

NÁVRH AUTONOMNÍHO SENZORU POLOHY A DRUHOTNÉHO URČENÍ PARAMETRŮ ATMOSFÉRY S VYUŽITÍM NÍZKONÁKLADOVÉHO GNSS PŘIJÍMAČE

Ing. Lukáš Běloch ^a

^a ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

ABSTRAKT

V posledních letech se na trhu objevuje velké množství nízkonákladových komponent pro sestavení GNSS aparatury. Jejich vývoj jde neustále kupředu, a proto se nabízí možnost jejich využití tam, kde to dříve bylo nemyslitelné a drahé. Článek se zabývá tématem návrhu a realizace low-cost GNSS zařízení pro autonomní sledování polohy a určení parametrů atmosféry. Nedílnou součástí výsledků je i úsek zaměřený na testování GNSS sestav, zpracování měření a porovnání různých konfigurací senzoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

GNSS, U-Blox, Raspberry Pi, G-Nut, Nízkonákladový přijímač.

ÚVOD

Pro většinu moderní společnosti je používání technologie GNSS denní záležitostí. Levné čipy využívající tuto metodu určení pozice najdeme v mobilních telefonech, automobilech, dronech apod. Sestavy pro přesnější měření se však pohybují v řádech desetitisíců korun. Ovšem tato skutečnost se mění s nástupem nízkonákladových GNSS zařízení, které se svými vlastnostmi přibližují těm profesionálním. Využití tyto levné senzory lze například u autonomních vozidel, při vytváření hustější sítě pro pozorování posunů zemského povrchu či parametrů atmosféry.

V tomto článku je pozornost věnována návrhu a realizaci GNSS zařízení, s využitím již existujících softwarů, právě pro tyto účely. Navrhnuté senzory se skládají ze součástek z různých cenových kategorií a navzájem jsou kombinovány. Cílem příspěvku je pak nalezení nejvýhodnější konfigurace aparatury.

METODIKA

Návrh technologického řešení senzoru

Hardware

Nejtěžnější a cenově nejvýraznější jednotkou v sestavě je GNSS přijímač. V Tabulce 1. jsou uvedeny přijímače s odlišnými moduly od dvou aktuálně největších výrobců low-cost GNSS. Minipočítače, které jsou zmíněny v Tabulce 3. slouží pro příjem a zpracování dat z přijímače a následné odeslání dat a produktů.

Tabulka 1.

Použité GNSS přijímače

Označení	Výrobce	Modul	Cena k 1. 10. 2022
simpleRTK2B-F9P	Ardusimple	U-blox, ZED-F9P	5 500 Kč
simpleRTK3B Pro	Ardusimple	Septentrio, mosaic-X5	24 000 Kč

Tabulka 2.

Použité GNSS antény

Označení	Výrobce	Uchycení	Cena k 1. 10. 2022
ANN-MB-00	U-blox	magneticky, dvěma šrouby	1 300 Kč
AS-ANT2B-SUR	Ardusimple	šroubem	2 200 Kč

Tabulka 3.

Použité minipočítače

Označení	Rozměry	Operační paměť	Cena k 1. 10. 2022
Raspberry Pi Zero 2 W	60 x 30 x 5 mm	512 MB	410 Kč
Raspberry Pi 4 Model B	56 x 85 x 11 mm	2 000 MB	1349 Kč

Celkově byly vytvořeny a testovány 3 konfigurace (Tabulka 4.)

Tabulka 4.

Konfigurace GNSS sestav

Označení	Přijímač	Anténa	Minipočítač
GOPB	simpleRTK2B-F9P	AS-ANT2B-SUR	Raspberry Pi Zero 2 W
GOPC	simpleRTK2B-F9P	ANN-MB-00	Raspberry Pi Zero 2 W
GOPS	simpleRTK3B Pro	AS-ANT2B-SUR	Raspberry Pi 4 Model B

Software

Měřená data byla ve většině případů poskytována nástrojem *str2str* z knihovny *RTKlib* [2] na NTRIP caster.

Zpracování probíhalo na vzdáleném serveru softwarem *G-Nut*. Program *G-Nut/Anubis* (Václavovic a Douša, 2016) vytvářel z příchozích RTCM dat RINEXy a soubory, obsahující kvalitu měření. Nástroj *G-Nut/Tefnut* ze stejných dat počítal parametry troposféry [3].

Posledním použitým nástrojem využitým k výpočtu polohy byl *RTKPOST* z knihovny *RTKlib*.

Testování

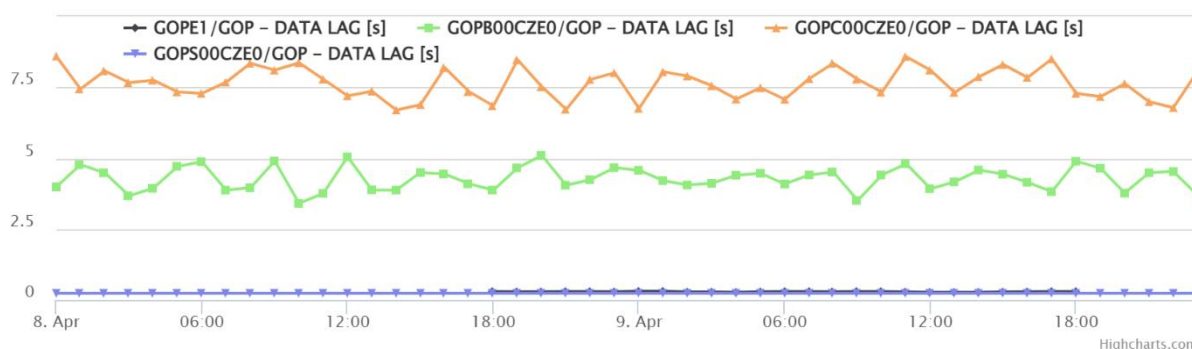
Antény byly umístěny na střechy budov a bylo prováděno kontinuální měření po dobu minimálně 14 dní.

Tabulka 5.
Parametry testů

Označení	Umístění	Datum testu
GOPB	GO Pecný, vyztužený komín	2.3 - 2.4 2022
GOPC	GO Pecný, vyztužený komín	2.3 - 2.4 2022
GOPS	Praha - ČVUT, FSv, střecha budovy B	17.3 - 2.4 2022

Výsledky

Časové zpoždění příchozích dat



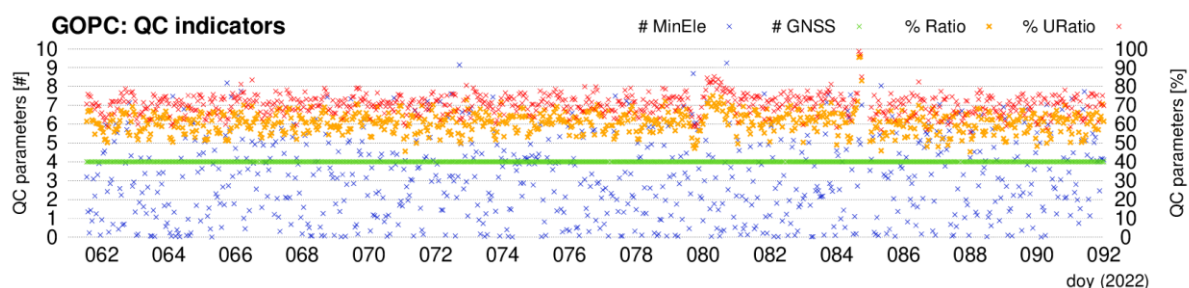
Obrázek 1. Časové zpoždění příchozích u dat z jednotlivých stanic

Obrázek 1. zobrazuje časové zpoždění mezi časem epochy a časem serveru v momentu příchodu zprávy do dekodéru *G-Nut/Anubis*. Časové zpoždění stanice *GOPS* odpovídá normálu (pro porovnání uvedena referenční stanice *GOPE*). Po rozsáhlejší analýze a pozorování příchozích dat bylo zjištěno, že časy epoch jednotlivých systémů z přijímače *U-Blox* (stanice *GOPC* a *GOPB*) se často liší v 1 milisekundě. Software tyto epochy pokládal za odlišné a nezařadil do dalšího výpočetního procesu.

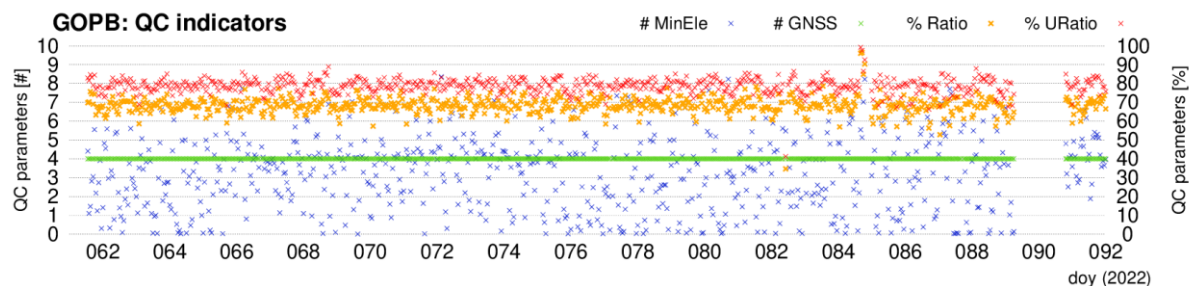
Parametry kvality dat

Hodnocení kvality dat a zjišťování příčin problému bylo provedeno na základě těchto indikátorů získaných použitím *SW Anubis*:

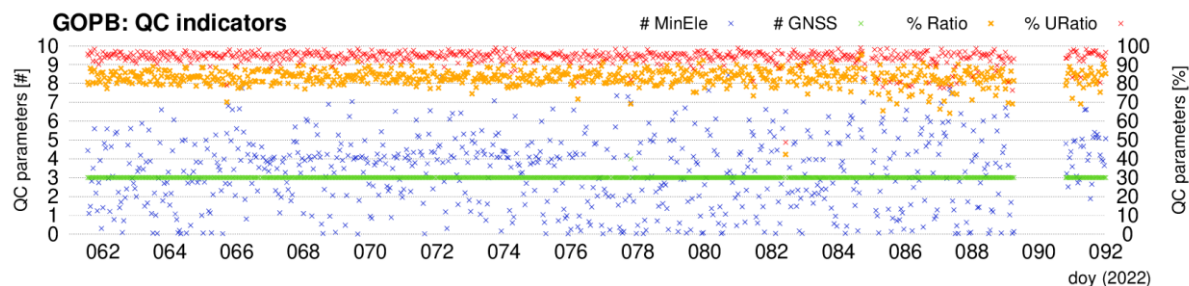
- **MinEle** - nejnižší elevační úhel sledovaných družic
- **GNSS** - počet použitých družicových systémů
- **Ratio** - poměr očekávaných observací ku měřeným observacím
- **URatio** - poměr očekávaných observací ku měřeným observacím nad elevační maskou (10°)



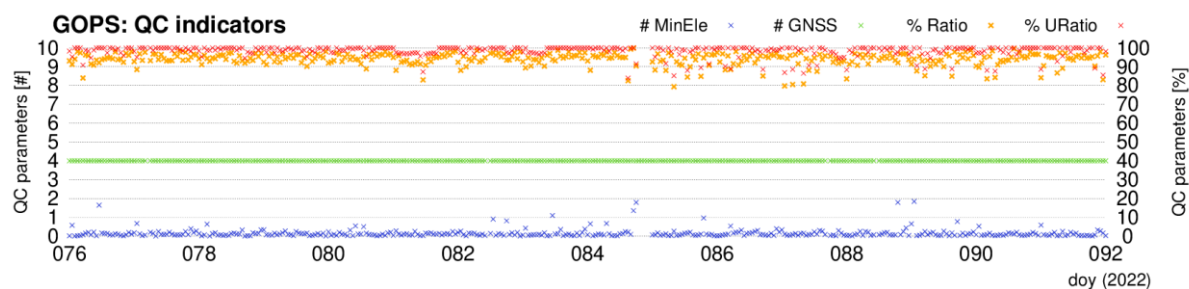
Obrázek 2. Parametry stanice GOPC (GPS, GLO, BDS, GALILEO)



Obrázek 3. Parametry stanice GOPB (GPS, GLO, BDS, GALILEO)



Obrázek 4. Parametry stanice GOPB (GPS, GLO, GALILEO)



Obrázek 5. Parametry stanice GOPS (GPS, GLO, BDS, GALILEO)

Jak již bylo zmíněno, u přijímačů U-Blox dochází k degradaci měření. Na obrázcích 2.-3. je tato skutečnost lépe pozorovatelná. Je zde i dobře vidět, že výběr antény má nezanedbatelný vliv na kvalitu dat. Jelikož GNSS antény stanic nebyly ničím zastíněny, bylo očekáváno, že URatio se bude pohybovat v hodnotách mezi 90-100 %. Obrázek 3., zobrazující tuto skutečnost pro stanici GOPB, udává tuto hodnotu okolo 85 %. Bylo zjištěno, že problém tkví v neschopnosti přijímače U-Blox správně zpracovávat signály ze systému BDS (Obrázek 4.).

Posledním neduhem modulu ZED-F9P (U-Blox) oproti modulu Mosaic-X5 (Septentrio) je velký rozptyl minimální elevace sledovaných družic, který se pohybuje od 0° do 10°. Tento problém však při nastavení elevační masky je neutralizován.

Poloha a její přesnost

Výpočty probíhaly statickou metodou pro hodinová řešení s využitím systémů GPS a Galileo. Poloha stanic byla určena dvěma výpočty. První využívá referenční stanici GOPE a druhý referenční stanici CPRG, obě jsou ze sítě CZEPOS. Uvedeny jsou výběrové směrodatné odchylky v jednotlivých souřadnicích.

GOPE, B = 49° 54' 49.33285" N, L = 14° 47' 08.23214" E, Hel = 592.594 m

CPRG, B = 50° 07' 30.82619" N, L = 14° 27' 21.80473" E, Hel = 356.025 m

Tabulka 5.

Poloha stanice GOPB

Referenční stanice	Zem. šířka – B [°, N]	Zem. délka – L [°, E]	Výška – Hel [m]	σ_N [mm]	σ_E [mm]	σ_U [mm]	fix [%]
GOPE	49° 54' 49.20491"	14° 47' 8.22001"	592.841	1.3	3.5	4	100
CPRG	49° 54' 49.20554"	14° 47' 8.21949"	592.787	4.0	7.9	15	54

Tabulka 6.

Poloha stanice GOPC

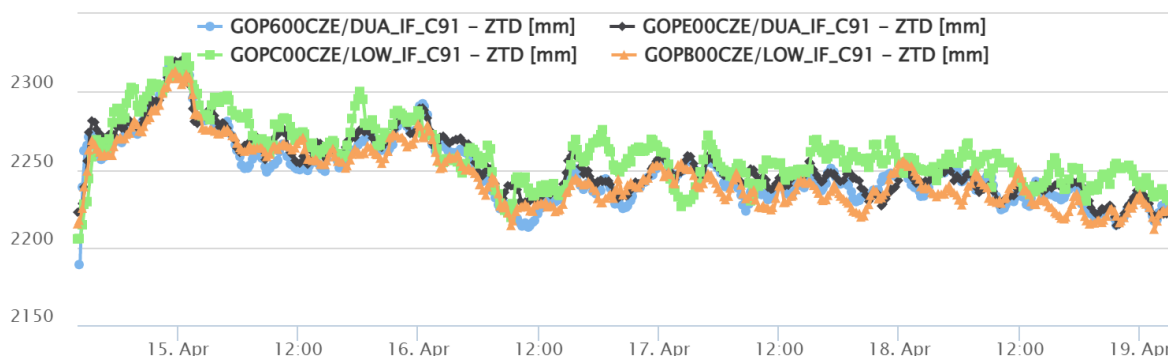
Referenční stanice	Zem. šířka – B [°, N]	Zem. délka – L [°, E]	Výška – Hel [m]	σ_N [mm]	σ_E [mm]	σ_U [mm]	fix [%]
GOPE	49°54'49.20039"	14°47'08.19941"	592.653	2.8	2.0	6	26
CPRG	49°54'49.20097"	14°47'08.19694"	592.619	4.6	4.5	37	9

Tabulka 7.

Poloha stanice GOPS

Referenční stanice	Zem. šířka – B [°, N]	Zem. délka – L [°, E]	Výška – Hel [m]	σ_N [mm]	σ_E [mm]	σ_U [mm]	fix [%]
GOPE	50°06'14.01173"	14°23'16,21509"	305.384	4.3	7.2	20	61
CPRG	50°06'14.01206"	14°23'16,21523"	305.311	1.5	1.7	5	90

Parametry troposféry



Obrázek 6. Parametry troposféry – ZTD

Obrázek 6. zobrazuje ZTD (Zenith Total Delay) čtyř sousedících stanic. Low-Cost stanice jsou zde porovnávány s profesionálními referenčními stanicemi (GOPE, GOP6), které jsou k tomu účelu využívány dlouhodobě. Z grafů lze vyčíst, že stanici s levnější anténou (GOPC) nelze k tomu účelu využít, neboť se v mnoha případech zcela rozchází s ověřenými stanicemi.

ZÁVĚR

Z provedených testů a zobrazených výsledků je zřejmé, že největší vliv na kvalitu dat měl výběr používané antény, nevhodné pro další práce jsou sestavy s anténou AN-MB-00.

Přijímač s modulem mosaic-X5 od firmy Septentrio vykazoval velmi dobré výsledky a v průběhu práce s ním nebyly žádné komplikace. U přijímače s modulem ZED-F9P od firmy U-blox se objevovaly problémy, zejména pak v kvalitě dat, ale ve výsledku je modul ZED-F9P pro aplikaci řešeného tématu vhodný.

Pokud uvážíme i cenu komponent, nejlepší GNSS zařízení je ve složení: přijímač s modulem ZED-F9P, anténa ANT2B-SUR a počítač Raspberry Pi 2W.

Celková cena této sestavy je přibližně 8 200 Kč.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat GNSS týmu z Geodetické observatoře na Pecném za poskytnutí softwaru a spolupráci při jeho úpravách pro řešenou aplikaci.

REFERENCE

[1] BĚLOCH, Lukáš. NÁVRH AUTONOMNÍHO SENSORU POLOHY A DRUHOTNÉHO URČENÍ PARAMETRŮ ATMOSFÉRY S VYUŽITÍM LOW-COST GNSS PŘIJÍMAČE. Praha, 2022, 82 s. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/102815>. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Vyskočil Zdeněk.

[2] TAKASU, Tomoji. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. 2019.

- [3]** Douša, J., Dick, G., Kačmařík, M., Brožková, R., Zus, F., Brenot, H., Stoycheva, A., Möller, G., and Kaplon, J.: Benchmark campaign and case study episode in central Europe for development and assessment of advanced GNSS tropospheric models and products, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 2989–3008, <https://doi.org/10.5194/amt-9-2989-2016>, 2016.