

Porovnání přesnosti a kvality měření mobilním laserovým skenerem, technologií GNSS a totální stanicí pro účely DTM

Ing. Ondřej Váňa,
Katedra geomatiky
a Katedra speciální geodézie
Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstrakt

Tato práce se věnuje srovnání přesnosti a kvality měření provedeného třemi různými geodetickými technologiemi: mobilním laserovým skenerem Faro Orbis, GNSS technologií Nivel point 3 a totální stanicí Sokkia iX1203. Cílem bylo určit nejpřesnější metodu pro geodetické aplikace. Referenční data poskytla multistanice Leica MS60, která byla orientována na bodové pole ověřené nezávislým GNSS přijímačem. Tento postup umožnil objektivní porovnání testovaných technologií.

Comparison of the Accuracy and Quality of Measurements using Mobile Laser Scanner, Technology GNSS and Total Station

Abstract

This study focuses on comparing the accuracy and quality of measurements conducted using three different geodetic technologies: the Faro Orbis mobile laser scanner, the GNSS technology Nivel Point 3, and the total station Sokkia iX1203. The goal was to determine the most accurate method for geodetic applications. Reference data were provided by the Leica MS60 multi-station, which was oriented to a control point network verified by an independent GNSS receiver. This approach enabled an objective comparison of all tested technologies.

Keywords: mobile scanner, Total station, GNSS, point clouds, Digital technical map

1. Úvod

Měření pomocí mobilního laserového skeneru typu Faro Orbis byla prováděna dvěma nezávislými měřickými skupinami studentů oboru geodézie a kartografie Fakulty stavební (FSv) Českého vysokého učení technického v Praze (ČVUT). Obě tyto skupiny použily technologii globálních navigačních družicových systémů (GNSS) k zaměření identických bodů, které byly následně využity pro georeferencování mračna bodů do Souřadnicového systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a Výškového systému baltského – po vyrovnání (Bpv). Tento přístup zajistil srovnatelnost dat a umožnil přesné porovnání s výsledky získanými totální stanicí Sokkia iX1203, jež byla orientována na stejné identické body. Měření s využitím technologie GNSS provedly celkem čtyři skupiny, čímž byla zajištěna větší variabilita a ověřitelnost získaných výsledků. Je třeba zdůraznit, že sběr dat a jejich následné zpracování prováděli vždy různí studenti, což maximálně zajistilo objektivitu a nezávislost výsledků. Před samotným odevzdáním této práce bylo autorem provedeno nezávislé a ověřovací měření pomocí aparatury GNSS typu Nivel Point 3.

Etalonem měření byla data získaná prostřednictvím multistanice typu Leica MS60 v rámci bakalářské práce autora [1]. Tato multistanice byla orientována na bodové pole vytvořené na FSv ČVUT. Tento postup zajistil vysokou přesnost a spolehlivost referenčních dat, která sloužila jako základ pro porovnání všech tří testovaných technologií. Pro srovnání přesnosti byla využita kritéria určená pro měření a zpracování dat při vytváření digitální technické mapy (DTM) kraje. Podle přílohy č. 2 vyhlášky [2] jsou přesnosti definovány v rámci tříd přesností 1 až 5. Dle platného zákona se nové měření automaticky řadí do třídy přesnosti 3 (TP3). Základní střední souřadnicová chyba činí $m_{xy} = 14$ cm a základní střední výšková chyba $m_z = 12$ cm. Hlavním cí-

lem je metrologicky porovnat kvalitu dat získaných nezávislými skupinami dle přesností pro DTM.

Tato práce navazuje na článek [3], který se věnuje měření a zpracování dat pro aktualizaci základní prostorové informace (ZPS) DTM, kde jsou představeny jednotlivé měřické metody a výsledky, které z nich lze získat. Zároveň je součástí i anketa, která se věnuje DTM. Důvodem vydání této práce je článek, který vydal kolektiv autorů z Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického, v. v. i. (VÚGTK), kde testují jednotlivé metody pro sběr dat na zaměření objektu včetně předchůdců Faro Orbis – GeoSLAM ZEB, či jiné GNSS a totální stanice [4].

2. Přehled vstupních dat

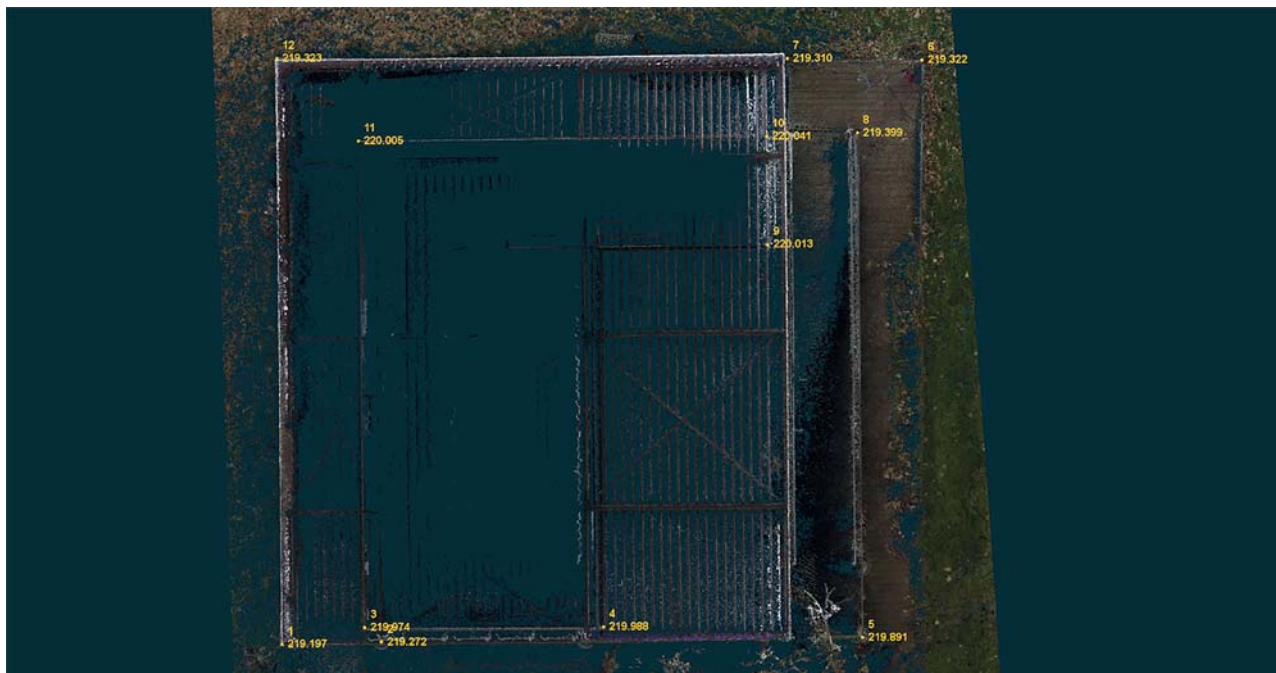
Následující obrázky (obr. 1, 2, 3, 4 a 5) znázorňují vstupní data a body pro kontrolu přesnosti již zmíněných technologií. Jedná se o mračno bodů pořízené mobilním laserovým skenerem Faro Orbis.

3. Vyhodnocení dat

Vyhodnocení probíhalo jako výpočet polohové odchylky (dP) a výškového rozdílu (dZ) od měřických metod laserového skenování, GNSS a totální stanice vůči etalonu. Následně byly spočteny směrodatné odchylky (tab. 1, obr. 6 a 7). Hodnota dP, která se spočítá jako:

$$dP = \sqrt{(dX^2 + dY^2)},$$

kde dX je souřadnicový rozdíl mezi měřeným bodem a kontrolním bodem v ose X a dY je souřadnicový rozdíl mezi měřeným bodem a kontrolním bodem v ose Y.



Obr. 1 Půdorys testovaných bodů nad mračnem bodů z Faro Orbis



Obr. 2 Pohled zepředu na body 1, 2, 3, 4, 5



Obr. 3 Pohled z boku na body 5, 6, 7, 8, 9, 10



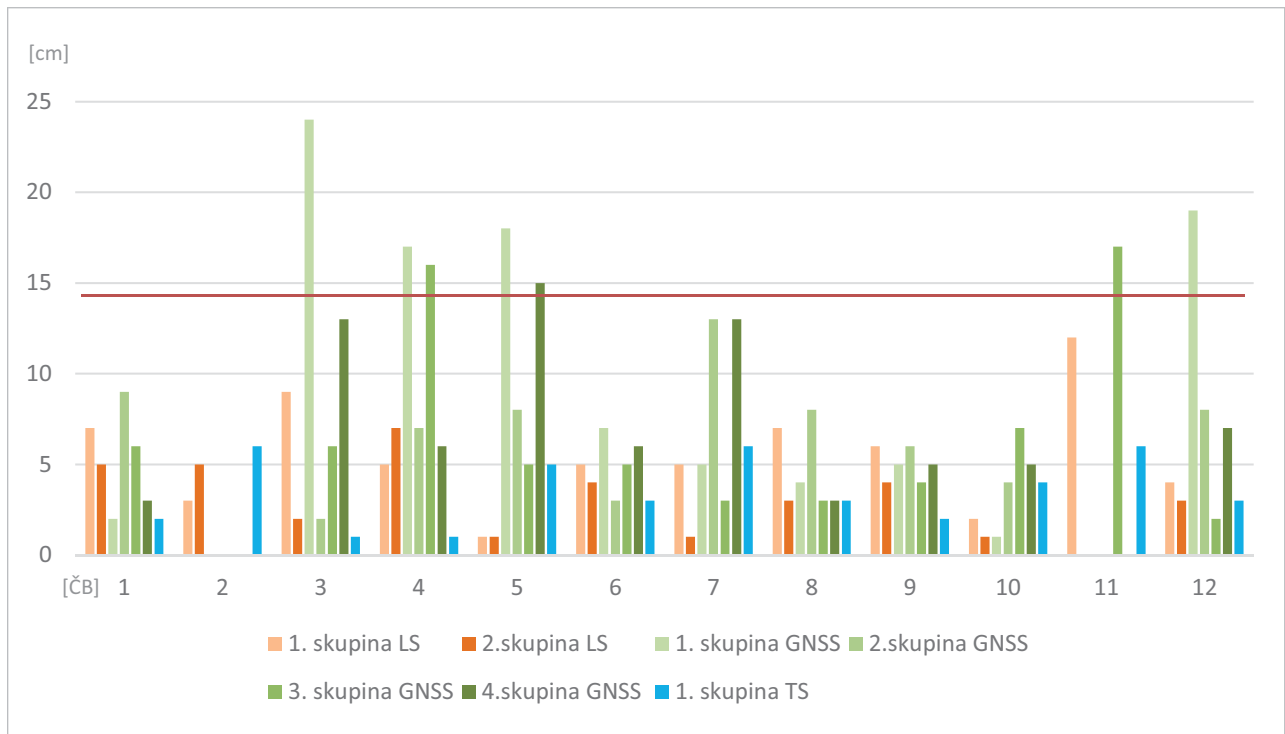
Obr. 4 Pohled zezadu na body 6, 7, 8, 10, 11, 12



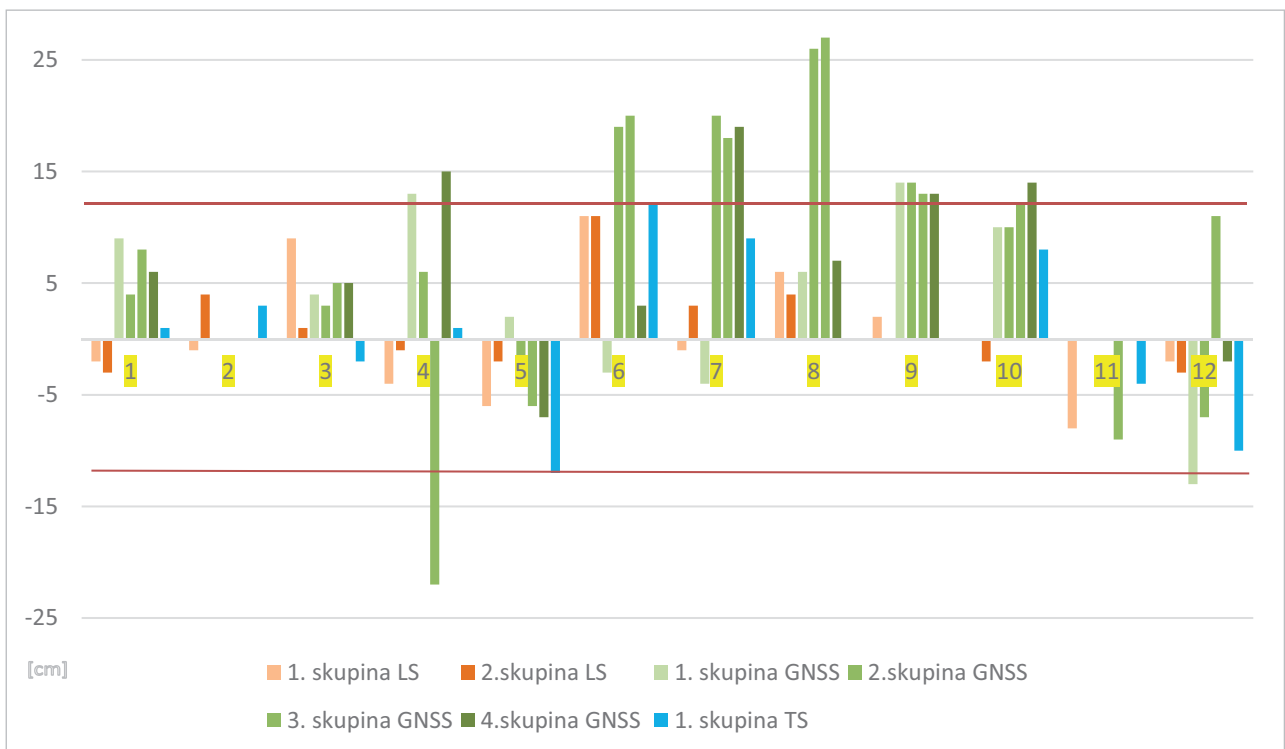
Obr. 5 Pohled z boku na body 11, 12, 1, 3

Tab. 1 Odchylyky dP a dZ dle jednotlivých metod a bodů

číslo bodu	1. skupina LS		2. skupina LS		1. skupina GNSS		2. skupina GNSS		3. skupina GNSS		4. skupina GNSS		1. skupina TS		kontrolní GNSS	
	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]	dP [cm]	dZ [cm]
1	7	-2	5	5	2	9	9	4	6	8	3	6	2	1	2	7
2	3	-1	5	5									6	3	6	4
3	9	9	2	2	24	4	2	3	6	5	13	5	1	-2	4	2
4	5	-4	7	7	17	13	7	6	16	-22	6	15	1	1	4	3
5	1	-6	1	1	18	2	8	-3	5	-6	15	-7	5	-12	5	5
6	5	11	4	4	7	-3	3	19	5	20	6	3	3	12	5	7
7	5	-1	1	1	5	-4	13	20	3	18	13	19	6	9	3	7
8	7	6	3	3	4	6	8	26	3	27	3	7	3	0	5	2
9	6	2	4	4	5	14	6	14	4	13	5	13	2	0	4	4
10	2	0	1	1	1	10	4	10	7	12	5	14	4	8	6	7
11	12	-8							17	-9			6	-4		
12	4	-2	3	3	19	-13	8	-7	2	11	7	-2	3	-10	5	4
σ	6	6	4	4	13	9	8	14	8	15	9	11	4	7	5	6



Obr. 6 Graf polohové odchylky měřických metod od etalonu



Obr. 7 Graf výškové odchylky měřických metod od etalonu

Směrodatné odchylky (tab. 2) byly vypočteny jako druhé opravy z výchozích vzorů. Směrodatné odchylky byly vypočteny ze součtu polohových odchylek a výškových rozdílů na všech bodech bez rozdílu měřené technologie:

$$\sigma = \sqrt{((\sum(\bar{x}^2)) / (n))},$$

kde σ je směrodatná odchylka, N je počet měření a \bar{x} jsou jednotlivé odchylky.

Tab. 2 Směrodatné odchylky pro dP a dZ všech metod na jednotlivém bodě

číslo bodu	σ dP [cm]	σ dZ [cm]
1	5	5
2	3	2
3	11	5
4	10	11
5	9	6
6	5	12
7	8	13
8	5	14
9	5	10
10	4	9
11	7	5
12	9	8

4. Zhodnocení měřických metod

Tato část rozebírá přesnosti jednotlivých měřických metod z pohledu souřadnicových odchylek a následně i směrodatných odchylek.

4.1 Laserové skenování

Měření probíhalo pomocí technologie Faro Orbis (obr. 8). Jedná se o mobilní skener, který dosahuje přesnosti měření až 5 mm na 120 m. Zvládne až 640 000 bodů za vteřinu. Výsledky ukazuje tab. 3.

Mobilní laserový skener dosáhl při vyhodnocování dat nejvyšší přesnosti ve srovnání s etalonovým měřením. Jednou z výhod laserového skenování je skutečnost, že v terénu není nutné přesně zaměřit bod – stačí, aby mobilní skener měl vizuální kontakt s cílovým bodem, čímž se zvyšuje pravděpodobnost správného zaměření případně v kanceláři zvolit jiný bod. Tento proces lze sledovat prostřednictvím mobilního telefonu, který ovšem zobrazuje pouze určité procento zaznamenaných bodů. Přesnost měření nebyla výrazně ovlivněna tím, že georeference byla provedena nezávisle pomocí měření GNSS.

4.2 Totální stanice

Měření probíhalo pomocí technologie iX1203 Sokkia (obr. 9). Jde o totální stanici, která je robotická s přesností měření



Obr. 8 Faro Orbis (3gon)

udávanou výrobcem 1 mm+2 ppm na hranol a 3" úhlová přesnost. Výsledky ukazuje tab. 4.

Výsledky vyhodnocení dat podle výškových rozdílů a polohové odchylky ukázaly, že měření pomocí totální stanice je přesné a v některých okolnostech přesnější než laserové skenování. Jedná se však o selektivní metodu, a proto je v terénu zásadní správně určit body k zaměření. Výhodou je možnost doměřit body různými odsazeními nebo měřit nejen na hranol, ale také přímo bezhranolovou metodou. Přesnost měření je tedy ovlivněna především zručností měřiče.

4.3 GNSS

Měření probíhalo pomocí technologie GNSS Nivel Point 3 (obr. 10). Tato aparatura GNSS umožňuje měření se sklonem bez omezení. Přesnosti měření udávané výrobcem při metodě RTK (real-time kinematics, kinematika v reálném čase) jsou v poloze 8 mm + 1 ppm a výškově 15 mm + 1 ppm. Výsledky ukazuje tab. 5.

Při práci s GNSS je důležité dodržovat několik základních pravidel. Především je nutné dobře znát technické specifikace technologie a její schopnosti, například práci s L5 kanály, což je v současnosti velmi významné díky

Tab. 3 Souřadnicové odchylky pro Faro Orbis na jednotlivých bodech

číslo bodu	1. skupina			2. skupina		
	dY [cm]	dX [cm]	dZ [cm]	dY [cm]	dX [cm]	dZ [cm]
1	5	5	-2	3	4	-3
2	2	2	-1	1	5	4
3	4	9	9	2	1	1
4	0	5	-4	4	6	-1
5	0	1	-6	1	1	-2
6	5	2	11	3	2	11
7	2	4	-1	0	1	3
8	7	1	6	3	1	4
9	4	4	2	2	4	0
10	2	0	0	1	1	-2
11	9	7	-8	0	0	0
12	4	2	-2	2	2	-3
σ	4	4	6	2	3	4



Obr. 9 Totální stanice Sokkia iX1203 (3gon)

Tab. 4 Souřadnicové odchylky měřené totální stanicí Sokkia dle jednotlivých bodů

číslo bodu	dY [cm]	dX [cm]	dZ [cm]
1	2	1	1
2	4	4	3
3	1	1	-2
4	1	0	1
5	4	3	-12
6	1	3	12
7	5	3	9
8	2	2	0
9	0	1	0
10	0	4	8
11	4	4	-4
12	3	1	-10
σ	3	3	7



Obr. 10 GNSS Nivel Point 3

vlivu ionosféry. Nelze již automaticky předpokládat, že RTK FIX vždy znamená 100% přesnost. Měřič by měl posoudit, zda jsou v daném místě vhodné podmínky pro měření. Pokud tomu tak není, měl by zvážit opakování měření nebo zvýšení počtu měření s delšími časovými intervaly. Z výsledných dat je patrné, že tato technologie může v určitých lokalitách vykazovat odchylky a někdy se může stát, že bod nebude zaměřen správně. GNSS funguje optimálně tam, kde je dobrá viditelnost oblohy a kde nejsou přítomny překážky mezi přijímačem a oblohou. Odchylky se navíc mohou lišit podle různých skupin měřičů a v různých časech měření. Některé skupiny mohou být úspěšné i při zaměřování hůře dostupných bodů. Opět je třeba zmínit, že GNSS, stejně jako totální stanice, je selektivní metodou.

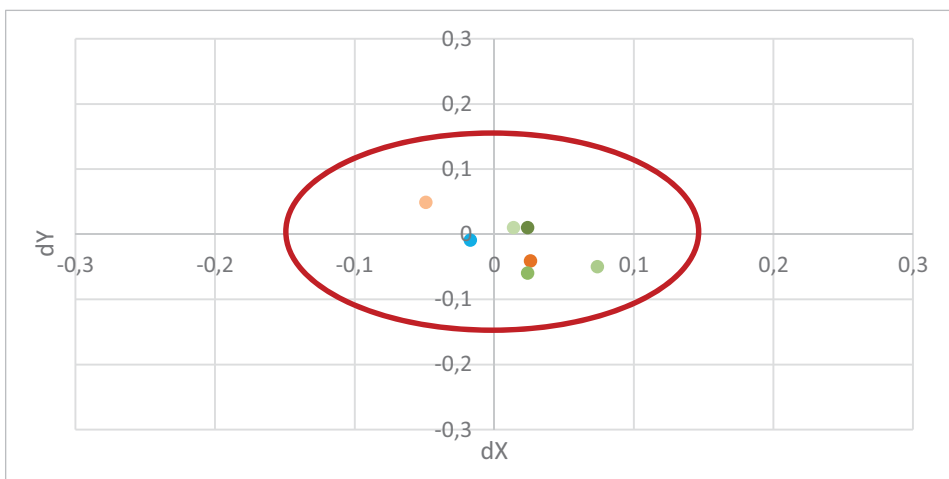
Nemyslím si, že by GNSS byla nepřesná pro tvorbu DTM. Ve srovnání s totální stanicí nebo laserovým skenováním však vyžaduje větší důraz na měření v terénu. Je důležité mít na paměti, že tato technologie nemusí vždy umožnit zaměření všech bodů na všech místech. Přesto GNSS představuje velmi rychlou, poměrně spolehlivou a ekonomicky výhodnou metodu. Jak bude uvedeno i v diskuzi a v závěru, je více než důležité dbát na to, jak a kde je podrobný bod měřen – viz kontrolní měření GNSS, které prováděl autor.

5. Rozptyl měření

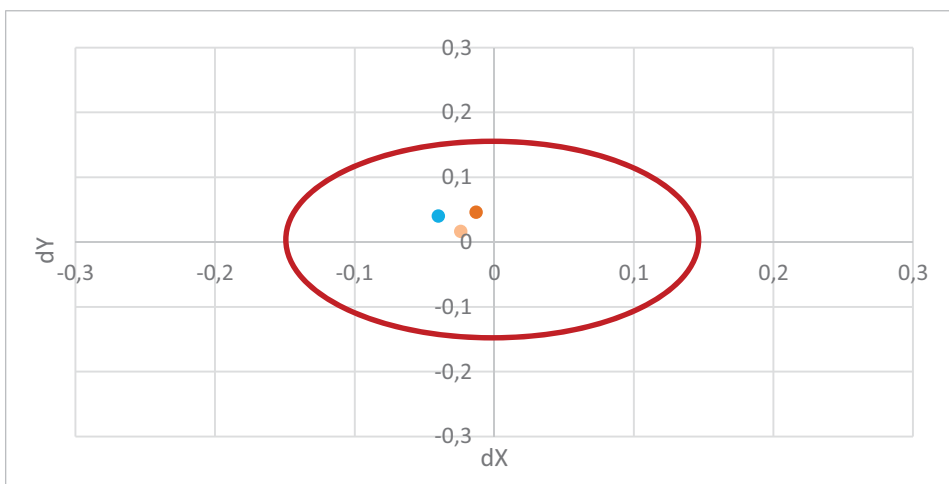
V této části jsou prezentovány jednotlivé rozptyly měření na všech dvanácti bodech pro každou z použitých technologií. Rozptyly nenaznačují žádná systematická schémata, protože chyby měření vykazují značnou proměnlivost. U laserového skenování a totální stanice se chyby mohou objevovat pravidelně, zatímco u GNSS jsou méně předvídatelné. To je způsobeno tím, že pozice přijímače se přepočítává prakticky každou vteřinu a měření ovlivňují faktory, jako je zastínění satelitů nebo dostupnost korekčních dat. Chyby tedy vykazují proměnlivé hodnoty a nejsou nijak systematické. Výsledky ukazují obr. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 a 22.

Tab. 5 Souřadnicové odchylky dle bodů měřené GNSS (pozn. na bodě 2 se neměřilo pomocí GNSS)

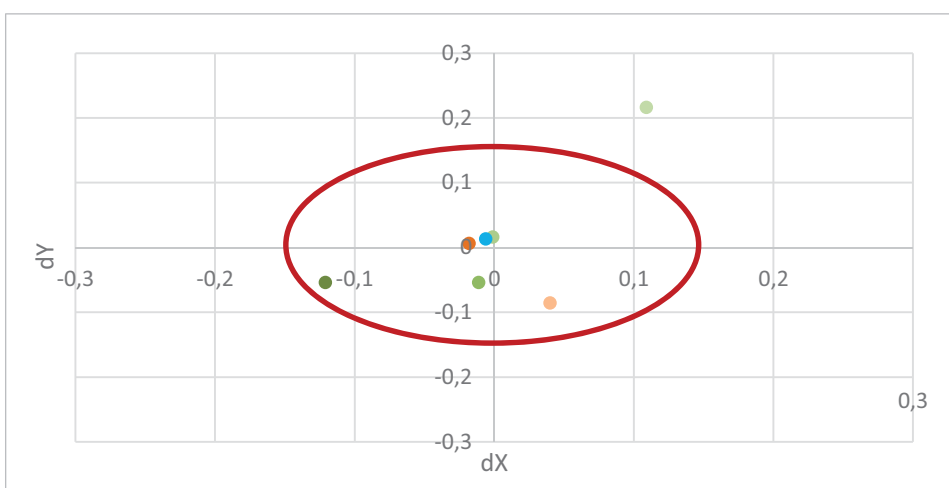
číslo bodu	1. skupina			2. skupina			3. skupina			4. skupina			kontrolní měření		
	dX [cm]	dY [cm]	dZ [cm]	dX [cm]	dY [cm]	dZ [cm]	dX [cm]	dY [cm]	dZ [cm]	dX [cm]	dY [cm]	dZ [cm]	dX [cm]	dY [cm]	dZ [cm]
1	1	1	9	7	5	4	2	6	8	2	1	6	1	1	7
3	11	22	4	0	2	3	1	5	5	12	5	5	3	3	2
4	15	8	13	7	3	6	15	5	-22	4	5	15	2	3	3
5	17	2	2	7	1	-3	5	0	-6	13	7	-7	4	2	5
6	1	7	-3	2	2	19	3	4	20	1	6	3	4	3	7
7	4	3	-4	12	5	20	3	0	18	13	0	19	1	3	7
8	1	4	6	7	5	26	1	3	27	3	2	7	2	5	2
9	3	4	14	3	5	14	2	4	13	1	5	13	2	4	4
10	0	1	10	1	4	10	0	7	12	1	5	14	5	3	7
11							10	13	-9						
12	8	17	-13	8	1	-7	2	1	11	2	6	-2	6	8	4
σ	9	10	9	7	4	14	6	6	16	7	5	11	3	3	5



Obr. 11 Rozptyl v poloze na bodě číslo 1

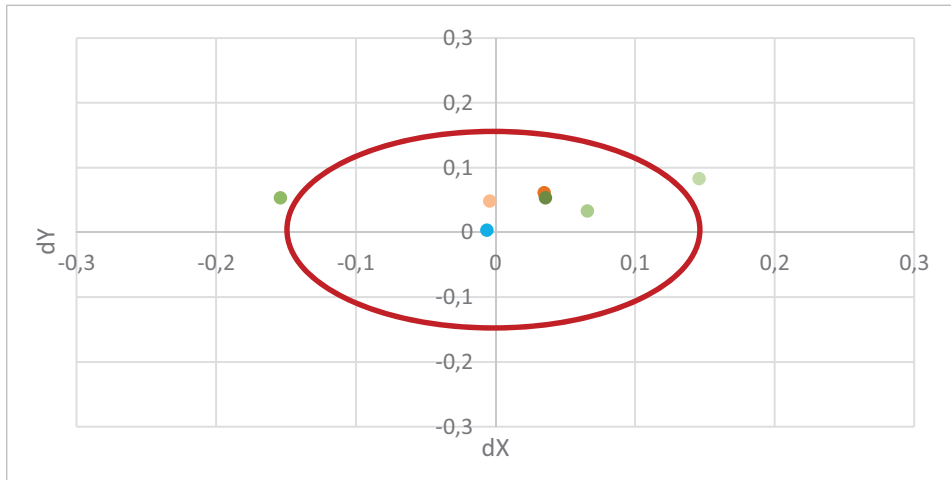


Obr. 12 Rozptyl v poloze na bodě číslo 2

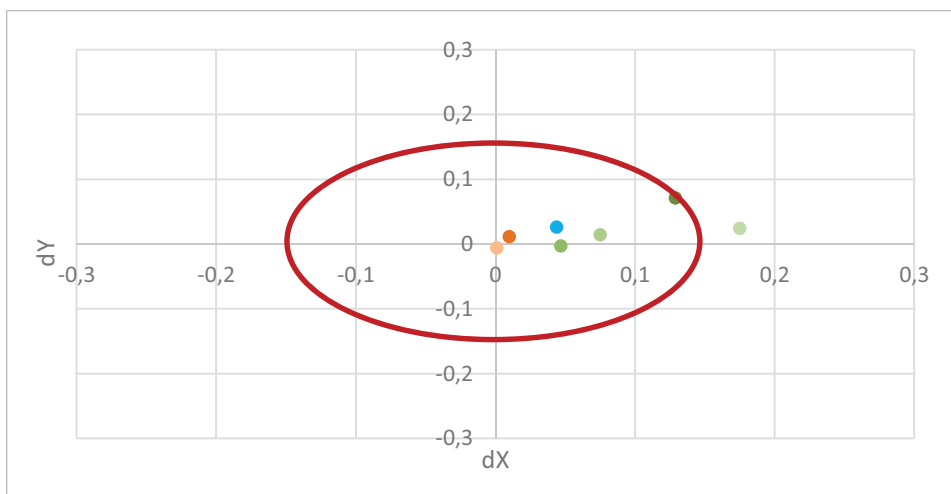


Obr. 13 Rozptyl v poloze na bodě číslo 3

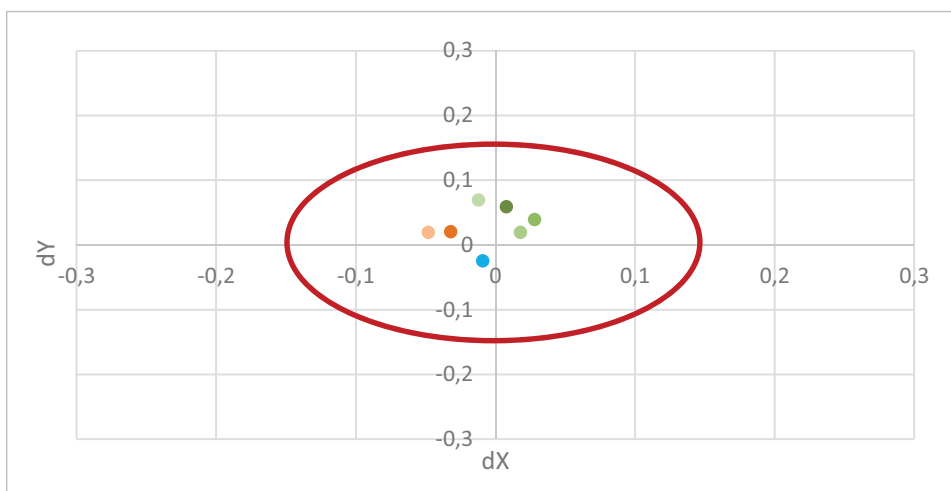
Legenda barev: ■ 1. skupina LS ■ 2.skupina LS ■ 1. skupina GNSS ■ 2.skupina GNSS
■ 3. skupina GNSS ■ 4.skupina GNSS ■ 1. skupina TS



Obr. 14 Rozptyl v poloze na bodě číslo 4

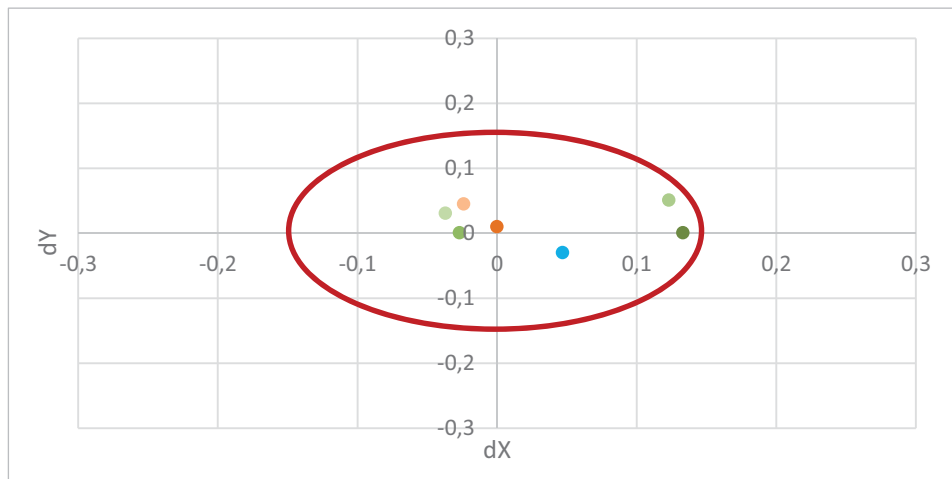


Obr. 15 Rozptyl v poloze na bodě číslo 5

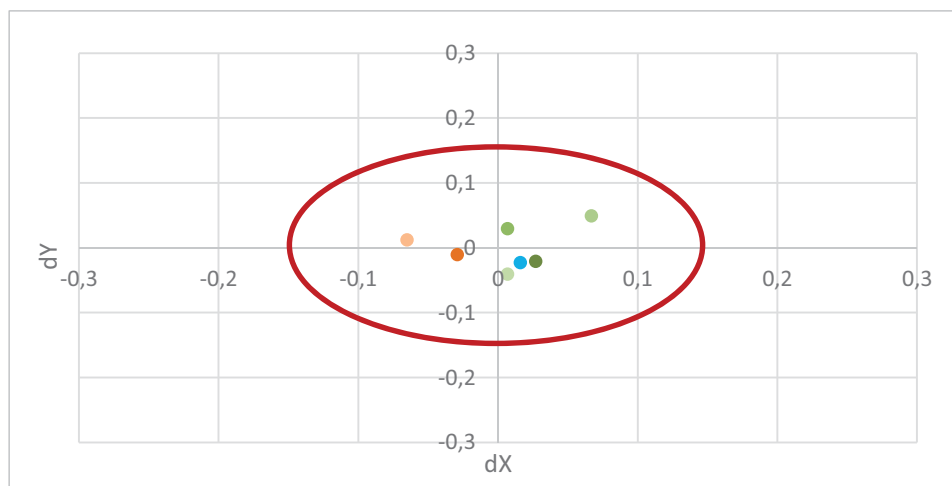


Obr. 16 Rozptyl v poloze na bodě číslo 6

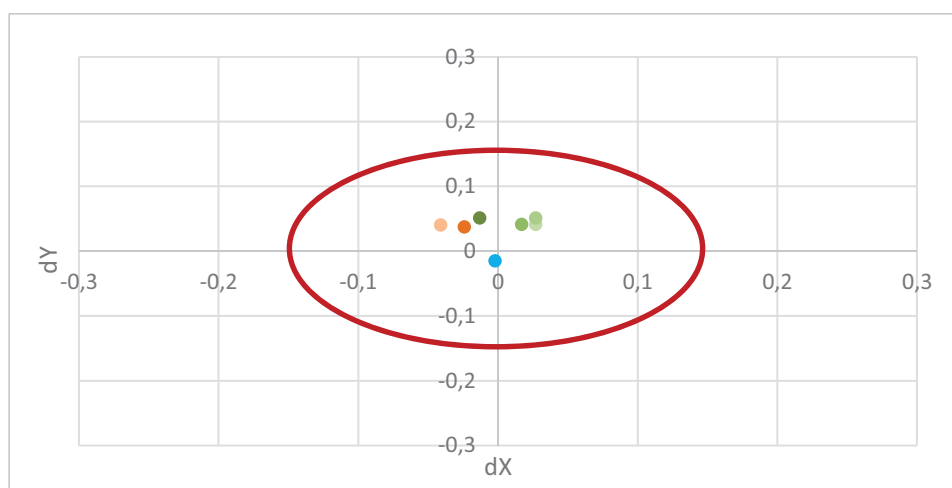
Legenda barev: 1. skupina LS 2.skupina LS 1. skupina GNSS 2.skupina GNSS
3. skupina GNSS 4.skupina GNSS 1. skupina TS



Obr. 17 Rozptyl v poloze na bodě číslo 7

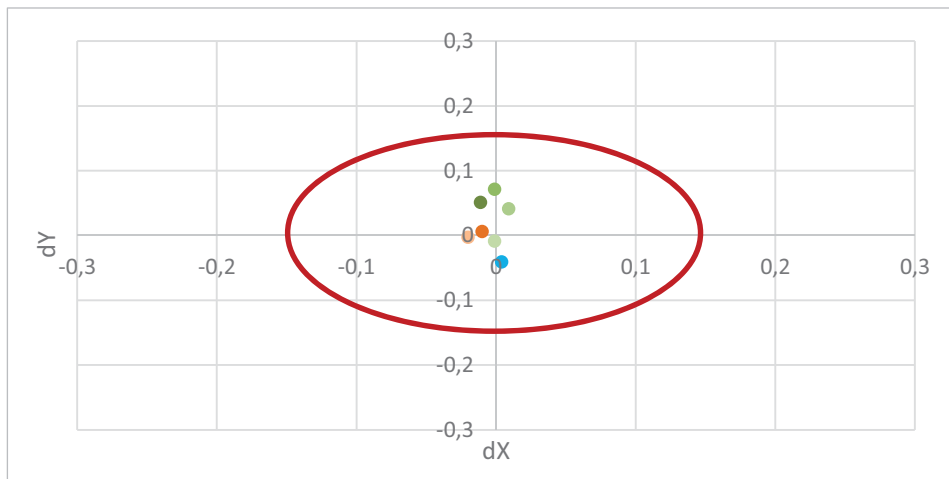


Obr. 18 Rozptyl v poloze na bodě číslo 8

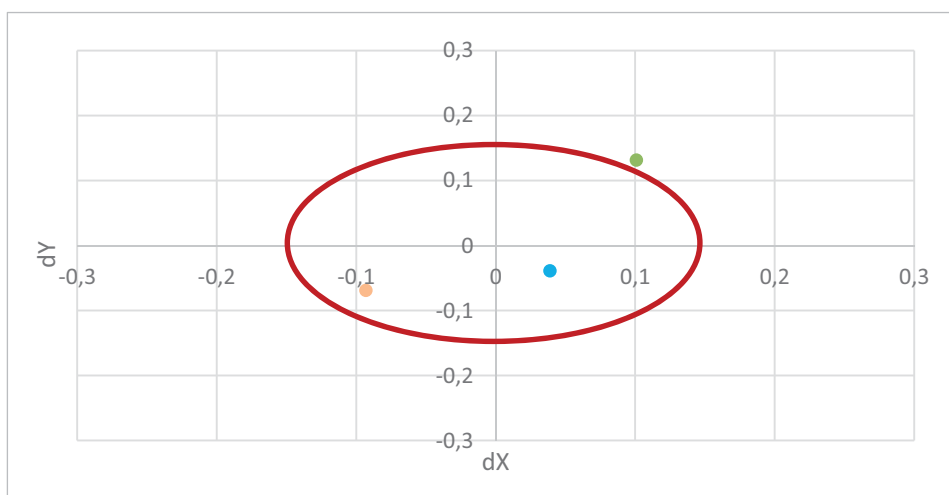


Obr. 19 Rozptyl v poloze na bodě číslo 9

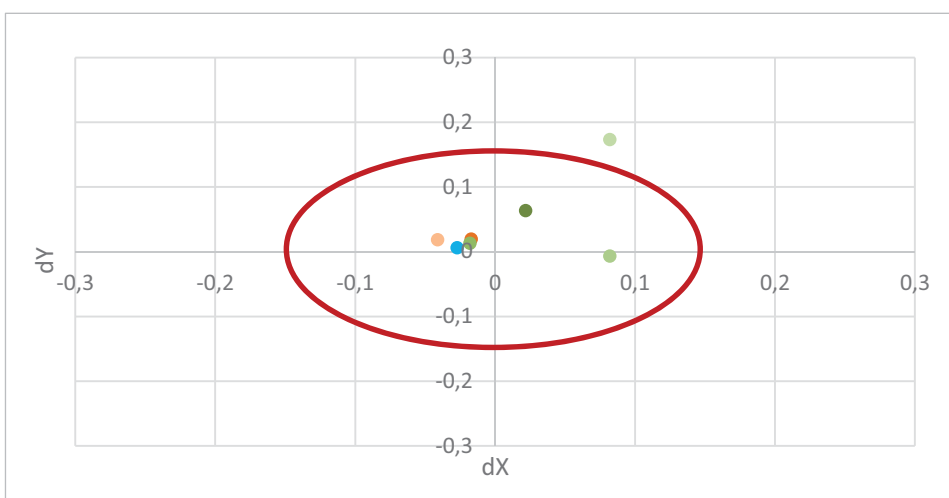
Legenda barev: 1. skupina LS 2.skupina LS 1. skupina GNSS 2.skupina GNSS
3. skupina GNSS 4.skupina GNSS 1. skupina TS



Obr. 20 Rozptyl v poloze na bodě číslo 10



Obr. 21 Rozptyl v poloze na bodě číslo 11



Obr. 22 Rozptyl v poloze na bodě číslo 12

Legenda barev: ■ 1. skupina LS ■ 2. skupina LS ■ 1. skupina GNSS ■ 2. skupina GNSS
■ 3. skupina GNSS ■ 4. skupina GNSS ■ 1. skupina TS

6. Diskuze

Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že metoda mobilního laserového skeneru nejlépe odpovídá etalonu měření. Tato technologie poskytuje vysokou přesnost a umožňuje efektivní snímání velkého množství bodů, což ji činí nejspolehlivější metodou pro daný účel. Přesto bylo zjištěno, že i totální stanice dokáže poskytnout relevantní výsledky s milimetrovou přesností, avšak její úspěšnost závisí na správné orientaci na identické body. Výsledky této práce potvrzují, že GNSS je selektivní metodou (tak jako totální stanice), jejíž přesnost může být ovlivněna mnoha faktory, včetně podmínek měření, přístupu měřiče a jeho zkušeností s danou technologií. V určitých lokalitách dochází k výrazným odchylkám, které zpochybňují její použitelnost pro vysoce přesné geodetické aplikace. Měření závisí na dostupnosti korekčních dat a viditelnosti satelitů, což vede k nevyrovnaným výsledkům. Přesto lze GNSS využít tam, kde je prioritou rychlost a ekonomická efektivita měření, nikoli absolutní přesnost.

Jak lze pozorovat, u selektivních metod měření (GNSS, totální stanice) je klíčové správně určit podrobné body, které budou zaměřeny. Naopak u neselektivních metod lze zpětně v kanceláři ověřit, jaký bod byl vybrán jako podrobný. Ačkoli technické specifikace hrají důležitou roli, výsledky experimentu ukazují, že významnějším faktorem je rozhodnutí a zkušenosti měřiče.

Experiment potvrdil, že největším zdrojem chyb byli samotní měřiči. Zjištěné chyby odpovídají chybám způsobeným lidským faktorem, což naznačuje, že kvalita měření je závislá nejen na technologii, ale především na zkušenostech a přístupu měřičů. Tento poznatek zdůrazňuje důležitost správného výběru bodů a metodiky měření,

stejně jako potřebu zavedení jasných standardů a školení pro minimalizaci lidských chyb.

7. Závěr

Přesnost DTM byla v rámci této práce splněna. Z výsledků je taky patrné, že směrodatné odchylky byly překročeny u měření GNSS prováděných studenty. Průměrná směrodatná odchylka pro polohu pro skupiny byla 9,5 cm. Bude nezbytné opravit experimentální design a zaměřit se na optimalizaci měřících procesů, zejména pokud má GNSS být využíván jako hlavní nástroj geodetických měření. Tato problematika bude dále řešena v rámci pokračujícího výzkumu v rámci dizertační práce autora této práce věnující se inovativnímu přístupu pro sběr měřických dat k vyhotovení DTM pomocí geodetických technologií.

LITERATURA:

- [1] VÁŇA, O.: BIM model budovy AIR House z geodetického zaměření. 2021.
- [2] Vyhláška č. 393/2020 Sb., o digitální technické mapě kraje, v platném znění.
- [3] VÁŇA, O.: Měření a zpracování dat pro aktualizaci ZPS DTM. Geodetický a kartografický obzor, 2025, roč. 71/113, č. 9, s. 165-177.
- [4] HÁNEK, P.-VACEK, T., VOLKMANN, M.: Analýza měřických metod pro komplexní zaměření stavebních objektů. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i., technická zpráva, 2020.

Do redakce došlo: 25. 8. 2025

Lektoroval:
Ing. Tomáš Vacek,
Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v. v. i.