

**Metodika pro propojení bodů ZGS, stanic národního doplnění ECGN a stanic  
CZEPOS technologií GNSS**

*Jakub Kostecký, Vratislav Filler*

Tento dokument je výsledkem TB02CUZK003V014 projektu TB02CUZK003 „Integrace polohových, výškových a tíhových základních bodových polí České republiky“ a byla vytvořena s finanční podporou Technologické agentury ČR, programu BETA. Tato verze dokumentu obsahuje zapracované připomínky nezávislých oponentů.

T A  
Č R

Program **Beta**

## 1. Cíl

Metodika definuje postup aplikace technologie GNSS na prostorové propojení bodů ZGS a stanic ECGN se stanicemi CZEPOS, periodicitu opakování, optimální způsob měření a způsob zpracování.

## 2. Propojení stanic národního doplnění ECGN a stanic CZEPOS technologií GNSS

Stanice ECGN (European Combined Geodetic Network – Evropská kombinovaná geodetická síť) se dle definice skládají z následujících komponent:

- permanentní stanice GNSS zapojené do EPN (EUREF Permanent Network – Permanentní síť EUREF), na které jsou kontinuálně prováděna měření GNSS,
- nivelačního bodu, který je periodicky připojován nivelací do UELN (Unified European Levelling Network – Sjednocená evropská nivelační síť),
- absolutního tíhového bodu, na kterém jsou periodicky prováděna měření tíhového zrychlení absolutním gravimetrem,
- základní sady meteorologických čidel pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku,
- měřidla přílivu u stanic na mořském pobřeží.

V České republice je jediná stanice ECGN – stanice GOPE na Geodetické observatoři Pecný v Ondřejově. Poměrně řídká síť stanic ECGN je v České republice zhuštěna stanicemi národního doplnění ECGN, které se skládají z obdobných komponent (na národní úrovni):

- permanentní stanice GNSS zapojené do EPN nebo do CZEPOS (Síť permanentních stanic GNSS České republiky), na které jsou kontinuálně prováděna měření GNSS,
- nivelačního bodu, který je periodicky připojován nivelací do nivelačních úseků, které tvoří kostru UELN v ČR a jsou periodicky přeměřovány,
- absolutního tíhového bodu, na kterém jsou periodicky prováděna měření tíhového zrychlení absolutním gravimetrem,
- základní sady meteorologických čidel pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku a sady senzorů pro sledování vody v okolním terénu pro redukci hydrologických vlivů na tíhové zrychlení. Čidla jsou instalována podle lokálních podmínek.

V České republice existují, resp. jsou nově zřizovány, čtyři stanice národního doplnění ECGN. Jsou to stanice KUNZ na hvězdárně v Kunžaku, stanice POL1 na objektu Polom Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu, stanice PLZN v budově NTIS Západočeské univerzity v Plzni a stanice TUBO v budovách Vysokého učení technického v Brně. Stanice GOPE, POL1, PLZN a TUBO jsou přímo součástí sítě CZEPOS, jejich propojení není nutné řešit.

Stanice KUNZ je součástí sítě EPN. Propojení se sítí CZEPOS je realizováno ve společném zpracování GNSS kampaně CZECH, ve které je zapojena většina permanentních stanic GNSS z území ČR a pro navázání jsou používány vhodné stanice sítě EPN ze zahraničí (kategorie A). Pro zpracování se používají kontinuální každodenní observace GNSS s intervalem záznamu 30 sekund. Data minimálně z navigačních systémů GPS NAVSTAR a GLONASS jsou dodávána ve formátu RINEX. Zpracování je prováděno konzistentně v rámci jednoho řešení.

### 3. Propojení bodů ZGS a stanic CZEPOS technologií GNSS

Na bodech Základní geodynamické sítě neprobíhají kontinuální GNSS měření a postup popsany v předchozí kapitole lze použít pouze po modifikaci. Použije se měření GNSS v kampaních s použitím metody statické.

#### 3.1 Požadavky na přístroje použité pro měření GNSS na bodech ZGS

Pro použití na měření GNSS na bodě ZGS musí aparatura GNSS splňovat následující podmínky:

- a) aparatura GNSS obsahuje minimálně dvoufrekvenční geodetický přijímač zpracovávající signály (fáze a pseudovzdálenosti) minimálně navigačních systémů GPS NAVSTAR a GLONASS s minimálně 24 kanály pro souběžný příjem alespoň 24 družic,
- b) anténa GNSS aparatury má individuálně určenou polohu fázového centra pro všechny přijímané frekvence včetně určení závislosti polohy fázového centra na směru příjmu signálu (na azimutu a výškovém úhlu družice),
- c) anténa GNSS aparatury má definován referenční bod antény jako průsečík nejnižší vodorovné plochy tělesa antény se svislou osou šroubu pro připevnění antény; tento šroub musí mít závit 5/8",
- d) aparatura GNSS je kalibrována na referenčním etalonu polohy pro technologii měření statickou o délce 2x24 hodin.

Doporučující podmínky:

- a) paměť pro ukládání dat v aparatuře musí být schopna pojmout data s intervalem záznamu 30 sekund po dobu alespoň 48 hodin nebo musí být aparatura schopna stahování naměřených dat bez přerušení měření,
- b) napájení aparatury GNSS by mělo být schopné zásobovat elektrickou energií z akumulátorů po dobu minimálně 48 hodin nebo musí být zajištěna výměna baterií v aparatuře bez přerušení měření.

Povinné podmínky jsou určeny pro zajištění požadované přesnosti a pro zajištění technicky realizovatelného měření. Doporučující podmínky jsou určeny pro zajištění nepřerušovaného měření po celou požadovanou dobu.

#### 3.2 Postup měření GNSS na bodech ZGS

Postup měření vychází z návrhu připraveného v [1] na základě analýzy výsledků testovacích měření GNSS na dvou bodech ZGS. Pro zajištění maximální přesnosti a potlačení systematických vlivů při měření GNSS na bodech ZGS je požadováno v každé kampani provést na každém bodě ZGS dvě nezávislá měření. Každé měření bude provedeno jinou aparaturou GNSS (včetně jiné antény) po dobu 48 hodin.

Anténa bude připevněna k centrační tyči pomocí závitu 5/8". V případě, že nebude možné celý závit na centrační tyči zašroubovat do antény a tedy když spodní plocha antény (referenční bod) nebude dosedat na plochu centrační tyče, je nutné vzdálenost obou ploch změřit a připočítat k výšce antény, která je jinak dána délkou centrační tyče mezi plochou u závitu 5/8" a spodní plochou lemu na

centrační tyči, který dosedá do spodní části nucené centrace (vzdálenost bývá kolem 300 mm). Spodní část je trvale zabetonovaná do rostlé skály nebo do pilíře bodu ZGS.

Anténa musí být orientována k severu podle stanovení výrobce nebo (pokud výrobce orientaci antény nestanovil) podle protokolu z individuálního určení polohy fázových center antény (v tom případě to bývá podle směru anténního konektoru). Po orientování antény pomocí otáčení centrační tyče ve spodní části nucené centrace musí být centrační tyč co nejlépe dotažena do centrace pomocí šroubovací objímky a fixována po celou dobu 48 hodinového měření. V případě, že se nepodaří zašroubovat objímku, která fixuje centrační tyč v nucené v centraci v celém potřebném rozsahu, je nutno provést opatření (např. použít pod objímku ještě podložku), aby byla centrační tyč pevně fixována ve spodní části nucené centrace.

Měření se provádí s intervalem záznamu 30 sekund. Tento interval záznamu je vhodný pro statickou metodu měření a permanentní stanice, na které je měření při zpracování připojováno, dodávají data se stejným intervalem záznamu. Měří se na všechny dostupné družice systémů GPS NAVSTAR a GLONASS. Elevační maska musí být nastavena na 0°. Naměřená data musí být převedena do formátu RINEX (nejlépe verze 2.11) buď pomocí software dodaného výrobcem, nebo pomocí interního firmware aparatury. Měření je zahajováno přibližně uprostřed prvního dne měření a ukončeno po 48 hodinách. Zahájení měření uprostřed dne je bezpečnější než zahájení o světové půlnoci. Druhé měření musí být zahájeno jiný den než den, ve kterém skončilo první měření. Tento požadavek je dán z důvodu zpracování dat v rámci kampaně CZECH.

### **3.3 Postup zpracování měření GNSS na bodech ZGS**

Optimální postup zpracování byl otestován v [2]. Pro zpracování je nutné použít software, který modeluje všechny zdroje systematických chyb. Vhodný je GPS Processing Software Bernese, který vyvinul a udržuje Astronomický ústav Univerzity v Bernu. Zpracování měření GNSS na bodech ZGS je prováděno po jednotlivých dnech. Z toho důvodu není možné, aby během jednoho dne bylo na bodě ZGS měřeno s dvěma různými anténami.

Zpracování spočívá v zařazení měření GNSS na bodě ZGS do denního zpracování kampaně CZECH, která zpracovává data z většiny permanentních stanic GNSS na území ČR. Realizace Evropského terestrického systému ETRS89 je zajištěna připojením kampaně na další stanice sítě EPN v Evropě, které jsou zařazeny do kategorie A.

Zpracovávají se dvojité diferencované měření, základny jsou definovány podle požadavku na největší společný počet epoch. Bod ZGS je obvykle zpracováván v jedné základně. Pro řešení ambiguit se používá strategie QIF (quasi-iono free). Pro zpracování se používají dráhy družic IGS final v souřadnicovém systému ITRS. Do zpracování vstupují měření, která překračují elevační masku 3°. Pro modelování poloh fázových center se používá absolutní model s individuálními polohami fázových center. Vliv troposféry je modelován na každé stanici: pro apriorní hodnoty je používán model Dry Niell, jednou za hodinu je určován parametr modelu Wet Niell a parametr troposférických gradientů je určován jeden pro celý den.

Výsledky jsou v souřadnicovém systému ITRS a do ETRS se převádějí na podkladě známých transformačních parametrů a dotransformace na definiční body systému ETRS89 v ČR (obvykle permanentní GNSS stanice sítě CZEPOS a VESOG).

Z kampaně CZECH jsou vypočteny souřadnice bodů ZGS v jednotlivých dnech měření. Výsledné souřadnice se získají kombinací denních řešení pro obě měření (tj. dohromady pro 2x48 hodin). Standardní nejistota ( $k=1$ ) určení polohy bodu ZGS z měření GNSS po dobu 2x48 hodin je podle [1] 4,4 mm v severo-jihní složce, 4,0 mm ve východo-západní složce a 12,1 mm ve svislé složce.

### **3.4 Periodicita opakování měření GNSS na bodech ZGS**

Periodicita opakování byla stanovena s ohledem na nejistotu určení prostorové polohy a s ohledem na velikost očekávaných geodynamických pohybů, která byla odhadnuta z analýzy časových řad souřadnic permanentních stanic GNSS v ČR [3]. Na základě podkladů byla stanovena periodicita opakování měření GNSS na bodech ZGS na 10 až 15 let.

## **4. Závěr**

Předložená metodika stanovuje postup prostorového propojení bodů Základní geodynamické sítě, stanic národního doplnění Evropské kombinované geodetické sítě a stanic Sítě permanentních stanic GNSS České republiky – CZEPOS. Je definována optimální metoda měření, optimální postup zpracování a navržena periodicita opakování měření.

## **Literatura**

[1] Kostecký Jakub, Filler Vratislav: Porovnání výsledků testovacích měření na bodech Základní geodynamické sítě v roce 2016. Technická zpráva č. 1260/2016. VÚGTK, Zdiby, 2016. stran 15

[2] Filler Vratislav, Kostecký Jakub: Výpočet souřadnic testovací základny Skalka formou začlenění do kampaně CZECH a výpočtem regionálních kampaní. Technická zpráva VÚGTK č. 1258/2016. VÚGTK, Zdiby, 2016. stran 16

[3] Kostecký Jakub: Analýza časových řad souřadnic permanentních stanic GNSS v České republice. Technická zpráva VÚGTK, Zdiby, 2016. stran 6