového rozlišení je vysoká a v současné době lze docílit velikosti pixelu v řádu desítek centimetrů (Intermap Solutions, 2011).

¹⁵ Inerciální měřicí jednotka (IMU) zaznamenává pozici a orientaci senzoru během letu.

LIDAR

Laserové systémy mobilního mapování jsou schopny ve velmi krátkém čase získat data ve vysokém rozlišení. Na rozdíl od radarových metod, LIDAR nevytváří souvislý obraz oblasti, ale síť bodů. Z těchto bodů lze vytvořit 3D model daného území (město, vegetační pokryv, nadzemní vedení a podobně). Proces měření je z velké části automatizován a laserové měření není závislé na denním světle (Dolanský 2004, s. 10-12).

Laserová jednotka systému lidar obsahuje vysílač a přijímač, který vysílá elektromagnetické záření o délce v rozmezí 0,95 - 1,2 μm . Většina leteckých systémů LIDAR měří záření v blízkém infračerveném spektru, což přináší výhody pro identifikaci různých materiálů (v závislosti na jejich odrazivosti), ale není vhodné pro mapování pod vodní hladinou (Burtch 2002, s. 1-3).

Mračno laserových bodů, které je získáno prostřednictvím laserového skeneru, je zobrazeno na obrázku č. 5. Jedná se o nezpracovaný obraz, kde jsou body diferencované pouze podle jejich vzájemné polohy (nízko modré, vysoko červené). Z těchto hodnot je možné generovat pseudo-snímek a interpolací lze získat rastrový obraz (Dolanský 2004, s. 13-15).



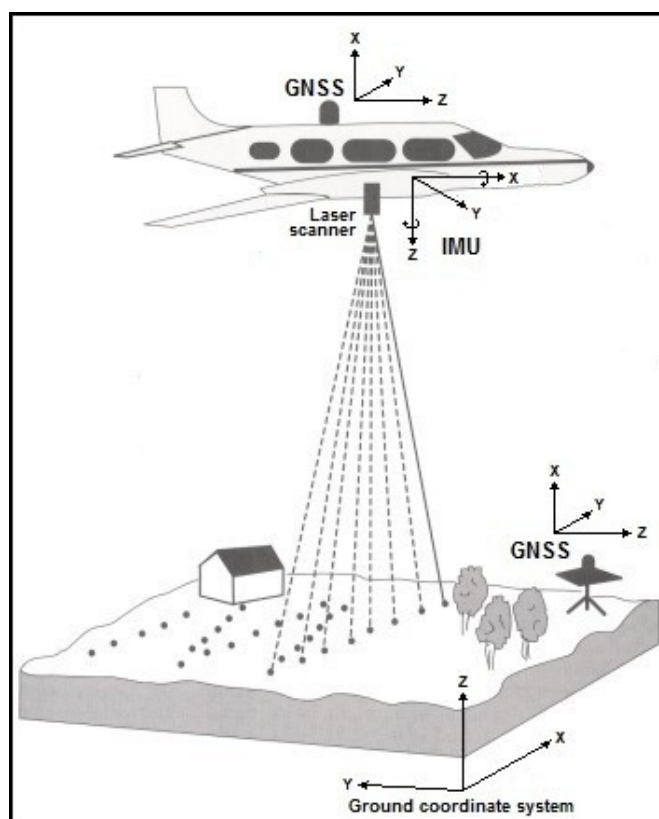
Obrázek č. 5: Mračno laserových bodů získaných systémem LIDAR

Zdroj: RIT, 2011

Pro určení absolutní polohy jednotlivých bodů je nutno využít lokalizačních a jiných měřících systémů. Základním principem je, že pokud známe přesnou polohu skeneru (nosiče) v každý okamžik měření, potom známe i přesnou polohu všech naměřených bodů. Na níže zobrazeném schématu je přehled nejdůležitějších systémů laserového mobilního mapování (obrázek č. 6). Mezi tyto systémy patří laserový skener, GNSS navigace umístěná na letadle (helikoptěře, automobilu), kontrolní pozemní GNSS a zařízení zaznamenávající polohu

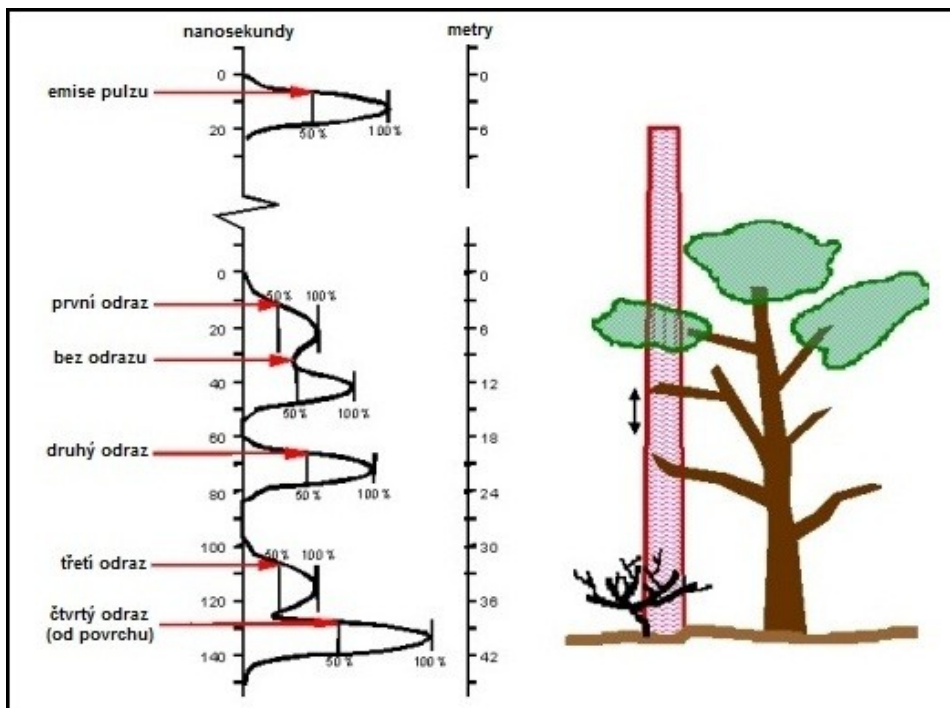
skeneru v každý okamžik (IMU). Součástí skeneru jsou i přesné hodiny, které dokážou změřit čas, který uplyne od vyslání laserového paprsku do jeho přijetí. Detailněji o jednotlivých systémech pojednává kapitola o pozemním laserovém průzkumu.

Další z vlastností laserového měření, a do jisté míry i radarového, je schopnost vícenásobného odrazu signálu. Laserový paprsek se poprvé odráží od vrchní vrstvy povrchu (tvorba DSM) a nakonec od samotného terénu (tvorba DEM) (Harding, et al., 2007, s. 1-3). Tento mechanismus je zobrazen na obrázku č. 7.



Obrázek č. 6: Systémy laserového mobilního mapování

Zdroj: Picard et Picard, 2011, upraveno



Obrázek č. 7: Vícenásobný odraz laserového paprsku

Zdroj: Harding, et al., 2007, upraveno

Porovnáním obou vrstev (DEM a DSM) je možné získat informace o vegetaci na povrchu. Podmínkou pro vícenásobné měření je, že mezi jednotlivými patry musí být prostor 1-2 metry pro odlišení jednotlivých pulzů (vrcholy grafu na obrázku č. 7). Za těchto podmínek je možné získat 2-5 jednotlivých odrazů (Dolanský 2004, s. 13-14). Použití v současnosti nesofistikovanější laserové technologie "Photon-counting LIDAR" umožňuje detekovat až 150 jednotlivých odrazů (Harding, et al., 2007, s. 1-3).

3.1.1 Využití v bezbariérovosti

Systémy MEIS a CASI umožnily nástup mobilního mapování a jsou technologickým přínosem pro dálkový průzkum. Jejich možnosti spočívají především v poskytování multispektrálních dat (MEIS) a dat s vysokým radiometrickým rozlišením (CASI). Využití těchto systémů v bezbariérovosti je nevhodné. Oproti tomu systémy IFSAR a LIDAR se zaměřují převážně na prostorové rozlišení a jiné vlastnosti (tvorba DEM a DSM), které jsou pro výzkum bezbariérovosti výhodné. V následující tabulce je přehled atributů u obou systémů (tabulka č. 2).

Tabulka č. 2: Srovnání systémů IFSAR a LIDAR¹⁶

Parametr	IFSAR	LIDAR
Způsob sběru dat	letecký průzkum, jeden přelet ve výšce 6 - 9 km	letecký průzkum, jeden či více přeletů ve výšce 50 m - 3,5 km
Použitá vlnová délka	X-záření (vlnová délka 3 cm), nezávislé na počasí	blízké IR záření (vlnová délka 1 μ m), ovlivňováno počasím
Maximální rychlost letu	750 km/h	200 km/h
Maximální rychlost sběru dat	4.000 km ² za hodinu	200 km ² za hodinu
Šířka snímané oblasti	5 - 9 km	0,7 - 1 km
Vertikální přesnost	0,5 m	0,1 m
Horizontální přesnost	1 m	0,5 m
Prostorové rozlišení	1,25 m na pixel	0,75 m na pixel
Průměrná cena z km ²	40 USD	150 USD

Zdroj: Intermap Technologies, 2011

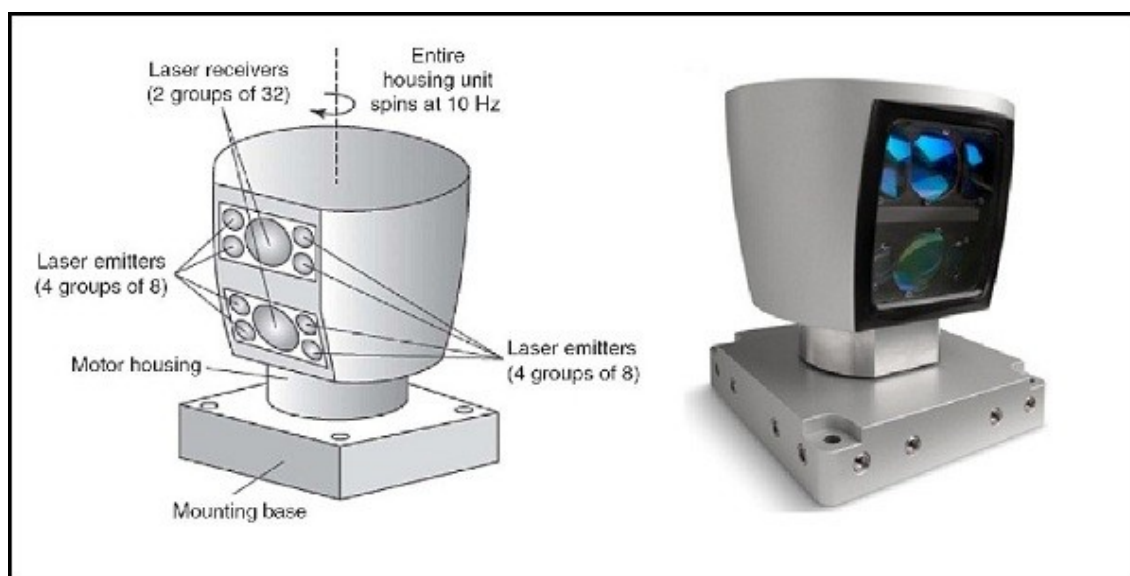
Rozdíly mezi oběma systémy spočívají zejména ve vlnové délce. Systém IFSAR využívá vlnovou délku okolo 3 cm a LIDAR okolo 1 μ m. To přináší odlišnosti při interakci s atmosférou, kdy je LIDAR v daleko větší míře ovlivňován oblačností a za běžných okolností nemá schopnost pronikat vodní hladinou. Radarový systém je také schopen, díky větší vlnové délce, provádět mapování z větší vzdálenosti od měřeného objektu. S tím souvisí i možnost provádět průzkum ve větší rychlosti a tedy i většího území ve stejném čase. Naopak výhodou laserových systémů je větší přesnost i prostorové rozlišení. Další rozdíl je v geometrii snímání. Systém IFSAR využívá boční snímání, obvykle v úhlu 30°-60°, LIDAR snímá podél dráhy letu v úhlu 40°-60° (Mercer 2001, s. 229-230).

Při leteckém mobilním mapování lze vybírat ze dvou hlavních používaných systémů. Radarový systém IFSAR je výhodnější pro mapování rozsáhlých oblastí a oblastí s převažujícími nepříznivými atmosférickými podmínkami (například oblačnost či vlhkost). Naopak pokud je požadavkem velmi detailní mapování v méně rozsáhlé oblasti, je výhodnější použití systému LIDAR.

¹⁶ Údaje se vztahují ke komerčním přístrojům, které jsou v současné době využívány. Údaje platí při uvedeném způsobu sběru dat. Při jiné letové výšce či při změně jiných atributů se údaje mohou lišit.

3.2 Pozemní laserové mobilní mapování

Kvalitativní posun v systémech pozemních laserových skenerů, s důrazem na jejich přesnost a spolehlivost v urbanizovaném prostředí, byl uskutečněn prostřednictvím tzv. "DARPA Urban Challenge".¹⁷ Jedná se o vědeckou soutěž, která má za cíl zviditelnění nových technologií a prostřednictvím grantů pro první místa i jejich další rozvoj. Úkolem v této soutěži je postavit vozidlo, které bude schopné autonomního pohybu po silniční síti, za plného provozu. Právě při jedné z takových soutěží, v roce 2007, byla představena kombinace laserových a optických systémů, které dokážou za pohybu vytvářet přesnou a dostatečně detailní mapu okolí. Laserové senzory umístěné na střeše vítězného automobilu umožňovaly detekovat ostatní provoz, obrubníky, lidi a další překážky v pohybu až na 120 m (Urmson, et al., 2008, s. 425-431). Nejpodstatnější inovací této soutěže bylo představení laserového skeneru Velodyne HDL-64 LIDAR (obrázek č. 8), který je vybaven 64-mi laserovými senzory, umožňuje snímání v záběru 360° horizontálně a 26° vertikálně, s maximálním dosahem 70 m a přesností okolo jednoho centimetru. Inovací je také systém otáčení celé skenovací jednotky okolo své vertikální osy, a to rychlostí až 600 otáček za minutu (10 otáček za sekundu, což odpovídá rychlosti 10 Hz) (Velodyne, 2008).



Obrázek č. 8: Laserový skener Velodyne HDL-64, vlevo schéma, vpravo fotografie

Zdroj: Toth, 2009; Velodyne, 2008

¹⁷ DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), agentura ministerstva obrany pro pokročilé výzkumné projekty.

V relativně krátkém čase od představení této technologie začal vývoj pro použití zařízení v geodézii a jiných oborech vyžadujících přesné měření objektů (Urmson, et al., 2008, s. 428-431). Díky rychlému rozvoji a rozšířenému využívání v různých oborech se technologie laserového mobilního mapování staly výrazně dostupnější. V dnešní době existují desítky oborů, ve kterých pozemní LIDAR výrazně zvyšuje kvalitu práce (například topologie, geologie, počítačová grafika, kriminalistika, design, památková péče a podobně).

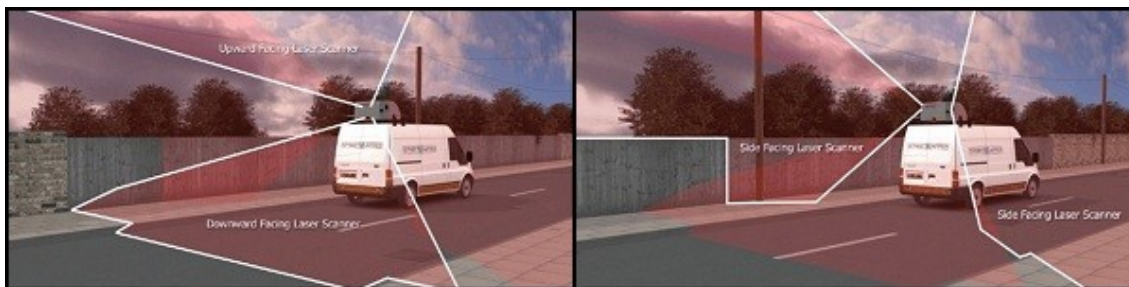
Jedním z oborů, pro které je pozemní LIDAR bezesporu přínosem, je výzkum bezbariérovosti. V předcházejícím textu byl popsán princip fungování laserových skenerů a jejich výhody oproti ostatním technologiím. Nyní bude přistoupeno k popisu jednotlivých součástí MMS. Bez ohledu na druh nosiče (letecký či pozemní) se laserové mapovací systémy skládají ze tří základních subsystémů. Jedná se o LIDAR, digitální zobrazující zařízení a zařízení určující polohu v prostoru. V některých případech jsou tyto systémy součástí jediného zařízení (Navteq, Lynx), jindy jsou samostatné (Sick). K dalším důležitým prvkům patří přesné měření času, systém komunikace a řízení procesů, systém zpracování dat a dodatečné systémy (například digitální teploměr, tlakoměr).

3.2.1 LIDAR

Pro pozemní statické mapování se používají 3D laserové skenery, které zkoumají své okolí v daném rozsahu. Výhodou takového měření je přesnost a absence nutnosti přepočítávat polohu zařízení. Naopak nevýhodou je poměrně malý snímaný prostor, respektive dlouhá doba samotného skenování (několik minut). Pokud je 3D skener použit v mobilním mapování, hovoříme o systému "stop-and-go" (Pavelka 2011, s. 75-76). V tomto případě jsou jednotlivá měření prováděna ve statickém režimu a během skenování se orientace skeneru (vozidla) nemění. Po skenování se vozidlo přesune na další lokaci a pořizuje nové měření. Takto získaná mračna bodů mají určenou polohu v souřadnicovém systému, bez nutnosti dalších modifikací.

Pro klasické pozemní mapování se využívají 2D laserové skenery.¹⁸ Zjednodušeně lze princip popsat jako 2D skenování, které umožňuje velmi rychlé získání rozsahových a výškových profilů, z několika jednotek současně. Tyto profily zahrnují vzdálenosti a úhlové hodnoty, které jsou naměřeny v průběhu jednotlivých 2D měření (Petrie 2010, s. 35-37). Přidání třetího rozměru je umožněno pohybem nosiče skeneru, většinou automobilu, po trajektorii. Princip je zobrazen na následujícím obrázku (obrázek č. 9).

¹⁸ Některé 3D skenery je možné modifikovat na 2D skenování prostřednictvím vyřazení horizontálního (azimutového) pohybu (Petrie 2010, str.35).



Obrázek č. 9: Laserový skener Streetmapper, vlevo - 2D skenery s vertikálním náklonem, vpravo - 2D skenery s bočním náklonem

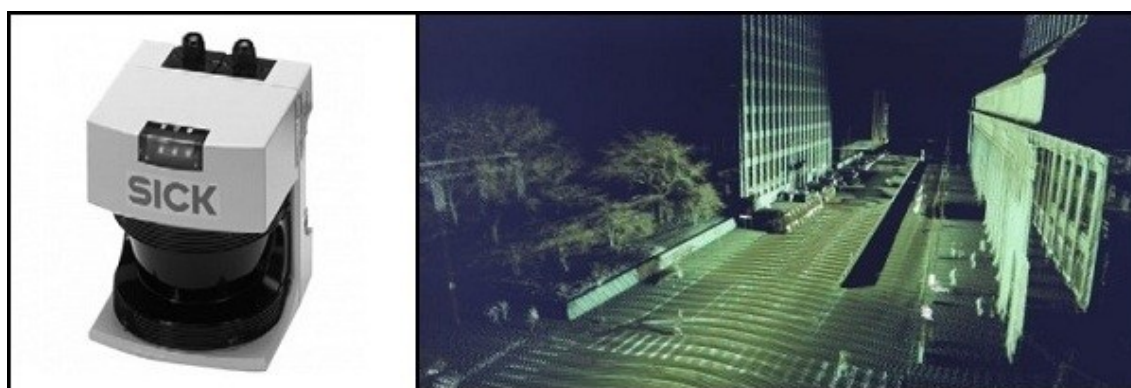
Zdroj: Haala, et al., 2008

Charakter nasbíraných dat je určen parametry laserového skeneru. Prvním důležitým parametrem je frekvence vysílaného laserového pulzu. Například frekvence 100 kHz znamená, že je laserový skener schopný zachytit 100.000 jednotlivých bodů za sekundu (Pavelka 2011, s. 7-8). Druhým důležitým parametrem je směr a rozsah vysílaného paprsku. Ten je určen vnitřním systémem laseru (často rotující zrcadlo či hranol s více odraznými plochami) a případným otáčením celého přístroje kolem svislé osy (Pavelka 2011, s. 7-8).

Prostorové rozlišení naměřených dat závisí, kromě parametrů skeneru, na časovém a prostorovém rozlišení, které je nastavené pro dané skenování, ale také na rychlosti vozidla. Díky použití více paralelních skenovacích jednotek je možné sledovat okolí skeneru ve všech směrech. V případě systému Streetmapper, který byl uveden do provozu v roce 2005, to zajišťují čtyři 2D skenovací lasery, které snímají okolí současně (Haala, et al., 2008, s. 2). V modernějších systémech se již používají desítky paralelních skenovacích jednotek, které jsou zacíleny do všech stran. Dochází tak k eliminaci případných nepokrytých oblastí a k výraznému zvýšení nasbíraných bodů a tedy i přesnosti. Například jeden z nejpokročilejších současných systémů LIDAR od společnosti Navteq je schopný zachytit přes 1,5 milionu bodů za vteřinu, za pomoci 64 paralelních skenovacích jednotek. Takováto přesnost umožňuje velmi detailní pokrytí povrchu a objektů do 120 m od skeneru, a to i ve vyšších rychlostech (Navteq, 2010). Tento pokročilý systém byl vyvinut za účelem vytváření přesných 3D map městského prostředí.

Mezi o něco běžnější a v praxi rozšířenější laserové skenery lze zařadit například výrobky německé firmy Sick, která se specializuje na výrobu skenerů a jejich příslušenství (kontrolní a kódovací jednotky, doplňkové senzory a podobně). Většina skenerů je navrhována pro připevnění na automobil. Na obrázku je zobrazen model Sick LMS 291 z roku

2006, jehož primární využití je k pozemnímu mobilnímu mapování (obrázek č. 10). Tento skener kombinuje pulzní laser s rotujícím zrcadlem. Vzniká tak vějířovitý vzor v naměřených bodech (obrázek č. 10). Skener LMS 291 pořizuje záběry v zorném poli 180°, do vzdálenosti 80 m. Systém skeneru umožňuje propojení až čtyř jednotek a zaručuje tak dostatečné pokrytí všech směrů. Další zajímavostí tohoto modelu je možnost vnitřního vytápění skeneru, které garantuje maximální použitelnost až do -30 °C (Sick, 2005).



Obrázek č. 10: Vlevo - skener Sick LMS 291, vpravo - vějířovitý vzor naměřených bodů

Zdroj: Deyle, 2009

Dosah laserových skenerů je, mimo použité technologie, závislý také na vlastnostech snímaného objektu, konkrétně na jeho schopnosti odrážet EM záření v požadovaném spektru (v případě laseru nejčastěji blízké infračervené). V následující tabulce je přehled vybraných materiálů a hodnoty jejich odrazivosti (tabulka č. 2). Čím je odrazivost vyšší, z tím větší vzdálenosti mohou být objekty snímány.¹⁹

Tabulka č. 3: Odrazivost vybraných materiálů

Materiál	Odrazivost
Matný černý plast	10 %
Matný šedý plast	20 %
Dřevo (neopracované)	40 %
PVC	50 %
Sníh, papír, bílý plast	80 %

¹⁹ Závislost měřené vzdálenosti na odrazivosti není přímo úměrná. Například model Sick LMS 291 má při 100% odrazivosti dosah 80 m, při 40% odrazivosti dosah 60 m a při 10% odrazivosti dosah 30 m (Sick, 2005).

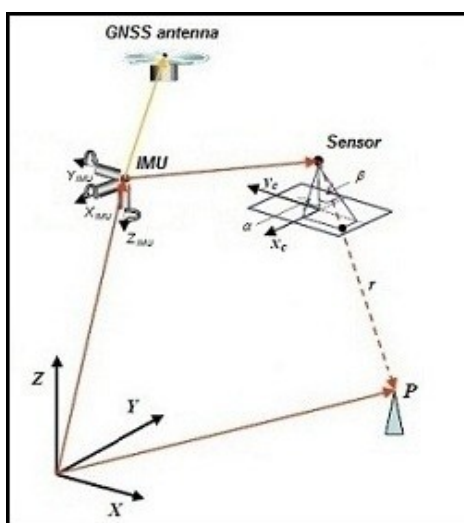
Hliník	110 - 150 %
Leštěná ocel	140 - 200 %

Zdroj: Sick, 2005

3.2.2 Určení polohy v prostoru

Pro vznik kompletního obrazu z dat naměřených laserovým průzkumem je nutné znát polohu laserové skenovací jednotky v každém okamžiku měření. Přiřazením všech bodů do stejného souřadnicového systému je určena jejich vzájemná poloha a lze tak interpretovat výsledky měření.

Z důvodu určení souřadnic jednotlivých bodů je nutné sledovat okamžitou polohu referenčního bodu skeneru a orientaci jeho os, v každém okamžiku měření (Pavelka 2011, s. 77). Vývoj technologií, které toto umožňují, stál za rozšířením mobilního mapování. Čím přesnější jsou údaje o poloze, tím přesnější data mohou být získávána. Poloha je odvozována za pomoci dvou základních systémů, GNSS a IMU. Princip fungování je zobrazen v následujícím schématu (obrázek č. 11).



Obrázek č. 11: Princip určování polohy jednotlivých bodů

Zdroj: Toth, 2009, upraveno

Každý komponent polohovacího systému shromažďuje data v určitém časovém intervalu. Ve chvíli, kdy laserový skener vysílá stovky tisíc pulzů za sekundu, je důležité sbírat data o poloze kontinuálně, v každý okamžik měření. Nedostatkem systému GPS, který je

nejrozšířenějším polohovacím systémem, je aktualizace polohy pouze jedenkrát za sekundu (Burtch 2002, s. 4-5). V modelovém případě, kdy se nosič pohybuje rychlostí 40 km/h, urazí MMS za každou vteřinu přibližně 11 m. Systém GPS tedy aktualizuje polohu každých 11 m, což je pro získání korektních dat nedostačující. Z tohoto důvodu je součástí polohovacích systémů i inerciální měřicí jednotka, která poskytuje kontinuální data o poloze ve chvílích, kdy nejsou dostupná data z GPS.

Na schématu jsou znázorněny základní prvky pozičního systému, přijímač GNSS (GNSS antenna), který přijímá signál o poloze v podobě souřadnic X, Y, Z. Dalším prvkem pozičního systému je inerciální měřicí jednotka, která zjišťuje okamžitou orientaci senzoru, tedy boční a přímý náklon a otáčení (respektive pohyb podél os X_{IMU} , Y_{IMU} , Z_{IMU}). Inerciální měřicí jednotka bývá při pozemním mobilním mapování spojena s externím odometrem, který zaznamenává informace o pohybu nosiče. Pro zjištění polohy je také nutné zaznamenávat úhly α a β , které určují směr vyslaného pulzu z laserového senzoru (Sensor). V místě, kde se pulz odráží zpět k senzoru, se nachází měřený bod (P). Vzdálenost bodu od senzoru (r) je vypočítána na základě doby od odeslání pulzu k jeho přijetí.

Při určování polohy je také nutné brát v úvahu vzájemnou pozici jednotlivých zařízení a zohlednit ji při výpočtech, respektive při nastavování hardwarových a softwarových systémů. Je zřejmé, že nároky na technologie v případech, kdy se měří až miliony bodů každou sekundu, jsou vysoké. Pořízení výkonných a přesných systémů je proto finančně velmi nákladné, přičemž nejdražší součástí bývá jednotka IMU.²⁰ Alternativou jsou o něco méně přesné inerciální měřicí jednotky, které ovšem pro většinu aplikací naprosto dostačují. Další možností je sestavení systému bez IMU, kdy informace o pozici a orientaci je převzata z GPS trajektorie a úhel náklonu je sledován pomocí náklonového senzoru (Pavelka 2011, s. 77).

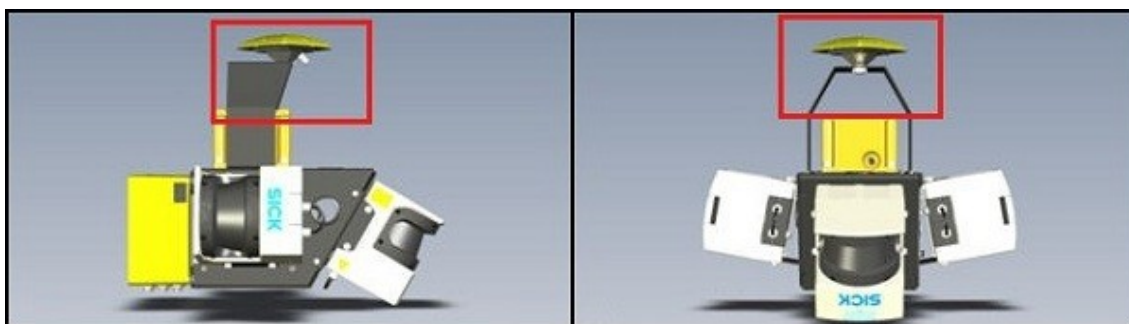
Globální družicový polohový systém (GNSS)

Systém GNSS je používán k přesnému zjištění polohy skeneru v průběhu měření. Zjišťování polohy a využívání systémů GNSS (zejména GPS) je velmi rozšířené v každodenním životě, ve velkém množství oborů. Každý jednotlivý systém GNSS potřebuje síť satelitů, které emitují signál v EM spektru. Jednotlivé přijímače pak dokážou, podle vzájemné polohy alespoň tří satelitů a přesných hodin, určit polohu v daném souřadnicovém systému (Burtch 2002, s. 4-5).

²⁰ Nejpřesnější inerciální měřicí jednotky mohou stát až stovky tisíc USD (KVH, 2011).

Základním způsobem určování polohy jsou jeden či dva GNSS přijímače, které jsou součástí mobilního mapovacího systému. Samotný přijímač umožňuje získání pozice s přesností okolo jednoho metru. Velké množství těchto systémů proto využívá také pozemní, statický přijímač GNSS, jehož anténa je umístěna ve známé vzdálenosti od primárního přijímače. Rozdílnost ve vzdálenosti obou přijímačů umožňuje velmi přesné měření pohybu vozidla, a to i v případě nízkých rychlostí, respektive malých změn v poloze (Petrie 2010, s. 37-38). V případě použití pozemního přijímače lze polohu určit s přesností několika centimetrů (Shiple, 2009). Navzdory těmto možnostem bývá měření pomocí družicových polohovacích systémů v urbanizovaných prostorech nedostačující. Vysoké budovy, podjezdy a tunely, pohyb pod korunami stromů a podobné překážky znemožňují přijímání GNSS signálu. Z těchto důvodů je nutná kombinace GNSS s inerciální měřicí jednotkou, která dodává údaje o poloze i v situacích, kdy je signál ze satelitů nějakým způsobem ovlivňován.

GNSS přijímače pro účely mobilního mapování vyrábí například firmy Trimble, Topcon, Leica, NovAtel, Javad a další. Na následujícím obrázku je zobrazen mobilní mapovací systém od firmy Sick se zvýrazněným umístěním GNSS přijímače (obrázek č. 12). U tohoto i ostatních systémů bývá přijímač GNSS umístěn na nejvyšším místě, z důvodu lepšího příjmu signálu.



Obrázek č. 12: Mobilní mapovací systém Sick se zvýrazněným GNSS přijímačem

Zdroj: Shiple, 2009, upraveno

Inerciální měřicí jednotka (IMU)

U pozemních i leteckých systémů mobilního mapování je výsledný obraz (mračno bodů) umožněn vychylováním paprsku ve směru pohybu nosiče. Geometrie takových dat je

velice složitá a pro správnou interpretaci je nutné registrovat detailní polohu skeneru, jeho náklony a zrychlení. Mimo pohybu samotného nosiče působí na laserové senzory i další vlivy, jakými jsou například vibrace či atmosférické vlivy (Pavelka 2011, s. 7-9).

Jak již bylo řečeno, systémy GNSS neposkytují dostatečně přesná data o poloze, zejména z důvodu nižšího časového rozlišení těchto údajů, ale také kvůli interferencím signálu s městským prostředím. Navíc systémy GNSS nedokážou určovat příčný a podélný náklon nosiče (vozidla), který je nezbytný pro přesné určení orientace laserového senzoru v okamžiku vyslání pulzu. Z těchto důvodů je pro mobilní mapování nezbytné využití inerciálních měřících jednotek, většinou spojených s externími odometry či nástroji pro měření vzdálenosti (DMI).²¹ Pokud je jednotka IMU spojená s přijímačem GNSS, hovoříme o systému INS (inerciální navigační systém). Existují také kompletní polohovací a orientační systémy určené pro mobilní mapování. Například systém Applanix POS LV V5 obsahuje IMU, GNSS přijímač, externí nástroj na měření vzdáleností a GPS azimutový měřící systém (Applanix, 2011).

Základní rozdělení inerciálních měřících jednotek závisí na použité technologii. Nejpokročilejší jsou IMU, které používají cirkulační laserové gyroskopy (RLG, ring laser gyros). Tyto jednotky jsou nejpřesnější, ovšem náklady na jejich pořízení jsou velmi vysoké. Další technologií jsou gyroskopy s optickými vlákny (FOG, fibre optic gyros), které poskytují velmi vysokou přesnost a jsou tak rozšířenou alternativou. Poslední z používaných technologií je založena na miniaturních elektro-mechanických systémech (MEMS, micro electro-mechanical system). Tento systém má nejnižší pořizovací náklady a zároveň nejnižší přesnost. (Petrie 2010, s. 37-38)

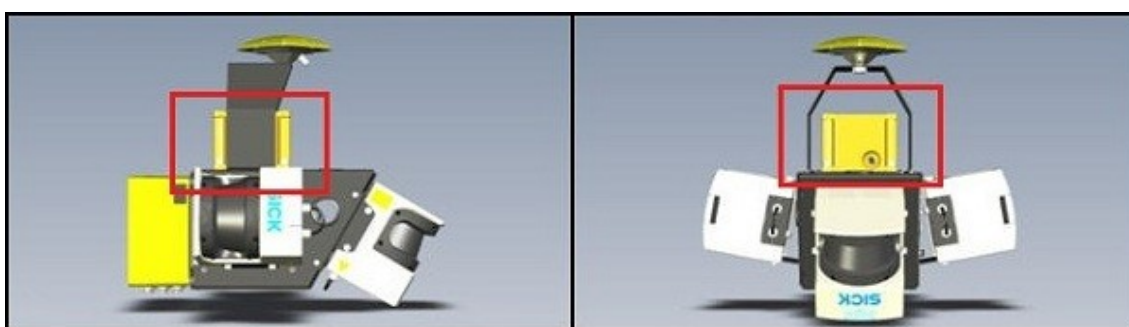
Žádný ze systémů mobilního mapování není absolutně přesný, ovšem chyby o určité velikosti lze označit za zanedbatelné a neovlivňující výsledky měření. V případě inerciálních měřících jednotek vyplývá, z principu jejich fungování, vlastnost akumulace chyb. Každý údaj z IMU obsahuje zanedbatelnou chybu, která sama o sobě nemá výrazný vliv na výsledek. Problém nastává při větším počtu měření, kdy informace o nové poloze vycházejí z informací o předešlé poloze. Tímto způsobem se naměřené chyby akumulují a roste významnost odchylek (Bjelka 2007, s. 21-22).²² Tento problém je, pro použití mobilního mapování, vyřešen pravidelnou korekcí pozice prostřednictvím GNSS. V okamžik aktualizace pozice se inerciální měřící jednotka resetuje a začíná měřit znovu, bez předchozích chyb (King 1998, s. 142-143). Takovéto korekce lze provádět pouze v místech s dostatečně silným družicovým

²¹ DMI (Distance Measuring Instrument), nástroj pro měření vzdálenosti.

²² Běžná přesnost současných inerciálních měřících jednotek je, při rychlosti nosiče 0,005 m/sec: 0,05-0,3 m pro polohu, 0,005° pro náklon a 0,008° pro azimut (Pavelka, 2011).

signálem. Pro zvýšení přesnosti i v místech, kde signál není dostatečný, je používán tzv. Kalmanův filtr. Jedná se o soubor matematických rovnic, které zajišťují efektivní odhad polohy z dat získaných inerciální měřící jednotkou. Zjednodušeně řečeno, Kalmanův filtr nepotřebuje ke správné funkci všechna předcházející data, což snižuje akumulaci chybových údajů a tím minimalizuje naměřené odchylky (Bjelka 2007, s. 37-38).

Komerční výrobě inerciálních měřících jednotek se věnují například společnosti Applanix a IGI. Na následujícím obrázku je zobrazen mobilní mapovací systém Sick se zvýrazněnou inerciální měřící jednotkou (obrázek č. 13).



Obrázek č. 13 Mobilní mapovací systém Sick se zvýrazněnou inerciální měřící jednotkou

Zdroj: Shipley, 2009, upraveno

3.2.3 Digitální zobrazovací zařízení

Pro snadnější interpretaci dat získaných laserovými skenery je výhodné mít i odpovídající obrazový záznam. Na rozdíl od satelitního či leteckého mapování, v případě pozemního mapování nelze efektivně používat lineární zobrazující systémy, které snímají okolí po řádcích ve směru pohybu. Pro získání digitálního obrazového záznamu je nutné integrovat digitální fotoaparáty či kamery do mobilních mapovacích systémů a zajistit jejich přesnou synchronizaci se systémy GNSS, IMU a LIDAR (Toth 2009, s. 4-5).

V současných systémech mobilního mapování jsou nejčastěji používána zobrazovací zařízení, která jsou vybavena více objektivy a mohou tak snímat v panoramatickém či sférickém záběru (360°). Díky tomuto přístupu je každý bod zachycen na více snímcích, z různých úhlů (Li 2011, s. 4-7). Zobrazovací zařízení pro použití v pozemním mapování vyrábí celá řada společností, například Sony, Hitachi, Toshiba, IMC, Pelco. Dvě zařízení typická pro

pozemní mobilní mapování jsou Ladybug3 od Point Grey a Dodeca 2360 od IMC (obrázek č. 14).



Obrázek č. 14: Vlevo - Ladybug3, vpravo - Dodeca 2360

Zdroj: IMC, 2011; Point Grey, 2011

Zařízení Ladybug3 obsahuje pět kamer (objektivů) uspořádaných do kruhu a jednu vertikální kameru. Rozlišení každé z kamer je 1.600 x 1.200 pixelů (2 Mpx) při rychlosti snímání 15 snímků za sekundu. Dodeca 2360 má kamery uspořádané po vzoru pravidelného dvanáctistěnu, což umožňuje instalaci 11 objektivů a základny pro upevnění. Každá z kamer poskytuje rozlišení 640 x 480 pixelů a rychlost snímání 30 snímků za sekundu (Petrie 2011, s. 32-33). V součtu je pak systémem Dodeca 2360 každou sekundu vytvořen obraz s více jak 100 miliony pixelů.²³ Pro přenos a záznam takového množství dat je nutný speciální hardware, v podobě vysokorychlostních sběrných zařízení a velkokapacitních harddisků.

Ortorektifikace získaných obrazových dat spočívá v přesunutí každého pixelu do správné pozice. Nejprve je stanovena horizontální pozice pixelu (2D), poté je přidána i vertikální pozice. Tímto způsobem vzniká ortorektifikovaný záznam zkoumaného prostoru (Habib, et al., 2004, s. 1-4). Proces je závislý na znalosti vnitřní geometrie zobrazovacího zařízení, které slouží k eliminaci vad způsobených podstatou fotografie (zakřivení čočky). Dále je nutné znát pozici zobrazovacího zařízení vzhledem k povrchu (jeho orientaci). Tento údaj se v průběhu jednotlivých měření mění, proto je nutná integrace zobrazovacího zařízení s IMU a GNSS. Poslední podmínkou pro ortorektifikaci obrazového záznamu je znalost vzdálenosti snímaných objektů od objektivu. Tato podmínka je splněna za pomoci integrace zobrazovacího zařízení s laserovým skenerem.

²³ 640 x 480 pixelů * 11 objektivů * 30 snímků za sekundu = 101.376.000 pixelů za sekundu.

Význam obrazového záznamu pro pozemní laserové mapování nespočívá pouze ve snadnější interpretaci získaných dat. Existují také postupy, algoritmy, které jsou používány pro automatickou extrakci některých jevů. Poměrně pokročilý je například postup automatického určování hran objektů. K tomuto postupu je třeba mít data v podobě mračna laserových bodů, tedy získána laserovým průzkumem, a zároveň orotorektifikovaný obrazový záznam (Nex a Rinaudo, 2009).

3.2.4 Zpracování dat

Zpracování dat probíhá za pomoci řídicí jednotky, ke které jsou připojeny všechny součásti mobilního mapovacího systému. Tato jednotka může pracovat samostatně nebo může být operativně řízena obsluhou systému a data je možné získávat v reálném čase či pro následné zpracování (Sukup, 2010a).

Základním způsobem zpracování dat jsou algoritmy, které kombinují synchronizované informace ze všech součástí MMS. Data z mobilního mapování jsou ukládána ve formě dlouhých seznamů souřadnic a dalších atributů, například informací o intenzitě a úhlu odrazu (tabulka č. 3). V případech, kdy algoritmus neřeší požadovaný problém, je nutná manuální úprava naměřených dat (Pavelka 2011, s. 78-79).

Tabulka č. 4: Ukázka záznamu dat z pozemního mobilního mapování, metoda ASCII, 4 laserové body

126960.000003 419804.05 218522.156 151.47 101 1 1 17
126960.000012 419804.066 218521.638 151.521 121 1 1 17
126960.000021 419804.085 218521.112 151.504 90 1 1 17
126960.000029 419804.102 218520.595 151.537 72 1 1 17

Zdroj: Groom, 2009

Následné zpracování (post-processing) či úpravy dat získaných pozemním mobilním mapováním jsou nutné ze dvou základních důvodů. Prvním je přiřazení dat do požadovaného souřadnicového systému. Vzhledem k tomu, že data jsou již georeferencovaná pomocí systému GNSS (nejčastěji GPS, které odpovídá souřadnicovému systému WGS 84), dostačuje jejich pouhé převedení do cílového souřadnicového systému (Burtch 2002, s. 6-11).

Druhou fází následného zpracování je eliminace nepotřebných či chybových dat. Chyby mohou nastat v závislosti na atmosférických podmínkách. Hustý déšť, mlha či sněžení

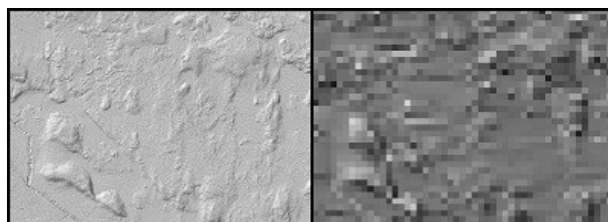
mohou způsobit odraz laserového pulzu dříve, než dosáhne měřeného povrchu. Mezi nepotřebné údaje můžeme zařadit například vegetaci, v případech kdy je požadavkem digitální model terénu (Groom 2009, s. 1-2).

3.3 Projekty řešené za pomoci MMS

Typickým využitím leteckých mobilních mapovacích systémů je tvorba digitálních modelů terénu. Největším současným projektem laserového mapování je tvorba digitálního modelu terénu celého území Švédského království. Tento projekt byl zahájen v roce 2009 a v současné době je zmapována více než polovina rozlohy země, jež činí 450.000 km².

Území bylo pro účely mapování rozděleno na téměř 400 oblastí o velikosti 50x25 km². Všechny tyto oblasti jsou skenovány prostřednictvím stejných mobilních mapovacích systémů o frekvenci 70-104 kHz, ve stejném ročním období. Způsobem sběru dat je mapování v paralelních letových liniích s překrytím 20 %, skenovací úhel 20°, letová výška mezi 1.740 a 2.300 m, rychlost okolo 270 km/h. Požadavkem na naměřená data je vertikální přesnost 0,5 m, pixel o velikosti 2x2 m a nejméně jeden laserový bod na každý metr čtverečný. (Petersen a Rost, 2011)

Specifikem v tomto projektu jsou zejména meteorologické podmínky. V zimě nelze měřit v oblastech se sněhovou pokrývkou, na jaře je zase nutné brát v ohled tající sníh, který tvoří vodní plochy či zvětšuje jejich rozlohu. Pro naplnění časového harmonogramu je v těchto podmínkách nutné nasadit až pět leteckých systémů současně (Petersen a Rost, 2011). Na následujícím obrázku je patrný rozdíl mezi původním a nově naměřeným modelem povrchu (obrázek č. 15). Původní model zobrazoval povrch s vertikální přesností 2,5 m, s velikostí pixelu 50x50 m (Böhm, 2010). Po ukončení a vyhodnocení švédského projektu se obdobný projekt plánuje i v sousedním Finsku.



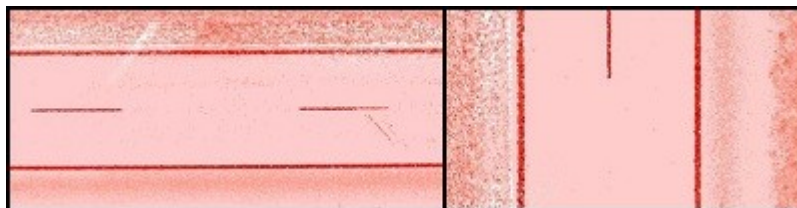
Obrázek č. 15: Srovnání nového modelu terénu (vlevo) a předchozího modelu terénu (vpravo), stejné území

Zdroj: Böhm, 2010

V případě pozemního průzkumu byl v ČR v letech 2010-2011 realizován pilotní projekt na dálnici D 11. Účelem tohoto projektu bylo získat zkušenosti s pozemními MMS a zjistit jejich možnou využitelnost v inventarizaci dopravní infrastruktury a v dalších oblastech.

Pro průzkum byl využit systém Lynx, který umožňuje snímání o frekvenci 200 kHz a dosah až 200 m, při cestovní rychlosti 80-120 km/h.²⁴ Za jediný den byla nasnímána celá trasa D 11, dvakrát v obou směrech. Výstupem tohoto měření je podrobný polohopis a výškopis dálnice a detailní mapa dálnice a jejího okolí. Použití těchto dat je možné pro získání podkladů k projektování, 3D vizualizaci, tvorbu digitálního modelu terénu, pasportizaci dopravního značení, lokalizaci objektů v blízkosti komunikace, zjištění stavu vozovky a pro další účely. (Pavelka 2011, s. 80-90)

Data byla zpracovávána pomocí specializovaného softwaru, přičemž nejvíce úsilí vyžadovalo očištění dat od nepotřebných odrazů, jakými jsou v tomto případě zejména ostatní automobily jedoucí na vozovce. Tento postup se podařilo částečně automatizovat, pomocí extrakce vodících čar na základě hodnoty o intenzitě odraženého záření, která je závislá na snímaném materiálu a také prostřednictvím výběru liniového shluku bodů o stejné intenzitě a s minimální výškovou členitostí (Pikhartová 2010, s. 2-3). Výstupem tohoto automatického procesu je jasné vymezení vodících čar na vozovce (obrázek č. 16).

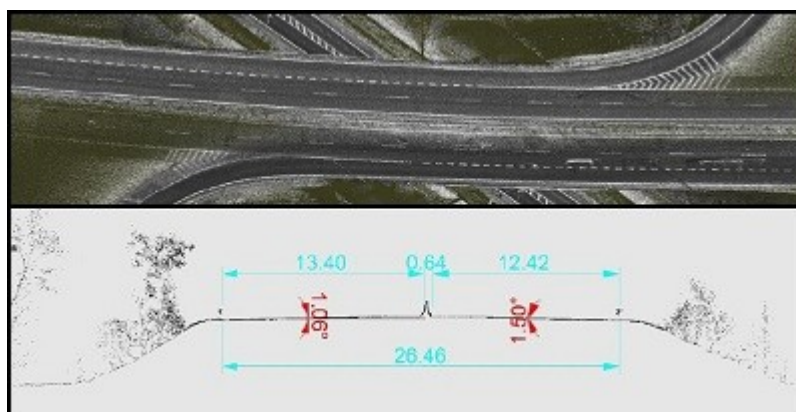


Obrázek č. 16: Klasifikace laserových bodů na základě intenzity odrazu a výškové členitosti

Zdroj: Pikhartová, 2010

Pokud je známá vertikální poloha vodících čar (výška povrchu vozovky), je pak již snadné odfiltrování nepotřených bodů. Takto zpracovaná data jsou již využitelná pro různé účely, například k tvorbě vektorových map či vzdálenostních analýz (obrázek č. 17).

²⁴ Při rychlosti 80 km/h je naměřeno až 1.800 bodů na každý m² (Pikhartová 2010, str.2-3).



Obrázek č. 17: Možnosti využití naměřených dat

Zdroj: Pavelka, 2011

Při vyhodnocení projektu byla za největší benefity pozemního laserového mapování označena cena takto získaných dat a jejich vysoká přesnost. Naopak nevýhody oproti stávajícím metodám jsou spatřovány v omezeném rozsahu mapy (pouze to, co je vidět z vozovky) a v nutnosti následného zpracování dat. Vyhodnocování dat probíhalo rychlostí 1-2 km za den (Pavelka 2011, s. 80-90).

Mimo projektů řešených mobilním mapováním je vhodné uvést také příklady existující literatury, která se tématu věnuje. Poměrně široké možnosti výběru jsou v publikacích, které se zabývají dálkovým průzkumem Země (Halounová a Pavelka, 2005; Mätzler, 2006; Schowengerdt, 2006) a snadno dostupná je i literatura popisující různé technologie a systémy mobilního mapování (Burtch, 2002; Dolanský, 2004; Tao a Li, 2007). Odlišná je situace u publikací, které se věnují specificky pozemnímu mobilnímu mapování. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednu z nejnověji používaných technologií dálkového průzkumu, je nabídka titulů omezenější (Pavelka, 2011; Petrie, 2010). O využití mobilního mapování pro bezbariérovost se lze dočíst pouze v několika málo dílčích článcích (Beale, et al., 2006), které se navíc z větší části věnují popisu technologií laserového mobilního mapování, nikoli samotné aplikaci pro bezbariérovost. Také z tohoto důvodu se autor rozhodl věnovat tématu využití mobilního mapování v bezbariérovosti.

4 Charakteristika dat z mobilního mapování

Data pro účely této práce byla naměřena firmou Geodis Brno, která k mapování využívá systém IP-S2 Topcon umístěný na osobním vozidle. Použitá konfigurace je zobrazena na následujícím obrázku (obrázek č. 18).



Obrázek č. 18: Základní konfigurace IP-S2 Topcon

Zdroj: Brussow, 2010

Jednotlivé systémy IP-S2 jsou uchyceny na kalibrované konstrukci (cube). Nejdůležitější součástí je IP-S2 box, což je řídicí jednotka sloužící k synchronizaci všech ostatních připojených zařízení a k jejich ovládní pomocí dodávaného softwaru. Přípojnými zařízeními jsou GNSS přijímač, inerciální měřící jednotka (trojice navzájem kolmých gyroskopů a akcelerometrů), dva externí odometry, tři laserové skenery a sférická digitální kamera (Sukup 2010b, s. 49-67). Detailní specifikace všech systémů jsou uvedeny v příloze této práce (příloha č. 1).

Pro zpracování naměřených dat je nejprve vypočtena trajektorie pohybu MMS, ze které následně vychází výpočty orientací ostatních senzorů. Projekční středy byly v těchto datech definovány vzdáleností 2 m. Dalším úkonem v následném zpracování dat je přiřazení orientace snímkům z digitálního zobrazovacího zařízení a generování mračka laserových bodů. Posledním krokem je převod souřadnic jednotlivých bodů do požadovaného souřadnicového systému.

4.1 Software pro zpracování dat pořízených MMS

Základním požadavkem na software je jeho schopnost načíst a umožnit následnou práci s datovými formáty MMS. Systém IP-S2 Topcon vytváří soubory s příponou LAS (Log ASCII Standard), které jsou založeny na standardním ASCII kódování a je možné je otevřít či upravovat v klasickém textovém editoru. Takové řešení ovšem neumožňuje vizualizaci či jinou práci s daty. Navíc, při běžném mapování za pomoci MMS vznikají desítky až stovky milionů záznamů (jednotlivých bodů - řádků), a proto je práce v textovém editoru neefektivní.²⁵ Při popisu existujících softwarů tedy budou představena taková programová řešení, která umožňují práci s daty získanými mobilním mapováním, zejména měření v datech a jejich vizualizaci, a zároveň jejich využití pro bezbariérovost.

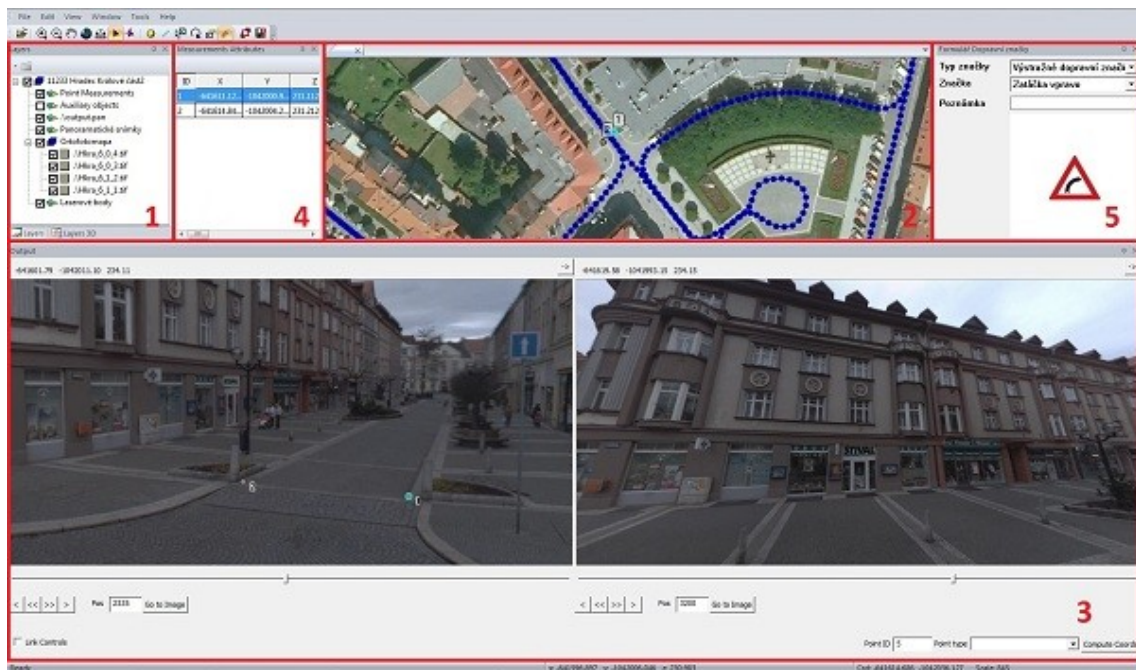
4.1.1 PanoramaGIS

Aplikace PanoramaGIS je vyvíjena společností Geodis Brno přímo pro data získaná systémem IP-S2. Dle výrobce aplikace slouží k práci s databázemi digitálních panoramatických snímků a mračny laserových bodů a umožňuje polohové a délkové měření, projekci 3D vrstev, pasportizaci a vytváření fotodokumentace (Geodis Brno, 2011).

Základními vstupními daty jsou databáze panoramatických snímků ve formátu PAN (Panorama Database File) s uloženými informacemi o vnitřní a vnější orientaci kamery. Další součástí vstupních dat jsou laserové body ve formátu LAS. Jako podklad umožňující snadnější manipulaci s daty slouží ortofotografické či vektorové mapy (ve formátech DGN, JPG, SHP, TIFF).

Pracovní prostředí aplikace je rozděleno do několika částí (obrázek č. 19). Základním ovládacím prvkem je lišta menu, která umožňuje práci se soubory, okny, nastavením pracovní plochy a spouštění funkce příčných profilů. Pod touto lištou se nachází ikony pro práci s projektem. Zbytek prostředí je vyhrazen pro jednotlivá okna aplikace.

²⁵ Data získaná pro účely této práce se skládají ze tří samostatně zobrazitelných oblastí, přičemž každá obsahuje 40-60 milionů bodů.



Obrázek č. 19: Prostředí aplikace PanoramaGIS

Zdroj: vlastní zpracování

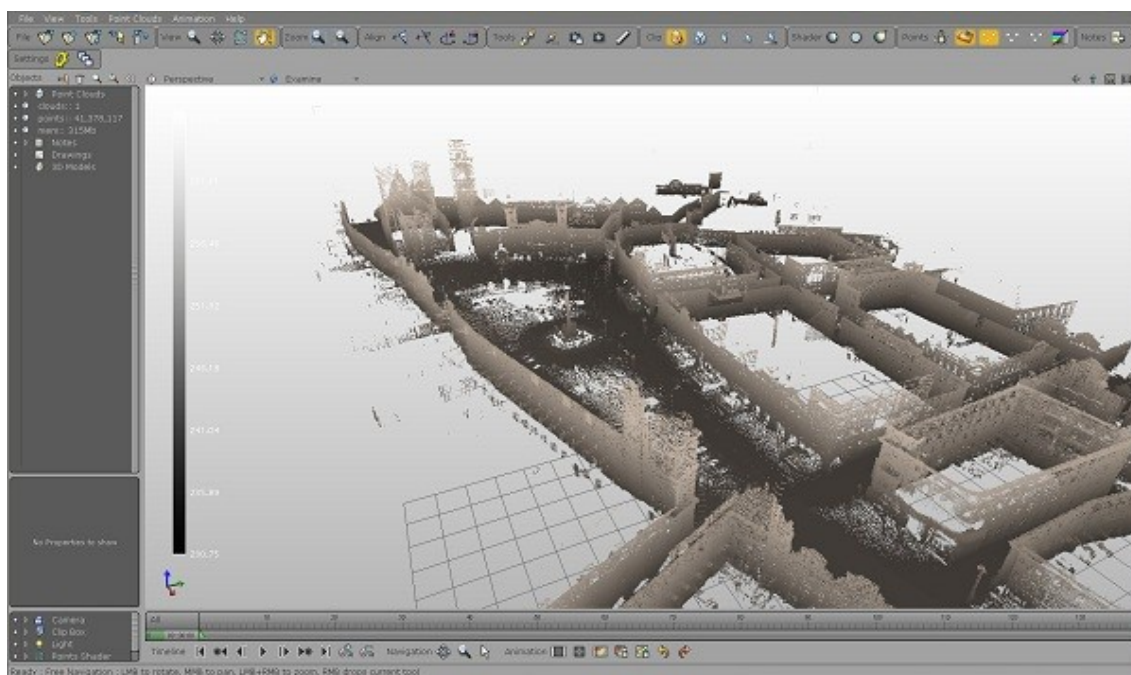
Číslem 1 je označeno okno Layers, ve kterém se zobrazují otevřené vrstvy. Jednotlivé vrstvy odpovídají struktuře projektu, která se typicky skládá z laserových bodů, panoramatických snímků, podkladové vrstvy a geometrie naměřených bodů. Z tohoto okna se pomocí záložek přepíná mezi vrstvami v přehledovém okně (2D map) a vrstvami v okně výstupu (output). Pravým kliknutím na příslušnou vrstvu lze měnit její nastavení, například zobrazení a hustotu laserových bodů v případě vrstvy laserové body. Číslem 2 je označeno přehledové okno (2D map), ve kterém je zobrazena ortofotografická a nebo vektorová mapa oblasti. V tomto okně se také vykreslují projekční středy jednotlivých snímků. Pod číslem 3 se nalézá okno výstupu, kde je možné prohlížet panoramatické snímky a provádět měření či pasportizaci objektů. Pohyb mezi jednotlivými snímky je možný několika způsoby, například pomocí šipek, zadáním příslušného čísla snímku či výběrem projekčního středu v okně 2D map. Číslo 4 označuje okno s atributy jednotlivých, uživatelem zadaných, bodů. V tomto okně lze zjistit souřadnice těchto bodů a je možné zadávat další údaje pro detailní popis bodů. Atributovou tabulku z tohoto okna, včetně souřadnic bodů, lze exportovat do jiných GIS nebo CAD programů. Číslo 5 označuje formulář dopravní značky, který defaultně slouží k pasportizaci svislého i vodorovného dopravního značení a k vytváření fotodokumentace. Prostřednictvím úprav programu lze vytvářet pasportizaci či fotodokumentaci i jiných objektů.

Každé z oken pracovního prostředí lze libovolně zapínat a vypínat, přesouvat či měnit jeho velikost. Jednotlivé panoramatické snímky jsou plně georeferencovány a lze do nich promítat další vrstvy ve formátech DGN či SHP. Největším přínosem programu je možnost měření přímo z panoramatických snímků, což je znatelným usnadněním interpretace dat získaných mobilním mapováním.

4.1.2 View Pro

Dalším programem vhodným pro práci s mračnem laserových bodů je View Pro od společnosti Pointools. Tento program umožňuje bezproblémovou a rychlou práci s datovými soubory ve formátu LAS, i o velikosti desítek milionů bodů. Podle výrobce slouží program zejména k vizualizaci mračen laserových bodů, zjišťování souřadnic bodů, měření vzdáleností a k podrobné dokumentaci (Pointools, 2010). V programu lze také vytvořit kvalitní videozáznam prostředí. Jako výhodná se ukázala i možnost oříznutí či rozdělení dat na menší soubory a následný export do formátu XYZ, který je využitelný ostatními programy.

Pracovní prostředí aplikace je rozděleno na lištu menu a lištu s ikonami v horní části, okno s informacemi o datovém setu v levé části a nabídku nástrojů pro vytváření foto a video dokumentace ve spodní části pracovního prostředí (obrázek č. 20).



Obrázek č. 20: Prostředí aplikace Pointools View 1.8 Pro

Zdroj: vlastní zpracování

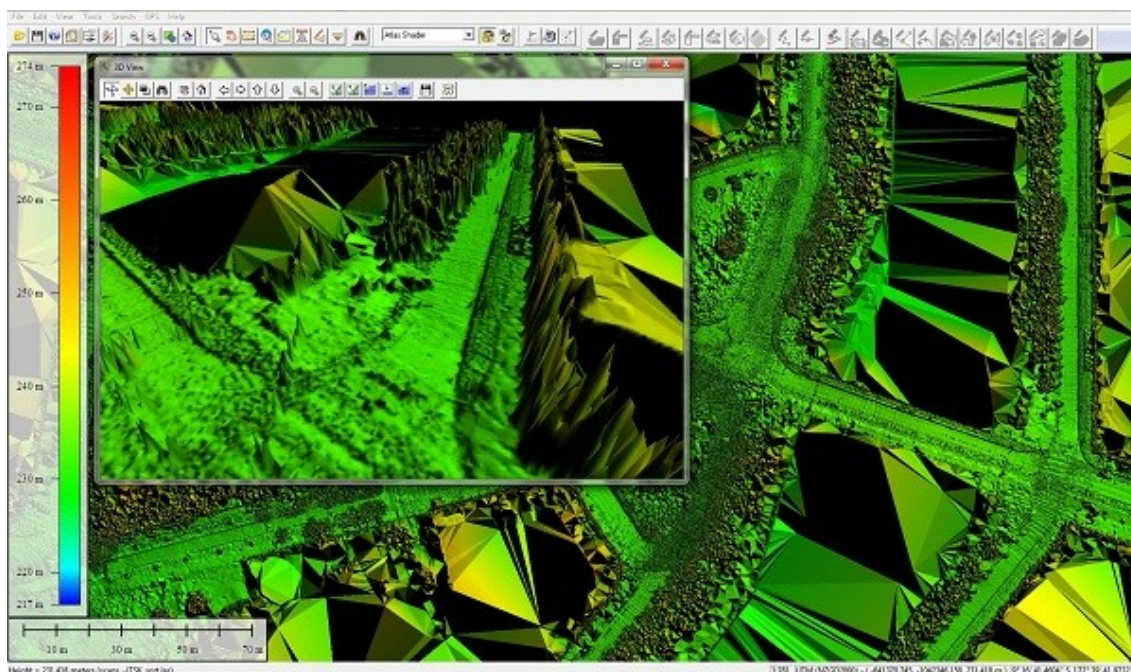
Pomocí menu lze otevírat projekty ve formátu PTL (Pointools Project) a importovat soubory ve formátech ASCII, DXF či LAS. Výstupy lze ukládat ve formátech POD, PTL či XYZ. Na liště s ikonami se nachází ovládací prvky pro ořezávání laserových bodů, tvorbu fotodokumentace a vizualizaci modelu. Pro účely výzkumu bezbariérovosti je výhodné zejména obarvení bodů na základě vertikální intenzity (podle osy Z) či zobrazení bodů na základě naměřených hodnot RGB, pokud jsou v datech k dispozici. Dalšími využitelnými funkcemi jsou měření vzdáleností, zobrazení charakteristiky jednotlivých bodů a vizualizace dílčích objektů.

Ovládání programu je intuitivní a snadné i při větším množství dat. Program je k dispozici ve volné verzi, která ovšem omezuje jeho funkčnost (maximálně 5 měření za spuštění programu, nemožnost exportu dat a podobně), nebo ve zkušební plné verzi, kterou je možné používat 21 dnů. S programem je možné pořídit si plugin pro Google SketchUp, s jehož pomocí je poté možno vytvářet 3D modely na základě naměřených laserových bodů. Na stránkách výrobce programu je k dispozici podrobný video-tutoriál popisující jednotlivé možnosti tohoto modulu.

4.1.3 Global Mapper

Global Mapper od společnosti Blue Marble Geographic je software umožňující vytváření digitálních elevačních modelů za pomoci triangulace z 3D datových setů. Dalšími funkcemi programu jsou měření vzdáleností a vytváření profilů, rektifikace obrazu na základě DEM, spektrální analýzy, analýzy viditelnosti, analýzy vodní hladiny, převody mezi souřadnicovými systémy a podobně (Blue Marble Geographics, 2011). Program umožňuje pracovat s téměř stovkou podporovaných datových formátů, včetně všech základních elevačních, rastrových a vektorových formátů (například DEM, DXF, ESRI Shapefiles, GeoTIFF, GRD, JPEG2000, LAS, MrSID). Do většiny těchto formátů je také možné data exportovat.

Pracovní prostředí aplikace Global Mapper 13 se skládá z lišty menu, lišty s ikonami a pracovním oknem, volitelná je možnost zobrazení okna s 3D modelem (obrázek č. 21). Z lišty menu se ovládá většina funkcí programu, jako například import a export souborů, rektifikace obrazu, generování mapových výstupů, možnosti vizualizace či správce nástrojů. Ikony slouží zejména k měření vzdáleností, ploch a profilů a k vytváření nových prvků.



Obrázek č. 21: Prostředí aplikace Global Mapper 13

Zdroj: vlastní zpracování

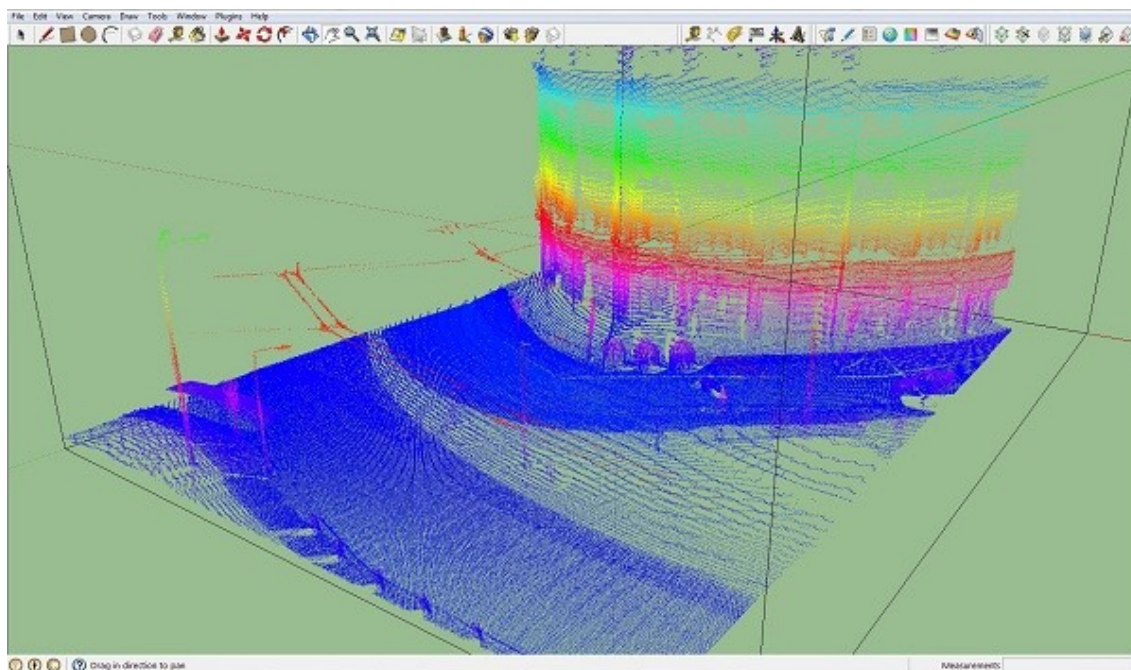
Výhodou programu je velké množství podporovaných formátů a schopnost vytváření digitálních elevačních modelů a následná možnost vzdálenostních i prostorových analýz. Naopak nevýhodou je vysoká náročnost na hardware, zejména v případě zpracování dat o velikosti desítek milionů bodů. Software je možné vyzkoušet v plné verzi, která je časově omezená.

4.1.4 ArcGIS Desktop

Součástí programového balíku ArcGIS od společnosti ESRI je program ArcMap, jehož primárními funkcemi jsou zobrazování, vytváření a editace prostorových dat. Dalšími funkcemi jsou například možnosti pokročilých prostorových analýz a modelování, tvorba dokumentace či geodatabází (ESRI, 2011). Přesto, že program ArcGIS Desktop umožňuje načtení laserových bodů, neobsahuje nástroje vhodné k výzkumu bezbariérovosti, respektive takové, které umožňují práci s mračnem laserových bodů, jejich měření a vizualizaci. Tento software je tedy vhodné použít k integraci dat získaných mobilním mapováním do geografických informačních systémů, tvorbu síťových analýz a tvorbu kartografických výstupů.

4.1.5 Ostatní SW

SketchUp od Google je uživatelsky nenáročná aplikace určená k vytváření 3D modelů. Tyto modely je možné vytvářet na základě ortorektifikovaných snímků nebo pomocí mračka laserových bodů, což umožňuje rozšíření SketchUp 8 o modul od Pointools (obrázek č. 22). Využitelnost pro výzkum bezbariérovosti může spočívat například ve vytváření modelů přechodů a jiných dílčích objektů.



Obrázek č. 22: Modul Pointools pro Google SketchUp 8

Zdroj: vlastní zpracování

Posledním programem použitým v této práci je volně dostupný LAS Utility, který umožňuje zobrazení dat ve formátu LAS, jejich ořezávání či slučování, vizualizaci a výpis v textové podobě. Program navíc dokáže převádět formát LAS do textových souborů či do formátu XYZ.

5 Využití dat z mobilního mapování

Tato kapitola se věnuje konkrétním možnostem využití dat z mobilního mapování ve výzkumu bezbariérovosti. Základními možnostmi je využití dat pro zjištění geometrie objektů, jejich pasportizaci, tvorbu databází bodů bezbariérovosti a využití těchto databází pro další analýzy (například v prostředí aplikace ArcGIS).

Laserová data lze interpretovat několika způsoby, v závislosti na použitém softwaru. Jedná se o zobrazení panoramatických snímků s laserovými body (PanoramaGIS), zobrazení samostatných laserových bodů (View Pro) nebo vytvoření digitálního elevačního modelu (Global Mapper). Každý ze způsobů zobrazení dat je využitelný pro různé účely.

5.1 Zjištění geometrie objektů

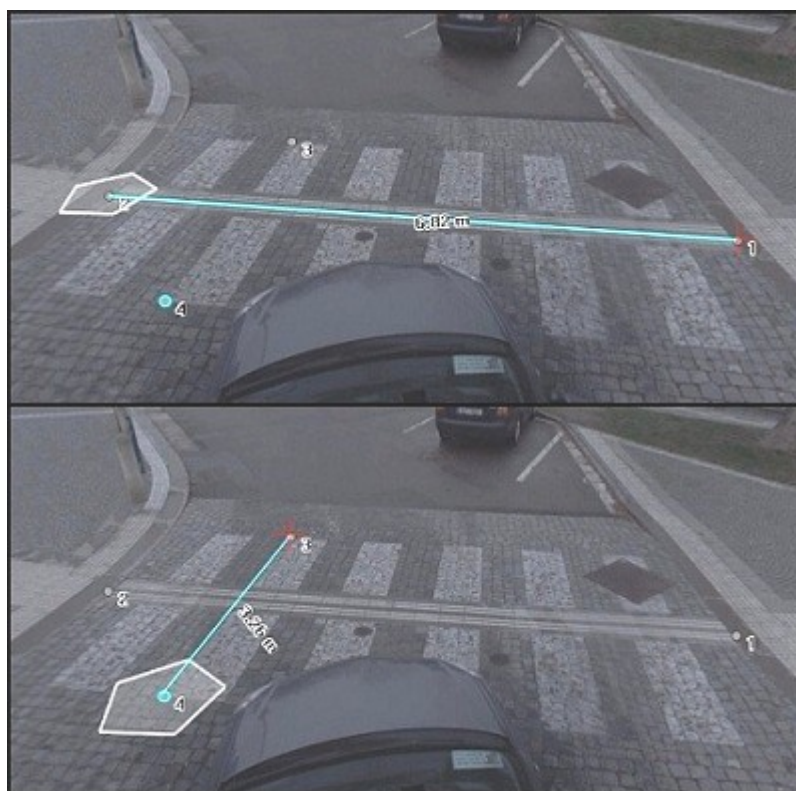
Geometrickými vlastnostmi objektů jsou veškeré vlastnosti související s tvarem, povrchem či vzájemnou polohou objektů. Při zjišťování geometrie objektů je tedy nutné mít možnost změřit daný objekt, určit jeho povrch a polohu. Z dat získaných mobilním mapováním lze tyto atributy objektů zjistit z naměřených laserových bodů (geometrie a poloha) a z pořízených snímků (povrch).²⁶

Pro účely výzkumu bezbariérovosti a s omezením na komunikace a přilehlé venkovní prostředí, jsou zájmovými objekty zejména bariéry v pohybu, chodníky, parkovací místa pro invalidy, přechody a jiné vstupy na chodník, vstupy do budov a zastávky MHD. Pro zjištění geometrie těchto prvků je vhodné použít software, který umožňuje jak prohlížení laserových bodů, tak i obrazovou vizualizaci prostředí.

5.1.1 PanoramaGIS

Kladené požadavky splňuje nejlépe program PanoramaGIS. V tomto programu je možné velmi rychle a snadno získat základní informace o geometrii objektů. Na následujícím příkladu je zobrazen vybraný přechod pro chodce a je na něm aplikován nástroj pro měření vzdáleností (obrázek č. 23). Obrázek přechodu v širších souvislostech se nachází v příloze této práce (příloha č. 2).

²⁶ Povrch je možné zjistit i z laserových bodů, ovšem pouze v případech, kdy data obsahují také údaje o intenzitě odraženého paprsku.



Obrázek č. 23: Měření vzdálenosti v SW PanoramaGIS

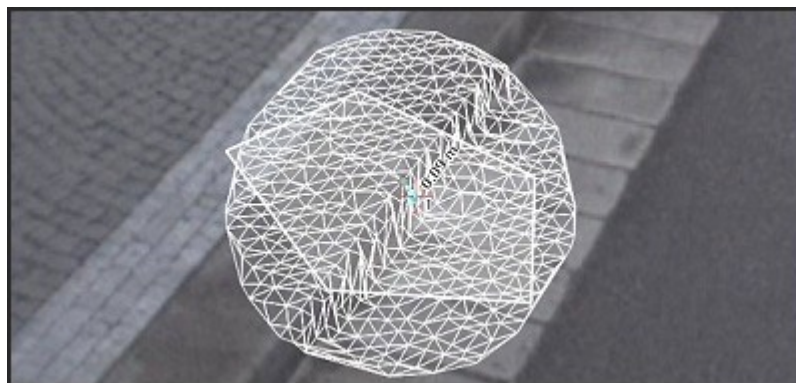
Zdroj: vlastní zpracování

Pro nejvyšší přesnost měření je vhodné nejprve určit body, mezi kterými se bude vzdálenost měřit. V případě zjišťování délky přechodu jsou body umístěny na předělu obrubníku, který je ještě součástí chodníku a samotného přechodu. Šířku přechodu lze určit šířkou vodorovného značení na přechodu. Pokud značení není k dispozici, lze šířku určit šířkou vstupu na přechod v případech, kde má tento vstup snížený profil. Naměřené rozměry přechodu jsou v ukázkovém případě: 6.82 m délky a 3.26 m šířky. Chyba v takovémto měření závisí na přesném určení bodů a kvalitě dat. Z ověřování v terénu se přesnost liší maximálně o 2-3 cm oproti realitě, což může být způsobeno právě nedostatečně přesným určením počátečního a koncového bodu. Při použití nástroje měření vzdálenosti v SW PanoramaGIS je tedy nutné počítat s tolerancí v řádu centimetrů.

Z panoramatického snímku je také možné určit povrch objektu a jeho stav. V ukázkovém případě přechodu pro chodce se jedná o povrch z dlažebních kostek, bez větších mezer a přechod je vybaven vodíci pruhy pro zrakově postižené. Přechod je v dobrém stavu, bez viditelných nedostatků.

Pokud chceme v programu zjistit například výšku obrubníku či obdobných prvků, je výhodné pracovat s funkcí "mesh", kdy je okolo kurzoru myši zobrazena nepravidelná

trojúhelníková síť. Takto je možné přesně určit začátek a konec vertikální překážky, či její tvar a tudíž je možné ji změřit (obrázek č. 24). Funkce se zapíná stisknutím klávesy SHIFT v režimu výběru bodů či měření vzdáleností. Vzdálenost pak lze změřit pomocí nástroje měření vzdáleností nebo podle rozdílu hodnot u osy Z u vytvořených bodů. Druhý jmenovaný způsob je jediný možný při měření vertikálních vzdáleností menšího rozsahu, přibližně do 5 cm.



Obrázek č. 24: Funkce "mesh" v SW PanoramaGIS

Zdroj: vlastní zpracování

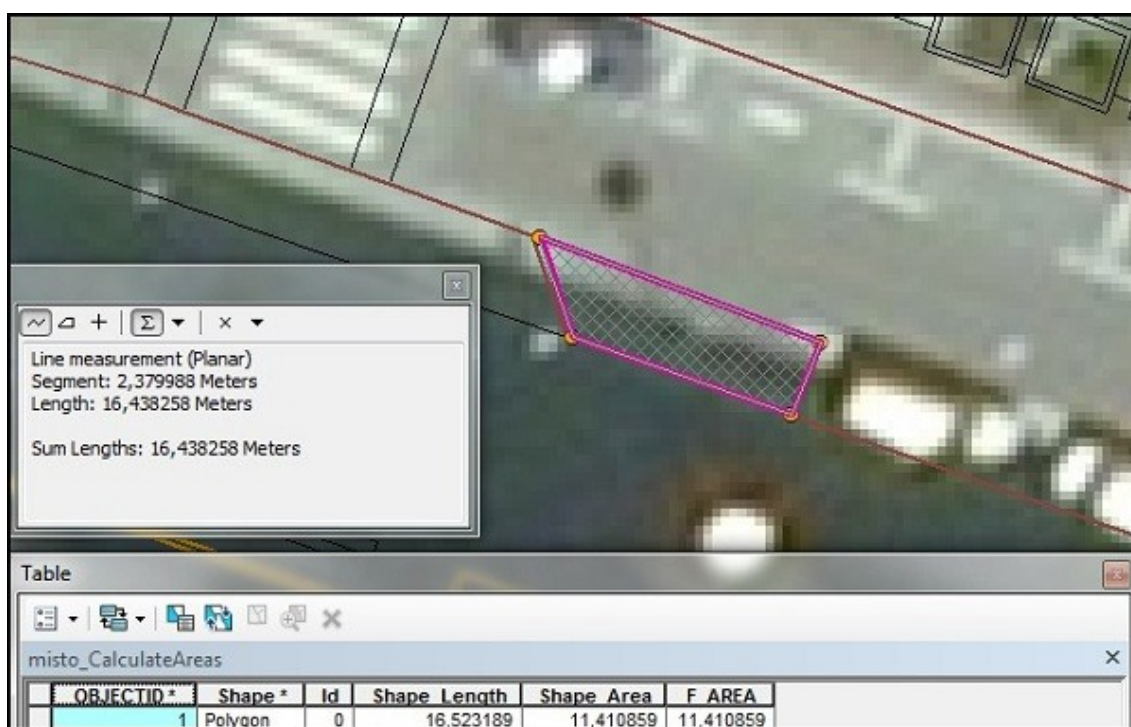
Další důležitou vlastností softwaru PanoramaGIS je možnost vymezení přechodu či jiných měřených objektů bodovými a liniovými prvky, které je možné následně exportovat ve formátu SHP a použít v ostatních programech. Tím je získána absolutní poloha objektu či jeho jednotlivých prvků v daném souřadnicovém systému. Takový postup lze demonstrovat například na vymezení parkovacího místa pro invalidy. Nejprve jsou v programu PanoramaGIS zvoleny body určující rozměry parkovacího místa, které jsou následně spojeny liniovými znaky (obrázek č. 25).



Obrázek č. 25: Vymezení objektu v SW PanoramaGIS

Zdroj: vlastní zpracování

Takto určené body je možné přímo importovat do softwaru ArcGIS Desktop. Zde je podle bodů či linií vytvořen polygon, ze kterého je možné měřit vzdálenosti či vypočítat obsah a také zobrazit daný objekt v prostoru. Na následujícím obrázku jsou importované body ze SW ParnoramaGIS (oranžové body) do SW ArcGIS Desktop (obrázek č. 26). Z těchto bodů je následně vytvořen objekt parkovací místo pro invalidy (fialový polygon). Na obrázku je také ukázka měření pomocí nástroje "měření vzdálenosti" (levá část obrázku), které je možné provést z importovaných bodů a měření pomocí funkce "calculate area" (spodní část obrázku), které je možné provést z vytvořeného polygonu. Pozadí tvoří, pro lepší interpretaci, digitální technická mapa města a ortorektifikovaná letecká mapa.



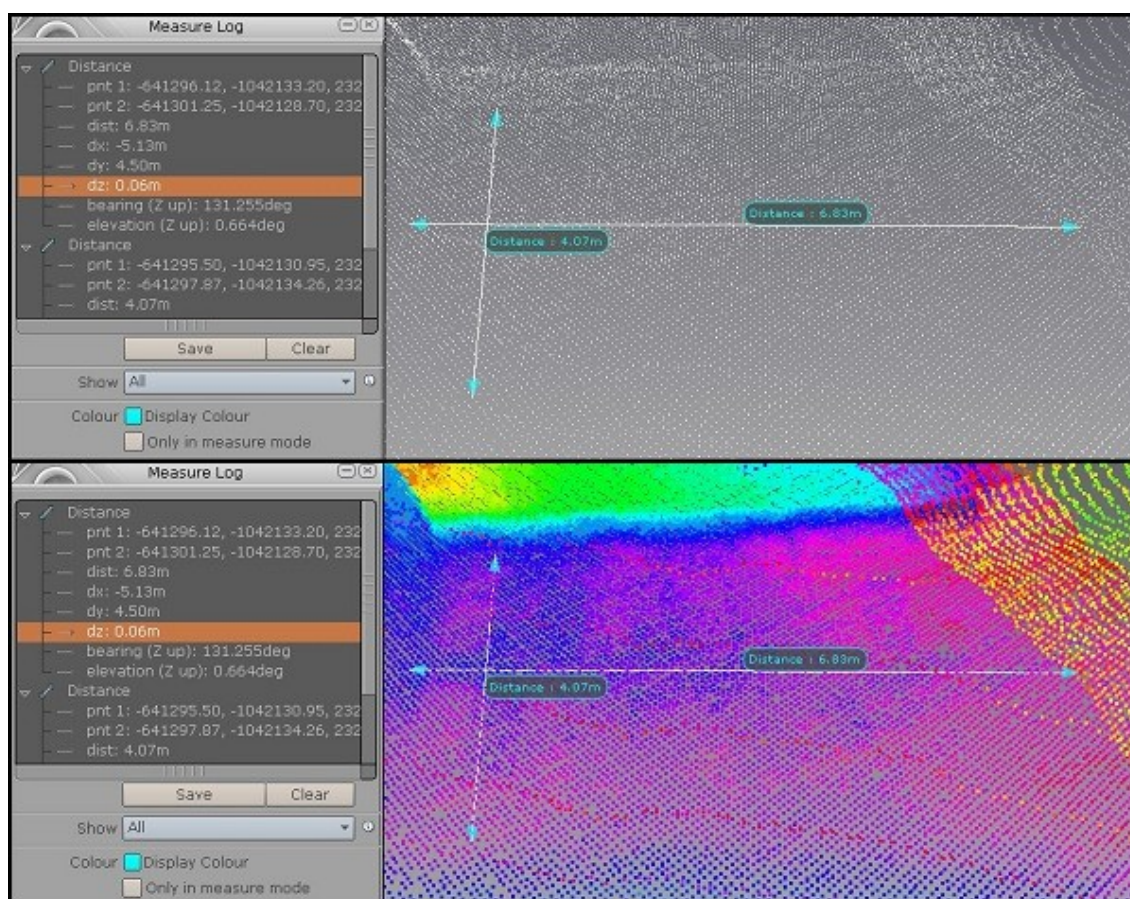
Obrázek č. 26: Zjišťování geometrie v SW ArcGIS Desktop

Zdroj: vlastní zpracování

5.1.2 View Pro

Program View Pro umožňuje měření mezi jednotlivými laserovými body za pomoci nástroje měření vzdáleností. Přesnost takového měření je v řádu milimetrů, ovšem interpretace mračna laserových bodů může být složitá, zejména pokud chybí údaje o intenzitě odrazu a hodnotách RGB, které by umožnily rozlišení jednotlivých povrchů. Jedinou možností interpretace dat je tak obarvení laserových bodů na základě vertikální polohy (osy Z). Software View Pro umožňuje široké možnosti nastavení pro tuto funkci.

Například určení šířky jednotlivých barevných pásem umožní rozlišení povrchů, které jsou od sebe vertikálně vzdáleny pouze v řádu centimetrů. Ukázka měření mezi jednotlivými laserovými body je zobrazena na následujícím obrázku, který zobrazuje stejný přechod pro chodce jako v předchozím případě. Vrchní část obrázku demonstruje vzhled surových dat, spodní část pak obarvení na základě vertikálních hodnot a zároveň větší velikost laserových bodů (obrázek č. 27).



Obrázek č. 27: Zjišťování geometrie v SW Pointools View 1.8 Pro

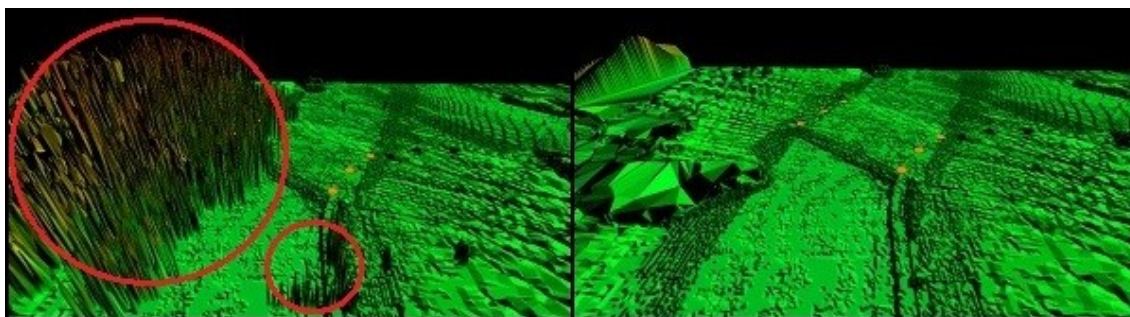
Zdroj: vlastní zpracování

Program View Pro umožňuje efektivní zjišťování výškových rozdílů, ovšem interpretace takových snímků nemusí být vždy jednoduchá. Problém je zejména ve zjišťování bodů určujících začátek a konec měřeného objektu. Z pouhých laserových bodů je tak například nemožné zjistit šířku přechodu, pokud je určena pouze šířkou vodorovného značení.

Naopak výhodou programu je přesnost měření a také zjištění dalších atributů měřeného úseku. Na příkladu vidíme, že výškový rozdíl na délce přechodu činí 6 cm, což při délce přechodu 6.83 m odpovídá 0,66° stoupání (tabulka "Measure Log" na obrázku č. 27).

5.1.3 Global Mapper

Další možností zjištění geometrie objektů je z digitálního modelu povrchu, což umožňuje software Global Mapper. Nejprve je důležité, za pomoci vhodného softwaru (například LAS Utility či View Pro) oříznout laserová data vertikálně tak, aby digitální model povrchu nebyl zkreslen korunami stromů a objekty s podobnými vlastnostmi (sloupy veřejného osvětlení, přístřešky, altány a podobně). V případě výzkumu bezbariérovosti je účelem zjišťování prvků, které jsou na povrchu. Pokud je ale zkoumané místo, například v podobě přechodu pro chodce, pod korunami stromů a jinými objekty, v digitálním elevačním modelu ho není možné zobrazit a měřit. Toto omezení je předvedeno na následujícím obrázku (obrázek č. 28). V levé části obrázku je ukázka vlivu koruny stromu (červeně označená oblast) a sloupu veřejného osvětlení (menší označená oblast) na digitální elevační model. Pravá část zobrazuje stejné území po provedení vertikálního oříznutí.

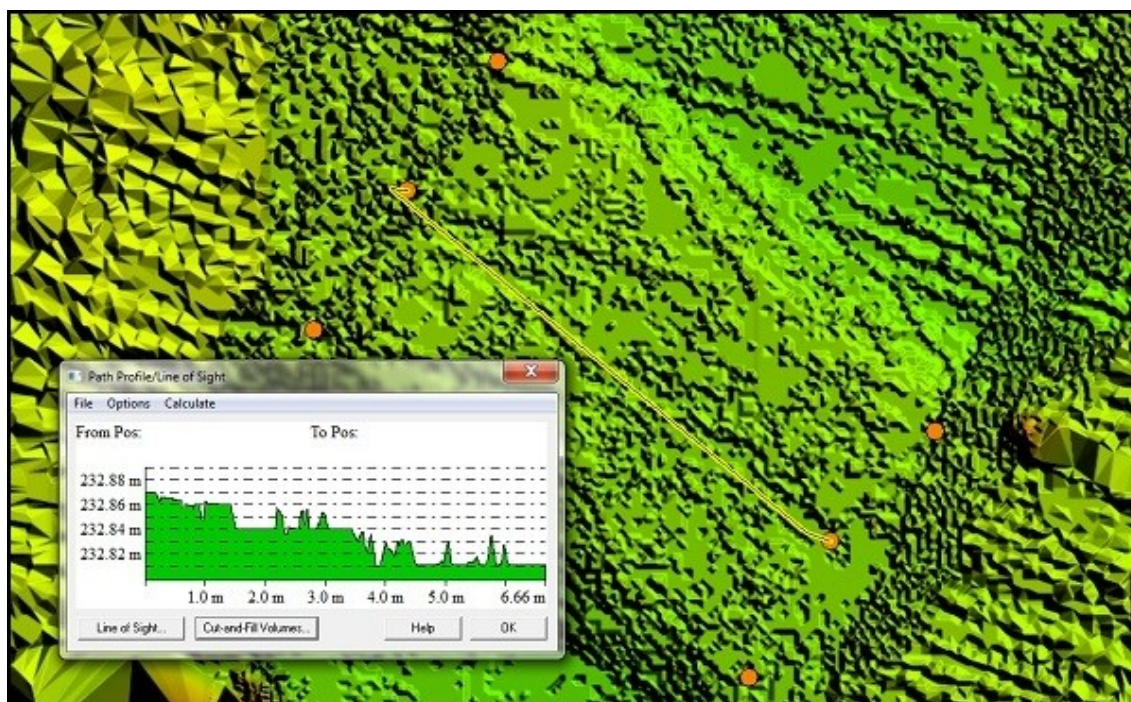


Obrázek č. 28: Digitální elevační model v SW Global Mapper, vlevo surová data, vpravo vertikálně oříznutá

Zdroj: vlastní zpracování

Program má stejnou nevýhodu jako SW View Pro, a to nemožnost přesně určit mezní body objektů, pokud nejsou dostatečně vertikálně odlišeny. Ovšem Global Mapper umožňuje import souborů ve formátu SHP. Takto je možné ze SW PanoramaGIS importovat mezní body podobným způsobem, jako v případě vymezení parkovacího místa pro invalidy.

Ukázka této varianty je zobrazena na obrázku č. 29, jedná se o totožný přechod pro chodce jako v předchozích ukázkách.



Obrázek č. 29: Zjišťování geometrie v SW Global Mapper 13

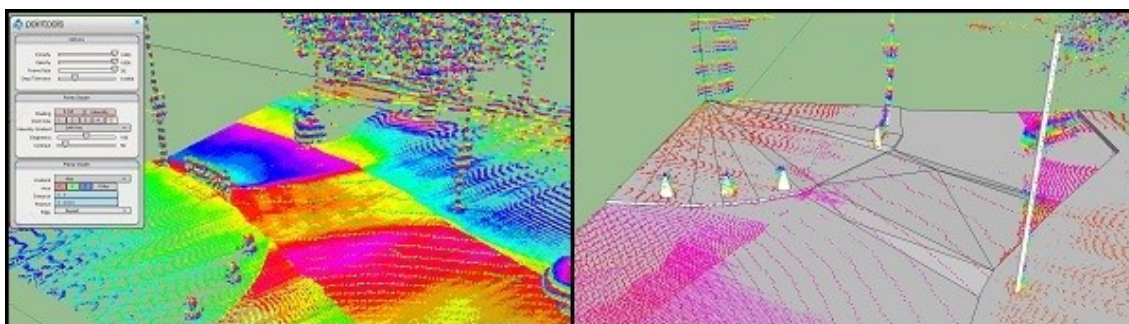
Zdroj: vlastní zpracování

Ze SW PanoramaGIS byly importovány body označující začátek a konec přechodu, spolu s body označujícími šířku vstupu na přechod (oranžové body). V takto připravených datech je možné měřit vzdálenosti, horizontální profily úseků (tabulka na obrázku č. 29), plochy, sklony a podobné údaje. Z profilu cesty je možné získat informace o jednotlivých převýšeních na cestě, což je nezbytná funkce pro výzkum bezbariérovosti z dat získaných mobilním mapováním. Na ukázkovém případě je viditelné, že podél měřené trasy se nevyskytují horizontální změny větší než 2 cm a ze zobrazených detailních údajů lze zjistit sklon cesty 0,6°. Tato hodnota přesně odpovídá měření v SW View Pro.

5.1.4 SketchUp

Základní funkcí programu SketchUp 8 od společnosti Google je vytváření 3D modelů. Rozšíření aplikace o plugin View Pro umožňuje vytvářet tyto modely na základě laserových bodů. Využití modelů v bezbariérovosti spočívá především ve zjednodušeném zobrazení

daného objektu. Z modelu lze lépe určit některé geometrické vlastnosti, než z pouhé fotografie. Jedná se například o zobrazení perspektivy či sklonu jednotlivých ploch. Proces tvorby modelu na základě laserových bodů je naznačen na následujícím obrázku, který zobrazuje stejný přechod jako v předchozích ukázkách (obrázek č. 30).

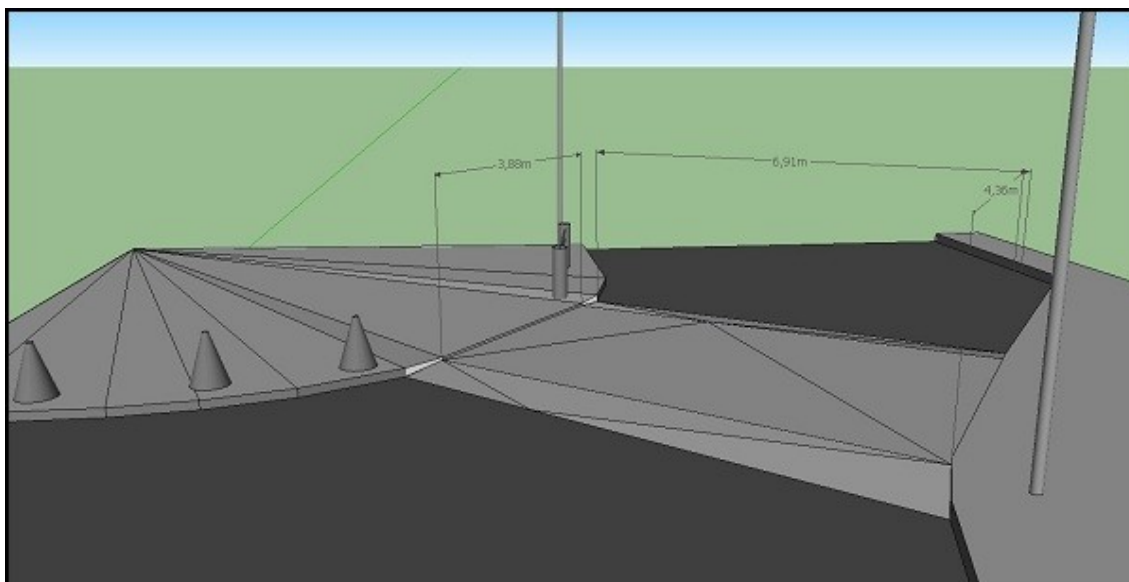


Obrázek č. 30: Tvorba modelu v SW SketchUp 8 s pluginem View Pro

Zdroj: vlastní zpracování

Nejprve je zvolena vhodná vizualizace laserových bodů. V případě tvorby modelu je nejlepší možností maximální velikost bodů a malé rozestupy mezi vertikálními pásmy. Vertikální pásma byla zvolena na 2 cm, což znamená, že každé dva body vertikálně vzdálené o 2 cm mají jinou barvu. Tento krok je zobrazen v levé části obrázku (obrázek č. 30). Následně je na základě laserových bodů tvořen model. Mezikrok tohoto procesu je ukázán v pravé části obrázku (obrázek č. 31). Hotový model je předveden na následujícím obrázku, spolu s měřením vzdáleností, které program SketchUp umožňuje (obrázek č. 31).

Modelování může být přínosem například v situacích, kdy je plánována rekonstrukce chodníku či přechodu pro chodce. Díky modelu je možné sestavit varianty úprav a vybrat tu nejoptimálnější.



Obrázek č. 31: Výsledný model přechodu pro chodce

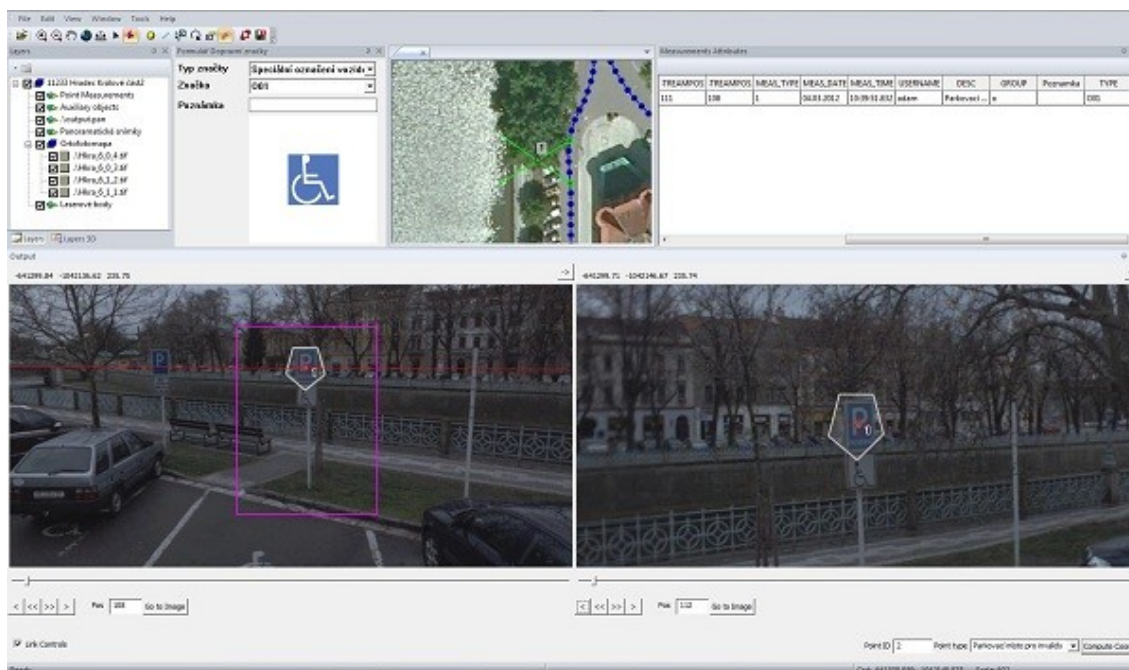
Zdroj: vlastní zpracování

5.2 Pasportizace objektů

Obecně lze pasportizaci chápat jako proces zpracování technické dokumentace k souboru předem určených objektů, respektive zjišťování technického stavu těchto objektů. Výsledkem procesu je jednotná databáze poskytující informace o všech objektech daného druhu ve zkoumaném území. Informace se skládají z přesné polohy, údajích o technickém stavu a fotodokumentace. V závislosti na volbě zadavatele je možné přidat i jakékoliv další informace. Výstupem procesu pasportizace je databázový soubor s výčtem jednotlivých objektů, včetně jejich atributů.

V případě výzkumu bezbariérovosti je možné inventarizovat přechody pro chodce, vchody do objektů, dopravní značení vztahující se k tomuto tématu (parkovací místo pro invalidy) a další objekty.

Z programů hodnocených v této práci nabízí nejvýhodnější řešení pro pasportizaci objektů a vytváření jejich fotodokumentace program PanoramaGIS, který je pro tuto činnost vybaven správnými nástroji. Ostatní programy takové možnosti nenabízejí a pozornost tedy bude věnována pouze softwaru PanoramaGIS. Na následujícím obrázku (obrázek č. 32) je ukázka pracovního prostředí aplikace při vytváření pasportu dopravních značek označujících parkovací místa pro invalidy.



Obrázek č. 32: Pasportizace dopravního značení

Zdroj: vlastní zpracování

Prvním krokem při vytváření pasportů v aplikaci PanoramaGIS je označení objektu a vypočítání jeho přesné polohy. Přesnější údaje jsou získány, pokud je objekt označen ze dvou odlišných úhlů (zelené přímky na obrázku č. 32) a teprve na základě průsečíku jsou vypočítány přesné souřadnice objektu. K výpočtu slouží funkce "compute coords". Tímto způsobem dojde k získání souřadnic inventarizovaného objektu a spolu s tím k vytvoření dalších atributů. Do atributové tabulky je možné přidávat další informace, například o druhu objektu a jeho technickém stavu.

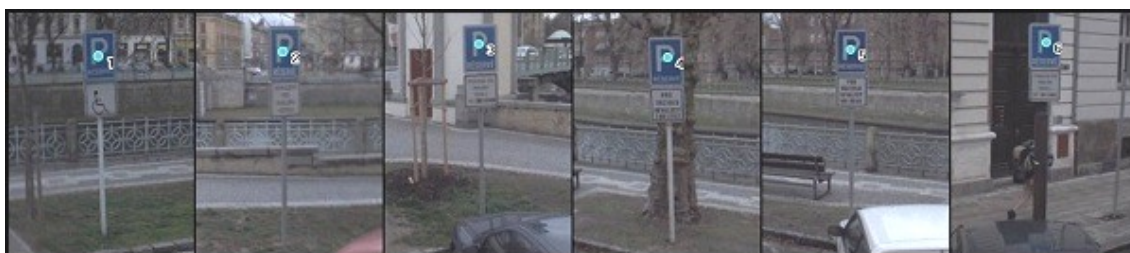
Na následujícím obrázku (obrázek č. 33) je zobrazena atributová tabulka se souřadnicemi a dalšími vlastnostmi zkoumaných dopravních značek. V tomto případě bylo zaznamenáno šest jednotlivých značek a k nim byly přidány požadované atributy. U každé z nich jsou uvedeny souřadnice, údaje o pozici snímacího zařízení, datum a čas měření, uživatel přihlášený k PC, popis značky, poznámka o stavu značky a druh značky podle zákona. Informace z tabulky je možné snadno exportovat do formátů SHP, DGN, MES či TXT. SHP je formát určený pro přímé zobrazení v geografických informačních systémech. Využití souborů s příponou DGN a MES je možné v různých CAD programech. Pro tvorbu pasportů je výhodnější použití souborů TXT, kde jsou údaje uspořádané v řádcích a lze je převést do většiny databázových programů.

ID	X	Y	Z	ROTATION	TRACK_ORI	HEIGHT	TREAMPOS	TREAMPOS	MEAS_TYPE	MEAS_DATE	MEAS_TIME	USERNAME	DESC	GROUP	Poznamka	TYPE
1	-641307.44...	-1042141.3...	235.598141	185.534493	-90.294403	2.900641	111	108	1	04.03.2012	10:39:51.832	adam	Parkovací ...	o	OK	O01
2	-641307.10...	-1042264.3...	235.641469	170.782411	-91.354833	3.079969	158	162	1	04.03.2012	11:46:20.383	adam	Parkovací ...	o	OK	O01
3	-641307.01...	-1042270.5...	235.658337	190.307494	-91.871214	3.089837	159	163	1	04.03.2012	11:49:42.566	adam	Parkovací ...	o	poskozena	O01
4	-641309.22...	-1042404.7...	235.546818	321.546500	-128.236156	3.062318	228	232	1	04.03.2012	11:51:12.948	adam	Parkovací ...	o	OK	O01
5	-641415.68...	-1042424.2...	235.629159	310.904957	-130.147325	3.158159	239	243	1	04.03.2012	11:51:46.379	adam	Parkovací ...	o	OK	O01
6	-641404.39...	-1042478.0...	235.942896	220.399628	-46.996599	3.498896	265	269	1	04.03.2012	11:53:00.928	adam	Parkovací ...	o	OK	O01

Obrázek č. 33: Atributová tabulka inventarizovaných objektů

Zdroj: vlastní zpracování

Dalším krokem v pasportizaci je vytvoření fotodokumentace. Toho lze v softwaru PanoramaGIS dosáhnout pomocí funkcí "Define Clipping Area", která slouží k vymezení snímaného prostoru a "Save Image Subset", která danou oblast uloží ve zvoleném adresáři jako obrázek. Ten je pak podle názvu přiřazen k příslušnému objektu. Ukázka fotodokumentace získané uvedeným způsobem je na následujícím obrázku (obrázek č. 34). V možnostech aplikace PanoramaGIS je možné nastavit defaultní velikost a poměr stran ořezávané oblasti, čímž je dosaženo stejných rozměrů u všech obrázků.



Obrázek č. 34: Fotodokumentace inventarizovaných objektů

Zdroj: vlastní zpracování

Pokud by cílem byla inventarizace přechodů pro chodce či jiných objektů, je možné postupovat totožným způsobem. Rozdíl bude pouze v atributové tabulce, kde se vyplní údaje související s daným objektem (u přechodu povrch, bezbariérovost, existence vodících pruhů a podobně).

5.3 Databáze bodů bezbariérovosti

Možnost snadného vytváření databází bodů bezbariérovosti patří mezi nejpodstatnější přínosy mobilního mapování v oblasti bezbariérovosti. Efektivní a poměrně rychlé vytváření těchto databází, včetně jejich exportu do geografických informačních systémů, je možné v programu PanoramaGIS. Ostatní z evaluovaných programů tuto možnost nenabízejí.

5.3.1 Entity a atributy

Výběr entit a atributů zahrnutých do databáze odpovídá využití dat pro výzkum bezbariérovosti a také reflektuje charakteristiku dat z mobilního mapování. Entity a atributy jsou stanoveny v souladu s předešlými výzkumy v této oblasti, ovšem pro účely využití dat z mobilního mapování bylo přistoupeno k jejich úpravám.²⁷ Jedná se zejména o přizpůsobení atributů detailnímu měřítku a rozsahu mapovaného území. Přehled všech entit a atributů je uveden v následující tabulce (tabulka č. 5).

Tabulka č. 5: Entity a atributy pro výzkum bezbariérovosti

Entita	Atributy
Bariéra	ID_bariéry, druh, brání v pohybu, poznámka
Chodník	ID_chodníku, povrch, stav, bezbariérovost
Parkovací místo pro invalidy	ID_místa, bezbariérovost
Přechod pro chodce	ID_přechodu, bezbariérovost
Jiná možnost vstupu na chodník	ID_vstupu, bezbariérovost
Vchod do budovy	ID_vchodu, druh budovy, bezbariérový vstup, bezbariérové dveře
Zastávka MHD	ID_zastávky, název, linky s bezbariérovými vozy, bezbariérovost

Zdroj: vlastní zpracování

Entita bariéra označuje jakoukoliv překážku na zkoumané trase. Druh bariéry určuje konkrétní objekt (například sloup osvětlení, dopravní značku). Pokud tento objekt zasahuje do trasy takovým způsobem, že trasa není dále bezbariérová, pak atribut "bezbariérovost"

²⁷ Předešlými výzkumy jsou diplomové práce z Univerzity Pardubice od autorů Rajsner (2010) a Dlabal (2010).

nabývá hodnoty "ne". V poznámce je prostor pro další charakteristiku bariéry, například její detailnější popis či určení dočasnosti.

Chodník je, spolu s přechodem pro chodce, základním objektem pro stanovení bezbariérové trasy. Bezbariérovost chodníku je určena jeho šířkou, sklonem a povrchem. Pokud je vše v souladu s vyhláškou č. 398/2009, tedy šířka chodníku větší než 1500 mm, sklon menší než 1:20 podélně a 1:50 příčně, povrch je řešen nesmýkavým materiálem a na chodníku není žádná bariéra omezující pohyb, pak je chodník bezbariérový. Pokud je větší sklon než určený vyhláškou, chodník je označen „s pomocí“. V případě, že chodník nesplňuje potřebou šířku, nebo je na chodníku bariéra, která brání v pohybu, nabývá atribut bezbariérovost hodnoty „ne“.

Parkovací místo pro invalidy musí splňovat vyhláškou dané náležitosti, tedy šířku minimálně 3500 mm pro kolmé stání a 7000 mm pro podélné stání. Součástí parkovacího místa musí být bezbariérový výstup z parkovacího místa na chodník. Pokud není vše splněno, atribut bezbariérovosti nabývá hodnoty „ne“.

Jiná možnost vstupu na chodník označuje všechna místa, kde existuje možnost vstupu na chodník prostřednictvím sníženého obrubníku či jiných úprav, ale není označen příslušným dopravním značením.

Vchodem do budovy je myšlen jakýkoliv vstup do objektu označený číslem popisným. Vchod je bezbariérovým, pokud splňuje náležitosti dané vyhláškou, tedy manipulační plochu před vchodem o velikosti nejméně 1500x1500 mm, se sklonem pouze v jednom směru. Pokud není splněn sklon, vchod je označen hodnotou „s pomocí“. Pokud existuje terénní nerovnost vyšší než 20 mm, hodnota nabývá hodnoty „ne“. Bezbariérovost vchodu do budovy je ovlivněna nejen vstupem, ale také samotnými dveřmi. Ty podle vyhlášky musí splňovat zejména výšku kliky do 1100 mm a šířku alespoň 800 mm.

Zastávky MHD jsou, spolu s parkovacími místy pro invalidy a jednotlivými vchody do budov počátečními a koncovými body pro síťovou analýzu bezbariérových tras. Atributy zastávek MHD jsou jejich název, existence bezbariérových linek a samotná bezbariérovost zastávky, která je určena jednak hodnotou atributu u bezbariérových linek a také samotnou podobou zastávky.

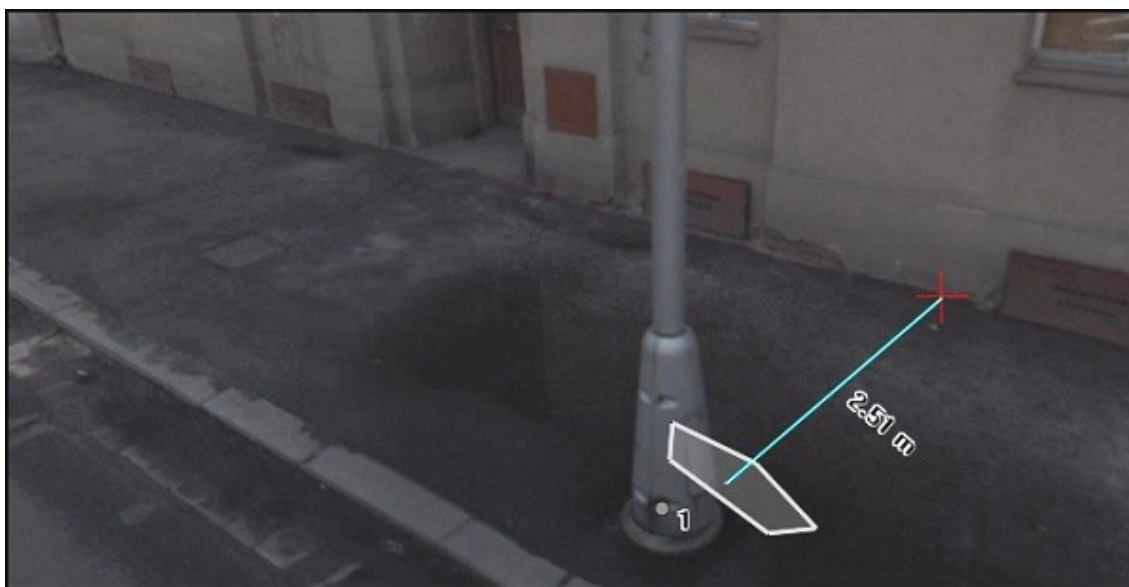
5.3.2 Tvorba databáze

Databáze bodů bezbariérovosti se skládá z jednotlivých objektů výše specifikovaných entit. Označení polohy objektů je prováděno stejným způsobem, jako v případě tvorby

pasportů, tedy jeho označením ze dvou úhlů a výpočtem souřadnic. Rozdíl oproti pasportizaci spočívá především v zapisování odlišných atributů a možnosti následných analýz. Výstupem je, v případě tvorby databáze bodů bezbariérovosti, souhrn všech sledovaných objektů v daném území a zjištění a zanesení všech sledovaných atributů.

Na následujícím obrázku je předvedena identifikace objektu bariéry (obrázek č. 35). V tomto případě bude do atributové tabulky zaznamenán druh bariéry (sloup veřejného osvětlení) a informace o tom, zda brání v pohybu, která je zjištěna pomocí nástroje měření vzdálenosti. Zbývající průchozí šířka chodníku je vyšší než požadovaných 150 cm, atribut brání v pohybu tak nabývá hodnoty "ne". Zjištěné údaje jsou zaneseny do atributové tabulky objektu (pod ID_1).

Ze stejného obrázku lze také zjistit informace o zobrazené části chodníku. Viditelně je tvořen asfaltovým povrchem a je v dobrém stavu, což určuje atributy povrch a stav. Atribut bezbariérovosti je v tomto případě splněn také. Chodník má menší než požadovaný sklon, nesmekavý povrch a šířku větší než 150 cm.

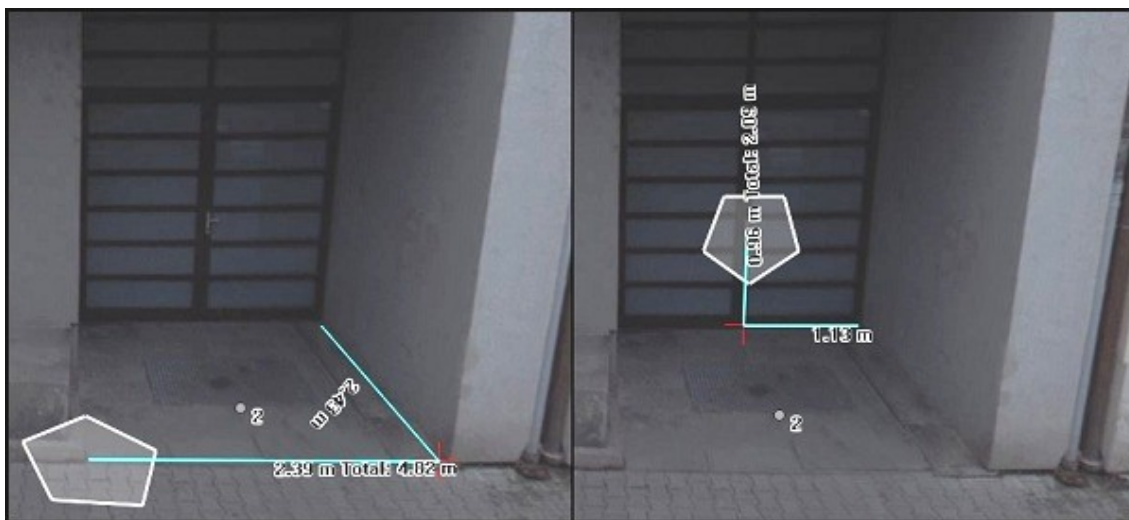


Obrázek č. 35: Tvorba databáze bezbariérovosti - bariéra a chodník

Zdroj: vlastní zpracování

Dalším příkladem tvorby databáze bezbariérovosti může být identifikace vstupu do objektů. Tyto vstupy lze rozdělit na dvě oblasti týkající se bezbariérovosti. První z nich je tvořena manipulačním prostorem před vchodem a druhá bezbariérovostí samotných dveří. Zjišťování těchto atributů je naznačeno na následujícím obrázku (obrázek č. 36). V levé části

obrázku je zkoumán manipulační prostor. Jeho rozměry činí 243x239 cm a splňují tak požadavky bezbariérovosti, rovněž sklon je pouze v jednom směru a povrch je vyhovující. Atribut bezbariérový vstup tak nabývá hodnoty ano. V pravé části obrázku je provedeno zjišťování bezbariérovosti dveří. V tomto případě jsou dveře širší než 80 cm (konkrétně 113 cm) a klika je umístěna do výšky 110 cm (konkrétně 96 cm). Objekt má bezbariérové dveře. Posledním atributem je zjištění druhu objektu. V uvedeném případě se jedná o soukromý, bytový, objekt.



Obrázek č. 36: Tvorba databáze bezbariérovosti - vstup do objektu

Zdroj: vlastní zpracování

V případě zjišťování bezbariérovosti parkovacího místa pro invalidy jsou zkoumány jeho rozměry a existence bezbariérového výstupu na chodník. Postup je zobrazen na následujícím obrázku (obrázek č. 37). Šířka místa je větší než 3.5 m a požadovaný výstup je společný pro dvě parkovací místa, což vyhláška umožňuje. Podmínka bezbariérovosti parkovacího místa je tedy splněna a zanesena do atributové tabulky.



Obrázek č. 37: Tvorba databáze bezbariérovosti - parkovací místo pro invalidy

Zdroj: vlastní zpracování

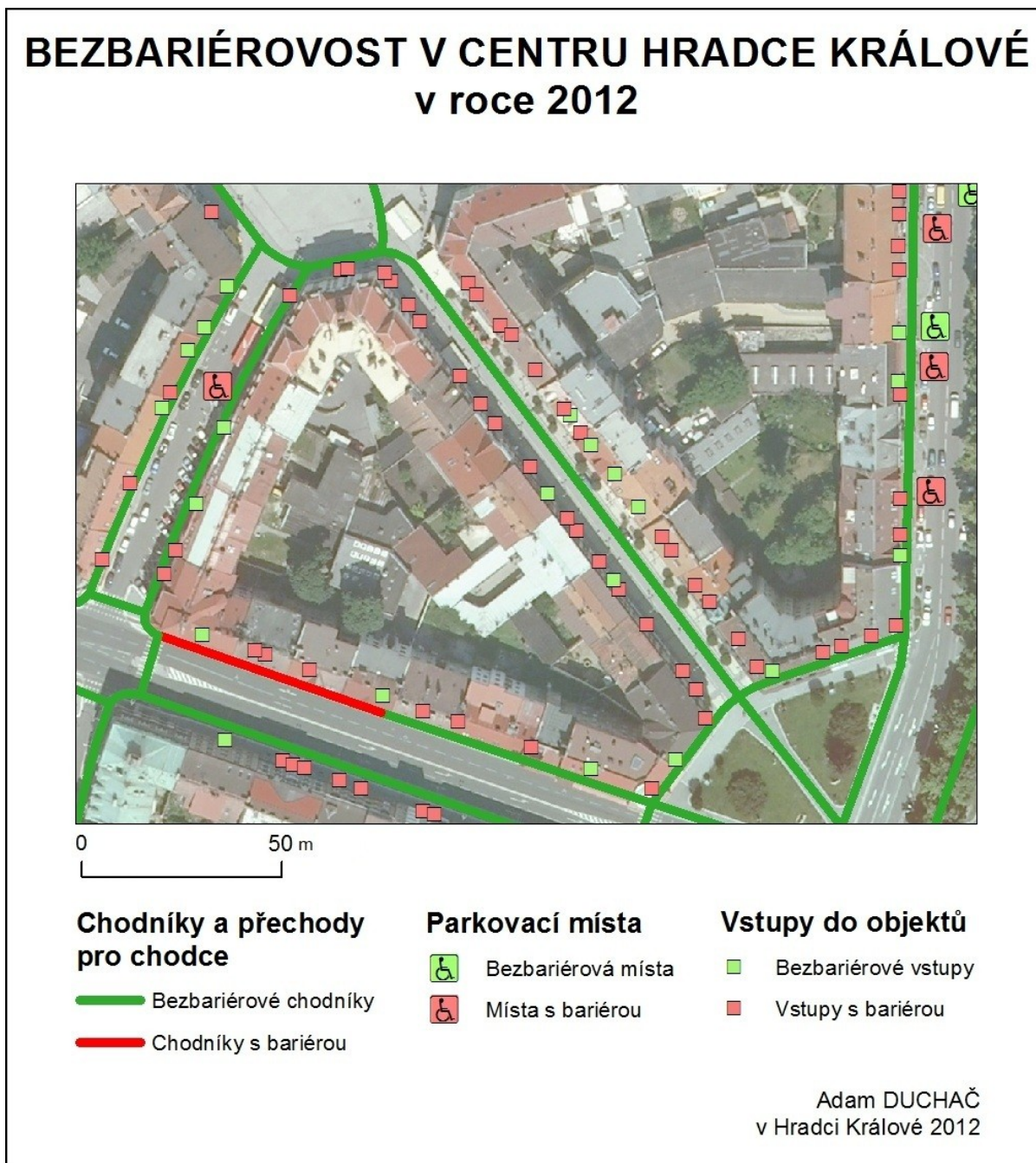
Způsobem uvedeným v předchozích příkladech je postupováno i při zjišťování atributů ostatních entit (přechodů pro chodce, jiných možností vstupu na chodník a zastávek MHD). Informace o všech objektech ve sledovaném území je následně možné exportovat z programu PanoramaGIS do geografických informačních systémů umožňujících další využití vytvořené databáze.

5.3.3 Výstupy pro bezbariérovost

Z jednotlivých entit databáze bezbariérovosti či jejich kombinací lze tvořit kartografické výstupy a nebo využívat tato data pro prostorové analýzy. Softwarem vhodným pro tvorbu následných výstupů je ArcGIS Desktop. Tento program umožňuje načtení databází vytvořených programem PanoramaGIS, jejich úpravu, přizpůsobení či editaci atributových tabulek.

Tvorba kartografických výstupů může být zaměřena na koncové uživatele (pohybově handicapované), nebo může sloužit pracovníkům různých veřejných a soukromých organizací, například k identifikaci bariér ve sledovaném území. Příklad mapového výstupu, který je přizpůsobený požadavkům pohybově handicapovaných, je zobrazen na obrázku č. 38. Jedná se o mapu části centra Hradce Králové, s vyznačenými bezbariérovými trasami,

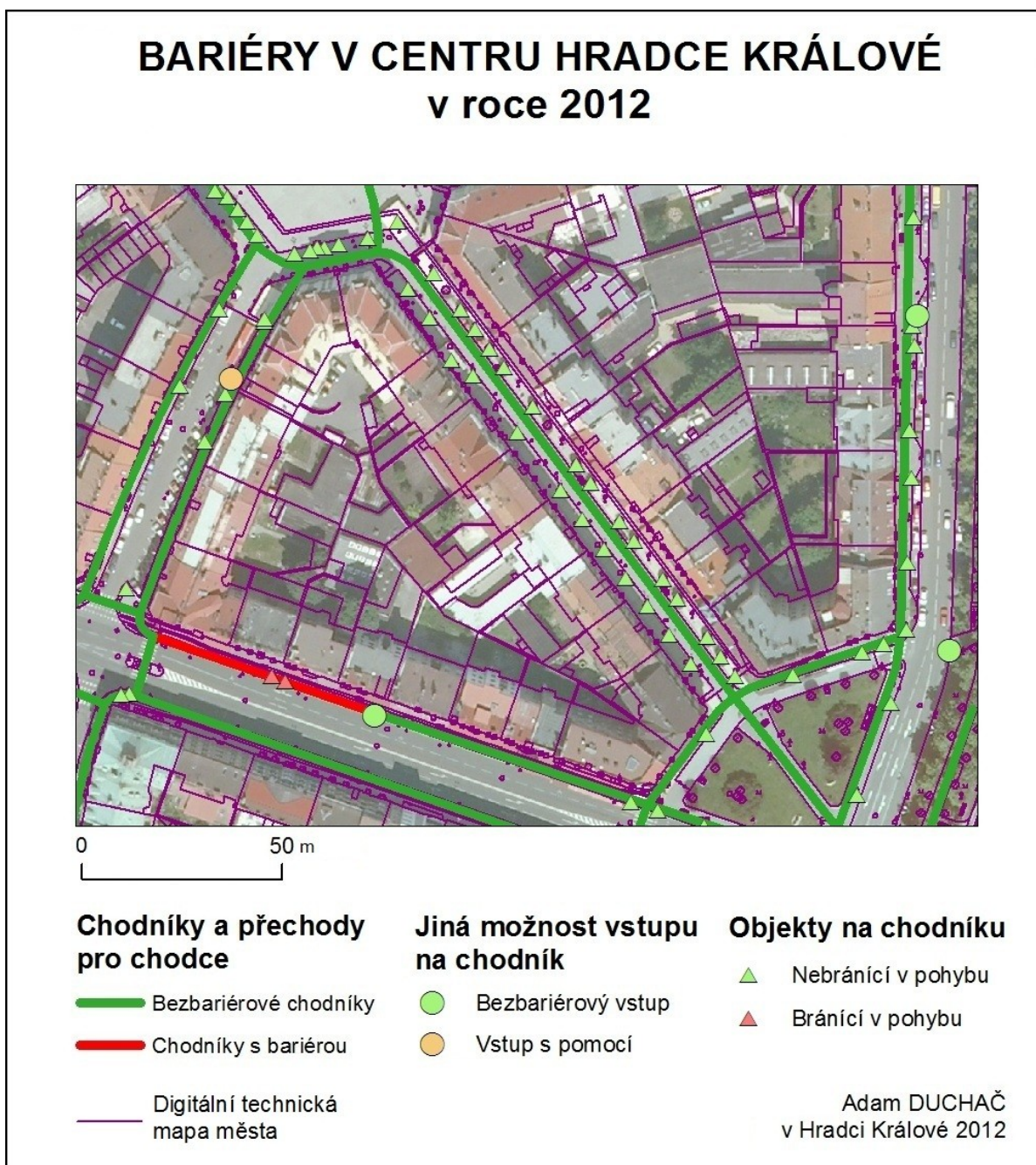
parkovacími místy pro invalidy a vstupy do objektů. Všechny tyto entity jsou rozděleny podle toho, zda splňují či nesplňují požadavky bezbariérovosti. Takové mapy je možné využívat například pro plánování bezbariérových tras či ke zjištění, zda je objekt vybaven bezbariérovým přístupem a jakým způsobem se k němu lze dostat.



Obrázek č. 38: Mapový výstup - bezbariérovost v centru HK

Zdroj: vlastní zpracování

Další způsob využití databází bodů bezbariérovosti spočívá v analýze stávajícího prostředí. Na obrázku č. 39 jsou zobrazeny bariéry v území spolu s digitální technickou mapou města. Takový kartografický výstup může sloužit například pracovníkům investičního odboru města, při plánování rekonstrukcí chodníků a jiných veřejných prostranství. Na základě údajů z mapy dojde k identifikaci prostorů nevyhovujících pro bezbariérový pohyb a ty pak mohou být rekonstruovány v souladu s vyhláškou. Pokud by byl takový požadavek, bariéry v mapovém výstupu lze rozlišit podle druhu či jiných údajů uvedených v atributových tabulkách.



Obrázek č. 39: Mapový výstup - bariéry v centru HK

Zdroj: vlastní zpracování

Mimo mapových výstupů je možné z databáze bodů bezbariérovosti provádět libovolné prostorové analýzy. Například je možné zjistit, které bezbariérové zastávky MHD či parkovací místa pro invalidy jsou nejbližší od veřejných úřadů. Jaké obchody mají přímý bezbariérový přístup nebo ve které městské části existuje nejvíce bariér v pohybu. Možnosti analýz závisí na naměřených či jiným způsobem získaných údajích o objektech, které jsou zaneseny do atributových tabulek.

Další praktickou možností využití dat je tvorba síťových analýz. K takové analýze je potřeba databáze bodů bezbariérovosti a vytvořená vrstva chodníků a přechodů pro chodce, kterou je možné převést do podoby síťového grafu. Za pomoci nástroje síťové analýzy je v programu ArcGIS Desktop možné určit bezbariérové trasy. Na následujícím obrázku (obrázek č. 40) je zjišťována trasa z bezbariérově přístupného objektu do jiného objektu (počáteční a koncový bod). Trasa je vedena nejkratší bezbariérovou cestou, v přímé trase se vyskytuje bariéra. Síťová analýza umožňuje nalezení optimální cesty mezi body. Vypočtenou trasu lze dále analyzovat, například z hlediska délky, počtu úseků a podobně. V ukázkovém příkladě je trasa dlouhá 215 m a vede přes dva přechody pro chodce vybavené světelným značením. V atributové tabulce je možné dohledat také povrch a stav jednotlivých úseků.

SÍŤOVÁ ANALÝZA PRO ÚČELY BEZBARIÉROVOSTI v Hradci Králové v roce 2012



0 50 m

Nástroje síťové analýzy

- Počáteční a koncový bod
- ⊗ Neprůchozí úsek
- Výsledná trasa

Chodníky a přechody pro chodce

- Bezbariérové chodníky
- Chodníky s bariérou

Jiná možnost vstupu na chodník

- Bezbariérové vstupy
- Vstupy s pomocí

Vstupy do objektů

- Bezbariérové vstupy
- Vstupy s bariérou

Objekty na chodníku

- ▲ Nebránící v pohybu
- ▲ Bránící v pohybu

Adam DUCHAČ
v Hradci Králové 2012

Obrázek č. 40: Síťová analýza

Zdroj: vlastní zpracování

Závěr

V této diplomové práci byly popsány metody mobilního mapování, z hlediska dálkového průzkumu a byly definovány přínosy pozemního laserového mapování pro výzkum bezbariérovosti.

Komparací technologií používaných k dálkovému průzkumu byly určeny výhody laserového měření oproti ostatním způsobům. Mezi identifikované výhody patří zejména nízká závislost laserových technologií na meteorologických vlivech, vysoká přesnost takto získaných dat, vysoká rychlost sběru při relativně nízké ceně, dostupnost této technologie a možnosti následných analýz, které jsou dány podobou naměřených dat. Po zjištění výhodnosti laserových mobilních mapovacích systémů bylo přistoupeno k jejich detailnějšímu popisu, s rozdělením na letecké a pozemní způsoby získávání dat. Bylo zjištěno, že v současné době se jako lépe využitelné pro účely výzkumu bezbariérovosti jeví technologie pozemní, které umožňují vyšší prostorové rozlišení (v řádu centimetrů). Z tohoto zjištění plyne užší zaměření práce na pozemní laserové technologie. Do budoucna je však možné očekávat i nárůst role leteckých mobilních mapovacích systémů, což je dáno intenzivním vývojem laserových skenerů. Výhoda leteckých systémů spočívá zejména v lepším využití v oblastech hůře dostupných pozemními dopravními prostředky (terénní nerovnosti, místa nedostupná ze silnice a podobně).

Pozemní mobilní mapování je moderním způsobem bezkontaktního sběru dat, ke kterému dochází za pomoci laserových technologií. V práci byly popsány základní součásti pozemních mobilních mapovacích systémů. Konkrétně se jedná o LIDAR, tedy laserový 3D skener, který umožňuje sběr až desítek tisíc jednotlivých laserových odrazů za sekundu. Dalšími součástmi MMS jsou také GNSS a IMU systémy, které jsou odpovědné za získávání přesné polohy skeneru a všech součástí MMS v každý okamžik měření. Díky takové synchronizaci, která probíhá přes řídicí jednotku, je možné každému změřenému laserovému bodu přiřadit souřadnice a tím ho určit v prostoru. Poslední popsanou součástí laserových MMS je zobrazovací zařízení. Jeho primárním účelem je získávat obrazový záznam o měřeném okolí.

Data získaná pozemním mobilním mapováním jsou tvořena tzv. mračnem laserových bodů a tím jsou dány jejich specifické vlastnosti. V případě datasetu použitého v této práci, tj. body měřené v částech Hradce Králové, se jedná o vysoké množství laserových bodů o vysoké hustotě. Mezi výhody patří již zmiňovaná rychlost sběru, detailnost prostorové informace a relativně nízká pořizovací hodnota. Další výhodou laserových dat spočívá v širokých možnostech jejich aplikace. Data získaná jedním měřením zájmové oblasti jsou využitelná pro různé analýzy, které vyžadují detailní prostorové informace. Proto je možné

data, která jsou optimalizována pro využití v jedné oblasti (bezbariérovost), bez potřeby úprav a efektivně využít i v jiných oblastech (pro pasportizaci dopravního značení, zeleně, městského mobiliáře, nebo pro zjišťování technického stavu budov a tvorbu databází jiných objektů). Samotné panoramatické snímky pak lze použít například k tvorbě 3D průvodců městem. Využití jednoho datasetu je tak velmi široké.

Mimo specifických výhod existují také nevýhody laserového měření. Mezi ty podstatnější lze zařadit omezenou trasu pozemního nosiče MMS. Změřeny mohou být pouze oblasti, které jsou dostupné a viditelné. V případě měření z automobilu jsou tak data omezena na okolí silnic a jiných přístupných komunikací. Konkrétně v případě zjišťování bezbariérovosti může být problémem nezměřitelnost některých komunikací v delší vzdálenosti od silnic či jinak nedostupných (podloubí, městské parky a podobně). Tato nevýhoda může být eliminována úpravou trasy senzoru v závislosti na požadovaném výstupu. Pokud mají být data použita pro výzkum bezbariérovosti, kde největší roli hrají stezky pro chodce, je vhodné plánovat trasu právě v nejbližším okolí těchto stezek. Další nevýhodou dat získaných pozemním laserovým mapováním je existence laserových bodů z nechtěných odrazů. Tyto odrazy vznikají například pohybem ostatních automobilů v provozu či chodců na stezkách. Takové body je možné odfiltrovat, tím ovšem výrazně narůstá čas nutný pro zpracování dat i požadavky na software a kvalifikaci pracovníků.

Interpretace dat získaných laserovým mapováním je možná několika odlišnými způsoby. Data lze zobrazit jako panoramatické snímky s laserovými body, samostatná mračna laserových bodů nebo digitální výškový model vytvořený na základě těchto bodů. Různé způsoby interpretace dat mají odlišné využití při výzkumu bezbariérovosti. Pro účely výzkumu bezbariérovosti byly v práci popsány tři základní oblasti využití laserových dat. Jedná se o zjištění geometrie objektů, pasportizaci objektů a tvorbu databáze bodů bezbariérovosti.

Výzkum geometrie objektů je procesem zjišťování fyzických vlastností zkoumaných objektů, tedy jejich tvaru, povrchu, velikosti, polohy. Pro zjištění těchto a podobných vlastností je nejvýhodnější zobrazení laserových bodů spolu s panoramatickými snímky. Z programů testovaných v této práci tuto možnost nabízí software PanoramaGIS. Výhodou programu je práce v panoramatických snímcích, která významným způsobem usnadňuje práci s daty a poskytuje údaje o povrchu či druhu sledovaných objektů. Oproti tomu nevýhodou je složité měření sklonů či menších nerovností v tomto SW. V případech, kdy je nutné získat velmi detailní informace o terénních nerovnostech je vhodnější použití SW ViewPro či SW Global Mapper. Tyto programy dobře slouží k upřesnění měření. Je možné z nich získávat prostorové informace v řádech milimetrů či tvořit profil cesty z digitálního elevačního modelu.

Dalším využitím laserového mobilního mapování v bezbariérovosti je pasportizace objektů. SW PanoramaGIS umožňuje, za pomoci jednoduchých funkcí, vytvářet soupisy objektů, včetně určení jejich přesné polohy, zjištění jejich technického stavu či jiných atributů a tvorby fotodokumentace. Tyto databáze objektů je následně možné exportovat v různých formátech a použít v geografických a nebo databázových informačních systémech. Přínos pro bezbariérovost spočívá zejména v pasportizaci zájmových objektů.

Posledním popisovaným způsobem využití dat je tvorba databáze bodů bezbariérovosti. Podobně jako v případě pasportizace dochází ke sběru údajů o objektech, včetně jejich polohy. Pro účely sběru dat je nejvhodnější SW PanoramaGIS. V práci byly stanoveny entity důležité pro výzkum bezbariérovosti a došlo k jejich sběru na definovaném území v centru Hradce Králové. Z těchto entit byly následně vytvořeny výstupy za pomoci SW ArcGIS Desktop. Pro využití v bezbariérovosti mohou být výstupy z databáze bodů tvořeny například kartografickými výstupy a databáze je také možné využít k tvorbě prostorových analýz.

V práci bylo zjištěno, že využití moderní technologie laserového průzkumu je přínosné i pro oblast výzkumu bezbariérovosti. Konkrétní přínos závisí na způsobech sběru dat a na podobě následných analýz. Způsob zpracování a interpretace dat z mobilního mapování, který je definován v této práci, může být v praxi využíván jak neziskovými a ziskovými organizacemi, tak i ze strany státní správy a samosprávy. Pokud dojde k jeho implementování do stavebních schémat daných měst či obcí, vede ke zvýšení kvality života pohybově handicapovaných obyvatel. Prostor pro uplatnění existuje také v rámci procesu strategického i krátkodobého rozvoje města, kdy data získaná mobilním mapováním mohou sloužit jako podklady pro plánování a rozhodování.

Tato práce se zabývá rozvojem regionů z hlediska zlepšení podmínek pro pohybově handicapované občany a zároveň může být přínosem pro další rozvoj informačních technologií ve veřejné správě. Využití výsledků z této práce může posloužit jako návod, který umožňuje rozšíření mobilního mapování na oblast bezbariérovosti. Výhoda pro instituce spočívá zejména v nízkých nákladech a široké využitelnosti dat z mobilního mapování.

Prameny a literatura

- Applanix. *Products and Solutions for Mobile Mapping and Positioning* [online]. 2011.
- BABEY a ANGER. A compact airborne spectrographic imager (CASI). In: *Proceedings of IGARSS '89 and Canadian Symposium on Remote Sensing*, Vancouver, 1989.
- BEALE, Linda a Kenneth FIELD. Mapping for Wheelchair Users: Route Navigation in Urban Spaces. In: *The Cartographic journal*. Maney Publishing, 2006, s. 68-81. 43: 1. ISSN 0008-7041.
- BJELKA, Jan. *Návrh a realizace metody mapování okolí pro mobilní robot*. Brno: VUT 2006. Diplomová práce VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky.
- BLAHO a TOTH. Field Experiences with a Fully Digital Mobile Stereo Image Acquisition System. In: *ASPRS-ACSM Annual Convention, 1995*, s. 97-104. 4.
- Blue Marble Geographics. [online]. 2011. Dostupné z: <http://www.globalmapper.com/> (11/2011).
- BÖHM. *Ny Nationell Höjdmmodell*. Malmö, 2010.
- BRUSSOW, Derreck. *Revolution in mobile survey* [online]. 2010.
- BURTCH. Lidar Principles and Applications. In: *IMAGIN Conference*, Traverse City, 2002.
- Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). [online]. 2011. Dostupné z: <http://ccrs.nrcan.gc.ca> (09/2011).
- Center for Mapping, Ohio State University (CFM). [online]. 2011. Dostupné z: www.cfm.ohio-state.edu (09/2011).
- COOKE, LAUBSCHER, Bore. Methodology for Rapid Infrared Multi-Spectral, Electro-Optical Imaging System Performance Analysis and Synthesis. In: *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing VII*, Orlando, 1996.
- DAMRON, James J a Carlton DANIEL. TOPOGRAPHIC ENGINEERING CENTER. *Evaluating IFSAR and LIDAR Technologies Using ArcInfo: Red River Pilot Study*. U.S. Army Engineer Research and Development Center: Topographic Engineering Center, 2000.
- Department of Geoscience, Idaho state university. [online]. 2011. Dostupné z: <http://geology.isu.edu> (09/2011).
- DEYLE. *SICK LMS 291 Laser RangeFinder (LIDAR)* [online]. 2009.
- DOLANSKÝ, Tomáš. *Lidary a letecké laserové skenování*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2004, 100 s. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4575-0.
- EISENBEISS, H. The Autonomous Mini Helicopter: A powerful Platform for Mobile Mapping. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, China, 2008, s. 977-983. XXXVII: B1.

- ESRI. [online]. 2011. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/index.html> (11/2011).
- FILIPIOVÁ, Daniela. *Život bez bariér: projekty a rekonstrukce*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1998, 101 s. ISBN 80-716-9233-6.
- FILIPIOVÁ, Daniela. *Projektujeme bez bariér*. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2002, 101 s. ISBN 80-865-5218-7.
- GAGNON, Patrick, Herbert T. RIPLEY a William JONES. *Synoptic Mapping of Shallow, Marine, Coastal Communities Using Airborne Hyperspectral Sensors: Technical Aspects, Operational Approaches, and Proven Applications*. [online]. Concepción, 2004.
- GAJDAMOWICZ, ÖHMAN a HOREMUZ. Mapping and 3D Modelling of Urban Environment Based on Lidar, GPS/IMU and Image Data. In: *The 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology*, Padua, 2007.
- Geodis Brno. *Manuál k aplikaci PanoramaGIS*. 2011.
- General Assembly UN. Principles relating to remote sensing of the Earth from space. In: *A/RES/41/65*. United Nations, 1986.
- GROOM. *ARSF LIDAR Post-processing* [online]. 2009.
- HAALA et. al. Mobile Lidar Mapping for 3D Point Cloud Collection in Urban Areas: A Performance Test. In: *XXIst ISPRS Congress*, Beijing, 2008.
- HABIB et. al. Integration of Lidar and Photogrammetry for Close Range Applications. In: *ISPRS Geolmagery Bridging Continents*, Istanbul, 2004.
- HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA. *Dálkový průzkum Země*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 192 s. ISBN 80-010-3124-1.
- HANSEN, By Ramon F. *Radar interferometry: data interpretation and error analysis*. Dordrecht: Springer, 2010. ISBN 978-904-8156-962.
- HARDING et. al. The Swath Imaging Multi-polarization Photon-counting Lidar (SIMPL): A Pathfinder for the LIDAR Surface Topography (LIST) Mission. In: *American Geophysical Union 2007*, San Francisco, 2007.
- HARIHARAN, P. *Basics of interferometry*. 2nd ed. Boston: Elsevier Academic Press, c2007, 226 s. ISBN 978-012-3735-898.
- HILL, Joachim a Jacques MÉGIER. *Imaging spectrometry, a tool for environmental observations*. Boston: Kluwer Academic, c1994, 335 s. ISBN 07-923-2965-1.
- HU, Qingwu, Zhiyong CHEN a Sheng GUO. Road Facility Investigation Based on Mobile Mapping System. In: *2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Igarss 2008)*. IEEE, 2009. ISSN 978-1-4244-2807-6.
- Intermap Solutions. Orthorectified radar image. [online]. Denver, Intermap, 2011.

- KING. Inertial Navigation: Forty Years of Evolution. In: *Gec Review*. 1998, s. 140-149.
- KOVALEV, Vladimir A a William E EICHINGER. *Elastic lidar: theory, practice, and analysis methods*. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2004, 615 s. ISBN 04-712-0171-5.
- KVH Industries, Inc. [online]. 2011. Dostupné z: www.kvh.com (09/2011).
- LI. Mobile Mapping: An Emerging Technology for Spatial Data Acquisition. In: DODGE, Martin, Rob KITCHIN a C PERKINS. *The map reader: theories of mapping practice and cartographic representation* [online]. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2011. ISBN 978-0470742839.
- LI, Xiaopeng, Bruce BAKER a Thomas HUTT. Accuracy of Airborne IFSAR Mapping. In: *GIS Vision Magazine*. Ontario, Canada: Intermap Technologies Corp., 2002.
- Listina základních práv evropské unie. In: *Úřední věstník EU*. EU, 2010, 2010/C.
- MATHER, Paul M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2011, 434 s. ISBN 04-707-4238-0.
- Magistrát města Hradce Králové [online]. 2011. Dostupné z: www.hradeckralove.org (12/2011).
- MÄTZLER, C. *Thermal microwave radiation: applications for remote sensing*. London: Institution of Engineering and Technology, 2006, 555 s. ISBN 08-634-1573-3.
- NASA. 2011. [online]. Dostupné z: www.nasa.gov (09/2011).
- Natural Environment Research Council (NERC) [online]. Dostupné z: www.nerc.ac.uk
- Navteq. NAVTEQ Launches Advanced Mapping Collection Technology: NAVTEQ True™ Innovates The Integration of Data And Imagery." *Products News Network*, January 13, 2010.
- NEX a RINAUDO. Digital Photogrammetry and Lidar: New Ideas for Cultural Heritage Metric Surveys. In: *Proceedings of the Symposium Photogrammetric and Remote Sensing Systems for Data Processing and Analysis*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2009. ISSN 0256-1840.
- PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 247 s. ISBN 80-708-2972-9.
- PAVELKA. *Možnosti monitorování stavu a změn v okolí hlavních komunikací metodami dálkového průzkumu Země a laserového skenování a jejich využití pro realizaci udržitelného rozvoje dopravy*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011.
- PETERSEN, Yvonne Morville a Helén Burman ROST. Swedish Lidar Project: New Nationwide Elevation Model. In: *GIM International*. 2011. 25: 2.
- PETRIE, Gordon. An Introduction to the Technology Mobile Mapping Systems. In: *Media*. CMedia B.V, 2010, s. 32-43. 13.
- Picard et picard [online]. 2011. Dostupné z: www.picardetpicard.com/cartographie (10/2011).

- PIKHARTOVÁ, Lucie. Využití mobilního prostředku laserového skenování v projektu dokumentace dálnice D11. *Juniorstav 2009: 11. odborná konference doktorského studia: VUT v Brně, Fakulta stavební*. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2009. ISSN 978-80-214-3810-1.
- Pointools [online]. 2011. Dostupné z: http://www.pointools.com/ptview_intro.php (11/2011).
- RUTZINGER, ELBERINK a VOSSelman. Automatic Extraction of Vertical Walls from Mobile and Airborne Laser Scanning Data. In: *Proceedings of Laser scanning '09*. Paris, France: ISPRS, 2009, s. 7-11. 38: 3, W8.
- RYERSON, Robert A. *Manual of remote sensing*. 3rd. ed. New York: J. Wiley, c1998-c2006. ISBN 04712940553.
- SCHOWENGERDT, Robert A. *Remote sensing, models, and methods for image processing*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, c1997, 522 s. ISBN 01-262-8981-6.
- SHIPLEY, Ken. Components of Mobile LiDAR. *Topo Scanner: Positioning Technology for Surveying, GIS and Mapping* [online]. 2009
- Sick. *Technical description: LMS 200/ LMS 211/ LMS 220/ LMS 221/ LMS 291, Laser Measurement Systems*. Reute: Sick, 2005.
- SUKUP. Mobile Mapping: Accurate Enough for Urban Areas. In: *GIM International*. 2010a. 24: 6.
- SUKUP. Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi. *Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií* [online]. 2010b, s. 49-67.
- SVATOŇOVÁ, Hana a Lubomír LAUERMANN. *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-802-1051-621.
- TAO, C a Jonathan LI. *Advances in mobile mapping technology*. New York: Taylor, c2007, 176 s. ISBN 978-020-3961-872.
- Topcon. *IP-S2 (integrated positioning system) 3D Mobile mapping system*. 2011.
- TOTH, Charles R. *R&D of Mobile Lidar Mapping and Future Trends*. Příspěvek přednesený na konferenci: ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, 2009.
- Universidad de Concepción: Center for Oceanographic Research. [online]. 2011. Dostupné z: www.copas.cl/eng/
- URMSON, Chris et al. Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics* [online]. 2008, roč. 25, č. 8, s. 425-466. ISSN 15564959. DOI: 10.1002/rob.20255.
- VELODYNE. *Product brochure Velodyne HDL-64*. Morgan Hill: Velodyne Lidar, 2008.
- Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. In: *Sb. 398/2009*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1: Vlnové délky EM záření	13
Obrázek č. 2: Panchromatický snímek získaný systémem MEIS	21
Obrázek č. 3: Snímek pobřeží získaný systémem CASI	22
Obrázek č. 4: Způsoby využití systému IFSAR	23
Obrázek č. 5: Mračno laserových bodů získaných systémem LIDAR	24
Obrázek č. 6: Systémy laserového mobilního mapování	25
Obrázek č. 7: Vícenásobný odraz laserového paprsku	26
Obrázek č. 8: Laserový skener Velodyne HDL-64	28
Obrázek č. 9: Laserový skener Streetmapper	30
Obrázek č. 10: Vlevo - skener Sick LMS 291, vpravo - vějířovitý vzor naměřených bodů	31
Obrázek č. 11: Princip určování polohy jednotlivých bodů	32
Obrázek č. 12: Mobilní mapovací systém Sick se zvýrazněným GNSS přijímačem	34
Obrázek č. 13: Mobilní mapovací systém Sick se zvýrazněnou IMU	36
Obrázek č. 14: Vlevo - Ladybug3, vpravo - Dodeca 2360	37
Obrázek č. 15: Srovnání nového modelu terénu a předchozího modelu terénu, stejné území	39
Obrázek č. 16: Klasifikace laserových bodů na základě intenzity odrazu a výškové členitosti	40
Obrázek č. 17: Možnosti využití naměřených dat	41
Obrázek č. 18: Základní konfigurace IP-S2 Topcon	42
Obrázek č. 19: Prostředí aplikace PanoramaGIS	44
Obrázek č. 20: Prostředí aplikace Pointools View 1.8 Pro	45
Obrázek č. 21: Prostředí aplikace Global Mapper 13	47
Obrázek č. 22: Modul Pointools pro Google SketchUp 8	48
Obrázek č. 23: Měření vzdálenosti v SW PanoramaGIS	50
Obrázek č. 24: Funkce "mesh" v SW PanoramaGIS	51
Obrázek č. 25: Vymezení objektu v SW PanoramaGIS	51

Obrázek č. 26: Zjišťování geometrie v SW ArcGIS Desktop	52
Obrázek č. 27: Zjišťování geometrie v SW Pointools View 1.8 Pro	53
Obrázek č. 28: Digitální elevační model v SW Global Mapper.....	54
Obrázek č. 29: Zjišťování geometrie v SW Global Mapper 13	55
Obrázek č. 30: Tvorba modelu v SW SketchUp 8 s pluginem View Pro	56
Obrázek č. 31: Výsledný model přechodu pro chodce	57
Obrázek č. 32: Pasportizace dopravního značení	58
Obrázek č. 33: Atributová tabulka inventarizovaných objektů.....	59
Obrázek č. 34: Fotodokumentace inventarizovaných objektů	59
Obrázek č. 35: Tvorba databáze bezbariérovosti - bariéra a chodník	62
Obrázek č. 36: Tvorba databáze bezbariérovosti - vstup do objektu	63
Obrázek č. 37: Tvorba databáze bezbariérovosti - parkovací místo pro invalidy.....	64
Obrázek č. 38: Mapový výstup - bezbariérovost v centru HK.....	65
Obrázek č. 39: Mapový výstup - bariéry v centru HK.....	66
Obrázek č. 40: Síťová analýza.....	68
Tabulka č. 1: Vybrané technické požadavky pro bezbariérovost veřejných prostor.....	9
Tabulka č. 2: Srovnání systémů IFSAR a LIDAR	25
Tabulka č. 3: Odrazivost vybraných materiálů.....	31
Tabulka č. 4: Ukázka záznamu dat z pozemního mobilního mapování, metoda ASCII, 4 laserové body.....	38
Tabulka č. 5: Entity a atributy pro výzkum bezbariérovosti	60

Seznam příloh

Příloha č. 1: Specifikace použitého MMS	1
Příloha č. 2: Fotografie přechodu.....	2
Příloha č. 3: Fotografie z místa sběru dat (Hradec Králové).....	3

Příloha č. 1: Specifikace použitého MMS

GNSS COMPONENT	
Channels	40 channels, all-in-view, L1 GPS, L1/L2 GPS, L1/L2 GLONASS, L1/L2 GPS + L1/L2 GLONASS, WAAS
Low signal tracking	Down to 30 dBHz
Cold / warm start	< 60 sec / < 10 sec
Reacquisition	< 1 sec
Vibration	Up to 30 g's of dynamic
Advanced firmware function	Multipath Mitigation, Co-Op Tracking
Real time position & raw data	Up to 20 Hz update rate
RTCM SC104 v2.1 and 2.2	Input /Output
NMEA 0183 v2.1, 2.2, 2.3 & 3.0	Output
IMU	
Data rate	100 Hz
Gyro bias/drift rate	1°/hr
POWER	
Input supply voltage	9V to 28V
PHYSICAL	
Size / weight	20 cm x 23 cm x 11 cm / 3.6 kg
ENVIRONMENTAL	
Temperature operating storage	-30° to +60°C -45° to +80°C
I/O PORTS	
CAN Bus	OBDII - MOLEX-9 Pin
Encoder	TTL quadrature input
Ethernet	100 Base-T
USB 2.0	Host input /output
RS-232-/422	Up to 2 Mb/s
High-speed digital I/O (x4)	LVDS 400 Mb/s
LASER SCANNER	
Scanning angle/angular resolution	180°/1° Angular Resolution - option side looking 2 x 90°/0.5° Angular Resolution - option back looking 1 x
Typically measurement accuracy	± 45 mm
Typical range	30 m
Date rate	75 Hz via Ethernet
SPHERICAL DIGITAL CAMERA	
Image sensor	Sony 2.0 MP 1/18" ICX274
Max resolution	1600x1200 (HxV)
Frame rate (max resolution)	15 FPS JPEG compressed
Optics	Six high quality 3,3 mm focal length microlenses
Panorama stitching resolution	5400x2700

Zdroj: Topcon 2011

Příloha č. 2: Fotografie přechodu



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha č. 3: Fotografie z místa sběru dat (Hradec Králové)



Zdroj: Magistrát města HK