DVACET LET PROVOZU STANICE TUBO V EPN

TWENTY YEARS OF OPERATION OF THE TUBO STATION AT EPN

Jiří Bureš¹, Jakub Kostecký², Otakar Švábenský³, Josef Weigel⁴

Abstrakt

V září 2001 byla permanentní GNSS stanice TUBO, která je umístěna na budově Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, zařazena do Permanentní sítě EUREF (EPN). Tento článek shrnuje zřízení stanice, její 20letý provoz a využití jejích dat nejen v síti EPN.

Abstract

In September 2001, the permanent GNSS station TUBO, which is located on the building of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology, was connected to the European EUREF Permanent Network (EPN). The paper recalls the establishment of this station and its twenty years of operation and use of their data not only in the EPN network.

Klíčová slova

TUBO, GPS, GNSS, EPN, permanentní stanice

Keywords

TUBO, GPS, GNSS, EPN, permanent station

1 Úvod

Prudký rozvoj družicových navigačních systémů počátkem devadesátých let minulého století ve světě i na území našeho státu vyvolal potřebu jejich využití především pro přesné určování souřadnic geodetických bodů. Klíčové bylo použití diferenční metody využívající minimálně dvou současně měřících přijímačů GPS (Global Positioning System), z nichž jeden je umístěn na referenčním bodě o známých geodetických souřadnicích a druhý na nově určovaném bodě. V ideálním případě bylo možné referenční bod provozovat v permanentním režimu. Nedostatek přesných GPS aparatur vedl v té době k nutnosti budovat nové geodetické body etapově a pokud možno v jednotném referenčním systému. Pro Evropu byl zvolen referenční systém ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Na našem území tak byly v tomto systému vybudovány a zaměřeny celostátní síť stanic GPS pomocí kampaní EUREF-CS/H, NULRAD, DOPNUL, GEODYN aj.

Ústav geodézie VUT v Brně pořídil první přesný geodetický přijímač GPS Leica v roce 1993 a v následujícím roce vybudoval na astronomické observatoři budovy B Fakulty stavební

¹ Jiří Bureš, doc., Ing., Ph.D., Ústav geodézie, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: 606 473 602, e-mail: bureš.j@fce.vutbr.cz

² Jakub Kostecký, doc., Ing., Ph.D., Geodetická observatoř Pecný, VÚGTK v.v.i., Pecný 244, 251 65 Ondřejov, tel.: 323649235, e-mail: jakub.kostecky@pecny.cz

³ Otakar Švábenský, prof., Ing., CSc., Ústav geodézie, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: 54417211, e-mail: svabensky.o@fce.vutbr.cz

⁴ Josef Weigel, doc., Ing., CSc., Ústav geodézie, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: 54417213, e-mail: weigel.j@fce.vutbr.cz

na Veveří ulici bod s pilířovou stabilizací spojený s nosnou konstrukcí budovy, který sloužil jako referenční bod pro řadu družicových měřických kampaní. Následně provoz měření na tomto bodě přešel na permanentní, s možností registrace družicových dat a jejich zpětného zpřístupnění prostřednictvím internetu. První přesná družicová stanice s permanentním provozem na našem území byla zřízena na Geodetické observatoři Pecný v Ondřejově - GOPE (**G**eodetic **O**bservatory **PE**cny), kterou provozuje VÚGTK (Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.). Tato stanice byla v roce 1993 zařazena do Mezinárodní GNSS IGS (**I**nternational **GNSS** **S**ervice) a koncem roku 1995 také do nově vznikající evropské sítě permanentních stanic EUREF EPN (**E**UREF **P**ermanent **N**etwork). Druhou stanicí na našem území s permanentním provozem, zařazenou do EPN, byla stanice na VUT v Brně - TUBO (**T**echnical **U**niversity of **Brn**O) [1]. K jejímu zařazení do EPN došlo **23. září 2001**, takže v září 2021 to bylo právě 20 let, co je stanice TUBO v síti EPN kontinuálně provozována. Cílem tohoto příspěvku je připomenout hlavní milníky vybudování této stanice a její dvacetiletou historii v síti EPN. Družicová stanice TUBO byla současně první stanicí v síti EPN provozovanou českou univerzitou.

2 Stručná historie počátků provozu stanice TUBO

Stanice TUBO byla zřízena na geodeticko-astronomické observatoři Ústavu geodézie Vysokého učení technického v Brně. Tato observatoř je pojmenována po profesoru Bohumilu Kladivovi, který na české technice v Brně působil v první polovině 20. století. Astronomická observatoř byla vybudována současně s novými budovami brněnské techniky v roce 1911. Obor Zeměměřictví zde byl studován od roku 1900, jako druhý obor po stavebním inženýrství (od roku 1899). Profesor Kladivo zajišťoval výuku astronomie, resp. geodetické astronomie nejen na České technice, ale i na Masarykově univerzitě v Brně. V roce 1951 byla brněnská technika přeměněna na Vojenskou technickou akademii a tato observatoř tak přestala být přístupná běžné veřejnosti. Nadále zde ale působili vojenští geodeti a kartografové. Po roce 1989 se budovy vrátily zpět Vysokému učení technickému (VUT) a observatoř „civilnímu“ oboru Geodézie a kartografie. Název *Kladivova observatoř* byl přijat v roce 2003 u příležitosti 60. výročí úmrtí profesora Kladivy. V roce 2021 si připomínáme již 110 let, co byla tato observatoř zřízena a až na malé výjimky v období obou světových válek provozována. Tuto observatoř lze také považovat za předchůdce brněnské hvězdárny, která je provozována od roku 1954.

Když v roce 1993 bylo pracoviště Ústavu geodézie vybaveno první geodetickou dvoufrekvenční GPS aparaturou firmy Leica, byl původní pilíř v otočném astronomickém domečku na střešní terase budovy B (Veveří ul.) v roce 1994 přebudován na pevný pilíř se zařízením pro nucenou centrací nad úroveň střechy. Od té doby sloužil tento pilíř pro postavení družicové aparatury pro epochová a etapová měření v celé řadě GPS kampaní (Obr. 1). Pořízená družicová data byla současně využívána také v rámci výuky studentů, pro diplomové a disertační práce, dále pro testovací a výzkumné práce, a v neposlední řadě i pro školení geodetů z praxe, kteří si postupně začínali ve větší míře pořizovat nové přístroje GPS.

Stanice TUBO byla postupně zařazována do regionálních měřických kampaní GPS v okolí Brna a posléze i do celostátních projektů. TUBO je součástí sítě DOPNUL, která vznikla zhuštěním sítě NULRAD tvořící spolu geodetické základy tzv. „nové generace“, budované výhradně družicovou technologií. Data z TUBO byla použita i při budování Základní geodynamické sítě ČR (GEODYN). Obdobně jako síť DOPNUL pokrývá i síť GEODYN celé území ČR. Stanice TUBO byla zapojena i do regionální geodynamické sítě MORAVA, jejímž účelem byl monitoring geodynamiky vybraných bodů na styku Českého masivu a Alpsko-Karpatské soustavy. V rámci evropských mezinárodních aktivit bylo na TUBO pravidelně observováno v kampaních CEGRN (**C**entral **E**uropean **G**eodynamic **R**eference **N**etwork) a

obdobném projektu CERGOP. Současně byla navázána velmi těsná spolupráce s pracovníky VÚGTK na observatoři Pecný, provozující stanici GOPE, která byla v roce 1995 začleněna do evropské sítě a následujícího roku i do mezinárodního rámce bodů ITRF (**I**nternational **T**errestrial **R**eference **F**rame). Výše uvedené domácí i zahraniční aktivity napomohly tomu, že v červnu 2001 byla stanice TUBO začleněna do evropské sítě permanentních stanic EPN. V roce 2005, kdy byly zřizovány permanentní stanice na dalších akademických pracovištích a v rámci Sítě permanentních stanic GNSS České republiky CZEPOS, VÚGTK inicioval vznik zastřešující sítě VESOG (**V**ýzkumná a **E**xperimentální **S**ít pro **O**bservace **G**NSS) a stanice TUBO se stala – spolu s dalšími stanicemi – také jejich součástí.

Pro oblast Brna se stanice TUBO stala ústředním bodem Brněnské sítě GPS, zaměřené ve spolupráci s Katastrálním úřadem pro ověření přesnosti Základního bodového pole v okolí Brna a zároveň pro další zhuštění bodového pole v Brně a okolí. Brněnská síť GPS obsahovala v té době několik desítek GPS určených trigonometrických a zhušťovacích bodů a pokrývala oblast o poloměru asi 15 km. Stanice TUBO byla použita i pro určování účelových sítí, včetně vytyčovacích sítí brněnských silničních tunelů v Pisárkách a Husovicích. V oblasti experimentálního výzkumu se využívala data z TUBO např. při modelování průběhu kvazigeoidu v okolí Brna. Za zmínku stojí i speciální měření profilu geoidu ve směru jeho největšího gradientu na nivelačních bodech pořadí I. řádu, vedoucích z Velké Bíteše přes Brno do Uherského Hradiště a Kunovic, které bylo realizováno v rámci společného projektu s VÚGTK a ČVUT v Praze. Obdobně lze zmínit i projekt PEBRMIX pro detekci malých posunů na velké vzdálenosti (mezi stanicemi GOPE a TUBO) [10].

Obr. 1 První družicová aparatura provozovaná na TUBO - Leica System 300.

3 Evropská síť permanentních stanic GPS-EPN

Subkomise EUREF (European Reference Frame) vznikla v roce 1987 jako součást Mezinárodní asociace IAG (International Association of Geodesy) komise X. Globální a regionální síť jako pokračování subkomise RETrig. Cílem bylo vytvořit a udržovat Evropský referenční rámec z výsledků permanentních GPS měření na těchto stanicích. Vybrané stanice se staly základem permanentní sítě EPN (**E**UREF **P**ermanent **N**etwork) a pro subkomisi garancí Evropského

terestrického referenčního systému ETRS89. V době zapojení byly v EPN stanice z 30 evropských zemí, z toho dvě (GOPE a TUBO) z ČR. Nejbližšími sousedními body sítě EUREF v okolních zemích byly MOPI (Modra-Piesok, Slovensko), WROC (Wroclaw, Polsko), LINZ (Linz, Rakousko), PENC (Penc, Maďarsko), GRAZ (Graz, Rakousko) a WTZR (Wetzell, Německo). EUREF tak vytvořil strukturu pro několik vzájemně spolupracujících institucí, které sdílejí zdroje, vyvíjejí standardy, vytvářejí přesné souřadnice stanic a různá účelová data a publikují je. Jelikož síť EUREF představuje ekvivalent sítě IGS (International GNSS Service) v Evropě, byla tak zajištěna harmonizace standardů mezi celosvětovou globální a evropskou sítí.

4 Pořizovaná data a struktura zapojení

V době začlenění do sítě EPN byla stanice TUBO (Obr. 2) vybavena dvoufrekvenčním 12-ti kanálovým přijímačem Trimble 4700 s anténou (Obr. 3). Pořizovaná data se registrovala jak kódová, tak i fázová pro všechny družice NAVSTAR GPS nacházející se 5° nad horizontem. Primární záznam byl prováděn v intervalu 1 sekunda (1 Hz). Data byla ukládána do připojeného počítače (Obr. 4) s operačním systémem Windows 2000 Advanced Server prostřednictvím software TRS (Trimble Reference Station). Z dat byly vytvářeny datové soubory s různou délkou observace a intervalem záznamu (24h/1s, 24h/30s, 1h/30s, 5min/5s, 5min/1s). Pomocí navazujícího software, vyvinutého ve VÚGTK, byla pravidelně odesílána do operačního centra GOP na Geodetické observatoři Pecný VÚGTK a odtud do datových center EPN – tehdy do datového centra OLG v Grazu v Rakousku a do regionálního datového centra BKG Spolkového úřadu pro kartografii a geodézii ve Frankfurtu nad Mohanem v Německu [2].

Obr. 2 Objekt permanentní stanice TUBO s anténou Trimble Choke Ring.

Obr. 3 Stanice TUBO - detail antény.

Obr. 4 Stanice TUBO - PC s přijímačem Trimble 4700.

4.1 Vybavení permanentní stanice TUBO a její změny

V posledních 20 letech dožal segment GNSS (Globálních navigačních družicových systémů) značných změn. Vedle toho, že byly zřízeny nové navigační systémy (evropský Galileo, čínský BeiDou) a opětovně uveden do provozu ruský GLONASS, docházelo k modernizaci i stávajících systémů, zejména GPS NAVSTAR, což z hlediska geodetického uživatele vedlo zejména k možnosti přijímat signály ne jen na dvou, ale na třech i čtyřech frekvencích. Také potřeby geodetické komunity se značně změnily. Od původního používání statické a rychlé statické metody měření a zpracování dat po doměření (postprocessing) je dnes prakticky výhradně používána metoda RTK (real-time kinematic) se získáním souřadnic během několikasekundové observace v reálném čase. Oba směry postupného vývoje měli vliv i na provozované permanentní GNSS stanice a zejména požadavky na jejich hardware.

Původní aparatura Trimble, tj. přijímač 4700 a anténa, byly uzpůsobené pro příjem pouze dvoufrekvenčního signálu GPS NAVSTAR a nebyly schopné odesílání datových proudů v reálném čase, což je základním předpokladem pro podporu měření RTK.

Pro permanentní GNSS stanice, které jsou zapojené v mezinárodních službách, je primárním požadavkem dlouhodobá neměnnost aparatur, protože zejména každá výměna antény (i když má individuálně určenou polohu fázového centra) vede ke změně referenčních souřadnic stanice (tzv. skoku v časové řadě souřadnic stanice). Změny ve vybavení stanice vycházely vždy z požadavku, resp. potřeby buď mezinárodní služby nebo národní geodetické komunity.

K první výměně aparatury došlo v souvislosti se zařazením stanice TUBO jako externí stanice do sítě CZEPOS dne 15. prosince 2005 (Obr. 5). Místo přijímače Trimble 4700 byl zapojen přijímač Leica GRX1200Pro (Obr. 6), který umožňoval odesílání datových proudů v reálném čase na servery sítě CZEPOS. Nutností byla i výměna antény za model Leica AT504 s krytem, která umožňovala i příjem signálů navigačního systému GLONASS (i když firmware přijímače a zejména tehdejší verze síťového řešení CZEPOS to nepodporovala).

Obr. 5 TUBO - anténa Leica AT504 s krytem.

Obr. 6 TUBO - přijímač Leica GRX1200Pro.

K další výměně aparatury došlo 12. prosince 2011, kdy místo přijímače Leica GRX1200Pro byl pracovníky Zeměměřického úřadu instalován přijímač Leica GRX1200+GNSS, který umožňoval i příjem signálu GLONASS. Technické řešení, které bylo nutno z hlediska financování použít, spočívalo v tom, že původní přijímač byl zaslán výrobci na interní hardwareový upgrade a po něm byl dne 20. prosince 2011 instalován na stanici TUBO upgradeovaný přijímač s původním výrobním číslem, který ale hardwareově odpovídal modelu Leica GRX1200+GNSS. Dne 12. prosince 2011 byla také vyměněna anténa za model Leica

AR25 (R4) s krytem (Obr. 7). Tento novější model umožňuje příjem signálu jak nových navigačních systémů (Galileo, BeiDou, japonského QZSS a doplňkových SBAS) i dalších frekvencí (např. L5 u GPS NAVSTAR), což se ukázalo do budoucna jako velmi dobrý krok.

Upgrade firmware původního přijímače Leica GRX1200+GNSS umožnilo ode dne 10. srpna 2018 zahájit i příjem signálu navigačního systému Galileo.

K zatím poslední výměně přijímače došlo dne 17. dubna 2019, kdy byl přijímač Leica GRX1200+GNSS zaměněn za přijímač Leica GR30 (Obr. 8). Vedle rozšíření příjmu i o signály navigačních systémů BeiDou, QZSS a SBAS došlo i k rozšíření počtu přijímaných frekvencí.

Obr. 7 Detail umístění antény Leica AR25 (R4) s krytem na pilíři TUBO.

Obr. 8 GNSS přijímač Leica GR30.

Po nasazení přijímačů Leica jsou data jak pro Permanentní síť EUREF, tak pro národní síť CZEPOS odesílána přímo z přijímače do operačního centra GOP, odkud jsou dále distribuována. Z procesu odesílání tak byl vynechán staniční počítač, který nadále zajišťuje registraci instalovaných meteorologických čidel.

4.2 Sběr meteorologických dat

Součástí permanentní stanice TUBO je i měřicí stanice pro sběr vybraných meteorologických dat. Základní meteorologická čidla pro kontinuální měření teploty vzduchu, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku byla instalována v meteorologické budce na severní části terasy budovy B fakulty v blízkosti stanice TUBO v srpnu 2001. Postupně byl měřicí systém rozšířen o senzory měření směru a rychlosti větru, intenzity slunečního záření a srážkových parametrů. Meteorologická data jsou poskytována prostřednictvím webového rozhraní [4] a vybraná z nich jsou posílána do mezinárodních zpracovatelských center EPN za účelem výpočtu atmosférických modelů. Senzor Thies pro měření parametrů srážek umožňuje i spektrální analýzu srážek. Podrobněji bylo publikováno např. v [5], [6].

4.3 Přístupnost dat

Každá permanentní stanice zapojená do mezinárodních služeb, tedy i do permanentní sítě EUREF, poskytuje část dat s otevřeným přístupem (tj. zdarma). V případě stanic EPN jsou v datových centrech BKG a BEV (převzalo funkci po OLG) k dispozici celodenní a hodinová data ve formátu RINEX 2.11 a 3.03 s intervalem záznamu 30 sekund, která je možné volně stáhnout. EPN zajišťuje také přístup k datovým proudům real-time dat ve formátu RTCM 3.x přes NTRIP castery BKG, ASI (Kosmická agentura Itálie, Matera, Itálie) a ROB (Královská observatoř v Bruselu, Belgie).

V rámci sítě permanentních GNSS stanic CZEPOS jsou k dispozici pro registrované uživatele data ze stanice TUBO jednak ve formě hodinových souborů RINEX s intervalem záznamu 1 sekunda nebo připojení k datovému proudu real-time dat ve formátu RTCM.

Pro výukové účely a odbornou veřejnost jsou celodenní data ve formátu RINEX s intervalem záznamu 30 sekund k dispozici také prostřednictvím webu [4].

5 Využití dat ze stanice TUBO

5.1 EPN

Permanentní GNSS stanice TUBO byla do Permanentní sítě EUREF (EPN) [3] začleněna v období, kdy síť začínala generovat produkty v čase blízkém reálnému (jednak troposférické parametry a jednak s tím související rychlé dráhy družic). Bylo podstatné, že stanice TUBO do EPN dodávala nejen standardní denní soubory družicových dat ve formátu RINEX s intervalem záznamu 30 sekund, ale také hodinové soubory RINEX se stejným intervalem záznamu.

Původně (v roce 2001) byl prováděn záznam signálů pouze navigačního systému GPS NAVSTAR, v současnosti s pohledem na dráhy sledovaných družic (Obr. 9), jsou přijímány signály navigačních systémů:

- GPS NAVSTAR – vojenský systém USA.
- GLONASS – vojenský systém Ruské federace,
- Galileo – civilní systém EU a ESA,
- BeiDou – vojenský systém Čínské lidové republiky,
- QZSS – doplňkový systém Japonska,
- SBAS – doplňkový systém (celosvětový) zejména pro leteckou a lodní dopravu (geostacionární družice, které se na Obr. 9 nezobrazí).

Obr. 9 Pohled na dráhy sledovaných družic stanice TUBO.

Využití dat ze stanice TUBO v EPN můžeme rozdělit na několik oblastí:

- Definice a udržování ETRS89, tj. Evropského terestrického referenčního systému 1989.
- Realizace národního referenčního rámce ETRF89 v České republice (spolu s dalšími permanentními stanicemi CZEPOS a VESOG).
- Určování parametrů troposféry (včetně určování obsahu vodních par v atmosféře) v čase blízkém reálnému pro zpřesňování předpovědi počasí a klimatologii tzv. GNSS meteorologie.

Zpracování dat ze stanice TUBO za účelem určení přesných souřadnic v ETRS89 provádí přidružená analytická centra EPN. V současnosti data ze stanice TUBO zpracovávají čtyři centra:

- BEV (Spolkový úřad pro metrologii a měření, Vídeň, Rakousko)
- RGA (Republikový geodetický úřad, Bělehrad, Srbsko)
- SGO (Družicová observatoř na Pencu, Lechner Nonprofit Ltd., Budapešť, Maďarsko)
- SUT (Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Slovensko)

Výsledkem dlouhodobého zpracování jsou přesné souřadnice stanice TUBO v systému ETRS89 (Tab. 1) a časové řady souřadnic (Obr. 10).

Tab. 1 Přehled souřadnic stanice TUBO v ETRS89 (ETRF2014),

ETRF2014	epoch to	Position (m)		
		X	Y	Z
069/2016 - 156/2021	001/2010	4001470,554 ± 0,001	1192345,261 ± 0,001	4805795,366 ± 0,001
363/2013 - 067/2016	001/2010	4001470,554 ± 0,001	1192345,260 ± 0,001	4805795,366 ± 0,001
359/2011 - 362/2013	001/2010	4001470,552 ± 0,001	1192345,259 ± 0,001	4805795,364 ± 0,001
350/2005 - 344/2011	001/2010	4001470,554 ± 0,001	1192345,257 ± 0,001	4805795,367 ± 0,001
261/2001 - 348/2005	001/2010	4001470,558 ± 0,001	1192345,262 ± 0,001	4805795,373 ± 0,001

Tab. 1 - pokračování: Přehled změn souřadnic (rychlostí) stanice TUBO v ETRF.

ETRF2014	epoch to	Velocity (m)		
		V _x	V _y	V _z
069/2016 - 156/2021	001/2010	-0,0001 ± 0,0001	-0,0001 ± 0,0001	0,0000 ± 0,0001
363/2013 - 067/2016	001/2010	-0,0001 ± 0,0001	-0,0001 ± 0,0001	0,0000 ± 0,0001
359/2011 - 362/2013	001/2010	-0,0001 ± 0,0001	-0,0001 ± 0,0001	0,0000 ± 0,0001
350/2005 - 344/2011	001/2010	-0,0001 ± 0,0001	-0,0001 ± 0,0001	0,0000 ± 0,0001
261/2001 - 348/2005	001/2010	-0,0001 ± 0,0001	-0,0001 ± 0,0001	0,0000 ± 0,0001

Jak je patrné, ke malým skokům v časové řadě souřadnic došlo při výměně antén, kdy jsou určeny nové referenční souřadnice stanice (Tab. 1). V některých případech ale byl detekován skok v časové řadě, který s výměnou antény přímo nesouvisí. Jinak jsou v časové řadě patrné sezónní variace polohy související s tepelnou deformací budovy a pilíře stanice TUBO. Ve výšce se projevují i sezónní změny v troposféře.

V rámci určování troposférických parametrů, které mají korelaci s obsahem vodních par v atmosféře, jsou při zpracování dat v EPN tvořeny časové řady troposférických parametrů (Obr. 11).

Z časové řady je opět patrná sezónní změna troposférických parametrů během roku. Permanentní síť EUREF prověřuje určené troposférické parametry jejich porovnáním s hodnotami určenými pomocí meteorologických radiosond, které jsou vypouštěny 2x denně.

Obr. 10 Časové řady souřadnic stanice TUBO v systému ETRS89.

Graf rozdílů je na Obr. 12. Z porovnání jsou patrné systematické rozdíly, které jsou ale způsobeny zejména tím, že meteorologické stanice, které vypouštějí radiosondy, jsou značně vzdálené od stanice TUBO.

Obr. 11 Časová řada zenitového troposférického zpoždění na stanici TUBO.

Obr. 12 Porovnání zenitového troposférického zpoždění na stanici TUBO – řešení z GNSS dat a z radiosond z nejbližších meteorologických stanic.

5.2 Česká síť permanentních GNSS stanic - CZEPOS

Permanentní GNSS stanice TUBO je jedna pěti stanic sítě VESOG, které jsou současně vnějšími stanicemi sítě CZEPOS, dalšími stanicemi jsou GOPE na Geodetické observatoři Pecný VÚGTK, stanice POL1 na objektu Polom Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce, stanice VSBO Vysoké školy báňské – Technické

univerzity v Ostravě a stanice PLZN Západočeské univerzity v Plzni. Konfigurace sítě CZEPOS je strukturována tak, že vnější stanice jsou její důležitou součástí.

Data ze stanice TUBO jsou v síti CZEPOS využívána zejména pro tvorbu modelu síťového řešení, ze kterého jsou uživatelům poskytovány jednak korekce pro měření metodou RTK, jednak generovány data ve formátu RINEX pro zvolené polohy virtuálních referenčních stanic. Přesnost a spolehlivost těchto výstupů závisí zejména na kvalitě a spolehlivosti vstupních dat, tj. dat z jednotlivých permanentních stanic, i když díky zajištěné redundanci není krátkodobý výpadek v provozu stanice kritickou událostí.

Souřadnice stanice jsou také sledovány v rámci nezávislého monitoringu permanentních GNSS stanic v České republice, který pro Český úřad zeměměřický a katastrální zajišťuje VÚGTK.

5.3 Metrologie a GNSS

Významným tématem využití družicových produktů pro stavebnictví jsou také jejich metrologické vlastnosti. Ve spolupráci Ústavu geodézie Fakulty stavební VUT v Brně a společnosti Brněnské komunikace a.s., která je akciovou společností statutárního města Brna zajišťující pro něj servisní činnost v oblasti dopravy, přípravy a koordinace strategických projektů včetně jejich přípravy i realizace, byla vybudována v Brně "Dálkoměrná a GNSS základna Brno-Jih" pro metrologickou kalibraci geodetických dálkoměrů a družicových systémů GNSS.

Kalibrační základna se nachází na pozemcích ve vlastnictví společnosti Brněnské komunikace a.s. v blízkosti autobusového nádraží Zvonařka, na pozemcích rezervovaných pro budoucí stavbu nového brněnského nádraží. Kalibrační základna je tvořena soustavou 7 měřických pilířů v přímce, hloubkově založených na únosném podloží, délka základny je 417,5 m. Metrologická délková návaznost na státní délkový etalon byla vykonána autorizovaným metrologickým střediskem (AMS) a zároveň akreditovanou kalibrační laboratoří Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického - VÚGTK, v.v.i.

Metrologická GNSS návaznost do ETRS a S-JTSK byla vykonána institucí VUT v Brně, která je správcem permanentní družicové stanice TUBO (součást služby CZEPOS a EUREF) a disponuje GNSS aparaturami s mobilními anténami Leica AT504 GG i vědeckým zpracovatelským Bernese GNSS software.

Výšková návaznost do Bpv byla vykonána metodou přesné nivelace na ověřené body nivelačního pořadu 1. řádu KP Brno-Slavkov procházející v blízkosti lokality základny.

Účelem vybudování bylo zajištění metrologické správnosti podnikových geodetických měřidel a také zajištění metrologické správnosti geodetických měřidel dodavatelů společnosti Brněnské komunikace a.s. při činnostech na veřejných zakázkách souvisejících s dopravní infrastrukturou v Brně v případě, že dodavatel nebude schopen doložit metrologickou kalibraci svých měřidel. Cílem je zvýšení kvality realizace geometrických parametrů na veřejných stavbách dozorovaných společností Brněnské komunikace a.s. a zajištění spolehlivosti měřidel pro sběr dat realizovaných staveb přebíraných do GIS BKOM.

Podrobněji byla problematika publikována např. v [7], [8].

5.4 Výzkumné, pedagogické, školicí souvislosti a vazby na technickou praxi

V rámci mezinárodní výzkumné spolupráce s partnerskou univerzitou v polské Wroclavi byla v roce 1993 v rámci výzkumného projektu vybudována společná Česko-polská geodynamická síť Sněžník, pokrývající masiv Králického Sněžníku na obou stranách státní hranice, která je od té doby prakticky každoročně etapově proměřovaná převážně družicovými technologiemi. Dalším geodynamickým aplikacím využívajících GPS měření a další geofyzikální data byla

věnována celá řada projektů věnovaných především oblasti Moravy. Řešenou problematiku geodynamiky dokumentuje i rozsáhlá dlouholetá publikační činnost pracovníků Ústavu geodézie FAST VUT v Brně vycházející, mimo jiné, i ze zkušeností z řešení výzkumného projektu GAČR [9].

V oblasti Brna byla družicová a další astronomická data využita pro tvorbu přesného lokálního kvazigeoidu. Na ústavu byla také vyvinuta speciální automatizovaná technologie určování astronomických tížnicových odchylek s využitím motorizované totální stanice (systém MAAS). Tato technologie byla rovněž ověřována v horském prostředí lokality Sněžník, kde byla také zkoumána problematika určování výšek a tvorby kvazigeoidu. V posledním době jsou testována a ověřována např. metody PPP.

Každoročně (až na výjimky) organizuje Ústav geodézie semináře zaměřené především na problematikou GPS/GNSS. Semináře jsou svým způsobem ojedinělé a lze v nich vysledovat rozvoj této problematiky zejména v ČR a SR. V roce 2022 se uskutečnil již 24. ročník.

Ústav geodézie také dlouhodobě pořádá pravidelná školení a kurzy celoživotního vzdělávání v oblasti GPS pro pracovníky katastrálních úřadů a soukromých firem. Technologie GPS/GNSS se postupně stala klíčovou metodou pro budování nových geodetických bodů i podrobné měření. Permanentní stanice TUBO v minulosti sloužila v okolí Brna jako zdroj družicových dat pro geodetické firmy, které si na počátku mohly pořídit jen jednu přesnou družicovou aparaturu. Postupně tuto funkci převzala nově vybudovaná síť CZEPOS, jejíž jednou stanicí je i stanice TUBO.

V září 2004 došlo na FAST VUT k zásadní změně studijních programů, neboť bylo zavedeno trojstupňové studium (bakalářský, magisterský a doktorský studijní program). Příprava studijních plánů samozřejmě již počítala s novou strukturou a inovací předmětů. Problematika GPS je vyučována u bakalářského studijního programu hlavně v předmětu Vyšší geodézie I. V magisterském studijním programu, kde byla již družicová geodézie vyučována v předmětech Geodetická astronomie a kosmická geodézie I a II, byl nově zaveden samostatný předmět Seminář GPS. Problematiku GPS/GNSS je součástí i předmětů Výuka v terénu na bakalářském i magisterském studijním programu. V magisterském studijním programu Výuka v terénu probíhá v lokalitě Dolní Morava s možnostmi využití geodynamické sítě Sněžník.

Řada diplomových i dalších prací byla v počátku zaměřena na studium technologií souvisejících se statickými a diferenčními metodami. Pozornost byla věnována polohové přesnosti stávajících bodových polí, využití GPS pro výškové práce a její aplikace v lokálních sítích zejména s vazbami na inženýrskou geodézii. Jako příklad uveďme práce související s budováním brněnských tunelů, kde pracoviště Ústavu geodézie zajišťovalo zaměření hlavních vytyčovacích sítí metodou GPS. Mnohé práce byly zaměřeny i na testování přesnosti a kalibraci GPS/GNSS. Zkušenosti pracovníků byly a jsou využívány pro tvorbu nových předpisů především v oblasti liniových staveb, zejména železničních. V této oblasti se uskutečnila celá řada seminářů a školení pro technickou praxi. Velká pozornost je rovněž věnována problematice transformací družicových dat do stávajících legislativně závazných souřadnicových systémů.

6 Závěr

Permanentní GNSS stanice TUBO prokázala za 20 let své činnosti svou užitečnost v mezinárodních službách, v národní geodetické komunitě, ve vědě a výzkumu a také výukové a školicí účely. Stanice TUBO je dobře etablována v Permanentní síti EUREF, tvoří důležitou součást národní sítě CZEPOS, je využívána jako referenční stanice pro výzkumné projekty i praktické geodetické a katastrální aplikace v České republice. Díky postupné modernizaci hardware produkuje širokou množinu kvalitních dat ze všech dostupných globálních

navigačních systémů s vysokou mírou spolehlivosti a minimálním výpadky. Lze předpokládat, že permanentní GNSS stanice TUBO bude i nadále provozována Fakultou stavební Vysokého učení technického v Brně ve spolupráci se Zeměměřickým úřadem v Praze se setrvalou úrovní kvality a spolehlivosti produkovaných dat.

Literatura

- [1] Kostecký, J., Bureš, J.: *Druhá GPS stanice permanentní sítě EUREF v ČR, Zeměměřič 12/2001 str. 32-33.*
- [2] Bureš, J., Macur, J., Švábenský, O., Weigel, J.: *Permanentní stanice GPS sítě EUREF na Fakultě stavební VUT v Brně, Sborník referátů Seminář GPS – diferenční systémy a RTK. Vydavatelství ECON publishing, Brno 2002, str. 53-57, ISBN 80-86433-09-9*
- [3] Bruyninx, C., Legrand, J., Fabian, A., Pottiaux, E.: *GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network. GPS Solution (2019) 23: 106. doi: 10.1007/s10291-019-0880-9.*
- [4] *Permanentní stanice TUBO: dostupné on-line: <http://tubo.fce.vutbr.cz>*
- [5] Vojkůvka, M.; Bureš, J.: *Webové rozhraní permanentní stanice GPS TUBO. In Juniorstav 2010. 1. Brno: VUT v Brně, 2010. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-4042- 5.*
- [6] Vojkůvka, M.; Bureš, J.: *Analýza meteorologických dat permanentní GNSS stanice TUBO. In Juniorstav 2013. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. s. 1-7. ISBN: 978-80-214-4670- 0.*
- [7] Bureš, J.; Švábenský, O.; Hořejš, M.: *K problematice kontroly přesnosti aparatur GNSS. In Družicové metody v geodézii a katastru. 1. 2017. s. 77-80. ISBN: 978-80-86433-64- 6.*
- [8] Bureš, J., Hořejš, M.: *Kalibrace geodetických totálních stanic a GNSS systémů na kalibrační základně Brno-Jih. In Měření v průmyslu. 1. Brno: Český svaz geodetů a kartografů, 2018. s. 76-81. ISBN: 978-80-02-02826-0.*
- [9] Švábenský, O. a kol.: *Metodika integrovaných lokálních geodetických sítí, závěrečná zpráva projektu GAČR 103/96/1648, 1998, VUT v Brně*
- [10] Weigel, J.: *Testovací měření pro ověření přesnosti GPS. Seminář s mezinárodní účastí „Zkušenosti s využitím GPS pro bodová pole“. Sborník referátů, str. 74 - 79, VUT v Brně, ČR, 1998.*

Recenzováno: 14. 1. 2022