

ZKUŠENOSTI S MĚŘENÍM SILNIČNÍCH STAVEB POMOCÍ SKENOVACÍHO VOZIDLA

EXPERIENCES IN MEASURING ROADS USING A SCANNING VEHICLE

Petr Jašek¹, Ondřej Grešla²

Abstrakt

Tato práce se zabývá výškovou přesností mobilního mapovacího systému Riegl VMX-2HA. V rámci práce byl pomocí daného systému, který je používán firmou Geodetická kancelář Nedoma & Řezník, s.r.o., metodou multinájezdu naskenován povrch dálnice D11 v úseku 101,1-101,3 (směr Jaroměř) ve dvou termínech. Kontrolní měření proběhlo multistanicí Leica NOVA MS50, kterou bylo na místě změřeno 83 bodů povrchu v pravidelném rozmístění, s připojením na mikrosít přilehlého stavebního objektu.

Abstract

This thesis aims to deal with height accuracy of the Riegl VMX-2HA mobile mapping system. As part of the work, the surface of the D11 highway in the section 101.1-101.3 (direction Jaroměř) was scanned using multi-time-around method in two terms, by the given system, which is used by the company Geodetická Kancelář Nedoma & Řezník, s.r.o. The control measurement was carried out by the Leica NOVA MS50 multi-station, which measured 83 surface points in a regular raster, with a connection to the micro-network of the adjacent building object.

1 Úvod

Získávání dat pomocí mobilního mapovacího systému se ve světě díky rychlosti sběru prostorových dat ze země stává stále rychleji nedílnou součástí metod pro sběr geodat. Systém má mnoho výhod také v různých možnostech nosičů. Kromě osobního automobilu, ke kterému se váže následující práce, to mohou být také vlak či loď, uvažujeme-li o pozemním sběru dat.

¹ Jašek Petr, Ing., PhD., Plukovníka Mráze 1425/1, Praha 10, tel.: +420 274 772 312, e-mail: jasek@nedomareznik.cz

² Grešla Ondřej, Bc., Plukovníka Mráze 1425/1, Praha 10, tel.: +420 274 772 312, e-mail: gresla@nedomareznik.cz

Neopomíjenou vlastností mobilního mapování je také zvýšení bezpečnosti pro měřiče, který se téměř nemusí jakožto pěší účastník provozu.

Historicky prvním systémem byl GPSVan vyvinutý začátkem devadesátých let v CFM (Center for Mapping) na Ohio State University. Absolutní přesnost za použití kódových měření byla kolem 1-3 m. Systém byl schopen sbírat pouze data o poloze z GPS antény a snímky z kamery. O tyto systémy nejevil zpočátku mapovací průmysl zájem. S postupem času vzrostla poptávka natolik, že byl uspíšen jejich vývoj, kterým jsme se dostali až k současným Light Detection And Ranging (LiDAR) systémům, které lze doplňovat o další senzory a jejich přesnost se pohybuje v řádech centimetrů.

Mobilní mapovací systémy (MMS) se využívají například pro mapování dopravní infrastruktury, měření povrchu komunikací, modelování měst, zaměřování povrchových dolů, stavenišť a sypkých materiálů, nebo GIS mapování a jejich správu. Konkrétním příkladem může být současná tvorba digitální technické mapy, pro kterou je mapování mobilními systémy hlavní měřičskou metodou.

Dle výrobce Leica Geosystems [1] lze s mobilními systémy při předpokládané přesnosti 1 cm docílit na odpovídajících zakázkách v porovnání s klasickými metodami:



Obrázek 1: Srovnání mobilního mapování s klasickými metodami [1]

2 Skenovací systém a pořízení dat

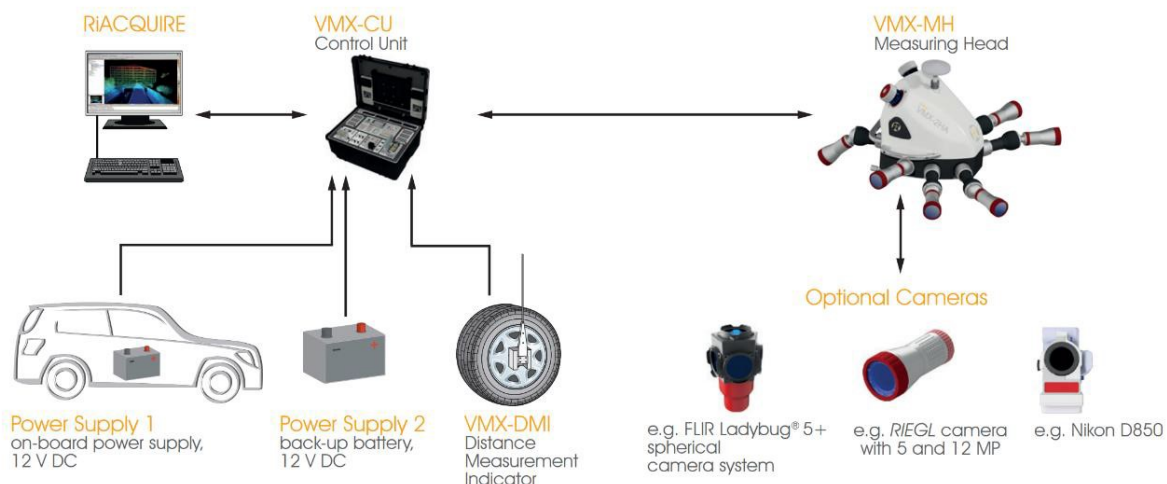
V následující kapitole bude popsán samotný systém a pořízení skenovaných dat.

2.1 Riegl VMX-2HA

Základní charakteristiky tohoto systému jsou, že je osazen dvěma skenery VUX-1HA, s frekvencí až 1 MHz (každý), které pořídí 500 profilů (skenů) za sekundu. Přístroj je tak schopen pořizovat 2 mil bodů za sekundu, čímž spolu s možností připojit až devět kamer, schopností provozu v dálničních rychlostech a přesnou GNSS/IMU AP60 (POS/LV610) tvoří jeden z nejvyspělejších skenerů současné doby. Přesnost skenerů 5 mm je míra shody měřené veličiny s její skutečnou hodnotou. Preciznost 3 mm, nazývaná

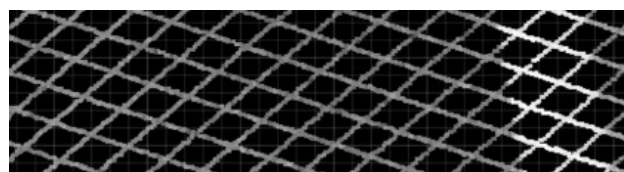
také opakovatelnost, je míra, do které další měření ukazuje stejný výsledek. [2],[3]

Napájen je systém z palubní a externí 12V baterie, které jsou spolu s odometrem, ovládací jednotkou a senzorovou hlavou připojeny k řídicí jednotce. Řídicí jednotkou rozumíme výkonný PC s vyjímatelným úložištěm velikosti 6 TB.



Obrázek 2: Složení systému Riegl VMX-2HA [2]

Skenery, kterými je osazena senzorová hlava, jsou vůči sobě natočené o 70° v horizontálním směru a s vodorovnou osou svírají úhel 39°. Díky jejich natočení je redukováno množství stínů ve výsledném mračnu, ve kterém je z bodů vidět kosočtvercový vzorek skenování. Každý skener vytváří řádky bodů, které můžeme díky rychlosti otáčení rozmítače považovat za rovnoběžné, překrytím řádek z obou natočených skenerů tak vzniká kosočtvercová síť.



Obrázek 3: Skenovaný vzorek [RiPROCESS]

Vzdálenost linií můžeme mimo nastavení regulovat také rychlostí pohybu vozidla, vzdálenost jednotlivých bodů v linii pak závisí na vzdálenosti od skeneru a nastavené frekvenci skeneru, na rychlosti pohybu vozidla je nezávislá.

1 MHz program		vzdálenost od sensorové hlavy					
		3 m		10 m		50 m	
rychlost vozidla	řádkování jednoho skeneru [mm]	rozestup bodů v jedné linii [mm]	hustota bodů z obou skenerů [bodů/m ²]	rozestup bodů v jedné linii [mm]	hustota bodů z obou skenerů [bodů/m ²]	rozestup bodů v jedné linii [mm]	hustota bodů z obou skenerů [bodů/m ²]
50 km/h	56	44746	7640	44757	2300	78.5	458
80 km/h	89	44746	4774	44757	1432	78.5	286
120 km/h	133	44746	3184	44757	954	78.5	190

Tabulka 1: Vlastnosti mračna v závislosti na rychlosti vozidla a vzdálenosti od MMS [2]

2.2 Pořízení a zpracování dat

Po zapojení systému a nastartování vozidla může dojít ke spuštění systému pomocí řídicí jednotky (nákladový prostor). Následně je na ovládací jednotce (z místa spolujezdce) založen projekt, ve kterém operátor nastavuje mj. frekvenci skenování a délkový, případně časový interval, po kterém dochází k pořizování snímků z připojených kamer.

Při spuštění INS/GNSS musí vždy před i po dokončení sběru dat proběhnout samokalibrace tohoto systému. Ta se provádí 5 minut rychlou statickou metodou na místě s výbornými observačními podmínkami, během kterých nesmí docházet k žádným pohybům vozidla, a následující dynamickou částí, kdy se s vozidlem pohybuje v různých směrech se střídavým zpomalováním a zrychlováním a projížděním zatáček v odpovídajících rychlostech. Dynamická část trvá v závislosti na observačních podmínkách 10-15 min.

Při vjezdu do zájmové oblasti je operátorem spuštěno ukládání pořizovaných dat a následuje vícenásobný průjezd zájmovou oblastí v závislosti na hustotě provozu.

Po ukončení sběru dat je provedena zmíněná samokalibrace v opačném pořadí a další práce probíhají v kanceláři. Z INS/GNSS a vygenerované virtuální referenční stanice je vypočtena post-procesní trajektorie, která je urovnávána v dalším kroku spolu s mračnem bodů, například na vlíčovací body (VB), případně dle oblastí s multinájezdou (Multi-Time-Around = MTA), tzn. mračna z opakovaných nájezdů jsou slícována k sobě.

Hustota VB závisí na observačních podmínkách a požadované přesnosti.

Mračno může být mj. dále klasifikováno, případně obarveno pomocí snímků ze sférické kamery.

3 Experimentální testování výškové přesnosti

3.1 Apriorní rozbor přesnosti

Pro stanovení, zda metoda mobilního skenování splňuje přesnost pro zaměření výšek finálního povrchu SMA, byla vypočtena požadovaná směrodatná odchylka ve výšce vycházející z konkrétního KZP pro daný úsek D1106 pro objekt SO 102.

Dle KZP: - Odchylky výšek = max. $\pm 10\text{mm}$

Mezní odchylka: $\delta_{TM} = 10\text{mm}$

Směrodatná odchylka: $\sigma = \frac{\delta_{TM}}{u_p} = 5\text{ mm}$

Při úvaze, že vztažným měřením je měření totální stanice se směrodatnou odchylkou určení výšky $\sigma_{ST} = 3\text{ mm}$, vyplývá, že směrodatná odchylka výšky určené pomocí mobilního mapování σ_{MMS} může nabýt hodnoty 4 mm.

3.2 Testovací oblast

Pro testování přesnosti systému byla vybrána 200m část liniové novostavby D11 1106 – Hradec Králové – Smiřice, v Královéhradeckém kraji, v okolí SO 225 (most na silnici III/32531 v km 101,198). Konkrétně se jednalo o asfaltový koberec mastixový (Stone Mastic Asphalt - SMA) ve staničení 101,1-101,3, pouze směr Jaroměř. Zájmová oblast byla mobilním systémem naskenována dvakrát, s pětiměsíčním odstupem. Během doby mezi prvním a druhým nájezdem bylo v dané oblasti vyznačeno vodorovné dopravní značení, které znemožnilo použití stejných vlíčovacích bodů pro oba nájezdy.

Z prvního nájezdu, ke kterému došlo pár dní po položení SMA povrchu, 25. 6. 2021 uvažujeme dále dvě mračna – první je urovnané na identické body zaměřené z dálniční ZVS (mračno 6), u druhého pak došlo k následnému urovnání podle MTA zón (mračno 5) pro celou skenovanou oblast, kde naše zájmová oblast je pouze jejím výřezem. Během prvního nájezdu byl povrch mokrý, došlo proto k odstranění velkého množství bodů během výpočtů.

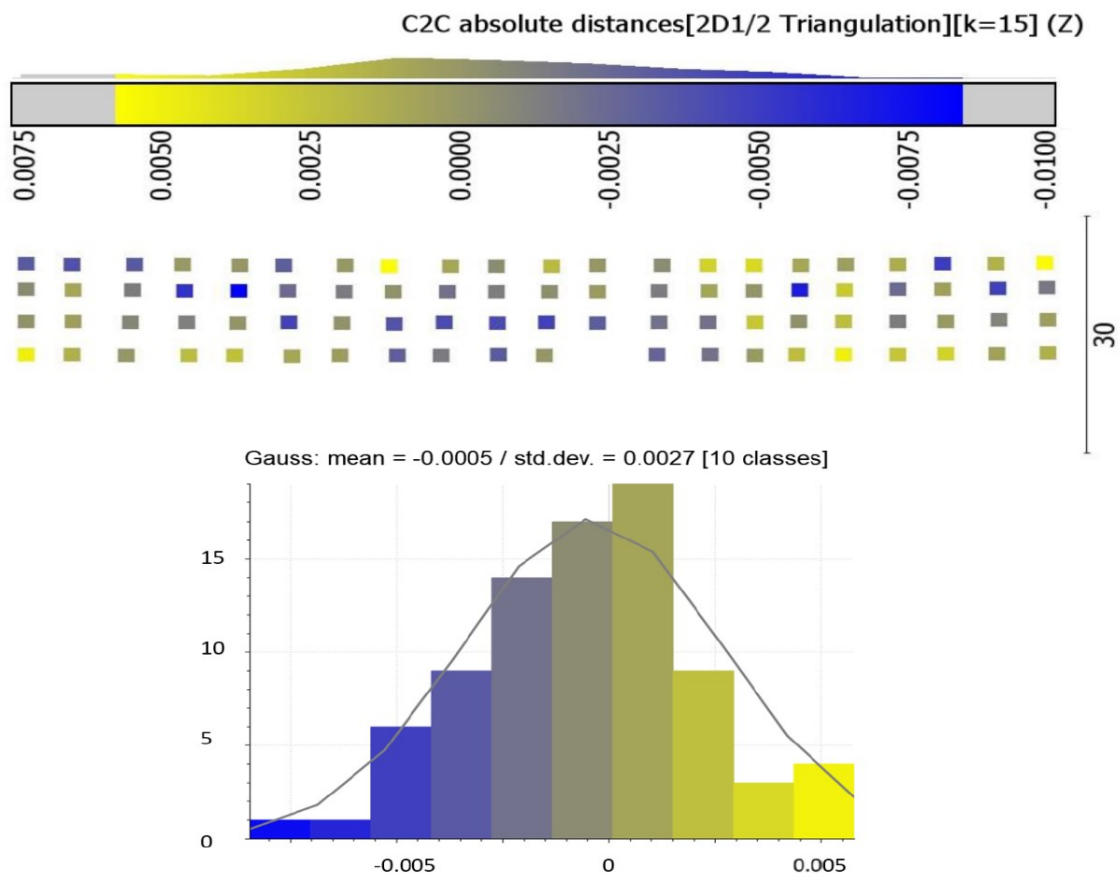
Druhý nájezd byl proveden 17. 11. 2021 a uvažujeme z něj tři mračna – první je bez všech urovnání – pouze z PP trajektorie (mračno 2). U druhého byly vzájemně urovnány MTA zóny (mračno 3) a u třetího došlo následně k nalícování na identické body zaměřené z mikrosítě (mračno 4).

Rastr 83 bodů z terestrického měření MS50 (mračno 1) vychází také z již zmíněné mikrosítě.

Mračno 1 s mračenem	Nájezd, popis	Průměrná odchylka [m]	Směrodatná odchylka [m]	RMS _e [m]
2	2, neurovnáno	0.0167	0.0098	0.0194
3	2, urovnáno dle MTA	0.0047	0.0031	0.0056
4	2, urovnáno dle MTA, poté VB	-0.0005	0.0027	0.0028
5	1, urovnáno na VB, poté MTA	0.0023	0.0031	0.0039
6	1, urovnáno na VB	0.0041	0.0059	0.0072

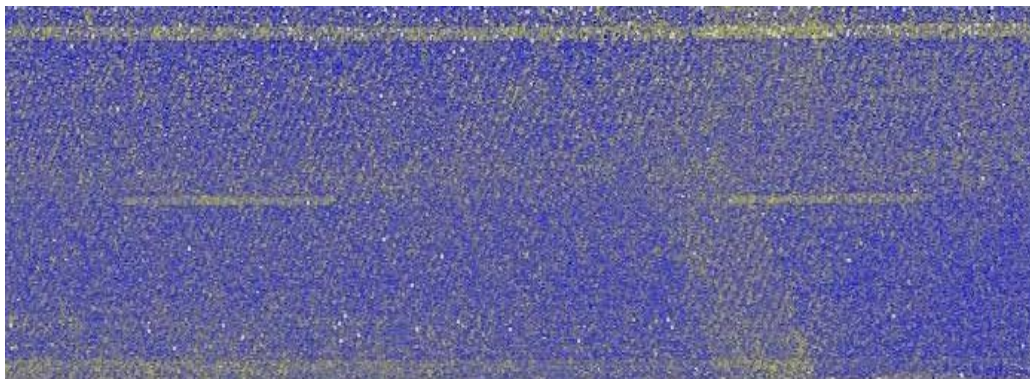
Tabulka 2: Popis mračen bodů

Porovnání dvou mračen, z nichž to hustší bylo vždy referenčním, probíhalo metodou 2.5D triangulace, která z referenčního mračna vybere (k) nejbližších bodů k bodům porovnávaným. Z těchto bodů vytvoří nepravidelnou trojúhelníkovou síť (Triangulated Irregular Network - TIN), ke které poté spočítá výškové odchylky, které lze zobrazovat do histogramů a grafů. V následujícím grafu je zobrazeno porovnání vztažného mračna č. 1 (MS50) a mračna č. 4.



Obrázek 4: Porovnání mračna 1 a 4 [m]

Do porovnání dvou nájezdů uvažujeme předpokládané nejpřesnější mračno pro každý nájezd, tedy mračna 4 a 5. V grafickém výstupu (obrázek 3) z porovnání lze pozorovat vodorovné dopravní značení, které při prvním nájezdu na SMA povrchu ještě nebylo vyznačené.



Obrázek 5: Grafický výstup z porovnání mračen 4 a 5

Nejvíce se mračnu z terestrického měření přibližuje mračno 4, nejméně mračno 2, které je však bez všech urovnání. Ve výsledcích porovnání terestrického měření s mračny 4 a 5, tedy nejpřesnějšími mračny dvou nezávislých nájezdů, pozorujeme rozdíl 1,1 mm, který může být způsobený mírnou nehomogenitou ZVS a mikrosítě, případně rozšířenou oblastí uvažovanou pro urovnání v mračnu 5.

Z této části porovnávání v programu CloudCompare byly vypočteny průměrné kvadratické odchylky uvedené v následující tabulce (Tabulka 4). [4] Z těchto hodnot vidíme postupné zpřesňování výsledků jednotlivými urovnáními pro oba nájezdy přibližně stejnou měrou.

Mračno 1 s mračnem	Nájezd, popis	Průměrná odchylka [m]	Směrodatná odchylka [m]	RMS _e [m]
2	2, neurovnáno	0.0167	0.0098	0.0194
3	2, urovnáno dle MTA	0.0047	0.0031	0.0056
4	2, urovnáno dle MTA, poté VB	-0.0005	0.0027	0.0028
6	1, urovnáno na VB	0.0041	0.0059	0.0072
5	1, urovnáno na VB, poté MTA	0.0023	0.0031	0.0039

Tabulka 3: Výsledky porovnání jednotlivých mračen z MMS s terestrickým měřením

V rámci výzkumu bylo provedeno testování rozdílného postupu urovnání na stejném výchozím mračnu z dat pořízených 17. 11. 2021.

Z výsledků můžeme vyvodit závěr, že je vhodnější urovnávat nejprve podle MTA zón a až poté na VB.

4 Závěr

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že data pořízená mobilní mapovací jednotkou s využitím správně zvoleného postupu výpočtu a dostatečně hustou sítí vlíčovacích bodů lze využít také ke kontrole obrusných vrstev silničních staveb. Výhodou této metody je, že získáme komplexní představu o provedení konstrukční vrstvy. Ze získaných dat výškové přesnosti je také patrné, že velmi dobrých výsledků pro běžné mapovací práce ve dosahuje také nájezd č. 2, který je umístěn pouze na INS/GNSS a urovnán pomocí MTA.

Literatura

- [1] GEFOS Leica: Leica PEGASUS:TWO Ultimate [online]. [cit. 2022-5-8]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/data/original/skenery/mobilni-mapovani/two-ultimate/leica-pegasustwoultimate-ds-871011-0118-en-lr.pdf>
- [2] Riegl VMX-2HA: BROCHURE [online]. [cit. 2022-5-8]. Dostupné z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VMX-2HA_brochure_2021-09-15.pdf
- [3] ČSN ISO 5725-1: Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření – Část 1: Obecné zásady a definice. Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [4] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

Lektoroval: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

(ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie)