

Projekt monitorovania atmosférickej vlhkosti na území Slovenska využitím siete permanentných staníc GNSS

Miroslava Igondová – Ján Hefty

Katedra geodetických základov, Stavebná fakulta,
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11,
813 68, Bratislava, Slovensko

miroslava.igondova@stuba.sk, jan.hefty@stuba.sk

www.svf.stuba.sk/kat/GZA

Abstrakt. GNSS (Globálne navigačné satelitné systémy) sú vhodným nástrojom nie len na presné určovanie polohy na Zemi, ale aj na získavanie informácií o aktuálnom množstve vodnej pary (PWV – Precipitable Water Vapour) v troposfére. V súčasnosti sa na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave rieši projekt s názvom Modelovanie troposféry na území Slovenska využitím permanentných meraní GNSS pre aplikácie v takmer reálnom čase. Cieľom projektu je systematický monitoring troposféry a aktuálne poskytovanie získaných informácií pre využitie vo vede aj v praxi. Prvé výsledky projektu sú zamerané na post-processingové spracovanie permanentných staníc GNSS a následné určenie PWV a taktiež na porovnanie výsledkov zo spracovania v softvéri BERNESE verzia 5.0 s údajmi z doteraz používanej verzie softvéru 4.2.

Kľúčové slová: troposféra, GNSS, PWV, ZTD

Abstract. GNSS (Global Navigation Satellite Systems) are suitable for not only precise point positioning, but also determination of water vapour content (PWV – Precipitable Water Vapour) in troposphere. Project ‘Troposphere Modeling on the Territory of Slovakia Using Permanent GNSS Observations for Near Real Time Applications’ is being solved at Department of Theoretical Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Civil Engineering in Bratislava, Slovakia. Aim of the project is systematic monitoring of troposphere and providing the information for scientific and practice using. First results of the project are focused to permanent GNSS stations processing in post-processing mode, PWV determination and comparison of results using new BERNESE software version 5.0 and previous version 4.2.

Keywords: troposphere, GNSS, PWV, ZTD

1 Úvod

Globálne navigačné satelitné systémy (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) sú v súčasnosti dominantným prostriedkom na získavanie informácií o polohe na Zemi a v jej blízkom okolí. Merania kódov a fáz nosných vln vysielaných družicami GNSS a ich následné spracovanie za účelom určovania presnej polohy je spojené

s modelovaním systematických efektov, ktoré ovplyvňujú šírenie sa signálov od družíc k prijímačom na zemskom povrchu. K najvýraznejším systematickým efektom patrí vplyv troposféry, ktorá spôsobuje predĺženie časového intervalu medzi vyslaním a prijatím signálu a môže spôsobiť predĺženie geometrickej vzdialenosti medzi družicou a prijímačom aj viac ako 10 m, v závislosti od zenitového uhla na družicu [3, 5, 6].

Charakteristickou vlastnosťou troposféry je, že ide o veličinu, ktorá je v čase aj v priestore variabilná, a teda nie je možné na jej plnohodnotnú elimináciu použiť statický model. Pri modelovaní vplyvu troposféry treba preto vhodným spôsobom zohľadniť jej aktuálny stav a na základe toho korigovať výsledky geodetických meraní metódou GNSS. Na druhej strane je možné aplikovať aj opačný prístup: ak polohu bodu, na ktorom sa uskutočňujú merania GNSS, poznáme s dostatočnou presnosťou, analýzou nameraných hodnôt môžeme získať aktuálne informácie o stave troposféry v mieste, kde sa merania uskutočňujú. Veličinou, ktorá charakterizuje integrálny vplyv troposféry na družicu nachádzajúcu sa v zenite, je celkové oneskorenie v zenite (Zenith Total Delay – ZTD). Hodnota ZTD odzrkadľuje aktuálny stav troposféry a po eliminácii modelovateľných zložiek – tzv. suchej zložky ZTD je indikátorom množstva vodných pár obsiahnutých v troposfére, ktorý sa vyjadruje ako výška zodpovedajúceho stĺpca kondenzovanej vody (Precipitable Water Vapour – PWV).

Možnosť určovania PWV podnietila vznik novej aplikačnej oblasti nazývanej ako GPS (Globálny polohový systém – Global Positioning System) meteorológia [2], ktorá sa orientuje na generovanie informácií odvodených z meraní GPS, resp. GNSS, pre potreby predpovedania počasia. Prednosťou údajov získavaných analýzou GNSS je vysoká časová a priestorová rozlíšiteľnosť a nízka nákladovosť. Základné teoretické východiská tejto problematiky podávajú napríklad publikácie [1, 4].

2 Projekt modelovania troposféry na území Slovenska

V súčasnosti sa na Katedre geodetických základov (KGZ) Stavebnej fakulty STU v Bratislave rieši projekt s názvom Modelovanie troposféry na území Slovenska využitím permanentných meraní GNSS pre aplikácie v takmer reálnom čase. Cieľom výskumno-vývojového zámeru projektu je systematický monitoring troposféry a aktuálne poskytovanie získaných informácií pre využitie vo vede aj v praxi. Prostredníctvom webovej stránky budú kontinuálne generované diskrétné údaje ako aj vo forme digitálnych máp vizualizované výsledky monitorovania ZTD a PWV.

V súčasnosti je vytvorená nevyhnutná východisková infraštruktúra na monitorovanie troposféry (prostredníctvom ZTD a PWV) nad územím Slovenska. Existuje päť aktívnych permanentných staníc GNSS (Modra-Piesok, Lomnický štít, Rimavská Sobota – prevádzkovaných KGZ, Banská Bystrica – Armáda SR a Gánovce – Geodetický a kartografický ústav - GKÚ) na Slovensku, ktoré sú postupne dopĺňané o stanice zriadené v rámci Slovenskej polohovej služby (SKPOS), ktorú garantuje GKÚ. Taktiež sú dostupné merania z permanentných staníc v štátoch susediacich so Slovenskom. Výsledky meraní uvedených staníc sa kontinuálne analyzujú na KGZ.

Mnohé stanice zaznamenávajú signály nielen z družíc GPS, ale aj GLONASS a sú pripravené zaznamenávať aj údaje z pripravovaného systému Galileo. Projekt sa preto zameriava na využitie meraní všetkých troch Globálnych navigačných satelitných systémov na analýzu a modelovanie atmosféry.

Čiastkové úlohy projektu možno zhrnúť v nasledujúcich bodoch:

Vytvorenie a testovanie nových postupov pri analýze meraní GNSS, najmä z hľadiska možností komplexnejšieho odhadu ZTD – využitie horizontálnych gradientov, overenie možností GPS tomografie.

- Návrh postupu modelovania priestorového a časového priebehu PWV využitím geoštatistických metód.
- Návrh technológie a overenie možností spracovania meraní GNSS v takmer reálnom čase.
- Implementácia získaných poznatkov do systematického spracovania siete staníc GNSS na Slovensku rozšírenej o stanice v susedných krajinách nachádzajúce sa v blízkosti slovenských hraníc.
- Vytvorenie permanentne sa aktualizovanej databázy a jej sprístupnenie záujemcom z rozličných oblastí prostredníctvom webovej stránky.

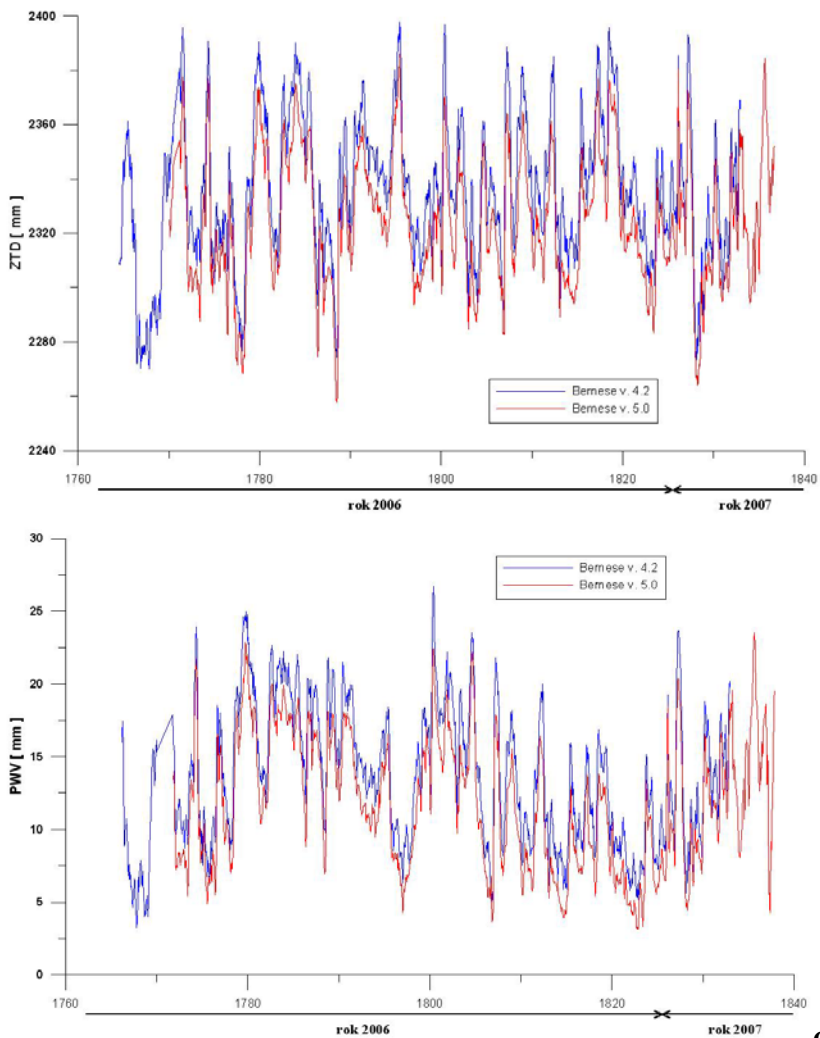
Predpokladáme, že výsledky projektu nájdú uplatnenie najmä v nasledovných oblastiach:

- v geodézii pri spracovaní meraní GNSS orientovaných na získanie výsledkov s vysokou presnosťou tak, že bude možné získať údaje o ZTD pre každé konkrétne miesto a čas,
- v meteorológii produkciou aktuálnych ZTD, resp. PWV,
- pri tvorbe varovného systému pre predpoveď nadmernej lokálnej zrážkovej činnosti a hydrologických rizík.

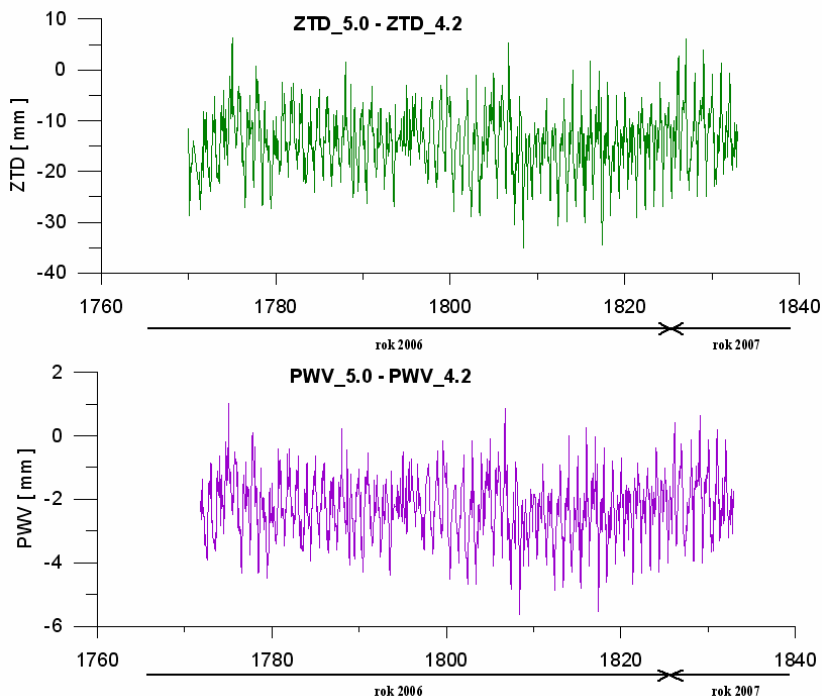
3 Aktuálny stav riešenia projektu

V súčasnosti sa realizuje spracovanie permanentných meraní GPS v softvéri Bernese v. 5.0 a porovnanie výsledkov s údajmi z doteraz používanej verzie softvéru 4.2, nakoľko neprišlo iba k zmene verzie ale aj k niekoľkým zásadným zmenám v stratégii výpočtu: zmena referenčného rámca na ITRF2005, zavedenie absolútnych parametrov definujúcich polohu a variáciu fázových centier antén, individuálne kalibrované antény, odhad troposférických gradientov a i.

Porovnanie hodnôt ZTD a PWV určených na základe spracovania v rozličných verziách softvéru je na obrázku 1. Veľkosť hodnôt ZTD je pri použití verzie 5.0 systematicky menšia, v priemere o 13.9 mm, čo spôsobuje taktiež systematicky nižšie hodnoty PWV, priemere o 2.3 mm. Rozdiel hodnôt ZTD a PWV pri spracovaní v softvéri Bernese v. 4.2 a 5.0 je na obrázku 2.



br. 1. Porovnanie hodnôt ZTD a PWV na stanici TUBO v rámci 9 týždňov spracovaných duplicitne v softvéri Bernese v. 4.2 aj 5.0. O



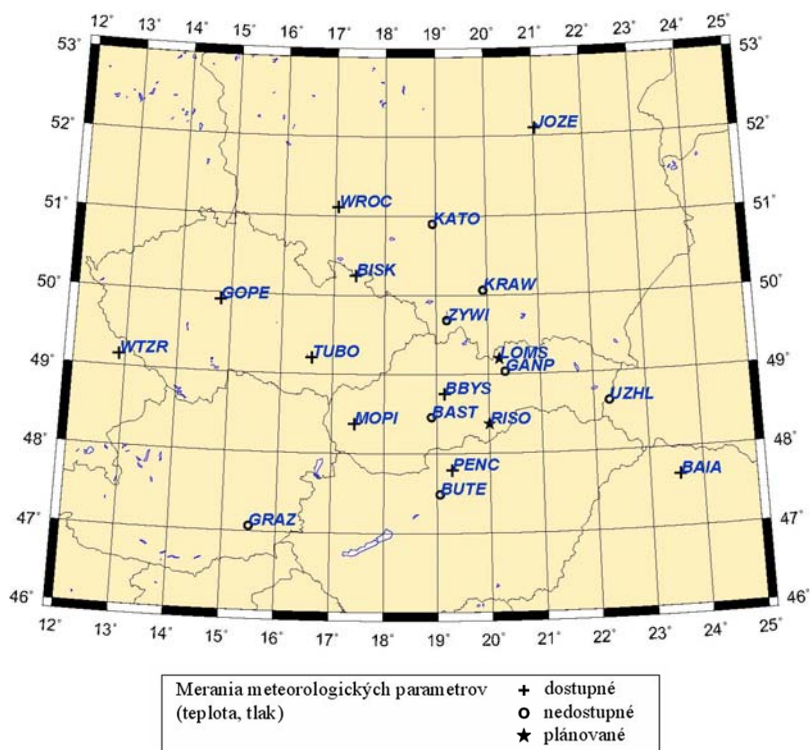
Obr. 2. Rozdiel hodnôt ZTD a PWV na stanici TUBO v rámci 9 týždňov pri spracovaní v softvéri Bernese v. 4.2 a 5.0.

Zatiaľ sú spracovávané iba stanice, ktoré majú permanentný charakter, nie sú zahrnuté stanice SKPOS. Prehľad staníc na Slovensku a v okolitých krajinách je uvedený v tabuľke 1 a na obrázku 3, kde možno vidieť aj rozdelenie staníc v závislosti od dostupnosti meteorologických parametrov, ktoré sú potrebné pri výpočte PWV [1, 4].

Tabuľka 1. Prehľad staníc na Slovensku a v okolitých krajinách spracovávaných na KGZ.

Označenie	Miesto	Štát
BAIA	Baia Mare	Rumunsko
BAST	Banská Štiavnica	Slovensko
BBYS	Banská Bystrica	Slovensko
BISK	Biskupská Kupa	Česko
BUTE	Budapest	Maďarsko
GANP	Gánovce	Slovensko
GOPE	Pecný	Česko
GRAZ	Graz	Rakúsko

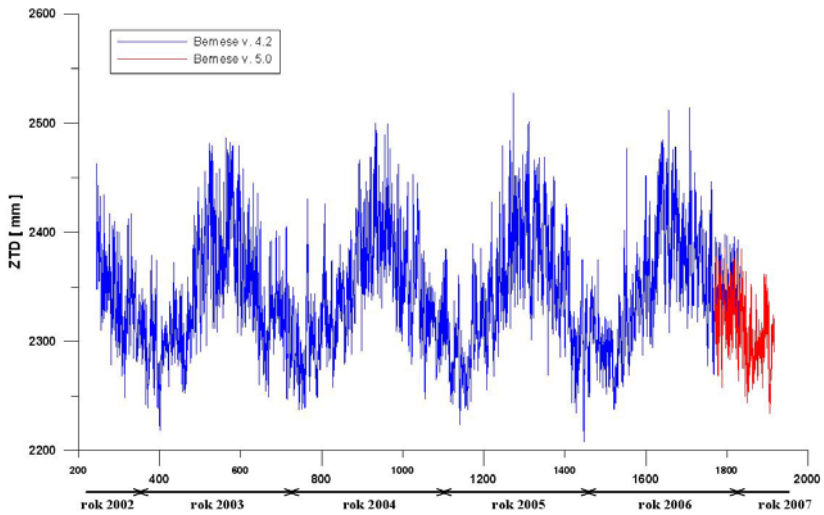
KATO	Katowice	Poľsko
JOZE	Józefosław	Poľsko
KRAW	Kraków	Poľsko
LOMS	Lomnický Štít	Slovensko
MOPI	Modra – Piesok	Slovensko
PENC	Penc	Maďarsko
RISO	Rimavská Sobota	Slovensko
TUBO	Brno	Česko
UZHL	Uzhgorod	Ukrajina
WROC	Wrocław	Poľsko
WTZR	Wetzell	Nemecko
ZYWI	Żywiec	Poľsko



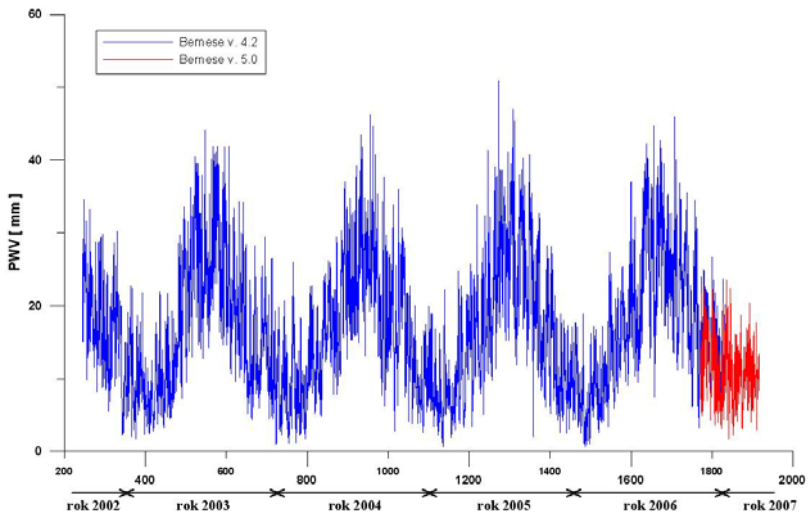
Obr. 3. Prehľad staníc na Slovensku a v okolitých krajinách spracovávaných na KGZ.

Obrázky 4, 5 a 6 ukazujú očakávané výstupy na webovej stránke – časové rady údajov ZTD, PWV na jednej stanici, model PWV v konkrétnom čase (začiatok roku

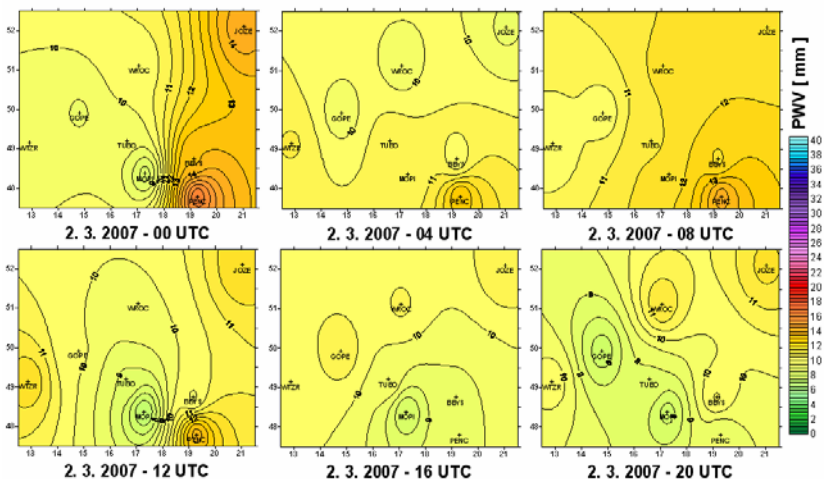
2007). Grafy aj modely bude možné generovať pre konkrétne časové obdobie stanovené užívateľom.



Obr. 4. Časový rad hodnôt ZTD na stanici TUBO počas takmer 5 rokov.



Obr. 5. Časový rad hodnôt PWV na stanici TUBO počas takmer 5 rokov.



Obr. 6. Variácia modelu PWV v rámci jedného dňa – 2. 3. 2007 v 4-hodinovom intervale.

Momentálne prebieha taktiež prvé testovanie programu MapServer, ktorý bude použitý pri tvorbe výstupov pre výslednú webovú stránku, ktorá bude fungovať pod operačným systémom Linux.

4 Záver

Cieľom prebiehajúceho projektu Modelovanie troposféry na území Slovenska využitím permanentných meraní GNSS pre aplikácie v takmer reálnom čase, ktorý sa v súčasnosti rieši na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave je systematický monitoring troposféry a aktuálne poskytovanie získaných informácií pre využitie vo vede aj v praxi. Prvé výsledky projektu sú zamerané na post-procesingové spracovanie permanentných staníc GNSS a následné určenie PWV a taktiež na porovnanie výsledkov zo spracovania v softvéri BERNESE verzia 5.0 s údajmi z doteraz používanej verzie softvéru 4.2.

Výsledky projektu nájdu uplatnenie najmä v geodézii pri spracovaní meraní GNSS orientovaných na získanie výsledkov s vysokou presnosťou tak, že bude možné získať údaje o ZTD pre každé konkrétne miesto a čas, ďalej v meteorológii produkciu aktuálnych ZTD, resp. PWV a taktiež pri tvorbe varovného systému pre predpoveď nadmernej lokálnej zrážkovej činnosti a hydrologických rizík.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. LPP-0176-06.

Referencie

1. Bevis, M. et al: GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapour Using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No. D14. 1992.
2. Douša, J.: Využití GPS pro účely meteorologie. *Geodetický a kartografický obzor*, č. 8, ročník 46/88. Praha, 2000. ISSN 0016-7096
3. Hefty, J. – Husár, L.: *Družicová geodézia, Globálny polohový systém*. STU, Bratislava, 2003. ISBN 80-227-1823-8
4. Igondová, M.: *Využitie permanentných sietí GPS na modelovanie troposféry a ionosféry*. STU, Bratislava, 2006. ISBN 80-227-2400-9
5. Leick, A.: *GPS Satellite Surveying*. John Willey and Sons, New York, 1995. ISBN 0471306266
6. Xu, G.: *GPS Theory, Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003. ISBN 978-3-540-67812-0