

EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠTĚNÍ VLIVU VOLBY VLÍCOVACÍCH BODŮ MOBILNÍHO MAPOVÁNÍ VE ŠPATNÝCH PODMÍNKÁCH

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF CHOOSING THE POINTS FOR MOBILE MAPPING IN POOR CONDITIONS

Ondřej Grešla¹, Petr Jašek²

Abstrakt

Tento článek se zabývá vlivem rozmístění a počtu užitých vlíčovacích bodů (VLB) na výškovou přesnost mračna bodů v rozdílných podmínkách, kterými jsou hustý les s ostrou zatáčkou, město s vysokou zástavbou a oblast s ideálními podmínkami – rovinatá pláň bez rušivých vlivů. Pro tento experiment byl vybrán úsek silnice I/25 z Jáchymova na Boží Dar, kde bylo vytvořeno a terestricky zaměřeno testovací pole šachovnicových VLB. Pro pořízení dat byl vybrán mobilní mapovací systém Riegl VMX-2HA ve vlastnictví Geodetické kanceláře Nedoma & Řezník, s.r.o. Testování přesnosti bylo provedeno v programu CloudCompare, kde byla mračna porovnávána 2D1/2 triangulací.

Abstract

This article deals with the effect of the number and distribution of tie points on the height accuracy of point clouds in different conditions, including dense forest with a sharp turn, a city with high buildings, and an area with ideal conditions - a flat plain without distractions. For this experiment, a section of the I/25 road from Jáchymov to Boží Dar was selected, where test fields of checkerboards were created and terrestrially measured. Data acquisition was performed using the Riegl VMX-2HA mobile mapping system owned by Geodetická kancelář Nedoma & Řezník, s.r.o. Accuracy testing was carried out in the CloudCompare program, where pointclouds were compared using 2D1/2 triangulation.

¹ Grešla Ondřej, Bc., GK Nedoma & Řezník, Plukovníka Mráze 1425/1, Praha 10, tel.: +420 274 772 312, e-mail: o.gresla@gmail.com

e-mail: gresla@nedomareznik.cz

² Jašek Petr, Ing., Ph.D., GK Nedoma & Řezník, Plukovníka Mráze 1425/1, Praha 10, tel.: +420 274 772 312, e-mail: jasek@nedomareznik.cz

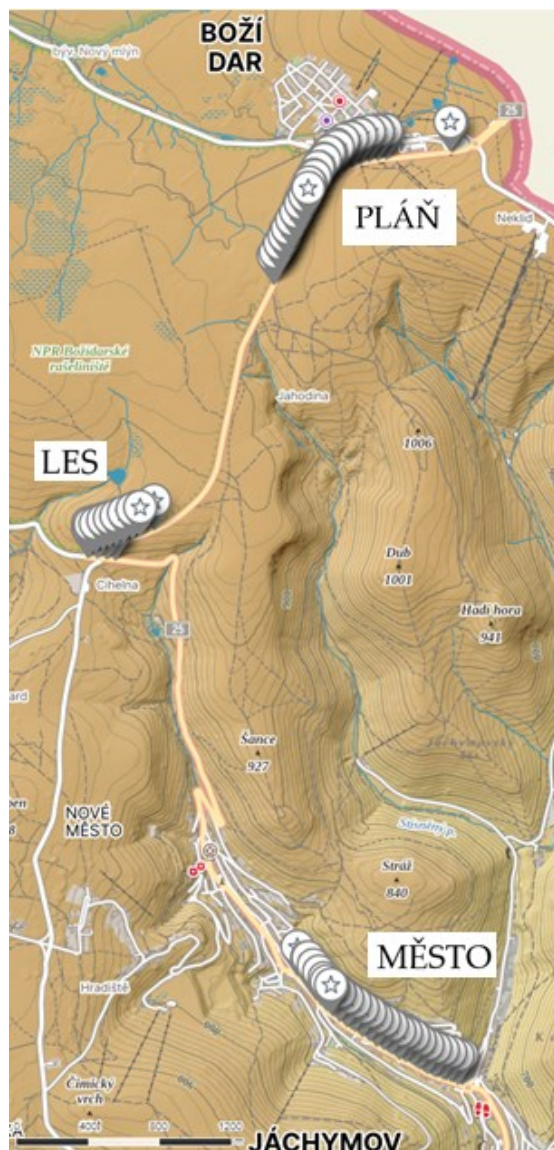
1 Úvod

Mobilní mapování je díky jeho výhodám v posledních letech nejpoužívanější metodou pro hromadný sběr dat zejména pro následnou tvorbu digitální technické mapy (DTM). Otázkou je, v jakém intervalu, a zda vůbec, je nutné umísťovat vlíčovací body pro získání výsledků s odpovídající výškovou přesností, která je v surových datech téměř o řád horší, než přesnost polohová. [1]

Pro zodpovězení této otázky byly na silnici I/25 vybrány tři úseky s extrémními podmínkami, které mohou během mobilního mapování nastat. Na těchto úsecích byla vytvořena testovací pole tvořená šachovnicovými VLB v intervalu 25 – 50 m. V praxi se interval VLB pohybuje v rozmezí 250–600 m. Kratší je interval v lesích a husté zástavbě, oproti tomu delší je v otevřené krajině, kde jsou GNSS podmínky optimálnější.

Testována byla mračna získaná výpočtem s volbou různého počtu a umístění VLB, a to pro každý úsek zvlášť. Jako referenční bylo použito mračno se zahrnutím všech VLB do vyrovnání. Porovnávány jsou pak mračna s různým počtem a umístěním VLB.

Plánovanou délku testovacích polí zkrátilo frézování povrchu, které zasáhlo oblast LES a odfrézováním zanikla více jak polovina VLB. Les je tedy nejkratším testovaným úsekem a měří necelých 600 m. Ostatní testované úseky, kterými je PLÁŇ a MĚSTO, mají přes 1 km (Obr. 1).



Obr. 1

2 Terénní práce

Ve třech zájmových úsecích silnice I/25 byly na vozovku signalizovány vodorovné šachovnicové VLB v intervalu 50 m v profilech za vodící čarou, dle podmínek případně po 25 m střídavě v jízdních pruzích. V oblasti Město bylo signalizováno 47 VLB, v Lese 24 VLB a na Pláni 44 VLB. Signalizace, zaměření GNSS a polární měření trvalo 8 dní. Dvojí multinájezd zájmové oblasti byl proveden na Velikonoční pondělí pro očekávaný snížený provoz a tím potlačení šumu v mračnech.

2.1 Terestrické měření

Testovací pole byla zaměřena GNSS aparaturou Trimble R12i RTK metodou s dobou observace 20 s. V intravilánu a v lese, tedy v místech s neoptimálními podmínkami pro měření GNSS, byla síť VLB zaměřena také polárně, půlvteřinovou totální stanicí Leica TS60 a souřadnice byly vyrovnány v programu Gama. [2] Výšky všech bodů byly určeny trigonometrickou nivelací s připojením na státní výškové bodové pole.

2.2 Mobilní mapování

Duálním mobilním skenerem Riegl VMX-2HA byl proveden multinájezd (Multi-Time-Around = MTA) zájmové oblasti. Proces se skládal z obvyklých kroků, kterými jsou:

- Samokalibrace inerciálního systému (statická, dynamická)
- Multinájezd zájmové oblasti (v rychlosti 50 km/h)
- Samokalibrace inerciálního systému (dynamická, statická).

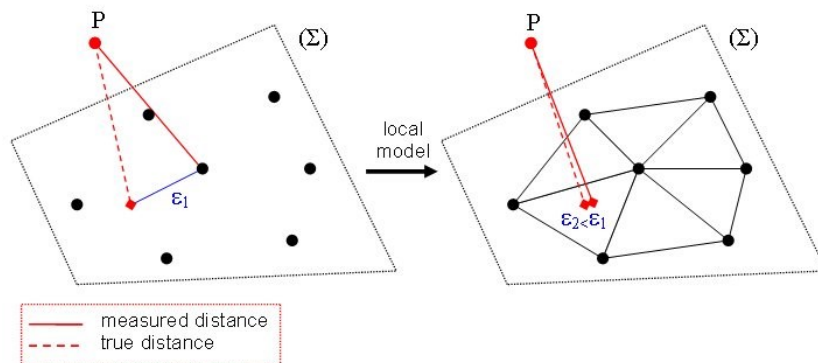
3 Výpočty

Stěžejním výstupem mobilního mapování je mračno bodů. Jeho přesnost ovlivňuje několik vlivů. Některé z nich můžeme ovlivnit přímo, jiné můžeme zmírnit zejména použitím VLB, které zaměříme přesnějšími metodami. Mračna byla počítána v programu RiPROCESS, který dovoluje tři způsoby urovnání trajektorie s použitím VLB, a dále dourovnání mračna získaného multinájezdem. Pro výzkumy v tomto článku bylo vybráno robustní vyrovnání trajektorie, které ji nepovažuje za tuhou, posouvá a otáčí s ní ve směrech všech os a na VLB má po sléze mračno minimální odchylky v jednotkách milimetrů.

3.1 Porovnávání mračen

V programu CloudCompare byla mračna v jednotlivých úsecích ořezána tak, aby obsahovala v průmětu pouze vozovku. Dále byla mračna očištěna Cloth Simulation Filtrem (CSF), který po vhodném nastavení očistil povrch

vozovky od objektů nad ní (auta, stromy, vedení vysokého napětí, chodci, poletující body, ...) [3]. Takto získaná mračna byla porovnáována metodou 2D1/2 triangulace, jejíž princip je vysvětlen na Obr. 2 níže:



Obr. 2 [4].

4 Výsledky porovnání mračen

Dat pro porovnání bylo během rozsáhlejšího výzkumu vyexportováno celkem 8TB, v tomto článku se zaměříme pouze na část z nich, ve kterých otestujeme očekávané nejzásadnější rozdíly. Další výzkumy budou uvedeny v diplomové práci jednoho z autorů, obhajované v červnu tohoto roku na Fakultě stavební ČVUT.

Referenčním mračnem pro každou oblast je mračno vzniklé vyrovnáním trajektorie na veškeré VLB a následným urovnáním MTA zón, které sníží rozptyl mezi průjezdem tam a zpět o jednotky milimetrů, čímž získáme nej přesnější možný výsledek. Pro názornost byla výškově porovnána také surová mračna získaná z postprocesního zpracování trajektorie, které není dále urovnáno.

4.1 Postprocesní trajektorie

Přesnost těchto dat je závislá zejména na inerciálním systému a GNSS podmínkách.

4.1.1 Město

Pro oblast ve městě byl porovnáván průjezd tam a zpět bez urovnání na VLB a MTA zóny. Největších odchylek dosahují mračna v oblastech kruhového objezdu a zatáček, kde byly zjištěny rozdíly od -30 do +35 mm.

Dále byl porovnáván jeden z průjezdů na referenční mračno (všechny VLB). Rozdělení odchylek poukazuje na průměrný výškový rozdíl +42 mm a

směrodatnou odchylku 14 mm. Střední kvadratická odchylka je pak geometrickým průměrem těchto hodnot a nabývá velikosti 44 mm.

4.1.2 Les

V lese je trajektorie mimo serpentiny ovlivněna také špatnými GNSS podmínkami. Byly zde mezi průjezdem tam a zpět zjištěny největší rozdíly ze všech porovnávaných oblastí. Odchyłky zde dosahují velikosti až 165 mm. Je tedy zřetelné, že pro tuto oblast bude nezbytně nutné použít dalších vyrovnání.

4.1.3 Plán

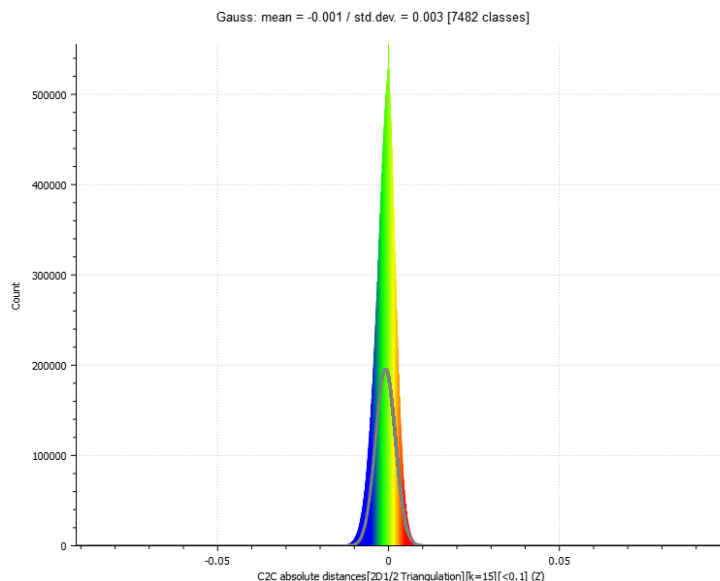
Pro oblast s otevřenou krajinou byla zjištěna průměrná výšková odchylka mezi průjezdem tam a zpět 49 mm se směrodatnou odchylkou 12 mm.

4.2 Relativní trajektorie

Z předešlých dat je patrné, že dalších urovnání je nutné použít pro všechny oblasti, nejvíce však pro oblast v lese. Dalším krokem je tedy relativní urovnání MTA zón na automaticky nalezené objekty. Výpočetní software je komerční a můžeme pouze odhadnout, že tento výpočetní krok využívá algoritmu ICP (Iterative Closest Point).

4.2.1 Město

Po relativním urovnání vykazují ve městě výškové rozdíly mezi průjezdem Tam a Zpět normální rozdíl:

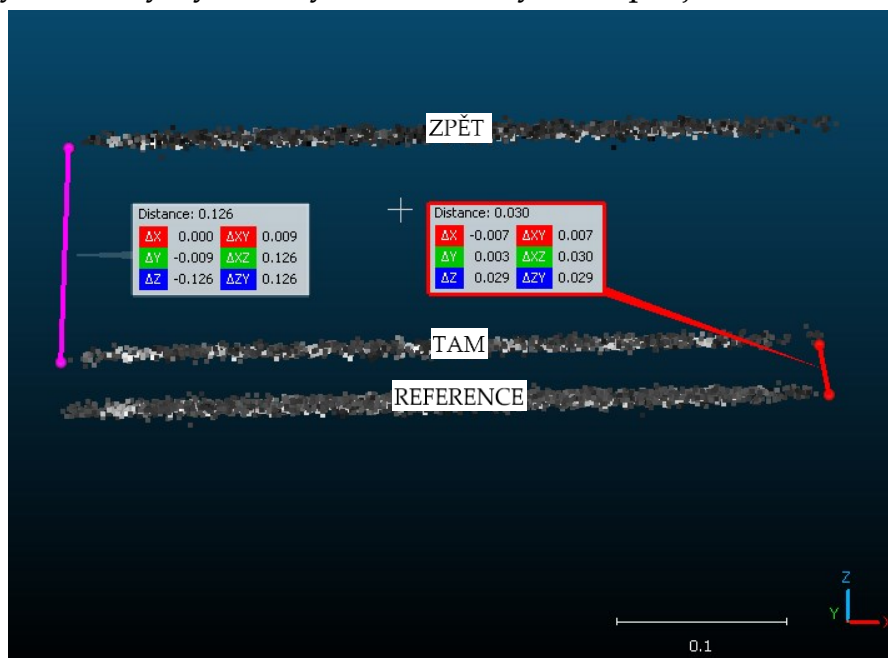


Obr. 2

Hodnota průměrné výškové odchylky od referenčního mračna byla vypočtena na +46 mm se směrodatnou odchylkou 9 mm.

4.2.2 Les

V lese nebyly průjezdy tam a zpět porovnávány s referenčním mračnem, neboť byly nalezeny vysoké výškové rozdíly mezi průjezdem tam a zpět.



Obr. 3

Polohově (XY) jsou však oba průjezdy posunuté pouze o 2-3 cm na VLB, výpočetní sw tedy nezvládl trajektorii vyrovnat bez použití VLB natolik, aby výškově ztotožnil MTA zóny. Nejvíce je od Reference odchýlený průjezd Zpět, který má oproti průjezdu Tam delší dobu jízdy v lese a několik prudkých zatáček těsně před zájmovým územím.

4.2.3 Pláň

V otevřené krajině výškové rozdíly průjezdu Tam a Zpět vykazují opět normální rozdělení s průměrnou odchylkou 1 mm se směrodatnou odchylkou 3 mm. V mračnu nebyl nalezen žádný skokový rozdíl.

Od referenčního mračna byla vypočtena průměrná výšková odchylka +46 mm se směrodatnou odchylkou 6 mm.

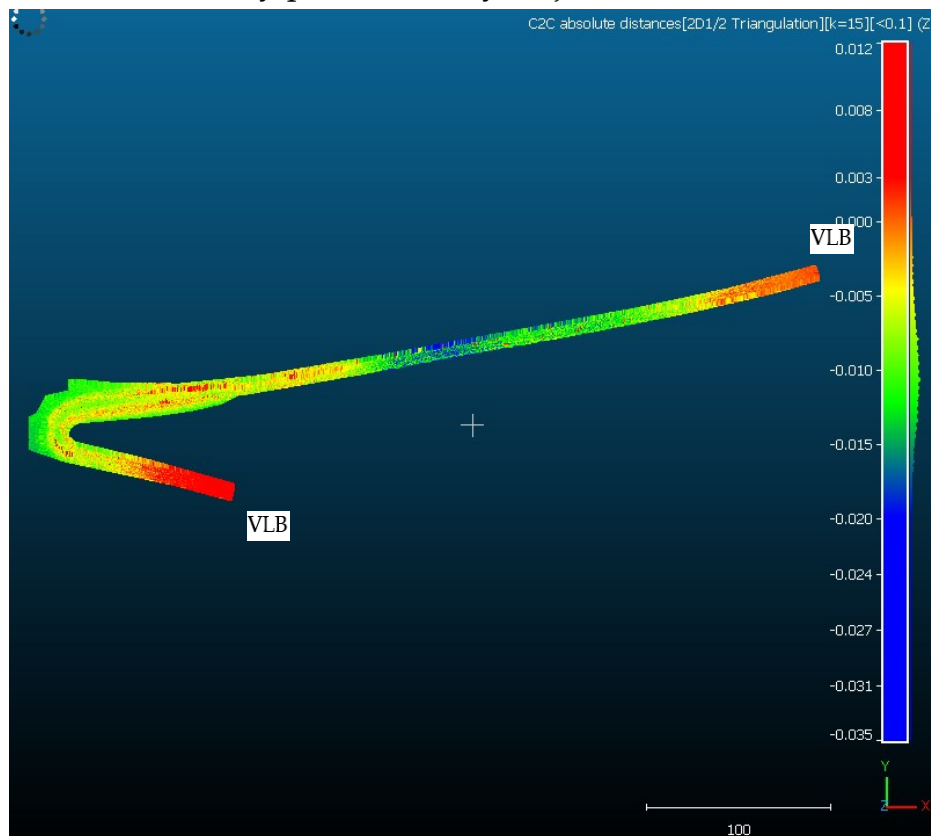
4.3 Absolutní trajektorie

V této kapitole jsou popsána porovnání referenčního mračna s mračny získanými výpočtem se zahrnutím minimálního počtu VLB, jejichž rozmístění bude pro každou oblast upřesněno.

4.3.1 Les

V lese byly od sebe VLB zahrnuté do výpočtu vzdáleny 600 m. Jejich použití bylo nezbytné pro odstranění výškového rozdílu mezi průjezdem Tam a Zpět, který je zmíněn v předešlé kapitole.

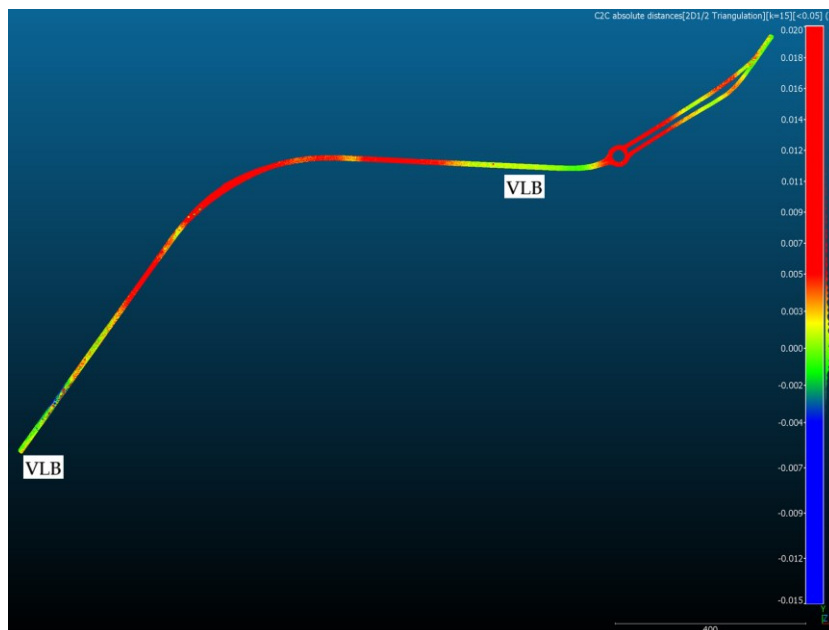
Největších odchylek dosahuje mračno přímo uprostřed, kde byla ve výseku z mračna průměrná výšková odchylka -20 mm se směrodatnou odchylkou 3 mm. Celkový průběh odchylek je vidět na obrázku níže:



Obr. 4

4.3.2 Plán

Rozestup mezi použitými VLB na pláni byl 1400 m. Nejvyšší dosažená odchylka byla +15 mm, a to uprostřed, kde se ke všemu nachází mírná zatáčka, která tuto hodnotu také ovlivňuje. Průběh odchylek je patrný na obrázku níže.



Obr. 5

4.3.3 Město

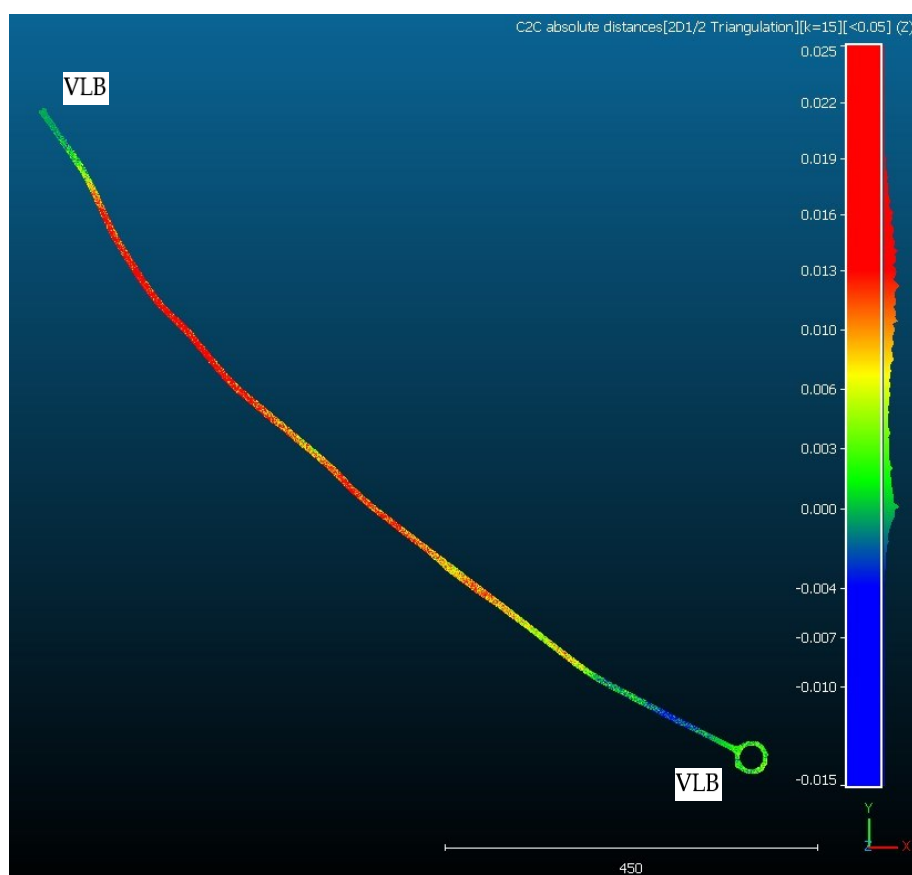
Oblast ve městě bude rozebrána podrobněji pro názornost zpřesňování mračna přidáváním více VLB.

V prvním výpočtu testovaného mračna byly použity 2 vřícovací body vzdálené 1100 m (Obr. 6). Celková výšková přesnost mračna je 8 mm se směrodatnou odchylkou 6 mm. Odchytky uprostřed testovaného úseku a v jeho horní části však dosahují 25 mm, jak je vidět na obrázku níže:

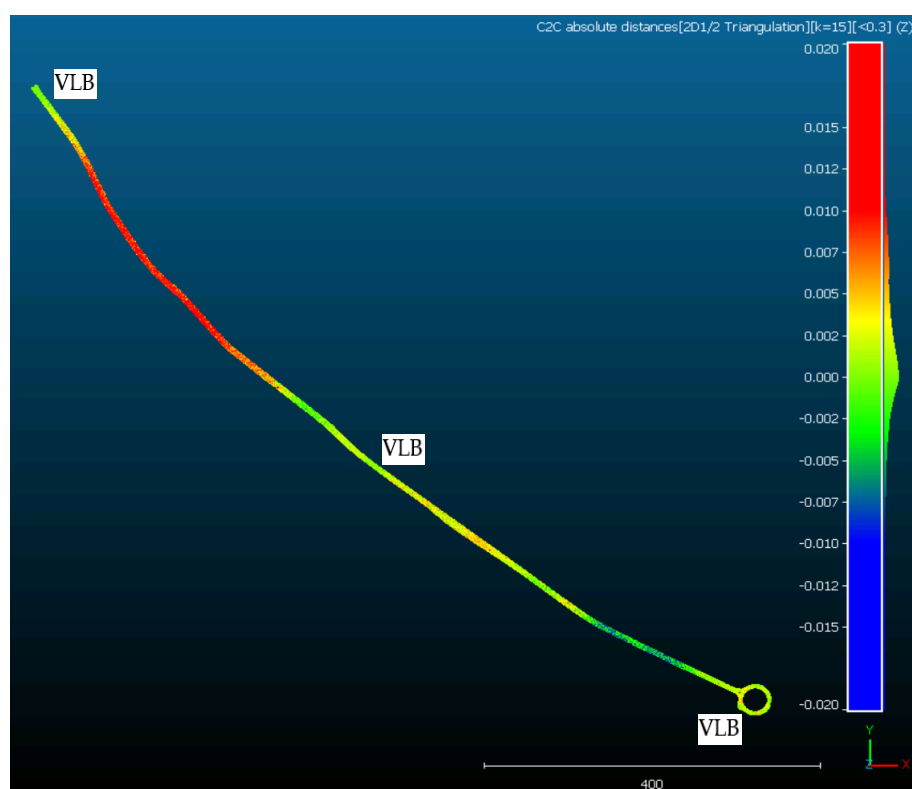
Ve druhém výpočtu byl doprostřed výseku trajektorie vložen další VLB, který průměrnou výškovou přesnost celého mračna zvýšil na 1 mm se směrodatnou odchylkou 7 mm. VLB jsou od sebe tedy vzdáleny do 600 m (Obr. 7). Jak je vidět na histogramu v pravé části obrázku níže, odchylky mimo VLB dosahují hodnot nad 10 mm.

Ve třetím výpočtu byly od sebe VLB vzdáleny 380 m (Obr. 8). Střední kvadratická odchylka ve výšce je 5 mm, v místech mezi VLB ovšem stále pozorujeme odchylky do 15 mm.

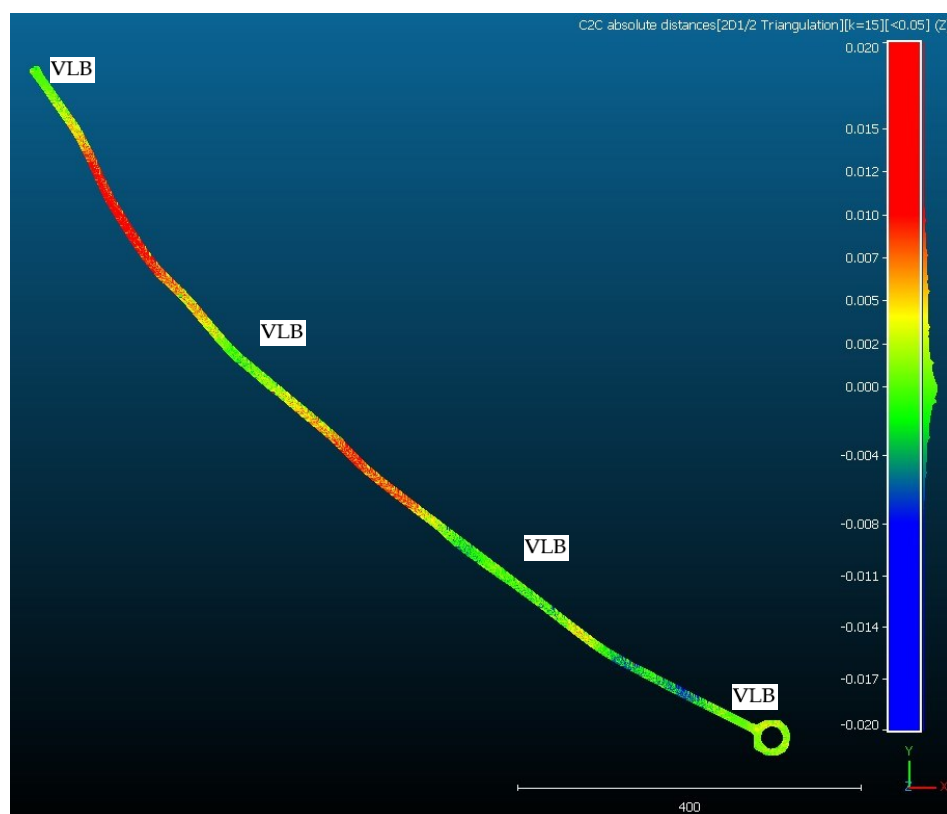
Ve čtvrtém, posledním uvedeném výpočtu (Obr. 9), bylo použito pro urovnání testovaného mračna 7 VLB, ty byly vzdáleny cca 200 m. Střední kvadratická odchylka ve výšce jsou 3 mm.



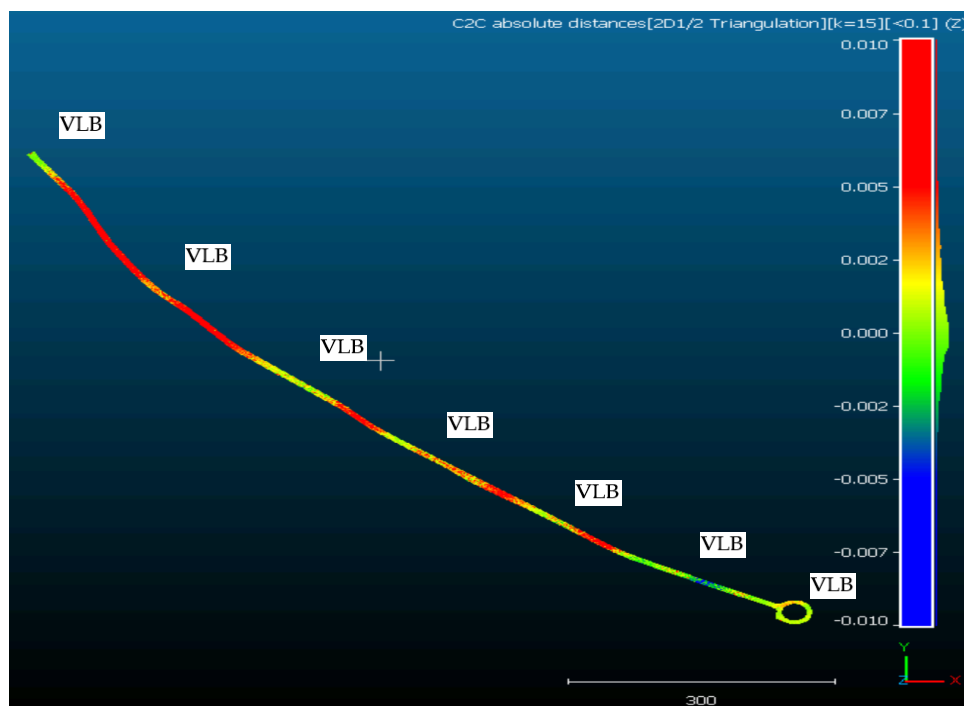
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9

Pro oblast ve městě byly vypočteny následující hodnoty v Tab. 1.

Tab. 1:

OBLAST MĚSTO				
VLB		Výškové odchylky [mm]		
počet	vzdálenost [m]	průměrná	směrodatná	střední kvadratická
0		46	9	47
2	1100	8	6	10
3	600	1	7	7
4	380	1	5	5
7	200	1	3	3

5 Závěr

Z provedeného experimentu můžeme usoudit, že užití vlíčovacích bodů je nezbytně nutné zejména v lese, kde je minimální příjem signálu z družic a s rostoucí dobou pohybu mobilního mapovacího systému významně klesá výšková přesnost, kterou dále znatelně ovlivňují změny směru jízdy mimo signál. Pro přesnější výstupy je nutné užití vlíčovacích bodů i v intravilánu, kde dochází k vícecestnému šíření signálu z družic zejména v přilehlé vysoké zástavbě.

Z výše uvedených výsledků je patrné, že pro zajištění výškové homogenity mračna při horších observačních podmínkách je maximální vzdálenost vlíčovacích bodů 200 m.

Z odborného hlediska je nutné vyzdvihnout skutečnost, že vlíčovací body nemusí nutně sloužit pro urovnání mračna, ale mohou být použity pouze pro ověření správnosti výstupu, které by geodet měl provést vždy.

Literatura

- [1] ČSN ISO 5725-1: Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření –Část 1: Obecné zásady a definice. Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [2] 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.
- [3] Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 2016; 8(6):501.
- [4] CloudCompare.org: Wiki [online]. [cit. 2024-3-17]. Dostupné z: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Distances_Computation

Recenzoval: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.
České vysoké učení technické v Praze