

Test přijímačů GNSS

Porovnávací test přijímačů satelitní navigace pro účely mobilního mapování pro OB.

Leden 2023, Zdeněk Lenhart, Petr Matula a Libor Pecháček.

Testovány byly tři přijímače, první s čipem u-blox ZED-F9P, druhý s čipem u-blox NEO-M8N (oba sestavil Petr Matula podle návodu Libora Pecháčka), třetím byl komerční výrobek Garmin GLO.

Úvod

Satelitní navigace (GNSS, Global Navigation Satellite System), lidově GPS.

První byl americký systém GPS (1994, plná kvalita 2000), pak ruský Glonass (2011), evropský Galileo (2014, plného počtu satelitů dosáhne asi 2024), čínský Beidou (2020). Moderní přístroje zvyšují přesnost využíváním několika systémů současně¹.

První pokusy s propojením OCADu a GPS přijímače provedl H. Steinegger v roce 1996².

Mobilní mapování pro OB se v ČR objevilo v roce 2008. Různý HW (notebook, UMPC, PDA, tablet, mobil) i SW (OCAD, OpenOrienteering Mapper, Asmund/PC Mapper, PoCAD, Momap), nyní převažuje OO Mapper na mobilu či tabletu (Android).

Hlavní výhodou přímého mapování s připojeným přijímačem GNSS je kontinuální zobrazení polohy. Odpadá nutnost neustálého sledování polohy měřením či čtením podkladů. Podklady pak slouží jen k upřesnění polohy v okruhu chyby GNSS. V místech, kde žádný z podkladů nenabízí žádný zachytý bod, nastupuje přímo poloha z GNSS jako nejpohodlnější náhradní záchyt. Další výhodou GNSS je možnost rychlého trasování linií (cest, hranic porostů, ...).

V dobrých podmínkách (volný široký výhled na oblohu, tj. otevřené plochy s nízkým porostem, roviny, temena kopců) je přesnost dostatečná (chyba do 2 m). Tam však bývají i klasické podklady (ortofoto, laserscan) kvalitní a bohaté na detaily. Ve špatných podmínkách (vysoký les, zejména listnatý, hluboká úzká údolí, strmé svahy) chyba GNSS narůstá a i podklady jsou obvykle na detaily chudé. Proto je snem každého mapáře co nejkvalitnější přijímač GNSS.

Interní přijímače v mobilech nejsou dostatečně přesné, proto se používají externí přijímače umístěné na hlavě, rameni nebo batohu. Nejpoužívanější je Garmin GLO (cca 2 500 Kč) s připojením přes Bluetooth. Na trhu však jsou i jiné přijímače a též samotné čipy (GNSS moduly), na jejichž základě lze sestavit konkurenceschopné přijímače v domácí dílně³. Schází však fundované porovnání jejich užitečnosti při tvorbě map pro OB.

¹ Viz <https://o-news.cz/pro-mapare-o-satelitnich-navigacich/>

² Dostupné na <https://web.archive.org/web/20010613221727/http://www.ocad.ch/gps.htm>

³ Popis stavby v angličtině <https://github.com/lpechacek/u-blox-gnss-receiver/raw/master/u-blox-gnss-receiver.pdf>

Několik porovnávacích testů komerčních přijímačů provedl v letech 2014 - 2019 Asko Määttä⁴. Měřil různými přijímači po dobu více než 10 sekund na 38 předem změřených bodech v lese⁵. Výsledky pak statisticky zpracoval do tabulky, kterou v průběhu let několikrát sdílel v diskusní skupině Orienteering Mappers Int. Poslední verze tabulky je níže.

GPS Tests in Vaskivuori Forest Asko Määttä										
GNSS	date	Number of points	Average of Errors	Strd of Errors	Average +Strd (68%)	Average +2*Strd (95%)	*Accuracy rating in meters*	Ranking		Comment
ZED-F9P Own Base (ZEP F9P)	22.11.19	38	0,28	0,24	0,5	0,8	0,5	1	ext. Antenna	RTK (GPS+GLO+GAL+BDS)
ZED-F9P RTK	08.01.19	38	0,31	0,24	0,6	0,8	0,6	2	ext. Antenna	RTK (GPS+GLO+GAL+BDS)
Trimble Pathfinder Pro XH DGPS	23.03.14	38	0,78	0,53	1,3	1,8	1,3	3	ext. Antenna	DGNSS VERKKO (GPS)
ZED-F9P Stand alone	08.01.19	38	1,02	0,36	1,4	1,7	1,4	4	ext. Antenna	GPS+GLO+GAL+BDS
NEO-7P DGPS VRS Tally_ant	09.06.14	38	1,02	0,39	1,4	1,8	1,4	5	ext. Antenna	DGNSS VERKKO (GPS)
NEO-M8T Stand alone Harxon_ant	03.08.18	38	1,23	0,54	1,8	2,3	1,8	6	ext. Antenna	GPS+GLO+GALILEO
NEO-M8N DGPS VRS Tally_ant	31.07.14	38	1,27	0,85	2,1	3,0	2,1	7	ext. Antenna	DGNSS VERKKO (GPS)
NEO-M8N standalone Tally_ant	26.07.14	38	1,61	0,65	2,3	2,9	2,3	8	ext. Antenna	GPS+GLO
NEO-7P Stand alone Tally_ant	20.04.14	38	2,02	0,76	2,8	3,5	2,8	9	ext. Antenna	PPP-Smooth (GPS)
Nokia 6.2 Cell Phone	03.12.19	38	2,02	0,93	3,0	3,9	3,0	10	int. Antenna	GPS+GLO+GAL+BDS
NEO-6P stand alone Trimble_ant	21.03.14	37	2,16	1,24	3,4	4,6	3,4	11	ext. Antenna	PPP-Smooth (GPS)
NAVILOCK BT-871G	29.03.16	35	2,15	1,59	3,7	5,3	3,7	12	int. Antenna	GPS+GLO
Garmin GLO	03.04.14	38	2,68	1,07	3,8	4,8	3,8	13	int. Antenna	GPS+GLO
Insmat SIRF 3 (Globalsat bt338)	23.03.14	37	3,31	2,09	5,4	7,5	5,4	14	int. Antenna	GPS
Dell Venue 7 Pro Internal GPS	20.12.15	38	4,24	2,08	6,3	8,4	6,3	15	int. Antenna	GPS
Samsung Galaxy S5 Cell Phone	23.12.15	38	4,08	2,24	6,3	8,6	6,3	16	int. Antenna	GPS+GLO
Qstarz Q1000 (mtk2)	03.04.14	36	4,17	2,69	6,9	9,5	6,9	17	int. Antenna	GPS
Dell Latitude 10 Internal GNSS	24.12.15	38	8,47	5,54	14,0	19,5	14	18	int. Antenna	GPS

Obrázek č. 1 Výsledné pořadí GNSS přijímačů v porovnávacím testu Asko Määttä 2019.

Pokusili jsme se o podobné porovnání dvou amatérsky sestavených přijímačů se “standardem” Garmin GLO. Zaměřili jsme se na chování a přesnost přijímačů v náročném prostředí. Přesvědčili jsme se, že prosté vizuální porovnání stop získaných současně a opakovaně už dostatečně prokáže poměry v kvalitě jednotlivých přístrojů. Pro potřeby mapařů to stačí. Ve snaze podepřít závěry korektním statistickým šetřením jsme však zjistili, že to není úplně triviální úloha. Proto vznikla tato rozsáhlejší zpráva, aby při dalších testech a porovnáních nebylo nutné začínat znovu od nuly a opakovat chyby, jichž jsme se dopustili.

Terminologická poznámka

V tomto textu při popisu testů a jejich hodnocení používáme a snažíme se odlišovat tyto pojmy:

Mapa = georeferencovaný plán testovacího prostoru, obsahující zejména referenční body a linie, a stopy měření.

Referenční bod = geodeticky přesně zaměřený bod v terénu a jeho obraz v mapě.

Referenční linie = linie (cesta, hřbetnice, údolnice apod.) jednoznačně identifikovatelná jak v terénu, tak v georeferencovaném podkladu (DMR 5G a ortofoto ČÚZK).

Trasa = trajektorie realizovaná v terénu, na mapě reprezentovaná buď referenční linií (kde ji šlo určit a dodržet), nebo odhadnutou přibližnou linií (kde nebylo čeho se držet).

Stopa = přijímačem GNSS změřená trajektorie (tj. linie GPX).

Bod = sledovaný bod na referenční trase, buď “ručně” vytipovaný, nebo strojově pravidelně volený.

⁴ Odkaz na poslední zveřejněný test je

<https://www.facebook.com/groups/485564718218028/permalink/2604736929634119/>

⁵ Viz <https://www.facebook.com/groups/orienteeringmappersint/posts/582917165149449/>

Odchylka = délka spojnice bodu na trase (na ref. linii) s místem na stopě s ním spárovaným, u ručního měření na kolmici k trase, u strojového měření nejbližší místo na stopě.

Chyba = vzdálenost bodu na trase od místa na stopě zaměřeného ve stejný okamžik.

Starší pokusy a testy

V roce 2008 Martin Tichý referoval o pokusech s přijímačem Globalsat DG-100. Vizuálně porovnával jen stopy téhož přijímače na téže trase (a též staticky v témž bodě) v různé době. Prezentace na školení mapářů 2009.

V článku na str. 12-16 v časopise OB 2008/7 se Luděk Krtička věnoval (mimo jiné) hlavně vlivu korekcí při diferenčním GPS měření (dGPS), zejména s odkazem na bakalářskou práci M. Plivky.

V roce 2009 v rámci testů nových technologií pod hlavičkou Mapové rady ČSOS porovnávala skupina pod vedením Martina Tichého v souvislosti s GNSS toto vybavení:

Globalsat DG-100 (+ OCAD, M. Tichý)

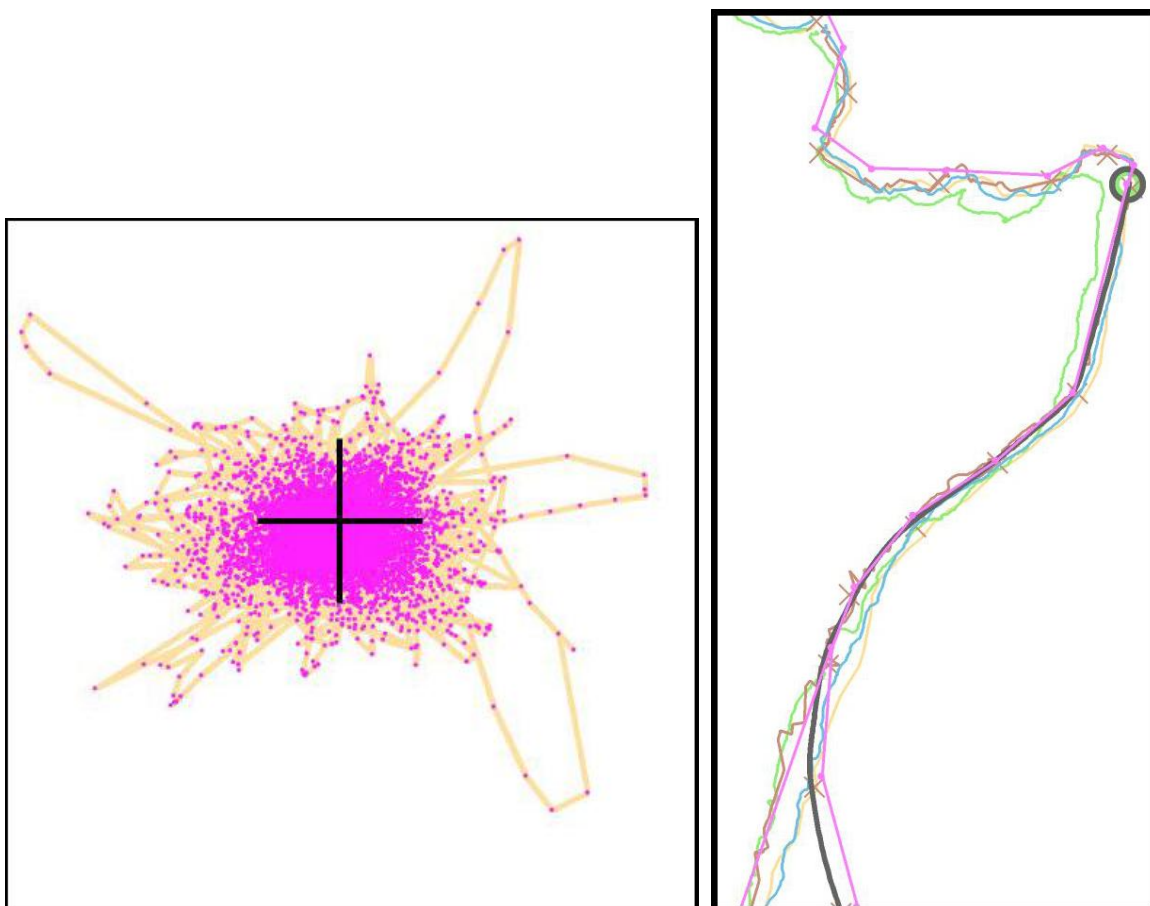
GPSMAP 60CSx (+ OCAD, S. Rauch)

DGPS Trimble Pathfinder Pro (+ OCAD, S. Rauch)

GPS Holux (+ PDA Recon + PC Mapper, Z. Rajnošek)

Výstupem byla Zpráva z testování GPS a dalších nových technik⁶ dostupná na stránkách Mapové rady ČSOS. Nás zajímá, že se zjišťovala přesnost a rozptyl výsledků téhož přijímače při statickém záznamu (až 24 hod.) v různém prostředí (les listnatý, jehličnatý, mladý). Dále se porovnávaly stopy více přijímačů při pohybu na téže linii, zčásti identifikovatelné na ortofotu. Hodnocení bylo jen vizuální.

⁶ Archiv dokumentů na <https://www.orientacnisporty.cz/upload/rady/mapova%20rada/GPS-test.zip>



Obrázek č. 2 Vlevo ukázka statického testu Globalsat DG-100 na trigonometrickém bodě, smrkový les, křížek 23 m, 95 % měření v okruhu 11 m. Vpravo část dynamického testu, barevně různé přijímače, fialově polygon ručně změřený buzolou a krokováním, hnědé křížky odpovídají bodům polygonu a jsou zaměřeny profesionálním DGPS přístrojem Trimble Pathfinder Pro, černě cesta z ortofota.

Přirozenou cestou se, přinejmenším pro dekádu 2010-2020 a pro české mapáře OB, stal standardem přijímač Garmin GLO, lehký, spolehlivý, s výdrží a cenově dostupný. Alternativy nikdo moc nepropagoval a ani nezkoušel. Määttäho žebříček (viz výše) asi málokdo znal, korekce pro dGPS byly jen placené.

V roce 2018 Libor Pecháček sestavil přijímač s čipem u-blox NEO-M8N, zveřejnil k tomu návod a prozkoušel při tvorbě mapy Za dálnicí⁷. Na začátku roku 2020 postavil obdobný s přijímačem⁸ s čipem u-blox NEO-M9N a ještě tentýž rok přešel na u-blox ZED-F9P. Oba novější přijímače byly použity při tvorbě mapy Údolí raků⁹ a u-blox ZED-F9P pak po několika menších mapách ve Francii i na mapě Langusta '21¹⁰.

⁷ <https://mapy.orientacnisporty.cz/mapa/za-dalnici-2018>

⁸ Schéma je na <https://github.com/lpechacek/u-blox-gnss-receiver/blob/master/compact-design/compact-design-neo-schematic.pdf>. Snahou bylo vytvořit obdobu Garmin GLO, takže přijímač je vystavěný na jediné desce plošných spojů.

⁹ <https://mapy.orientacnisporty.cz/mapa/udoli-raku-2021>, neveřejná

¹⁰ <https://mapy.orientacnisporty.cz/mapa/langusta-21-2021>

Návod inspiroval, Petr Matula si postavil dva přijímače s M8N a F9P (2020 a 2022). Přirozeně se hned objevily diskuze, které řešení je pro mapáře lepší. Byla to tvrzení založená jen na porovnání technických parametrů od výrobců a pocitů z práce s jedním vybavením tady a teď, s druhým jindy a jinde. V nejlepším případě byly k dispozici záznamy stop, opět jen z různých míst a různé doby. Zkrátka porovnávání neporovnatelného.

Jediným alespoň trochu objektivním ověřením přesnosti použitých přijímačů by se mohlo jevit porovnání dvou mapek téhož mapáře (L. Pecháček) při školení ve Zderazi. První byla vytvořena v roce 2018 s prvním NEO-M8N a druhá pak 2022 za použití ZED-F9P. Prosté překrytí georeferencovaných map přes sebe je uvedeno níže. Světlejší kresba je z roku 2018, plná pak 2022 a ukazuje minimální rozdíly v zákresu cest.



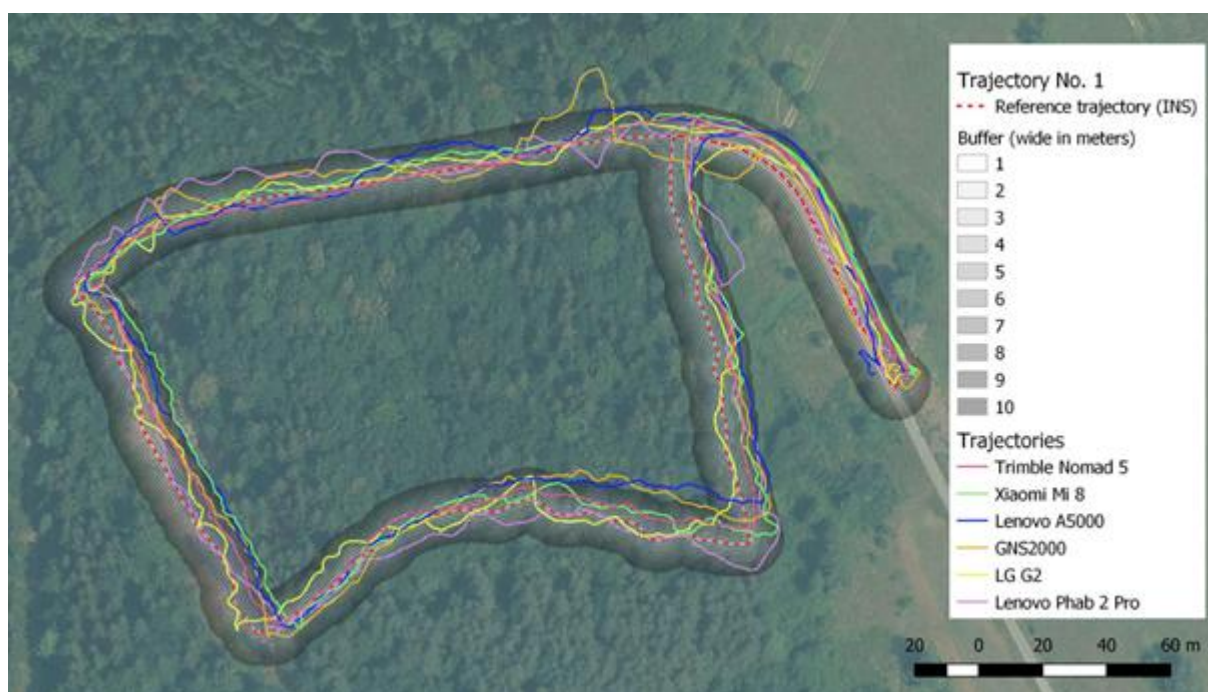
Obrázek č. 3 Dvě práce téhož mapáře (L. Pecháček) při školení ve Zderazi. Potlačená kresba s použitím M8N z roku 2018, plná kresba s F9P z roku 2022.

Julián Tomašík s kolektivem popsali v časopise Forestry porovnávací test komerčních mobilů¹¹ v roli přijímačů GNSS pro lesníky. Došli mj. k závěru, že významnější roli hraje množství podporovaných systémů (GPS, Glonass, Galileo, Beidou) než využívání druhé frekvence. Výsledky potvrzují známý fakt, že kvalita zabudovaných GNSS přijímačů je pro naše účely příliš nízká. Inspirativní je pouze popis metody testování a vyhodnocování výsledků.

¹¹ <https://academic.oup.com/forestry/article/94/2/292/5901975?guestAccessKey=0a546eed-b644-4cdf-b3d7-c488edfa0555>



Obrázek č. 4 Testy komerčních mobilů, J. Tomašík, Forestry, April 2021.



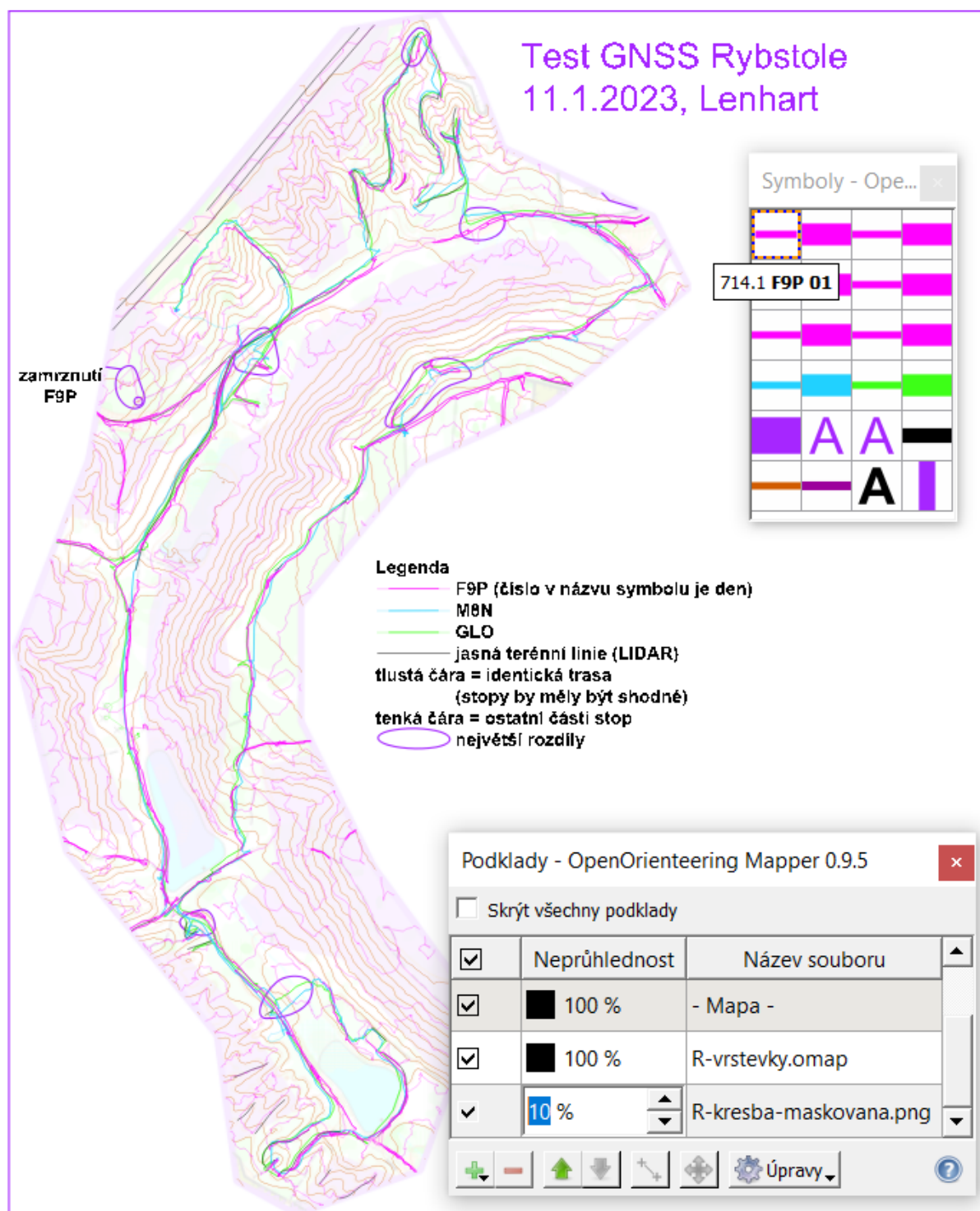
Obrázek č. 5 Testy komerčních mobilů, J. Tomašík, Forestry, April 2021. Za pozornost stojí elegantní liniové “koridory” pro vizuální posouzení odchylek od správné trasy.

První porovnání, Rybstole (Z. Lenhart)

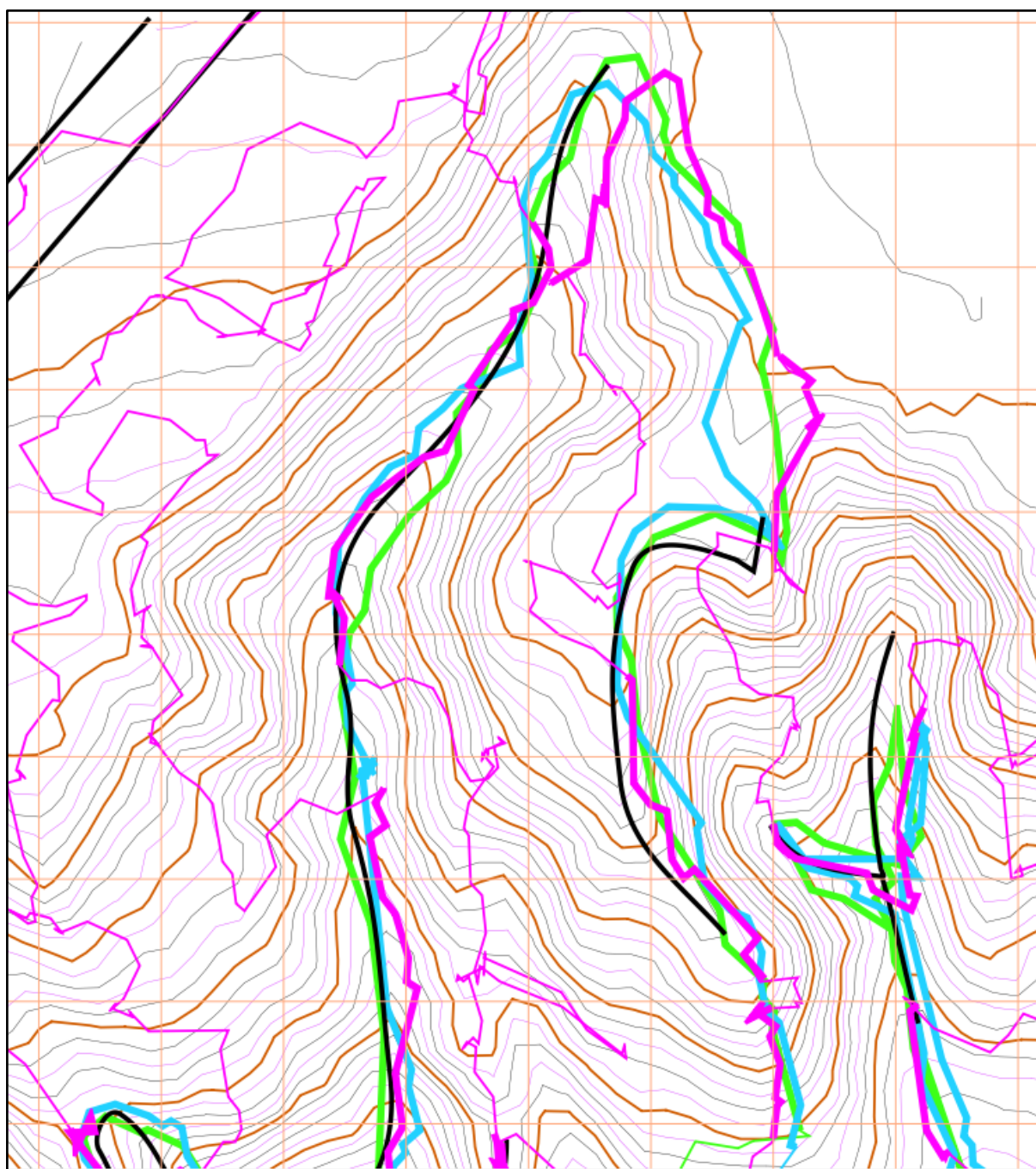
Příběh a popis akce

Petr Matula mi půjčil F9P a M8N. Sedm dní jsem s F9P mapoval do OOM sprintovou mapu Rybstole¹² ve velmi členitém a souvisle zalesněném terénu s velmi dobrým podkladem z LIDARu, doplněným o ortofota, která však ukazovala spolehlivě situaci na "podlaze" jen na několika málo místech. Na závěr mapování jsem věnoval dvě hodiny testování. Prošel jsem skoro hodinovou trasu s M8N a vzápětí znovu tutéž trasu s Garmin GLO. Snažil jsem se do trasy zařadit rozdílné situace, temena kopců, dno údolí, a zejména ostré strže a hřbety mezi nimi, velmi přesně vykreslené LIDARem. Díky tomu nejde jen o vzájemné porovnání stop, ale i o jejich shodu s „absolutní“ polohou trasy. Všechny stopy z mapování i z testu jsem uložil do společného souboru Test_GNSS_Rybstole.omap, redukoval jsem v nich počet bodů, barevně jsem odlišil různé přijímače a silnější čarou zvýraznil úseky, kde trasa byla při dvou či více průchodech identická a proto i stopy by ideálně měly být shodné. Černou čarou jsem nakreslil „absolutně“ přesnou referenční linii tam, kde bylo možné ji určit z LIDARu nebo ortofota. Jako podklad jsem připojil soubory R-vrstevky.omap (z LIDARu) a R-kresba-maskovana.png (výsledná mapa ISSprOM, ořezaná a maskovaná proto, že je dosud neveřejná). Vše je v příloze Test_GNSS_Rybstole.zip.

¹² <https://mapy.orientacnisporty.cz/mapa/rybstole-nove-2010>



Obrázek č. 6 Přehled testu v prostoru Rybstole.



Obrázek č. 7 Část testu, Rybstole. Referenční linie je černá. Tlusté úseky stop by ideálně měly být identické. Fialově F9P, modře M8M, zeleně GLO. Mřížka po 10 m.

Už to tedy bylo porovnání na téže trase, ale i nadále v různé době. Mezi stopami M8N a Garmin je po celé délce časový rozdíl cca 1 hod., trasa je až na několik drobných odchylek identická. Tuto trasu jsem však s F9P nikdy souvisle neprošel. Pro porovnání jsem použil úseky z různých dní. Podobně i při porovnání více stop F9P na identických úsecích tras jsou odstupů od několika minut po několik dní.

Test nebyl dostatečně rozsáhlý a hlavně nebyl připraven, proveden, ani vyhodnocen dostatečně důkladně a přesně, aby bylo možné z něj činit jasné závěry. Pořád však byl lepší než pouhé dojmy.

Poznatky z porovnávání

Zpožděné vykreslování stopy: M8N cca 6 s, Garmin cca 3 s, F9P cca 1 s. Znamená to, že před každým kreslením je třeba zmíněnou dobu vyčkat, než se kurzor ustálí na správném místě.

Vliv rychlosti (souvislosti) pohybu: u všech zařízení je při souvislé chůzi stopa hladká, při chůzi se zastávkami pro kreslení je křivolaká. To je celkem pochopitelně dáno tím, že jednotlivá měření jsou nezávislá a liší se o decimetry, což při metrových rozdílech polohy při pohybu přestává být patrné.

Rozdíl mezi stopami identické trasy byl asi na 50 % její délky do 3 m, na dalších asi 45 % do 5 m, absolutní extrém byl 9 m. V úsecích s trasou přesně identifikovatelnou na podkladech (černá čára) byly odchylky od ní většinou do 2 m, extrém 4 m. Na silnici na kopci s volným výhledem na oblohu byly odchylky po celé délce do 1 m.

Každý přístroj měl dle očekávání v náročných místech větší odchylky než v místech pro příjem signálu příznivějších. Nejvěrnější na jasně identifikovatelných úsecích byla F9P. Nelze však jednoznačně říci, že je nejlepší, protože slabší místa s větším rozptylem měla též, podobně jako M8N a Garmin.

Poznatky z mapování s F9P

Připojení přes Bluetooth GNSS (Samsung Galaxy Tab Active3, Android 12) se jen málokdy zdařilo napoprvé, bylo třeba pokusy opakovat, někdy až 5x. Přitom F9P byla nastartovaná a měla fix. Petr ani Libor tuto vadu nezaznamenali.

Kurzor přijímače F9P asi třikrát v sedmi dnech zamrzl na 3-5 min., pak se sám rozjel, ale zpočátku jen s malou přesností a velkými skoky. (Jeden případ je vidět v souboru Testy_GNSSP_Rybstole.omap v příloze.) Podobnou zkušenost mám s Garmin GLO, potvrzuje to i Petr Matula, se všemi třemi přijímači, udává však kratší dobu. Celé to působí jako reset přijímače, snad po výpadku napájení. Nebo výpadek Bluetooth, zase možná při výpadku napájení. Pomůže počkat, případně klasické vypnout, zapnout, přijímač i BT.

OOM na tabletu (Samsung Galaxy Tab Active 3, Android 12) s F9P při zhasnutí obrazovce (jedno zda ručně tlačítkem nebo automaticky po nastaveném čase) nezaznamenával stopu. Příčina je v nastavení Androidu, kvůli šetření baterie omezuje aplikace na pozadí. U aplikací Bluetooth GNSS a OO Mapper je třeba zvolit Bez omezení.

První skutečný test, Komín (Z. Lenhart)

Volba metody

Základním požadavkem bylo měřit všemi porovnávanými přijímači současně, v pohybu po trase spolehlivě a přesně georeferencované podle kvalitního podkladu. Měření provést opakovaně v

různých dnech a v obou směrech trasy. Záznamy stop statisticky vyhodnotit. Přidat statický test na geodetickém bodě. Je žádoucí test opakovat stejným způsobem ve vegetačním období.

Výběr terénu

Kritériem byla náročnost z hlediska příjmu signálu GNSS, podobnost s podmínkami běžného lesního mapování a v neposlední řadě dostupnost. To splňoval Palackého vrch (<https://mapy.cz/s/kofatohuse>), kopec porostlý většinou listnatým lesem s různě strmými svahy a několika ostrými roklemi, obklopený zahrádkami. Nedostatkem je orientace většiny svahů jedním směrem (na západ), což by mělo být částečně vyváženo měřením v různých dnech s různým rozložením satelitů.

Záznam testu

Pro přípravu, provedení, záznam a vyhodnocení testu jsem vytvořil georeferencovaný soubor Test_GNSS_Komin.omap (dále jen mapa), je hlavní přílohou této zprávy.

Výběr podkladu

Za základ byl zvolen rastr sklonitosti z LIDARu ČÚZK 2013¹³, doplněný o infračervené a klasické ortofoto ČÚZK 2019. Pro první představu o prostoru je podložena i mapa OB Kozí hora¹⁴. Všechny tyto podklady (KzH-sklon.jpg, KzH-ortoIR.jpg, KzH-orto.jpg, KzH-OB.ocd) jsou přiloženy k této zprávě.



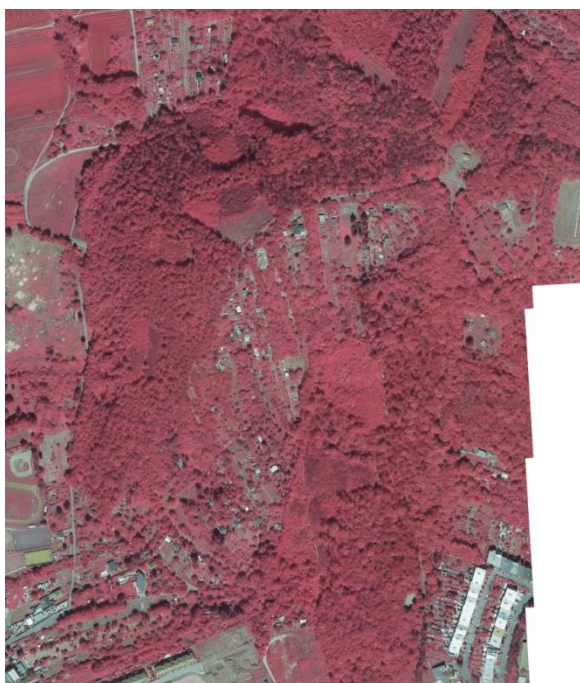
Obrázek č. 8 Mapa OB



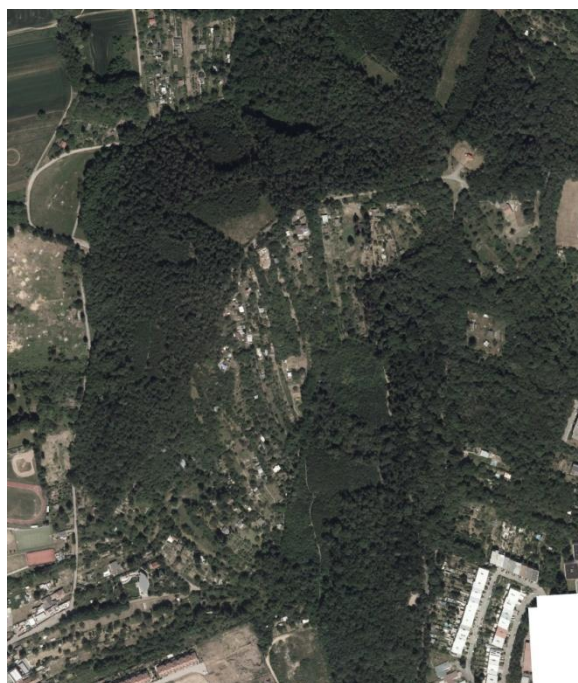
Obrázek č. 9 Sklonitost z DMR 5G

¹³ <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/?m=20>

¹⁴ <https://mapy.orientacnisporty.cz/mapa/kozi-hora-male-symboly-2020>



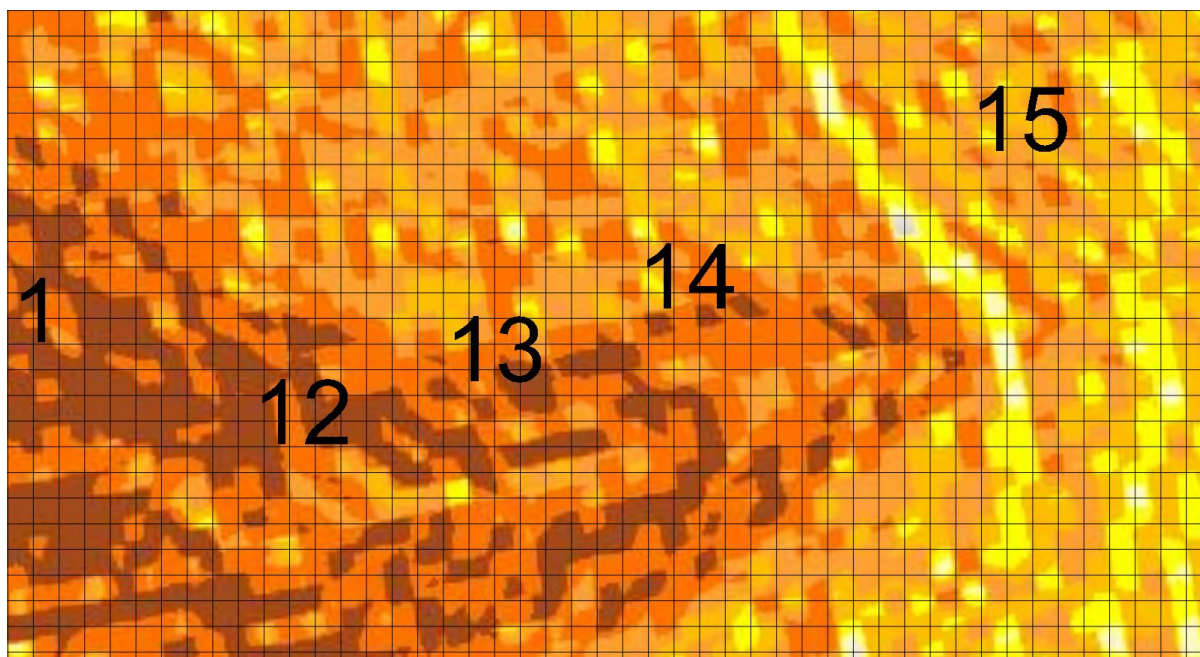
Obrázek č. 10 Infračervené ortofoto



Obrázek č. 11 Klasické ortofoto

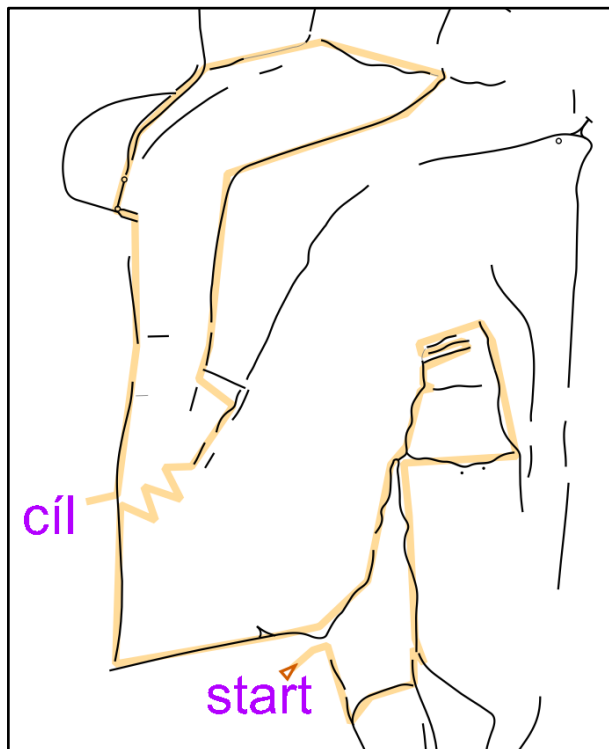
Výběr trasy

Napřed jsem vytipoval oblast s místy náročnými pro příjem signálu ze satelitů (les, strmý svah, hluboké údolí). Pak jsem v té oblasti vyznačil černou čarou všechny linie přesně identifikovatelné na podkladu i v terénu, přístupné a schůdné. Pozor ovšem na výraz „přesně identifikovatelné“, pixel v rastru sklonitosti má sice velikost 0,25 m, ale stejnobarevné pixely jsou velmi často sdruženy do čtverců o hraně 2 m (viz obrázek), takže i velmi zodpovědně volená linie může být o metr mimo skutečnou polohu.



Obrázek č. 12 Rastr sklonitosti terénu DMR 5G, mřížka po 2 m, čísla indikují body vytipované pro hodnocení odchylek, viz níže. Zde jsou jen kvůli lokalizaci tohoto příkladu.

Propojil jsem vytipované černé linie do trasy dlouhé cca 3,5 km tak, aby obsahovala co nejvíce rozdílných typů terénu, preferoval jsem úseky nepříznivé pro GNSS.



Obrázek č. 13 Potenciální referenční linie (černě) a schématický návrh trasy (žlutě).

Testované přijímače

F9P

Dvoufrekvenční GNSS modul od firmy Drotek osazený čipem u-blox ZED-F9P (GPS, Glonass Galileo, BeiDou) připojený k tabletu pomocí externího bluetooth modulu. Dvoufrekvenční aktivní flíčková (patch) anténa. Během testu nebyl využit režim RTK. Podle návodu L. Pecháčka sestavil P. Matula 2022. Cena cca 8 000 Kč, hmotnost 195 g, rozměry 75 x 75 x 30 mm.

<https://store-drotek.com/911-sirius-rtk-gnss-rover-f9p.html>

Poznámka ke korekcím a RTK

Přestože u-blox ZED F9P akceptuje korekce ve formátu RTCM 3, a je schopen využívat RTK¹⁵, v našich testech jsme to nepoužili. Hlavním důvodem je, že zlepšování přesnosti až na centimetrovou úroveň se týká jen míst s dobrým výhledem na oblohu, k nimž signál ze satelitů přichází přímo. V místech, na něž se signál dostane až po několika odrazech a poloha je falešná o mnoho metrů, tam je její

¹⁵ RTK - korekce při použití fázového měření, vyžaduje příjem informací o fázových korekcích ze základnové stanice. Tu si může uživatel zřídit svoji, použít státní síť či komerční.

zpřesňování o centimetry bezpředmětné. Další důvody, proč nepoužívat RTK, jsou vyšší náklady (placené korekce), složitější systém (víc věcí k hlídání a víc věcí se může rozbít), závislost na mobilním signálu (v hlubokém lese mimo civilizaci).

Přesto mají vážní zájemci RTK a DGPS na dosah. Aplikace Bluetooth GNSS podporuje RTK i připojení na VRS¹⁶. Stačí jen vyplnit název internetového serveru poskytujícího službu NTRIP, přidat přihlašovací jméno a heslo a vybrat zdroj korekcí. V lese je pak potřeba zajistit připojení k Internetu, což je se současnými chytrými telefony snadné a alespoň nějaké datové připojení v lese bývá. V Čechách korekce poskytuje za úplaty CZEPOS (60 Kč/hod. používání VRS), bezplatně lze použít EUREF. V severozápadních Čechách je možné bezplatně používat SAPOS Sachsen. Ojedinelé pokusy L. Pecháčka na triangulačních bodech v lese ukazují, že odchylky měření jsou při použití RTK do 0,5 m.

M8N

GNSS modul od firmy Drotek osazený čipem u-blox NEO-M8N (GPS, Glonass, Galileo) připojený k tabletu pomocí externího bluetooth modulu. Flíčková (patch) anténa na desce. Modul se již nevyrábí. Podle návodu L. Pecháčka sestavil P. Matula 2020. Cena cca 1 500 Kč, hmotnost 68 g, rozměry 60 x 40 x 16 mm.

<http://web.archive.org/web/20200919053119/https://store-drotek.com/883-DP0107.html>

GLO

Komerční výrobek Garmin GLO, koupený v roce 2016, cena cca 2 500 Kč, hmotnost 60 g, rozměry 77 x 42 x 18 mm, mezi mapáři považovaný za vhodný standard. Základem je možná čip STM Teseo.

Garmin však informace o použitých součástkách tradičně neuvádí. <https://www.garmin.com/cs-CZ/p/645104>.

Realizace testu

Všechny přijímače jsem upevnil do vodorovné polohy vedle sebe na improvizovaný držák vyčnívající nad batoh do výše temene hlavy.

¹⁶ VRS - virtuální referenční stanice, služba sítě poskytující korekce přímo pro místo, kde se nachází přijímač. Vyžaduje, aby přijímač alespoň jednou oznámil svoji polohu síti.



Obrázek č. 14 Improvizovaný nosič přijímačů.

Každý přijímač jsem přes Bluetooth propojil se samostatným záznamovým zařízením:

F9P s tabletem Samsung Galaxy Tab Active3, Android 12,

M8N s mobilem Samsung Galaxy Note 4, Android 6,

GLO s mobilem Doogee S30, Android 7.0.

Ve všech případech byla pro simulování polohy v prostředí Android (tj. pro náhradu dat interního přijímače GNSS daty z externího) použita aplikace Bluetooth GNSS(*), pro záznam trasy OO Mapper 0.9.5 s výše popsaným georeferencovaným souborem.

Přijímače i záznamy (Android, Bluetooth, OOM) jsem nastartoval asi 5 min. (300 m) před startem trasy. Trasu jsem obešel pěší chůzí, 3,5 km mi trvalo cca 1:10 hod. V zarostlých roklích to byl víceméně boj, na mnoha místech jsem byl přinucen uhnout z trasy (z údolnice, hřbetnice) i o více než 1 m. Několikrát jsem na různou dobu i zastavil (čůrpauzy, smrkání).



Obrázek č. 15 V roklich bylo obtížné dodržet přesně trasu údolnicí.

Dvakrát mi větev vytrhla držák (v mapě označeno černými tečkami a popsáno), na místě jsem jej znovu montoval zpět. Pro přijímače to znamenalo kotrmelce antény a výrazné stínění tělem. Na několika zřetelných křižovatkách jsem odbočku několik metrů sledoval a pak se vracel. Někdy jsem se i kousek vracel po trase, když jsem odbočku „zaspal“.

Takto jsem absolvoval celkem čtyři kola:

23.1. od cca 15 hod. jen s přijímači F9P a M8N,

24.1. od cca 14 hod. s výpadkem záznamu GLO na první čtvrtině trasy,

24.1. od cca 15 hod. v protisměru, s výše popsanou opravou sraženého držáku,

25.1. od cca 14 hod. v protisměru s výraznou odbočkou na vrchol kopce kvůli statickému měření na geodetickém bodu (popsáno níže samostatně) a opět s opravou sraženého držáku.

Zpracování dat

Pro každý přijímač jsem tím získal za každý den jeden GPX soubor. Ten jsem importoval do pracovního souboru OOM (dále jen mapa), smazal počátek stopy před startem a konec za cílem trasy, oddělil jsem od sebe i dvě kola ze dne 24.1. Pro každou stopu jsem definoval samostatný symbol. Do pojmenování symbolů jsem zabudoval označení přijímače, datum, hodinu a směr postupu. Barvou linie jsem odlišil přijímače, šipečkami směr pohybu. Žádné vyhlazování jsem neprováděl. Výsledkem tedy je 11 stop. Ty části černé referenční linie, které jsem v terénu nedokázal sledovat (neschůdné, nerozpoznatelné) jsem převedl na šedou čáru. Spolu s propojovacími úseky bez jasné referenční čáry jsem je následně vyloučil z hodnocení.

Klasifikace

Hodnocené úseky jsem rozdělil a klasifikoval podle porostu do 4 kategorií (bez lesa, nízký les, vysoký les, okraj lesa) a nezávisle na tom podle typu terénu do 5 kategorií (rovina, mírný svah, strmý svah, pata svahu, údolí/rokle, hřebítek). Do pracovní mapy jsem tuto klasifikaci zaznamenal pomocnými podloženými čarami, pro každou kategorii jinou. V každém místě trasy jsou tedy pod ní dvě tlusté čáry, jedna značí kategorii porostu, druhá kategorii terénu. Možných kombinací je samozřejmě velmi mnoho.

Pro základní grafické znázornění bylo žádoucí se omezit na výrazně stručnější jednoduchou stupnici. Proto jsem s ohledem na známé chování signálu GNSS provedl odhadem i klasifikaci na úseky podle očekávané kvality signálu, tj. v podstatě podle výhledu na oblohu, (1 = plný výhled, 2 = dobrý výhled, 3 = omezený výhled, 4 = velmi omezený výhled, 5 = žádný výhled). V mapě je to reprezentováno pěti stupni sytosti další (fialové) tlusté podkladové čáry. Samostatnou kategorií pak je 0 = nehodnocené úseky, graficky vyjádřené žlutým podložením. Celkem je tedy definováno $4+5+5=14$ podkladových čar plus jedna (žlutá) pro nehodnocené úseky. V každém místě trasy jsou z nich podloženy tři, jedna popisuje porost, druhá terén, třetí výhled. Jejich skrýváním a odkrýváním lze vizuálně posuzovat souvislosti s chováním přijímačů.



Obrázek č. 16 Klasifikace porostu, terénu a výhledu (celkové náročnosti pro GNSS). Čím tmavší, tím náročnější.

Tyto podkladové čáry posloužily i pro automatizované statistické vyhodnocení odchylek. Jako alternativu (nakonec ale nepoužitou) jsem vytvořil ještě jednu pomocnou podkladovou čáru, rozdělil ji na části se stejnými všemi třemi parametry ke každé části přidal textový tag, indikující její klasifikaci. Pro úsporu psaní při ručním tagování byly použity jednomístné kódy, např. “1br” značí plný výhled, bez lesa, rovina.

Metody hodnocení

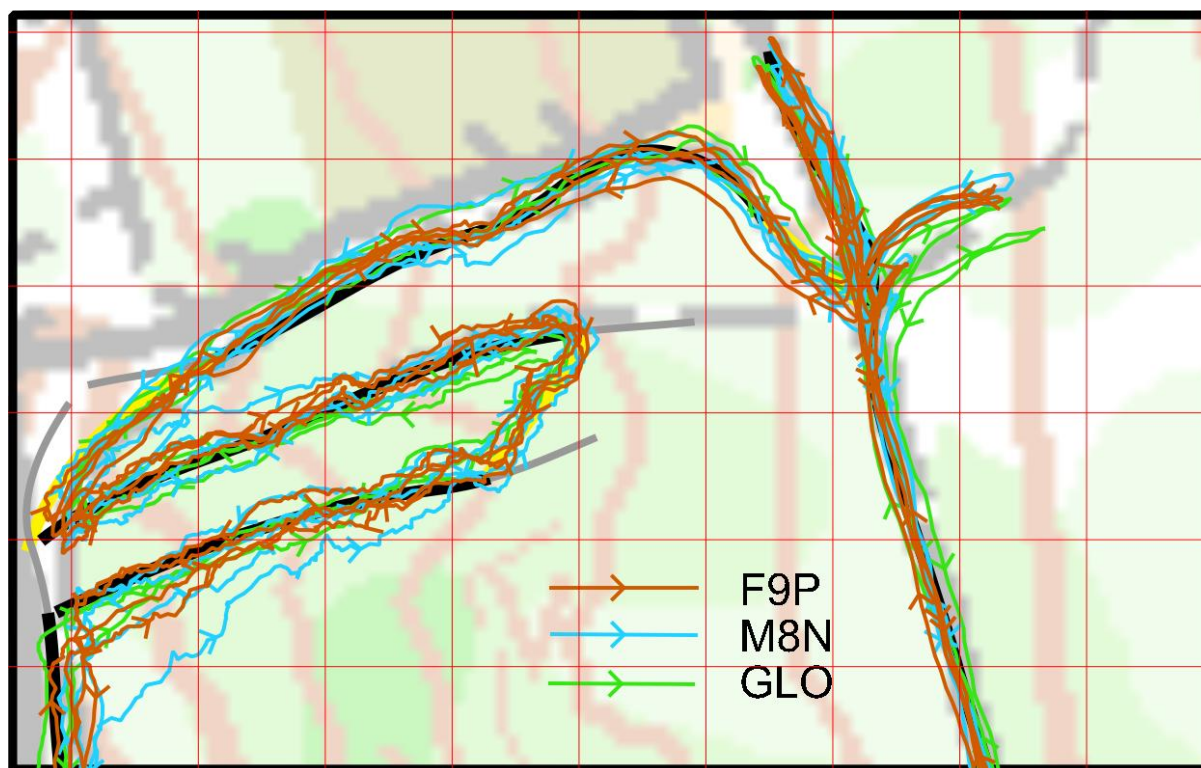
Uplatnili jsme tři značně rozdílné metody.

1. Vizualní posouzení stop, jejich porovnání navzájem i s referenční linií.
2. Ruční měření odchylek v několika desítkách vytipovaných charakteristických bodů trasy, zápis hodnot do tabulky a výpočet základních statistických veličin.
3. Automatizované měření odchylek stop na několika tisících bodů pravidelně rozmístěných na referenční linii, automatizovaný výpočet statistických veličin.

Zkrátka okometrie, rukometrie a strojometrie.

1. Vizualní posouzení

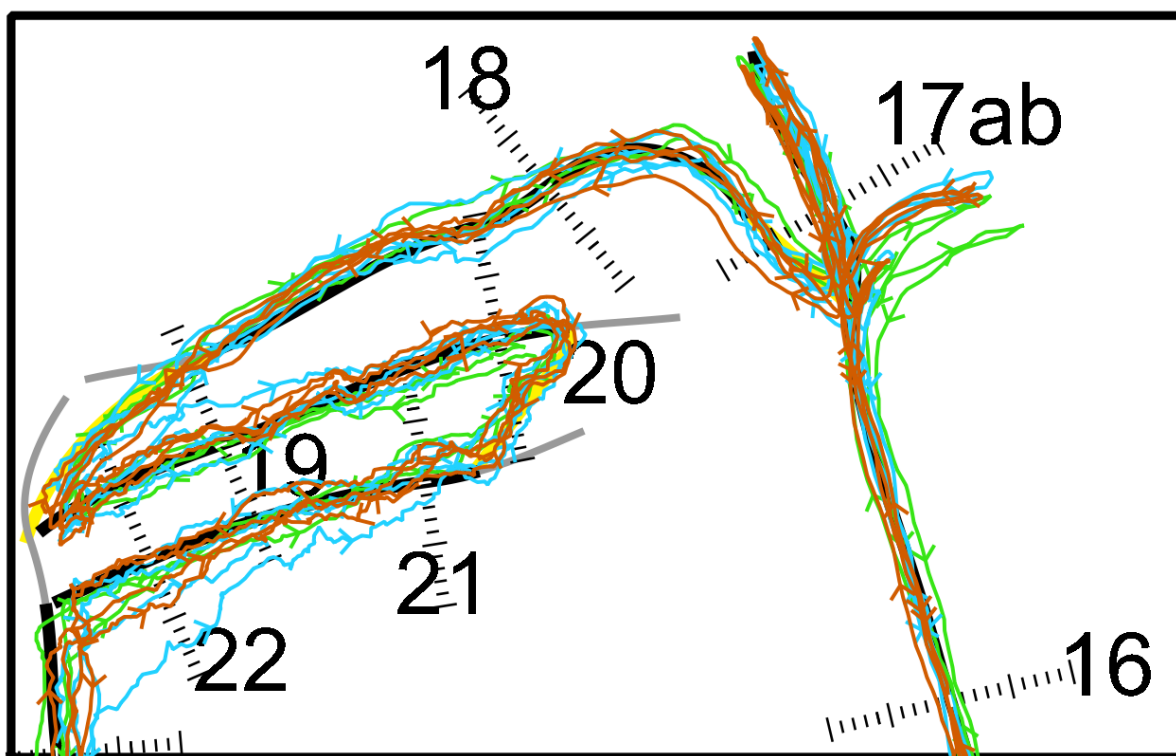
Velmi názornou představu o kvalitě přijímačů dává již pohled na mapu (příloha Test_GNSS_Komin.omap) se současně zobrazenými všemi stopami. Skrýváním a odkrýváním lze porovnávat stopy různých přijímačů v tomtéž průchodu, nebo naopak stopy téhož přijímače v různých průchodech. Zapínáním a vypínáním podkladové OB mapy nebo klasifikačních čar pro Výhled, Porost a Terén lze pozorovat souvislosti. Přímo v souboru mapy je stručný návod, jeho sledováním se lze v systému stop a podkladových čar vyznat nejrychleji. Předpokládáme, že většině zájemců bude tento výstup zcela postačovat.



Obrázek č. 17 Stačí pouhý pohled na stopy a referenční linie. Mřížka je zde po 10 m.

2. Ruční měření odchylek

Vytipoval jsem na trase 65 bodů reprezentujících různé situace. Snažil jsem se, aby pro každou situaci bylo více bodů, aby však byly v rámci stejných klasifikačních kategorií poněkud rozdílné (např. dolní a horní část rokle). Body jsem očísloval, opatřil příčným měřítkem v metrech.



Obrázek č. 18 Stopy, referenční linie a měřítka (po 1 m) ve vytipovaných bodech.

Ve vytipovaných bodech trasy jsem odečetl odchylky všech 11 stop a zapsal do tabulky (příloha Test_GNSS_Komin_odchylky_rucni.xlsx). Ke každému bodu v tabulce jsem připsal jeho klasifikaci Porost, Terén, Výhled a případně i poznámku.

Tabulku jsem opatřil výpočtem mediánu, průměru a maxima, a to jak pro každý měřený bod (řádek), tak pro každou stopu (sloupec), a stejně i pro každý přijímač (všechny jeho sloupce dohromady). V malých tabulkách dole jsou spočteny medián, průměr a maximum odděleně po kategoriích dle Výhledu, dle Porostu a dle Terénu.

Následně provedl L. Pecháček z těchto ručně změřených hodnot výpočty dalších statistických veličin, nejvíce vypovídají kvantily 75 % a 95 %.

F9P celkem; počet měření 256

percentil	50 % medián	75 % třetí kvartil	90 %	95 %	99 %	100 % maximum
odchylka [m]	0,86	1,50	2,30	3,20	4,10	6,20

(tj. 95 % měření F9P má příčnou odchylku menší než 3,2 m)

M8N celkem; počet měření 256

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	1,1	2,0	3,2	4,3	6,7	7,8

(tj. 95 % měření M8N má příčnou odchylku menší než 4,3 m)

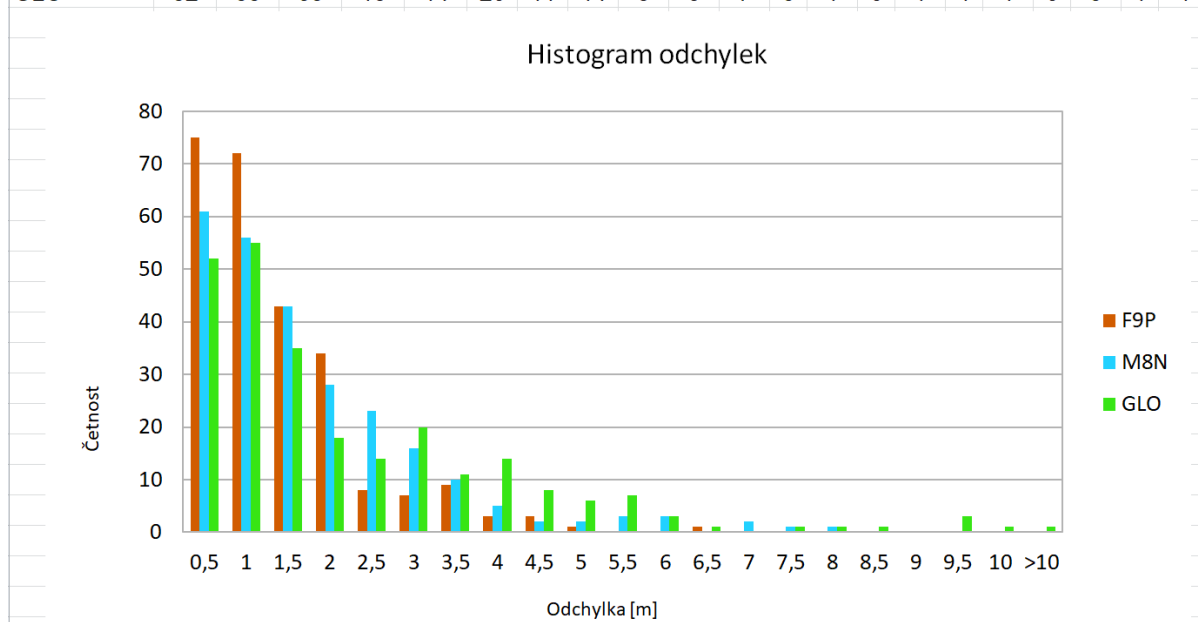
GLO celkem; počet měření 181

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	1,3	2,9	4,5	5,6	9,5	10,0

(tj. 95 % měření GLO má příčnou odchylku menší než 5,6 m)

Totéž obecněji říkají i grafy četnosti hodnot, histogramy. V podstatě jde o polovinu Gaussovy křivky. Kdybychom při měření rozlišovali odchylky vlevo jako záporné a vpravo jako kladné, tak by histogramy odpovídaly celé Gaussově křivce normálního rozložení. Čím strmější, užší je vrchol, tím lepší kvalita měření. Vidíme, že u F9P se většina odchylek vejde do 2 m, přičemž nad 4 m už jsou jen naprosté výjimky. Oproti tomu GLO má nezanedbatelný počet odchylek až do 6 m.

Odchylka (m)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	>10
F9P	75	72	43	34	8	7	9	3	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M8N	61	56	43	28	23	16	10	5	2	2	3	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0
GLO	52	55	35	18	14	20	11	14	8	6	7	3	1	0	1	1	1	0	3	1	1



Obrázek č. 19 Četnost příčných odchylek pro ruční měření v 65 vytipovaných bodech (všechny průchody).

Prezentované hodnoty se však nerovnají (ne)přesnosti přijímačů! Ta je zhruba 1,5-2× vyšší, neboť v tomto testu pracujeme jen s příčnou složkou chyby.

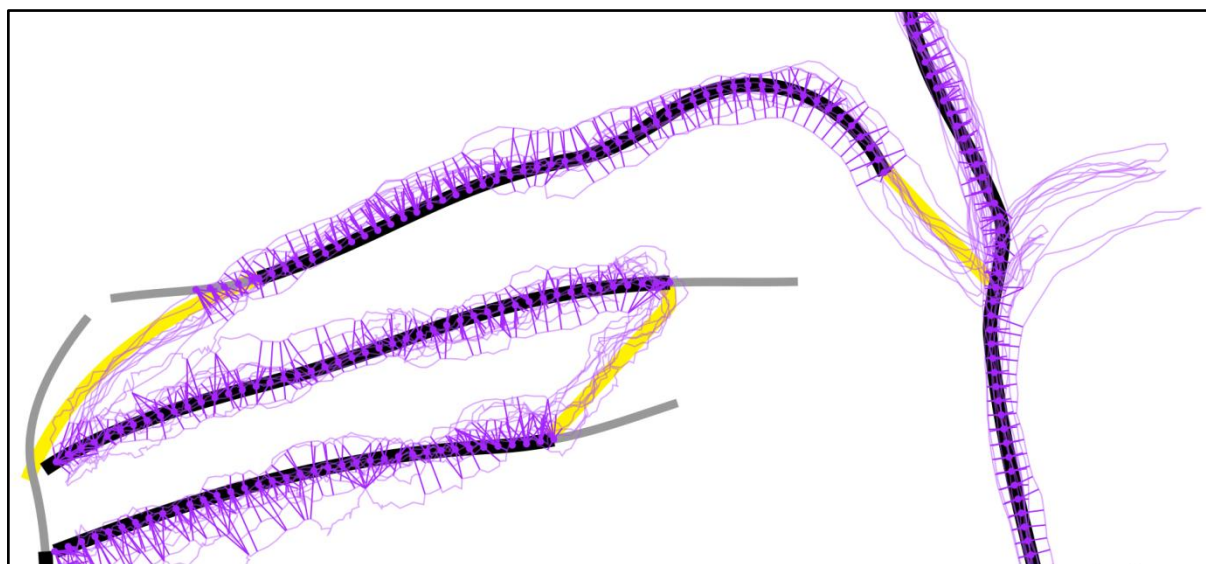
K danému bodu trasy může jeho změřená poloha ležet kterýmkoliv směrem, tj. v zákresu stopy nemusí být kolmo na trasu, ale různě šikmo na trasu dopředu či dozadu, klidně i přímo v ose trasy. V tom případě se bude odchylka stopy jevit jako nulová, i když skutečná chyba měření nulová nebude. Jinak řečeno: stopa je proti referenční linii gumově ponatahovaná a pokrivená, někdy vpřed, jindy vzad, většinou blíž a jen málokdy přesně ve vzdálenosti skutečné chyby.

Bohužel s tím nic nenaděláme. Teoreticky můžeme z GPX souboru zjistit čas každého bodu na stopě, ale zase neznáme polohu bodu na trasě, v němž v ten moment byl testovaný přijímač.

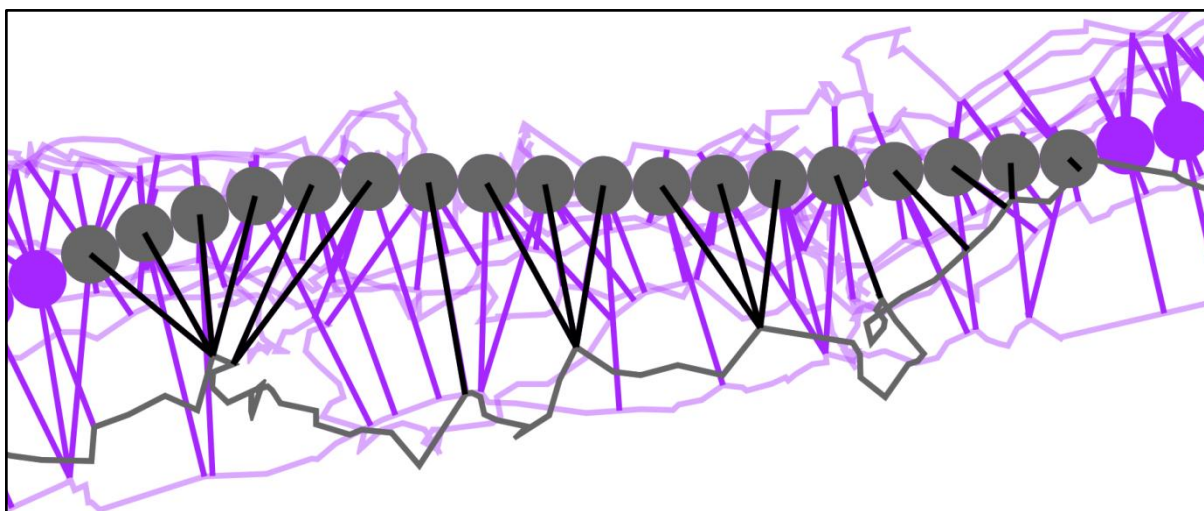
3. Strojové měření odchylek

Libor Pecháček použil OO Mapper, QGIS a R a realizoval postup automatizovaného statistického vyhodnocení testu. Na referenční linii v pravidelných odstupech (zvolili jsme 1 m) změřil a uložil vzdálenost k nejbližšímu místu každé stopy. Toto pravidlo “nejbližší platí” řeší velmi elegantně a poměrně spravedlivě všechny zastávky a vracečky na trasě. Spolu s odchylkami se ukládaly i klasifikační údaje (porost, terén, výhled) v tom místě, odvozené z podložených klasifikačních čar. Ze získaných dat se následně počítaly základní statistické veličiny; jak ze všech hodnot na trasě, tak odděleně podle kategorií (porost, terén, výhled). Pro potřeby mapařů jsou významnější výsledky z obtížných úseků trasy (okraj lesa, rokle, strmý svah, omezený výhled). Podrobnější popis postupu je v příloze Test_GNSS_Komin_statistiky_strojove.pdf.

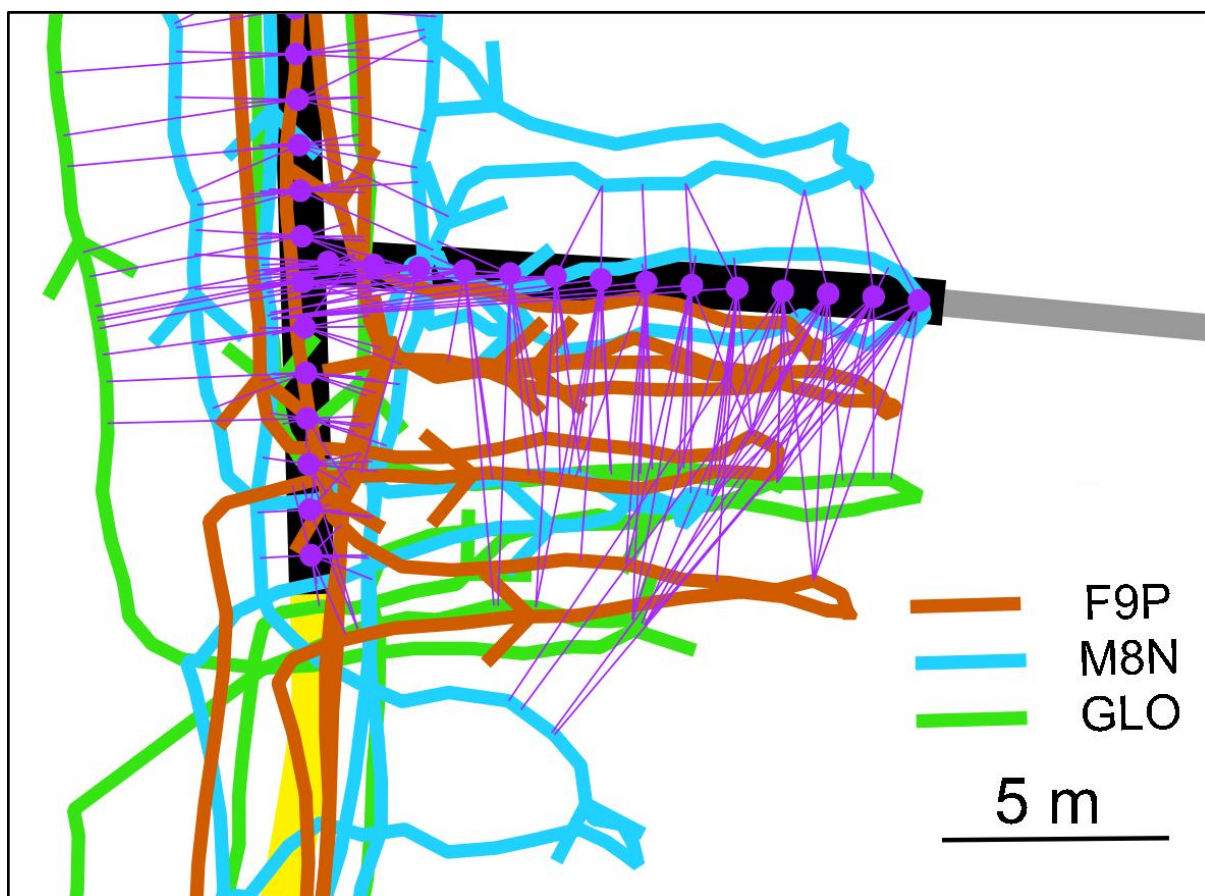
Rozdíl proti ručnímu zpracování je v množství měřených bodů, neovlivněných ručním výběrem. Samozřejmě i menší pracnost za předpokladu zvládnutí postupu.



Obrázek č. 20 Mapa strojového měření odchylek z bodů na trasě po 1 m. Žlutě jsou neměřené úseky, bez jasné referenční linie.



Obrázek č. 21 Z každého bodu na trase se měří vzdálenost k nejbližšímu místu každé stopy. To elegantně narovnává kudrlinky, chumly a vracečky na stopách. Vylepšuje to však výsledky, neboť úlety “ven” se ignorují, úlety ke správné poloze se započtou, často i vícekrát.



Obrázek č. 22 Měření na nejbližší místo stopy zastírá slabiny přijímačů na krátkých odbočkách. Zde je ukázka z místa s největšími rozdíly celého testu, pata kopce a vysoký les na východ, nízký les na západ. Černě je cesta, zcela jasná z ortofota, a odbočka jasná z LIDArů, dodržena při všech

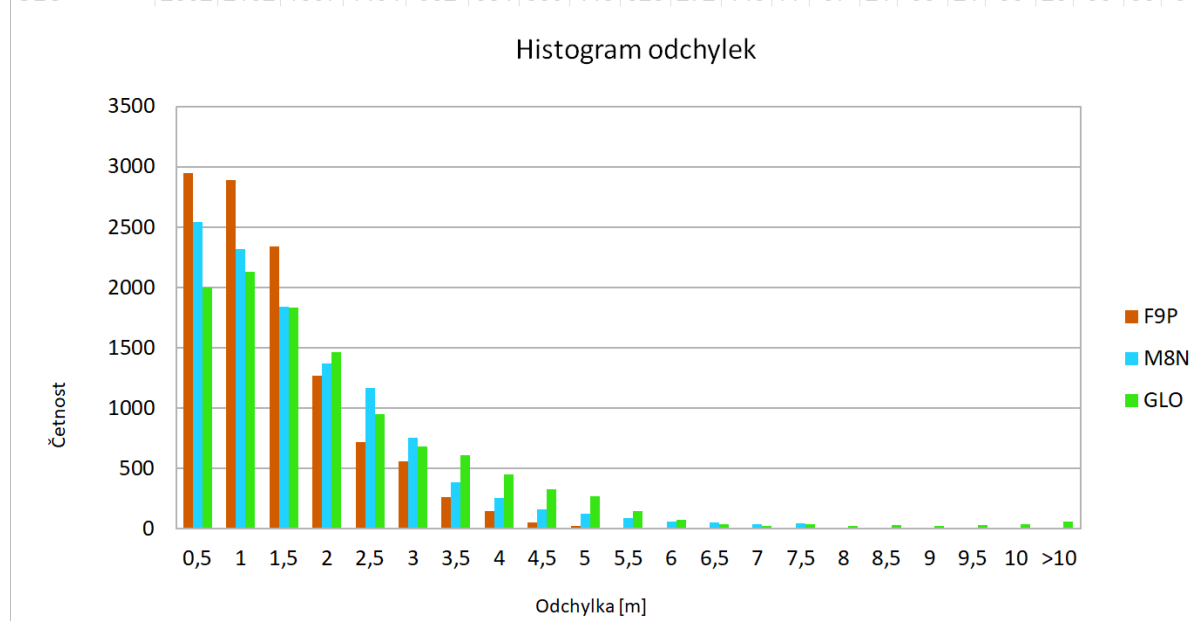
průchodech na decimetr stejně. Za povšimnutí stojí předčasné odbočování modrých stop (M8N), viditelné zejména na obou stopách přicházejících z jihu. V menší míře to lze sledovat i u hnědých stop (F9P).

Předchozí dva obrázky ilustrují významný nedostatek strojového měření při použití pravidla “nejbližší platí”. Vylepšuje výsledky v roztřesených úsecích a v prudkých ohybech trasy. Ačkoliv je toto pravidlo stejné pro každou stopu, tak na něm profitují právě ty nejvíce rozevláté. Potlačit by se to dalo měřením odchylek kolmo na osu trasy a vyloučením ostrých ohybů a vraceček trasy z měření. Rozhodli jsme se však tento problém zatím neřešit.

Při interpretaci následujících výsledků je třeba mít na paměti, že započtené odchylky jsou výrazně menší, než skutečné všesměrové odchylky, nepřesnosti přijímačů. K systematickému potlačení podélné složky odchylek ve všech bodech trasy se přidává i právě popsané “vylepšování” stop v náročných úsecích. Platí tedy, že výsledky jsou lepší všude, ale nejvíce vylepšeny jsou ty nejhorší v nejhorších situacích. Paradoxně tak nejroztřesenější stopa může vyjít nejlépe. Při našem testu jsme však tento efekt postřehli jen v zanedbatelných náznacích.

Koeficient pro dorovnání započtených odchylek na úroveň skutečných všesměrových odchylek bude tedy proměnlivý, pro náročné úseky zatím jen odhadujeme na 1,8. Přesněji se dá určit jen empiricky, porovnáním na trase pokryté sérií přesně změřených bodů. O to se pokusil P. Matula testem v Bílovicích popsaném níže, bohužel však vyhovující body měl jen v prostoru z hlediska GNSS nenáročném.

Odchylka (m)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	>10
F9P	2946	2888	2339	1272	718	558	260	149	51	24	11	11	13	4	0	0	0	0	0	0	0
M8N	2541	2322	1842	1372	1168	754	386	258	158	126	89	62	54	35	45	11	6	8	1	0	4
GLO	2002	2132	1837	1464	952	684	609	448	325	272	145	77	37	21	35	21	30	26	30	38	59



Obrázek č. 23 Četnost odchylek pro strojové měření v bodech po 1 m (všechny průchody).

Porovnání výsledků

1. Vizualní metoda

Na první pohled je vidět, že v jednoduchých úsecích jsou všechny stopy skoro shodné, kdežto v obtížných se liší daleko častěji a více. GLO v několika případech zřetelně nezvládá rokle. Velké a překvapivé úlety má však i celkově nejlépe působící F9P. Takže i k tomuto přístroji by měl mapař přistupovat kriticky a ostražitě.

Nepotvrdil se dřívější dojem, že M8N vykresluje stopu se zpožděním, že počítá a odesílá vždy až klouzavý průměr několika posledních měření a tím "řeže" zatáčky a zkracuje slepé odbočky. To snad lze vidět jen na slepé odbočce u bodu 63, jinde ne.

Zajímavé je chování přijímačů v době zpětné montáže sraženého držáku, místa jsou označena v mapě poblíž bodů 12 a 14. Je vidět, že M8N na převrácení a stínění reagovala velmi bouřlivě, naopak GLO se moc rozhodit nenechala. Jinak řečeno, přesnost M8N velmi závisí na vodorovné a nestíněné poloze antény.

2. Ruční metoda

Z hodnot v tabulce nelze vyčíst o moc více, než jen potvrzení vizuální metody.

3. Strojová metoda

Opět potvrzuje první dojmy. Hrubý popis postupu je v dokumentu s podrobnými čísly ze strojového zpracování. Díky popisu (v příloze Test_GNSS_Komin_statistiky_strojove.pdf) lze docela dobře nepřímě testovat i další přijímače porovnáním s běžně rozšířeným GLO.

Shrnutí

Ve všech testovaných situacích vychází jednoznačně pořadí F9P, M8N, GLO. Ve snadných situacích jsou rozdíly velmi malé a všechny přijímače jsou spolehlivě v přijatelné toleranci. Pro mapaře je ale při výběru nejsilnějším argumentem nízké riziko větší chyby v náročných oblastech. Z testu vychází jednoznačně nejlépe F9P, je ovšem násobně dražší a násobně těžší (!) než konkurence.

Velikost odchylek (celkový průměr 1,5 m) je přitom srovnatelná s nepřesností referenční linie. Opraví-li se tedy referenční linie o metr, vyjdou odchylky zásadně jinak. Podezřelé v tomto smyslu jsou úseky, kde jsou všechny stopy na téže straně ref. linie. Stejně dobře tam však může být nějaký objektivní rušivý vliv, který působil stejně na všechny přístroje.

Statické měření (Komín)

Měření jsem provedl při odbočce z průchodu liniovou trasou dne 25.1. na trigonometrickém bodě číslo 0009 4301 0290, (E 614133,9 N 5453657,7 WGS84/UTM 33N) na Palackého vrchu. Desku s přijímači jsem položil přímo na patník, je nenápadný, ani ne 10 cm vysoký, nad ním asi 10-15 m vysoké stromy, ze severu borovice, z jihu duby a akáty, t.č. bez listí. Poodešel jsem asi 4 m, abych

nestínil. Po 3 minutách jsem desku otočil o 180 stupňů kolem svislé osy a zase na 3 min. poodešel. Doma jsem pak pro přehlednost stopy příchodu a odchodu vystříhl v délce asi 10 m a nahradil schematickými spojnicemi. Výsledky jsou zřejmé z přiložených obrázků.



Obrázek č. 24 Statické měření na trigonometrickém bodě, vnitřní poloměr kroužku je 2 m, vnější 3 m.

Černý kroužek je na mapě umístěn podle ZM10 a skutečně je přesně na souřadnicích trig. bodu. Vnitřní poloměr kroužku je 2 m, vnější 3 m. Překvapující je malý počet bodů na záznamu GLO. Jediné vysvětlení nacházím v tom, že odstup 4 m byl pro Bluetooth moc a mobil dokázal přijmout jen několik málo měření. Mobily a tablet jsem měl po kapsách s přímou viditelností na patník, ale asi jsem je měl nechat bezprostředně u něho.

Zajímavý je záznam F9P, je vidět jak polohu zpřesňoval a když si "sedl", tak už se dál nehýbal. Naopak M8N spíše potvrzuje dřívější dojem, že má tendenci pořád cestovat.

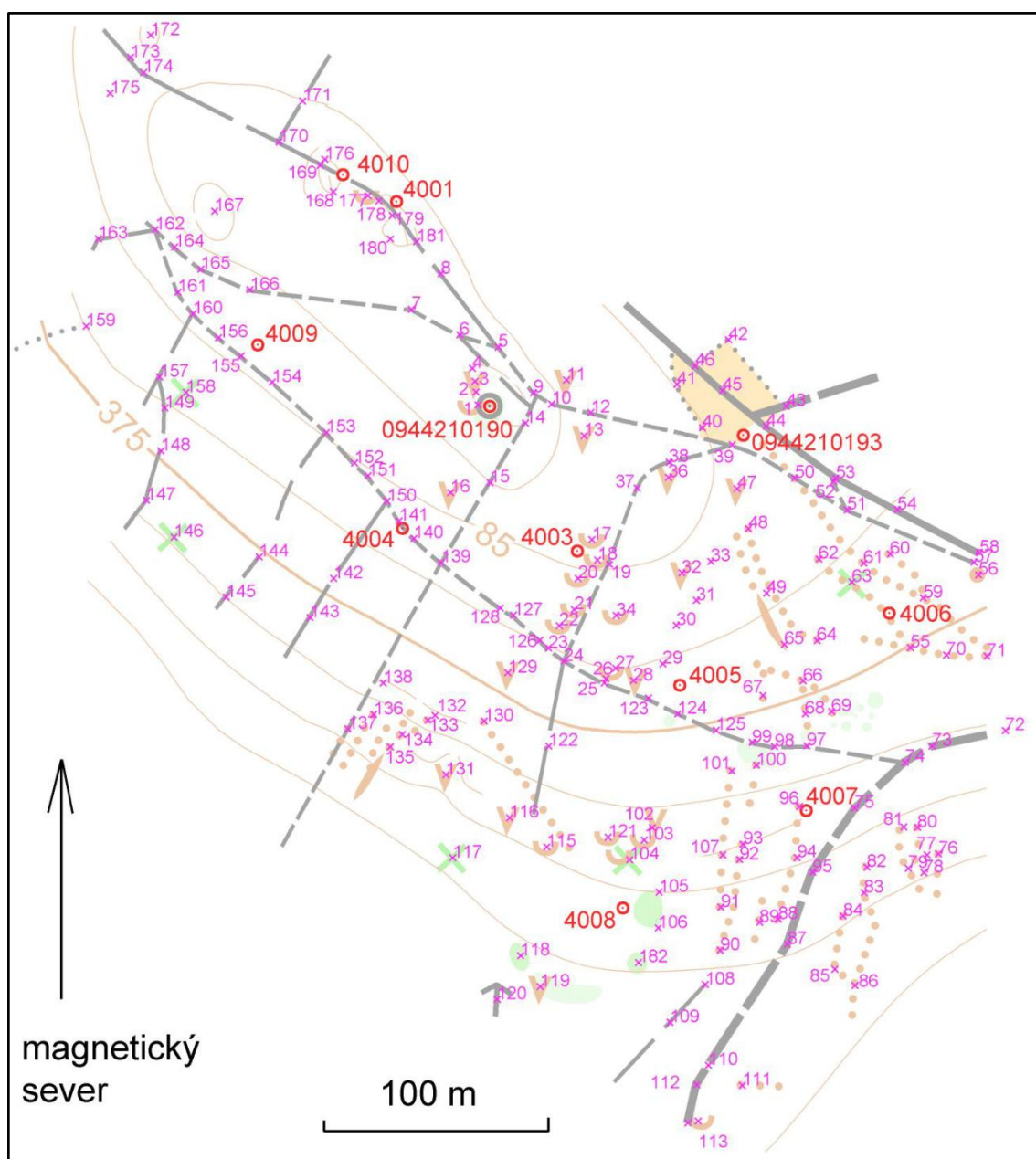
Tento statický test jsme pojali jen jako nadstavbu "když už tam ten trigonometr je". Žádné statistické vyhodnocení jsme neprovedli. Z pouhého pohledu je zřejmé pořadí přesnosti F9P, M8N, GLO, přičemž i poslední dává výsledky v okruhu 2,5 m, což lze hodnotit jako přijatelné.

Druhý test, Bílovice (P. Matula)

Tento test navazoval na předchozí v Komíně a jeho provedení se v základních rysech shodovalo. Zde popisujeme jen rozdíly. Situaci přehledně ukazuje mapa Test_GNSS_Bilovice.ocd s podkladem mapa_OB.png (oba soubory v příloze).

Podklady

Pro testování byla využita síť bodů, které byly dříve (únor 2008) přesně zaměřeny pro diplomovou práci pomocí totální stanice Topcon GTS-226 a transformovány do S-JTSK. Viz též soubor Mericky_nacrt_2008.png v příloze.



Některé body se nacházely v osách cest, ale nebylo jasné, kde přesně. Bylo však možné je využít ke konstrukci referenčních linií pro záznam trasy. Tam, kde chyběly měřické body, využil jsem pro referenční linie sklonitost DMR 5G a ortofoto, podobně jako při testu v Komíně. Výsledné referenční linie tak netvoří spojitou trasu, proto i záznamy stop jsou nespojité a většina testovacích bodů je izolovaných mimo referenční linie.

Body byly klasifikovány stejným způsobem jako při testu v Komíně, všechny padly do kategorií vysoký les, rovina nebo mírný svah, výhled 2 (dobrý) nebo 3 (omezený).

Provedení testu

Pro záznam byly použity tři PDA vybavené shodně Windows Mobile a mapovacím software Momap. Všechny PDA byly přilepené izolepou vedle sebe na podložce. Všechny GNSS přijímače byly spojené k sobě izolepou na čepici, vodorovně kvůli směrovým anténám. Propojení strojů:

Nautiz X7 – F9P

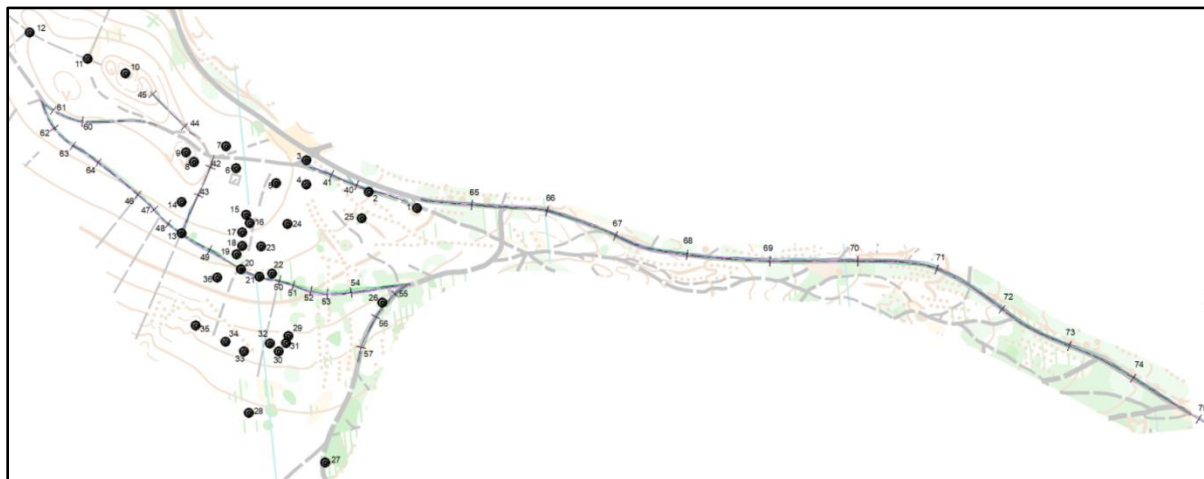
Nautiz X4 – M8N

FS Pocket Loox N560 - GLO

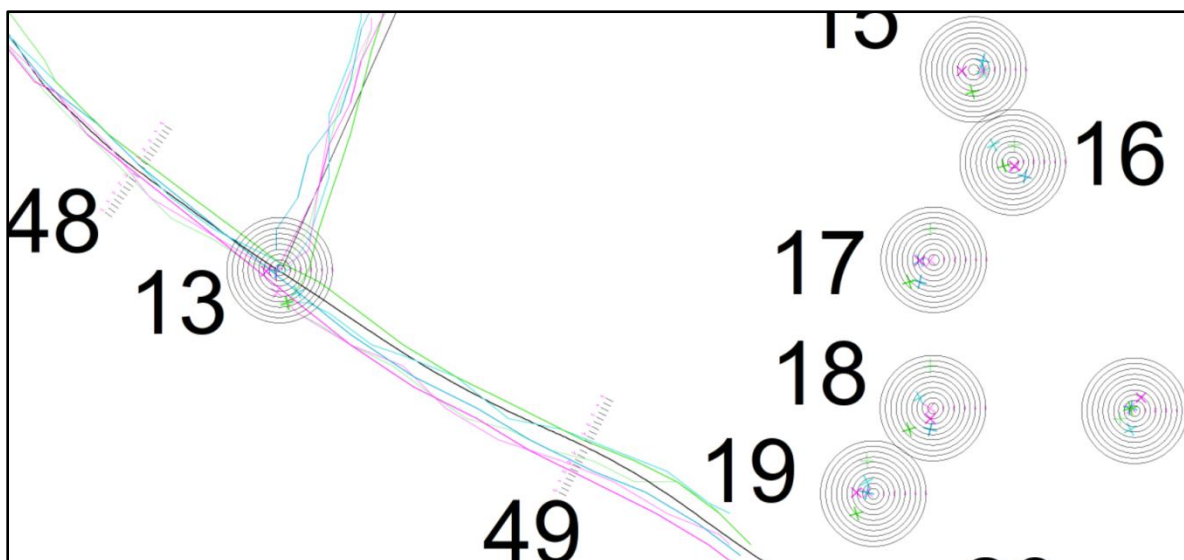
Ve srovnání s OOM ukládá Momap body stopy s výrazně nižší frekvencí, každé 4 sekundy, což však pro mapování i pro tento test dostačuje.

Na každém bodě jsem zastavil cca 10 vteřin a uložil pozici bodu do každého ze 3 zařízení. Na těchto bodech byly následně změřeny polohové odchylky a vyneseny do tabulky

Test_GNSS_Bilovice_odchylky.xls (příloha). Následně byly vypočteny základní statistické veličiny (průměr, medián, maximum).



Obrázek č. 26 Test Bilovice, přehled.



Obrázek č. 27 Test Bílovice, detail, stupnice měřítek po 1 m.

Zpracování dat

Všesměrové odchylky na geodeticky zaměřených bodech

Celkem 68 měření, na většině bodů dvakrát.

F9P (průměr 1,5 m, směrodatná odchylka 1,7 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	1,4	2,0	2,4	3,1	3,9	3,9

M8N (průměr 1,9 m, směrodatná odchylka 2,3 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	1,7	2,7	3,5	4,1	5,0	5,3

GLO (průměr 2,1 m, směrodatná odchylka 1,4 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	2,0	2,8	3,4	3,9	5,5	5,9

Příčné odchylky na trase

Celkem 58 měření

F9P (průměr 0,9 m, směrodatná odchylka 1,1 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	0,7	1,2	1,8	2,2	2,5	2,7

M8N (průměr 1,1 m, směrodatná odchylka 1,3 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	0,9	1,6	1,9	2,8	3,2	3,4

GLO (průměr 1,2 m, směrodatná odchylka 1,6 m)

percentil	50 %	75 %	90 %	95 %	99 %	100 %
odchylka [m]	1,0	1,5	2,7	3,0	3,9	4,1

Průměr všesměrových odchylek na geodeticky zaměřených bodech: 1,836 m.

Průměr příčných odchylek jen na trase s geodeticky zaměřenými body: 1,092 m.

Koeficient pro přepočet příčných odchylek na všesměrové tak vychází $1,836 / 1,092 = 1,680$.

Shrnutí

Předností tohoto testu byla síť přesně změřených referenčních bodů a podobně přesně určených referenčních linií. Předností bylo i to, že při statickém měření (byť trvalo jen 10 s) na geodeticky zaměřených bodech byly měřeny všesměrové odchylky, na rozdíl od pouhé příčné složky odchylek na liniích. Na liniích proto vychází hodnoty zřetelně menší než na bodech. Odchylky na referenčních bodech lze považovat za chyby přijímačů, za míru jejich přesnosti. Z porovnání průměrných hodnot všesměrových a příčných odchylek vychází koeficient 1,68. Na matematicky korektní odvození koeficientu jsme si netroufli.

Zásadním nedostatkem testu byla stejnorodost celé oblasti (vše vysoký les a rovina či mírný svah) a zejména její nenáročnost pro GNSS (temeno plochého kopce). V těchto podmínkách vyšly rozdíly mezi přijímači výrazně menší než v náročných částech v Komíně. Pořadí vyšlo stejně.

Poučení z testů

- **Nemá smysl testovat ve snadných podmínkách**, pro mapaře OB tam všechny přijímače vyhovují a rozdíly mezi nimi jsou zanedbatelné.
- **Odlíšovat dynamické měření na liniích od statického měření na bodech!** Příčné odchylky z linie je nutno pro porovnání s všesměrovými z bodů násobit koeficientem, který je závislý na náročnosti prostředí, rychlosti a souvislosti pohybu, způsobu měření odchylek, ... Koeficient odhadujeme v rozmezí 1,5-2,0.

- **Dynamické měření na liniích** vyžaduje referenční linie přesně určené v mapě (kvalitní LIDAR či ortofoto) a přesně sledovatelné (schůdné) v terénu. I tak je zbytečné test vyhodnocovat důkladněji, než jen vizuálním porovnáním stop.
 - Stopy nevyhlazovat, ponechat originální frekvenci 1 bod/s.
 - Naměřené odchylky nevypovídají správně o přesnosti přístrojů (zcela postrádají podélnou složku).
 - Zatáčky, odbočky a vracečky velmi komplikují a znehodnocují případné strojové statistické hodnocení stop.
 - Při pouhém pohledovém hodnocení naopak dávají tvary stop v ostrých zatáčkách, odbočkách, vracečkách dobrou představu o věrnosti realitě. V mapě OB velmi záleží na správném vystižení ohybů, křižovatek apod.
 - Testovat v obou směrech trasy a studovat rozdíly, zejména v zatáčkách.
 - Místo ručního sázení příčných měřítek použít podložení trasy několika pomocnými liniemi různé síly (2 m, 5 m, 10 m), inspirace viz obrázek č. 5.
- **Statické měření na přesných bodech** už vypovídá o přesnosti přijímačů dobře a má tedy smysl i statistické vyhodnocení. Nejvýznamnější jsou percentily 95 % (do jaké tolerance se vejde zásadní většina měření).
- **Testovací prostor** by měl být co nejnáročnější a nejrozmanitější z hlediska GNSS
 - Geodeticky přesně v něm zaměřit a trvale označit několik desítek bodů, pokud možno typických zástupců často se vyskytujících situací, bráno z hlediska GNSS. Na nich pak provádět statická měření, zastávky cca 10 s nebo i kratší (simulace mapování).
 - Najít referenční linie přesně určené v mapě (kvalitní LIDAR či ortofoto) a přesně sledovatelné (schůdné) v terénu, propojit je do okruhu bez doteků, vlásenek a slepých odboček, ale s mnoha ostrými zlomy.
- Měřit vždy se všemi testovacími přijímači současně a opakovaně, a též v protisměru. Antény ve vodorovné poloze.
- Klasifikaci částí trasy podle terénu, porostu a výhledu provést předem při průzkumném průchodu trasou. Důležitá je věrnost klasifikace, záznam lokálních anomálií (dům, hustý velký strom), a současně dostatečná generalizace, aby úseků nebylo příliš mnoho. Ruční střihání a překlíkávání podkladových čar je pracné.
- Zajímavá zjištění může přinést podrobné studium konkrétních poměrů na jednotlivých bodech a hledání souvislostí. To ovšem předpokládá podrobné zmapování a popis situace, přinejmenším u zajímavých bodů.
- Na zajímavých místech záznamů stop lze ručně změřit odchylky všech stop a podle jejich průměru či mediánu korigovat představy o náročnosti toho místa pro GNSS.
- Cílem našeho testu bylo oznámkovat přístroje. Přinejmenším stejně užitečné bude naopak **známkovat náročnost prostředí**. Empiricky stanovit kritéria pro odhad, v jakých situacích má být mapař vůči GNSS ostražitý. Dosud si ta kritéria odvozujeme jen z teorie, z obecných zákonitostí šíření signálu.
- Zajímavé by mohlo být sledovat, jak který přístroj využívá dostupné satelity různých systémů, jak hodnotí kvalitu jejich signálů, jak se to promítá do odchylek. Nicméně mapaři mapují když mají čas a je počasí, neřídí se předpovědí viditelnosti satelitů, natožpak aby si v terénu volili z více přijímačů ten, který právě vidí satelity nejlépe.

Závěr

V jednoduchých podmínkách (široký výhled na oblohu) jsou rozdíly mezi testovanými přístroji zanedbatelné. Rozdíly se projeví až v náročných podmínkách. Následující tabulky vychází jen z měření v nejnáročnějších částech testu v Komíně (ostré údolí, strmý svah, okraj vysokého lesa).

Linie	50%	75%	90%	95%	99%
F9P	1,1	1,9	2,7	3,2	4,4
M8N	1,5	2,6	4,0	5,3	7,4
GLO	1,3	3,2	5,5	7,6	11,0

Bod	50%	75%	90%	95%	99%
F9P	2,0	3,4	4,9	5,8	7,9
M8N	2,7	4,7	7,2	9,5	13,3
GLO	2,3	5,8	9,9	13,7	19,8

Obrázek č. 28 Výsledky pro nejhorší podmínky, odchylky jsou v metrech. Tabulka vlevo ukazuje, do jaké odchylky od správné trasy se vejde uvedené procento stopy. Tabulka vpravo ukazuje, do jaké odchylky od správného bodu se vejde uvedené procento měření na místě. (Pro přepočtení hodnot získaných při strojovém měření na linii byl použit koeficient 1,8.)

Standardní Garmin GLO se do 5 m tolerance od správné linie vejde cca 85 % délky stop. Do 5 m od správné pozice bodu se vejde více než 70 % měření. Současná verze GLO2 je snad o něco lepší. Koupíte ji snadno za cca 2 600 Kč, (<https://gps-prijimace.heureka.cz/garmin-glo2/#prehled/>).

Podomácku sestavená F9P je zřetelně přesnější. Do 5 m od správné linie bude přes 99 % stopy. Do 5 m tolerance kolem správné pozice bodu se vejde přes 90 % měření. Cenu krom dvoufrekvenční rádiové části zvyšuje RTK (dovede přijímat a využívat fázové korekce), což ale při mapování u nás asi nikdo používat nebude. Jediná výhoda F9P je v tom, že je dvoufrekvenční a přijímá signály všech dostupných systémů. Nevýhodou je cena cca 8 000 Kč, hmotnost cca 200 g a zejména nutnost sestavit přístroj z komponent. To když chcete mít vše včetně baterie v jedné krabici. Pokud místo toho akceptujete tři věci (anténa, GNSS modul, baterie) propojené káblíky, tak návod je zde: <http://www.markroberts.id.au/Wordpress/wp-content/uploads/GPSForFieldwork.pdf>

Přijímač M8N je v přesnosti někde mezi nimi, vyjde však nejlevněji (1 500 Kč), je nejmenší a lehký. Nevýhodou je opět nutnost sestavení z komponent a fakt, že už se neprodává. Nástupcem tohoto modulu je M9N, který dovede stejně jako F9P přijímat signály všech systémů najednou.

Kdo je schopen sestavit přiměřeně odolný přijímač ze součástek? Z mapařů málokdo. Naději dává Petr Matula: “Pokud bude nějaký zájemce a Libor mi udělí licenci, tak přijímač rád vyrobím. Ale M8N už nejde sehnat, náhrada je M9N.” Libor Pecháček Petrovi licenci uděluje a dodává: “M9N je jednoznačně lepší než M8N. M9N používá všechny konstelace (GPS, Glonass, Galileo, Beidou) najednou a dovede naplno využít i korekce dodávané přes RTCM 3. Přijímači stačí obyčejná lehká 25 mm flíčková anténa. Pro běžnou lesní práci poskytuje ideální poměr ceny, váhy a výkonu.”

Odkazy

GNSS

https://cs.wikipedia.org/wiki/Glob%C3%A1ln%C3%AD_dru%C5%BEicov%C3%BD_polohov%C3%BD_syst%C3%A9m
<https://o-news.cz/pro-mapare-o-satelitnich-navigacich/>
<https://web.archive.org/web/20010613221727/http://www.ocad.ch/gps.htm>

F9P

<https://store-drotek.com/911-sirius-rtk-gnss-rover-f9p.html>
<http://www.markroberts.id.au/Wordpress/wp-content/uploads/GPSForFieldwork.pdf>
<https://www.ardusimple.com/product/simplertk2blite-bt-case-kit/>
<https://www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board>
<https://www.sparkfun.com/categories/tags/zed-f9p>

M8N

<http://web.archive.org/web/20200919053119/https://store-drotek.com/883-DP0107.html>
<https://github.com/lpechacek/u-blox-gnss-receiver/raw/master/u-blox-gnss-receiver.pdf>
<https://github.com/lpechacek/u-blox-gnss-receiver/blob/master/compact-design/compact-design-neo-schematic.pdf>

M9N

<https://gnss.store/neo-m9n-gnss-modules/118-elt0102.html>
<https://www.sparkfun.com/products/17285>
<https://www.distrotelec.cz/cs/rozvodna-deska-satelitni-navigace-neo-m9n-sparkfun-electronics-gps-17285/p/30216165>

GLO

<https://www.garmin.com/cs-CZ/p/645104>
<https://gps-prijimace.heureka.cz/garmin-glo2/#prehled/>

Testy

MR ČSOS

<https://www.orientacnisporty.cz/upload/rady/mapova%20rada/GPS-test.zip>

Asko Määttä

<https://www.facebook.com/groups/485564718218028/permalink/2604736929634119/>
<https://www.facebook.com/groups/orienteeringmappersint/posts/582917165149449/>

Forestry

<https://academic.oup.com/forestry/article/94/2/292/5901975?guestAccessKey=0a546eed-b644-4cdf-b3d7-c488edfa0555>

Autoři

Libor Pecháček <lpechacek@gmx.com>, <https://github.com/lpechacek/>

Petr Matula <matula.p@centrum.cz>

Zdeněk Lenhart <zlenhart@seznam.cz>

Přílohy

Test_GNSS_Rybstole.zip - obsahuje mapovou dokumentaci testu v prostoru Rybstole, formát OOM:

Test_GNSS_Rybstole.omap – stopy z mapování a z testu v terénu

R-vrstevky.omap – podklad, vrstevnice 0,5 m odvozené z LIDARu DMR 5G,

R-kresba-maskovana.png – podklad, výsledná mapa podle ISSprOM.

Test_GNSS_Komin_mapa.zip – obsahuje mapovou dokumentaci testu v Komíně:

Test_GNSS_Komin.omap – trasa a stopy z měření v terénu,

KzH-OB.ocd – podklad, mapa OB pro hrubou představu o prostoru,

KzH-ZM.jpg – podklad, Základní mapa ČR 1 : 10 000,

KzH-sklon.jpg – podklad, rastr sklonitosti z LIDARu DMR 5G,

KzH-orto.jpg – podklad, klasické ortofoto z roku 2019,

KzH-ortoIR.jpg – podklad, infračervené ortofoto z roku 2019.

Test_GNSS_Komin_vysledky.zip - obsahuje statistické hodnocení testu v Komíně:

Test_GNSS_Komin_odchylky_rucni.xlsx – hodnoty ručního měření pro vytipované body,

Test_GNSS_Komin_mereni_strojove.omap – vizualizace stroj. měření odchylek (17 MB),

Test_GNSS_Komin_statistiky_strojove.pdf – vyhodnocení a popis strojového měření,

Test_GNSS_Komin_vysledky.xlsx – histogramy pro ruční i strojové měření.

Test_GNSS_Bilovice.zip – obsahuje mapovou dokumentaci a vyhodnocení testu v Bílovicích:

Test_GNSS_Bilovice.ocd – body, trasa a stopy z měření v terénu,

Mapa_OB.png – podklad, mapa OB pro hrubou představu o prostoru,

Test_GNSS_Bilovice_odchylky.xls – změřené odchylky a jejich statistické vyhodnocení,

Test_GNSS_Bilovice_mericky_nacrt_2008.png – ilustrace geodetického měření 2008.