

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta

Institut geoinformatiky

**DLHODOBÉ POROVNANIE KVALITY VÝSLEDKOV TECHNIKY DVOJITÝCH
DIFERENCIÍ A TECHNIKY PPP PRE ÚČELY GPS METEOROLÓGIE**

Bakalárska práca

Autor:

Róbert Kostolný

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Michal Kačmařík, Ph.D

Ostrava 2014

PREHLÁSENIE

Čestne prehlasujem, že celú bakalársku prácu vrátane príloh som vypracoval sám a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

Bol som oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Zz. - Autorský zákon, najmä § 35 - využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 - školské dielo.

Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo, k svojej vnútornej potrebe, bakalársku prácu využiť (§ 35 odsek 3).

Súhlasím s tým, že jeden výtlačok mojej bakalárskej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestnenom v prílohe mojej bakalárskej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.

Bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčné zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 ods.4 autorského zákona.

Bolo dohodnuté, že užiť svoje dielo - bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Ostrave dňa 25.4.2014

Róbert Kostolný

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá dlhodobým porovnaním kvality výsledkov techník PPP a dvojitych diferencií pre účely GPS meteorológie.

Úvodná časť práce sa zaoberá štúdiou GPS meteorológie, konkrétne tým čím je spôsobené oneskorenie signálu prechádzajúce atmosférou. Práca obsahuje tiež podrobný rozbor obidvoch techník a popis spracovania dát metódou Precise Point Positioning. Vo výslednej fáze práce je obsiahnuté štatistické ohodnotenie výsledkov v podobe ZTD hodnôt získaných oboma technikami spracovania dát. Toto porovnanie bolo vykonané pre 5 vybraných GNSS referenčných staníc a cca 400 dní dát.

Kľúčové slová:

GPS meteorológia, Precise Point Positioning, dvojité diferencie, štatistické ohodnotenie

ABSTRACT

Thesis deals with long-term comparison of results from PPP technique and double-differencing technique for the purposes of GPS meteorology.

Introductory part of the thesis deals with GPS meteorology, namely with describing the atmospheric influences on the GNSS signal propagation. The thesis also contains a description of data processing using Precise Point Positioning method. In the final part a statistical evaluation of the results in the form of ZTD values from both techniques is presented. This comparison was carried out for 5 GNSS reference stations and about 400 days of data.

Keywords:

GPS meteorology, Precise Point Positioning, double difference, statistical evaluation

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Michalovi Kačmaříkovi, Ph.D. za poskytnuté materiály pri spracovaní tejto práce, za odbornú pomoc a jeho trpezlivosť pri konzultáciách. Ďalej chcem poďakovať všetkým tým, ktorí svojimi radami dopomohli k spracovaniu a úspešnému výsledku tejto práce.

OBSAH

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ABSTRAKT..... | 4 |
| ABSTRACT | 4 |
| POĎAKOVANIE..... | 5 |
| OBSAH..... | 6 |
| ZOZNAM SKRATIEK..... | 8 |
| 1. ÚVOD..... | 9 |
| 2. VÝSLEDKY REŠERŠNEJ PRÁCE..... | 10 |
| 3. CIEĽ PRÁCE..... | 12 |
| 3.1 Úlohy | 12 |
| 4. GNSS | 13 |
| 4.1 GPS Navstar..... | 13 |
| 4.2 GLONASS | 14 |
| 4.3 GALILEO..... | 15 |
| 5. METÓDY URČOVANIA OBASHU VODNEJ PARY V ATMOSFÉRE | 17 |
| 5.1 Meteorologická rádisonda..... | 17 |
| 5.2 Družice diaľkového prieskumu Zeme..... | 18 |
| 5.3 Vysokofrekvenčný mikrovlnný rádiometer | 18 |
| 5.4 GPS meteorológia | 18 |
| 6. TECHNIKY SPRACOVANIA GPS MERANÍ | 21 |
| 6.1 Technika dvojítých diferencí | 21 |
| 6.2 Technika Precise Point Positioning | 23 |
| 6.3 ZHRNUTIE OBIDVOCH TECHNÍK..... | 24 |
| 7. SPRACOVANIE DÁT TECHNIKOU PPP V PROSTREDÍ BERNESE GPS | 25 |
| 7.1 Bernese GPS SW..... | 25 |
| 7.2 Referenčné stanice | 26 |
| 7.3 Dáta | 26 |
| 7.4 Spracovanie dát..... | 27 |
| 7.5 Výsledok automatizovaného spracovania | 30 |
| 8. ŠTATISTICKÉ OHODNOTENIE VÝSLEDKOV SPRACOVANIA..... | 31 |

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------|----|
| 8.1 | Automatizované spracovanie hodnôt ZTD | 31 |
| 8.2 | Kontrola spracovaných dát | 33 |
| 8.3 | Spracovanie hodnôt BIAS a SDEV v prostredí Excel..... | 34 |
| 9. | ZÁVER | 40 |
| | ZOZNAM OBRÁZKOV | 42 |
| | ZOZNAM TABULIEK | 42 |
| | ZOZNAM PRÍLOH NA PRILOŽENOM CD..... | 42 |
| | LITERATÚRA..... | 43 |
| | INÉ INTERNETOVÉ ZDROJE | 44 |

ZOZNAM SKRATIEK

České skratky

| | |
|-----------|----------------------------------------------------|
| ČHMÚ | Český Hydrometeorologický Ústav |
| ČR | Česká Republika |
| GOP | Geodetická observatoř Pecný |
| VŠB – TUO | Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava |

Cudzojazyčné skratky

| | |
|---------|-------------------------------------------------|
| CODE | Center for Orbit Determination in Europe |
| DD | Double-differencing |
| E-GVAP | EUMETNET EIG GNSS Water Vapour Programme |
| EPN | EUREF Permanent Network |
| EUREF | European Reference Frame |
| GLONASS | Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema |
| GNSS | Global Navigation Satellite System |
| GPS | Global Positioning System |
| IGS | International GNSS Service |
| MCS | Master Control Station |
| NAVSTAR | Navigation System for Timing and Ranging |
| PPP | Precise Point Positioning |
| PWV | Precipitable Water Vapour |
| RINEX | Receiver Independent Exchange |
| SD | Single-differencing |
| UPD | Uncalibrated Phase Delays |
| WVR | Water Vapour Radiometer |
| ZHD | Zenith Hydrostatic Delay |
| ZTD | Zenith Total Delay |
| ZWD | Zenith Wet Delay |

1. ÚVOD

Táto práca je zameraná na porovnanie kvality výsledkov techniky dvojítých diferencií (DD) a techniky PPP (Precise Point Positioning) pre účely GPS (Global Positioning System) meteorológie. Dlhodobým obdobím je myslené obdobie v rozmedzí od septembra 2011 do októbra 2012. Úlohou tejto práce je tiež poskytnúť čitateľovi všeobecný náhľad na riešenú problematiku ako aj spracovanie dát technikou PPP prostredníctvom špecializovaného softwaru Bernese GPS Software. Výsledná fáza je venovaná štatistike, v ktorej sú porovnávané hodnoty ZTD (Zenith Total Delay) pre obidve techniky z rovnakej referenčnej stanice, rovnakého dňa a rovnakej časovej stopy. Cieľom tohto porovnania je stanoviť veľkosť rozdielov medzi výsledkami oboch metód v podobe náhodnej a systematickej chyby.

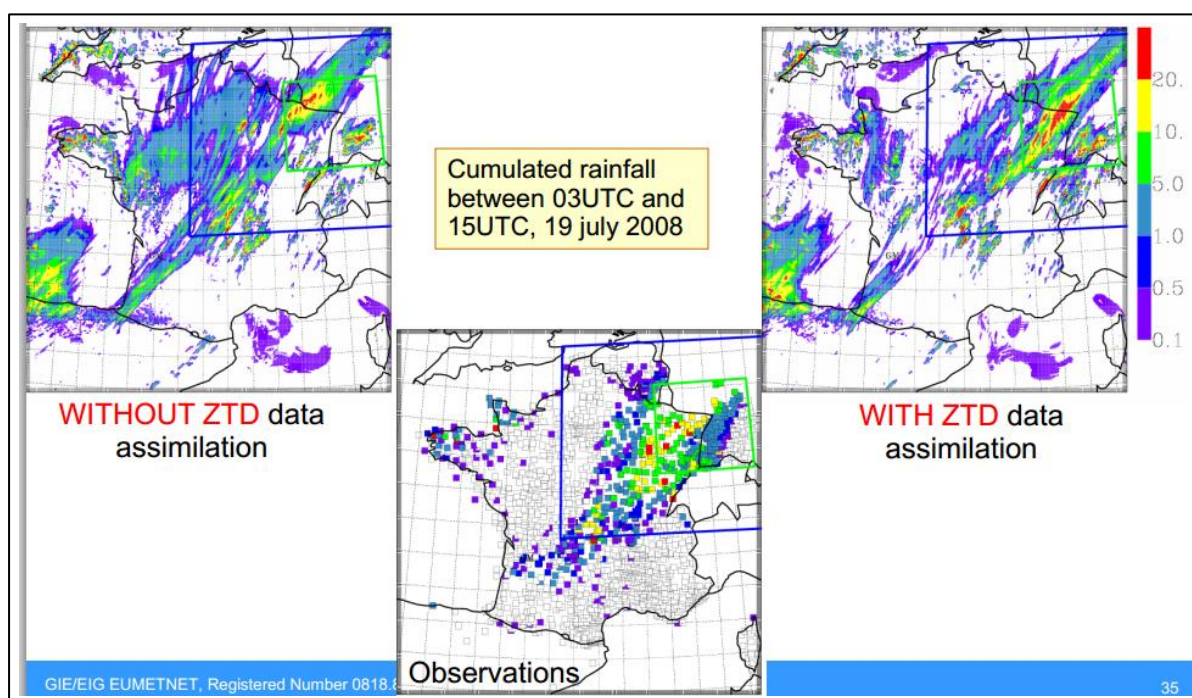
Dôvod porovnania techník je taký, že v dnešnej dobe existuje veľké množstvo referenčných staníc a tým pádom je sieťové riešenie využívajúce DD zdĺhavé. Preto je možné túto úlohu riešiť technikou PPP, ktorá spracováva dáta len z jednej referenčnej stanice a nepotrebuje spoluprácu iných staníc. Čo je podstatné z dôsledku rýchlosti dodania dát.

Ďalším dôvodom prečo je táto práca riešená je presvedčiť sa prostredníctvom štatistického ohodnotenia, že medzi hodnotami ZTD získanými z techniky PPP a techniky DD nie je výrazná náhodná a systematická chyba.

Výsledky práce by mohli poslúžiť ako dôkaz, že metóda PPP je vysoko vhodná pre spracovanie parametrov atmosféry. Z čoho vyplýva, že by mohla poslúžiť ako primárny nástroj pre určovanie parametrov atmosféry a nahradiť tak techniku DD, ktorej riešenie je veľmi presné ale zdĺhavé. Predpovede počasia doplnené o spracované hodnoty ZTD predkladajú dôveryhodnejší model o zrážkovej činnosti. Dôkazom je európsky projekt E-GVAP (EUMETNET EIG GNSS Water Vapour Programme), ktorý popíšem neskôr v rešeršnej práci.

2. VÝSLEDKY REŠERŠNEJ PRÁCE

Hlavnou európskou iniciatívou v tejto oblasti je už spomínaný projekt E-GVAP, ktorý bol zriadený v roku 2005 [1]. Úlohou tohto projektu je poskytovať parametre atmosféry v blízkom reálnom čase. Projekt rieši rozvoj GPS meteorológie a výstupy týchto spracovaní sú zahrňované do niektorých predpovedných modelov počasia. V súčasnej dobe je na území Európy do projektu zahrnutých cca 2 500 referenčných staníc, ktoré spracováva 15 analytických centier. V roku 2008 bolo analytických centier 10. Dve z nich používali techniku PPP a zvyšných 8 techniku DD. Z dôvodu rýchlosti dodania dát sa plánovalo prechádzať na techniku PPP. Aktuálne výstupy tohto projektu využívajú v súčasnej dobe 4 štáty, ktorými sú Veľká Británia, Francúzsko, Dánsko a Holandsko. To, že má hodnota ZTD pozitívny vplyv na spresnenie modelov počasia bolo dokázané aj v prácach Guerova (2003), Vedel a Huang (2004) a iných.



Obr. 1.: Ukážka výsledkov asimilácie hodnôt ZTD z GPS meraní pre územie Francúzska [1]

Tematikou GPS meteorológie sa zaoberala aj dizertačná práca Ing. M. Igondové z STU v Bratislave, ktorá študovala využitie GPS sietí na modelovanie

troposféry a ionosféry. Dizertačná práca je zameraná na možnosť vytvárania aktuálnych regionálnych modelov troposféry a ionosféry na podklade permanentných meraní GPS. Práca vychádza z prehľadu technológií umožňujúcich monitorovanie dejov v troposfére a ionosfére. Obsahuje tiež porovnanie týchto modelov a inými dostupnými technológiami. Jeden z výsledkov tejto práce bolo overenie presnosti vytvorených regionálnych modelov obsahu vodných par v atmosfére (PWV, Precipitable Water Vapour) porovnaním s nezávislou technológiou určenia obsahu vodných pár v troposfére, meraním pomocou meteorologických rádi sond. Obidve metódy dosiahli veľmi dobrú zhodu, na úrovni 2 mm, pričom technológia GPS umožňovala merania s niekoľkonásobne väčšou hustotou a teda poskytovala kvantitatívne viac informácií [2].

GNSS (Global Navigation Satellite System) meteorológiou sa zaoberá aj dizertačná práca Ing. M. Kačmaříka, Ph.D z VŠB – TU Ostrava. Jej hlavným cieľom bolo zhodnotenie kvality šikmých oneskorení GNSS signálov pri aplikácii výsledkov z rôznych voliteľných krokov v podobe horizontálnych gradientov troposféry a post-fit rezíduí očistených či neočistených o vplyv multipath. Výsledky z GNSS sú porovnávané s výsledkami merania vysokofrekvenčného rádiometra. Iným podstatným cieľom tejto práce je otestovanie novej metódy GNSS Tomografie, ktorá by umožňovala rekonštrukciu vertikálneho profilu rozloženia hodnôt obsahu vodných pár v atmosfére. Jedným z výsledkov tejto práce je ten, že metóda tomografie atmosféry by sa teoreticky mohla stať doplnkovým zdrojom k meteorologickým meraním rádi sondou [3].

3. CIEĽ PRÁCE

Cieľom tejto práce je dlhodobé porovnanie kvality výsledkov techniky dvojítých diferencií a techniky PPP na základe štatistického ohodnotenia. Výsledok by mal poslúžiť pre účel GPS Meteorológie. Referenčnou technikou v tejto práci je technika DD, ku ktorej výsledkom budú zrovnávané výsledky s výstupu techniky PPP.

3.1 Úlohy

1. Zoznámenie sa z oblasťou presných spracovaní GNSS meraní.
2. Štúdium techniky dvojítých diferencií a techniky PPP (Precise Point Positioning).
3. Vykonanie dlhodobého spracovania dát (aspoň 1 rok) technikou PPP v prostredí Bernese GPS SW.
4. Porovnanie získaných výsledkov s výstupom techniky dvojítých diferencií dodanými vedúcim práce s využitím štatistického ohodnotenia.

4. GNSS

Táto kapitola je zameraná na všeobecný náhľad a stručný prehľad o globálnych navigačných družicových systémoch. Družicový systém je systém družíc s celosvetovým pokrytím a má uplatnenie vo viacerých vedných odboroch ako napríklad Diaľkový prieskum Zeme, armáda, geológia, archeológia a iné. Architektúru GNSS tvorí kozmický, pozemný a užívateľský segment. GNSS môžeme rozoznávať ako systémy s celosvetovým pokrytím alebo lokálnym pokrytím. Systémy s celosvetovým pokrytím sú Navstar GPS, GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) a blízkej dobe aj GALILEO a COMPASS.

4.1 GPS Navstar

Vývoj systému GPS sa začal roku 1973 ministerstvom obrany USA. Ide o prvý družicový systém. GPS je rádionavigačný systém vybudovaný na báze umelých družíc Zeme. Pôvodný názov systému je NAVSTAR (Navigation System for Timing and Ranging). V súčasnosti sa udomácnil názov GPS. Poskytuje používateľom vybaveným prijímačmi GPS informáciu o ich okamžitej polohe, smere a rýchlosti pohybu, ako aj o presnom čase. Je schopný poskytovať údaje o polohe nezávisle na počasí 24 hodín denne. Ide o pasívny družicový diaľkomerný systém [[odkaz 1](#)].

Kozmická zložka GPS systému je tvorená sústavou družíc rozmiestnených na šiestich obežných dráhach vysielajúcich navigačné signály. Pôvodne bol systém tvorený 24 družicami, z ktorých bolo 21 navigačných a tri aktívne záložné. Konštelácia 24 družíc je zvolená tak, aby bolo zabezpečené pokrytie signálom v každom mieste na Zemi minimálne 4 družicami s elevačným uhlom väčším ako 5°. Aktuálna konštelácia družíc k 24. 2 2014 je 24 funkčných družíc z toho 8 typu BLOCK IIA, 12 typu BLOCK IIR, 4 typu BLOCK IIF a 7 prevádzkových družíc typu BLOCK IIR (M) [[odkaz 2](#)]. Dohromady je kozmický segment tvorený aktuálne z 31 družíc. Družice obiehajú vo výške 20 200 km nad povrchom a rovnakú vzájomnú

polohu nad daným bodom zopakujú za 11 h 58 min. Uhol sklonu obežných dráh voči rovníku je 55° . Každá družica je vybavená prijímacou a vysielačou anténou, atómovými hodinami, palivom pre dýzy pohonu, akumulátormi, ktoré majú k dispozícii solárne panely a radom ďalších prístrojov, ktoré slúžia pre navigáciu alebo iné špeciálne účely. Družica prijíma, spracováva, uchováva a vysiela informácie z/do pozemného riadiaceho centra, na základe ktorých môže korigovať svoju dráhu dýzami, alebo informuje o svojom stave riadiace centrum [\[odkaz 1\]](#).

Riadiaci segment pozostáva z hlavnej riadiacej stanice MCS (Master Control Station) umiestnenej na leteckej základni Falcon AFB v Colorado Springs v USA, piatich monitorovacích staníc a troch komunikačných staníc. Základnou úlohou riadiaceho segmentu je sledovanie družíc, určovanie ich dráh, synchronizácia oscilátorov družíc, zber a vyhodnocovanie informácií o družiciach, ktoré sú rádiovým vysielaním šírené pre všetkých používateľov [\[odkaz 1\]](#).

Používateľský segment je tvorený širokou škálou prijímačov používateľov (civilných a vojenských).

4.2 GLONASS

Je globálny družicový polohový systém vyvinutý ZSSR v roku 1976 a je spravovaný ruskou armádou. Je obdobou amerického GPS Navstar. Od roku 1996 do roku 2001 z dôvodu nedostatku financií na systém GLONASS, kozmický segment dosahoval len čiastočnú konštaláciu. V roku 2001 bolo len 6 aktívnych družíc. Od roku 2010 spolupracuje Rusko s Indiou [\[odkaz 3\]](#).

Kozmický segment je projektovaný na 24 družíc, ktoré obiehajú vo výške 19 100 km nad Zemou na troch dráhach so sklonom 65° . Dráhy sú vzájomne posunuté o 120° a na každej dráhe je 8 družíc. Obežná doba je 11h 15min. [\[odkaz 3\]](#). Aktuálna konštelácia kozmického segmentu systému GLONASS k 24.4.2014 pozostáva z 24 družíc, ktoré sú v operačnom stave, 4 náhradných družíc a z jednej testovacej družice [\[odkaz 4\]](#).

Riadiaci segment sa skladá z niekoľkých častí: monitorovacie stredisko v meste Krasnoznamenensk, 3 rozšírené stanice, 5 povelových staníc, 10 monitorovacích staníc. Riadiaci segment monitoruje kozmický segment, posieľa povelovú družiciam, vykonáva ich manévry a údržbu atómových hodín. Výsledok ich monitoringu je zverejňovaný v navigačnej správe každej družice [\[odkaz 3\]](#).

Pozemný segment je celý umiestnený prevažne na území Ruskej federácie, z čoho vyplýva určité časové obmedzenie, pre monitorovanie kozmického segmentu.

Užívateľský segment rozlišuje dva typy užívateľov. Autorizovaní majú zaručenú vyššiu presnosť systému a užívatelia ostatní, ktorí môžu používať SP (Standard Positioning). Komunikácia prebieha od družíc k prijímaču, systém je teda pasívny. Na základe prijatých dát systém vypočíta polohu antény, výšku nad elipsoidom, presný dátum a čas observácie [\[odkaz 3\]](#).

4.3 GALILEO

Plánovaný autonómny globálny družicový systém pre Európu. Tento projekt je financovaný z fondov európskej únie a mal byť dokončený do roku 2010, ale podľa nových plánov je najbližší rok spustenia naplánovaný na rok 2018 - 2019. Aktuálne sú na obežných dráhach 4 družice. Oba súčasné systémy GPS a GLONASS sú vojenské a nedávajú záruku, že budú plne funkčné aj vo výnimočných situáciách. Tento projekt je navrhnutý tak, aby bol primárne spravovaný civilnou správou [\[odkaz 5\]](#).

Plný kozmický segment bude pozostávať z 30 družíc (27 operačných a 3 záložné) obiehajúcich po troch kruhových dráhach na strednej obežnej dráhe Zeme vo výške 23 222 km. Každá z dráh bude zvierat' z rovinou rovníka 56° uhol, čo umožní využívať navigačný systém bez problémov až do miest ležiacich na 75° zemepisnej šírky. Galileo umožní každému užívateľovi určiť polohu z presnosťou lepšou než 1 meter. Systém Galileo bude mať najväčší potenciál v doprave a bude poskytovať celkom 4 druhy služieb. Je to základná služba, ktorá umožní používať signál zdarma. Ďalej komerčná služba, kde môže autorizovaný užívateľ použiť

ešte aj iné dva signály. Potom je to verejne regulovaná služba, určená pre užívateľov vybraných štátom a nakoniec vyhľadávacia a záchranná služba s núdzovou lokalizáciou [\[odkaz 5\]](#).

5. METÓDY URČOVANIA OBASHU VODNEJ PARY V ATMOSFÉRE

Globálny navigačný satelitný systém bol pôvodne vyvinutý na absolútne určovanie polohy, navigáciu a presné určenie času. Hneď na začiatku jeho používania sa zrodila myšlienka využiť ho aj na presné relatívne určovanie polohy. Jedna z ďalších aplikácií GNSS je určovanie atmosférických parametrov, čo je možné vzhľadom na fakt, že signál je počas prechodu od družice k prijímaču na zemskom povrchu ovplyvnený zemskou atmosférou. Troposféra a v nej obsiahnuté vodné pary spôsobujú systematické oneskorenie signálu a voľné elektróny v ionosfére môžu spôsobiť oneskorenie, resp. zrýchlenie signálu [2].

Jednou z oblastí, kde by výsledky z permanentných spracovaní mohli byť efektívne využité, je aj meteorológia. GNSS predstavuje perspektívny nástroj pre globálne permanentné monitorovanie atmosféry Zeme, ktorý je, na rozdiel od klasických metód, nezávislý od počasia a nevyžaduje si žiadnu kalibráciu meracieho systému [2].

Meteorológia spolu s využitím družicových systémov nie je jedinou metódou určovania obsahu vodných pár v atmosfére. Existujú iné metódy, ktoré na rozdiel od GPS meteorológie nevyžadujú také množstvo technického vybavenia ako napríklad meteorologická rádiosonda.

5.1 Meteorologická rádiosonda

Rádiosonda je v súčasnosti najpoužívanejšou metódou určenia obsahu vodných pár v atmosfére a sú vypúšťané 2-4 krát denne z vybraných meteorologických staníc. V Českej republike (ČR) je to konkrétne ČHMÚ (Český Hydrometeorologický Ústav), ktorý sa stará o to aby bola rádiosonda vypustená. Ich najväčšou nevýhodou je finančná náročnosť a preto sú na území ČR vypúšťané len z dvoch meteorologických staníc. Výhodou je, že poskytuje presný vertikálny profil vodných pár v atmosfére na rozdiel od GPS meteorológie. Z hodnôt profilu je ďalej možné určiť v akých výškach sa vodná para nachádza [\[odkaz 6\]](#).

5.2 Družice diaľkového prieskumu Zeme

Družica skúma povrch Zeme a jej atmosféru pomocou rádiometrického skenera v troch vlnových oblastiach elektromagnetického žiarenia. Merania z rádiometrom umiestneným na družici, ktoré sú doplnené infračervenými obrázkami, môžu byť použité pre odhady mrakov na veľkom území. Avšak vyskytujú sa tu problémy, napríklad nemožnosť rozlíšiť, či ide o tenkú vrstvu mrakov alebo o hmlu. Satelitné pozorovania majú najväčší vplyv pre analýzu predpovede počasia nad oceánmi a nad inými časťami sveta, kde pozorovania rádiosondami na lietadlách nie sú k dispozícii alebo sú v nízkej frekvencii letov [\[odkaz 7\]](#).

5.3 Vysokofrekvenčný mikrovlnný rádiometer

„Vysokofrekvenční radiometr (Water Vapour Radiometer, WVR) je zařízení schopné určovat šikmé i vertikální profily teploty vzduchu atmosféry, obsahu vodních par a kapalné vody. Využívá k tomu měření záření atmosféry ve frekvenčním pásmu 22 - 59 GHz. „V tomto pásmu absorpční spektrum atmosféry obsahuje na 22,2 GHz rezonanci vodní páry, která je hraničená v závislosti na tlaku (výšce), ve které se vodní pára nachází. Profily obsahu vodní páry jsou získávány měřením radiační intenzity a tvaru emise tlakově ohraničené čáry vodní páry, která ve větších výškách je širší a v menších výškách je ostřeji ohraničena. Intenzita emise je úměrná hustotě par a teplotě. Skenováním profilu spektra a matematickou inverzí naměřených dat je možno získat profil vodní páry,“ [\[odkaz 8\]](#).

5.4 GPS meteorológia

GPS meteorológia ako som už spomínal v predošlej kapitole je metóda umožňujúca štúdium atmosféry pomocou GPS meraní. Oproti ostatným metódam má veľkú výhodu. Vyniká hlavne poskytnutím dát v ľubovoľnom časovom intervale z tisícov miest meraní na Zemi, ako aj vysokou kvalitou poskytnutých dát za akýchkoľvek atmosférických podmienok.

„Na základě znalosti hodnoty celkového zpoždění signálu v zenitovém úhlu nad GPS přijímačem (ZTD) a hodnot atmosférické teploty a tlaku vzduchu v místě měření jsme schopni s vysokou přesností stanovovat obsah vodních par v atmosféře. Standardní hodnota zpoždění signálu v zenitovém úhlu nad GPS přijímačem způsobené troposférou je 2,3 m (neboli 8 ns) pro přijímač umístěný v nulové nadmořské výšce a při standardních atmosférických podmínkách, [3].

„Troposféra ovlivňuje signál dvěma způsoby. Za prvé, signál se ohýbá na přechodech vrstev s různými indexy refrakce a šíří se díky tomu po křivce místo po přímce. Za druhé se vlna šíří v prostředí s určitou hustotou pomaleji než ve vakuu. Součet těchto komponent dává celkové zpoždění signálu, [3].

Pre výpočet ZTD sa používajú veľmi presné merania z dvojfrekvenčných GPS prístrojov. Tieto prijímače sú typicky umiestnené na referenčnej stanici, ktorých poloha je presne určená [4].

Celkové množstvo hodnoty ZTD možno separovať na dve samostatné zložky. Prvou zložkou, ktorá tvorí väčšinu celkového oneskorenia signálu je hydrostatická „suchá,“ zložka ZHD (Zenith Hydrostatic Delay) závislá predovšetkým na atmosférickom tlaku. A druhou zložkou, ktorá tvorí podstatne menšiu časť celkového oneskorenia signálu je nehydrostatická „mokrú,“ zložka ZWD (Zenith Wet Delay) závislá na obsahu vodnej pary v atmosfére. Hodnota ZTD je jedným z výstupných parametrov spracovania presných GPS meraní [5]. Všeobecne platí vzťah (A), z ktorého možno odvodiť vzťah (B) na výpočet nehydrostatickej zložky.

$$ZTD = ZWD + ZHD \quad (A)$$

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (B)$$

Nato aby sme dokázali vypočítať hodnotu ZWD, z ktorej možno vypočítať za pomoci tlaku a teploty hodnotu PWV potrebujeme poznať hodnotu ZHD, ktorú zistíme použitím vhodného modelu (napr. Saastamoinen) a znalosti

atmosférického tlaku a teploty vzduchu v mieste merania. Atmosférický tlak a teplota sú získavané pomocou meteorologických čidiel umiestnených na referenčnej stanici, alebo iným spôsobom [5].

6. TECHNIKY SPRACOVANIA GPS MERANÍ

Aktuálne existujú dve techniky spracovania GPS meraní, ktoré umožňujú vydefinovať parametre troposféry pre GPS meteorológiu. Ide o techniku Dvojitých diferencí a techniku Precise Point Positioning. Každá z týchto metód má svoje výhody a nevýhody, ktorým sa budem venovať v ďalších kapitolách.

6.1 Technika dvojitých diferencí

Ide o techniku spracovania dát, ktorá je v súčasnej dobe najpoužívanejšou aj napriek svojmu zdĺhavému riešeniu, ktoré si vyžaduje sieť prijímačov alebo referenčných staníc.

Jednoduchá diferencencia (SD, Single-differencing) sa uvádza ako rozdiel pseudovzdialeností meraných z dvoch GPS prijímačov na rovnakú družicu v rovnakej časovej epoche. Dvojitá diferencencia sa uvádza ako rozdiel pseudovzdialeností GNSS meraní získaných na dvoch prijímačoch, sledujúcich rovnakú dvojicu družíc v rovnakom čase. Formovanie dvojitých diferencí umožňuje z merania úplne alebo výrazne eliminovať radu chýb. Za prvé je spočítaná diferencencia získaná každým prijímačom zo signálov prvej družice. Za druhé sa spočíta obdobná diferencencia pre druhú družicu. A vo výslednom kroku sa spočíta diferencencia z predošlých dvoch vypočítaných diferencí (DD). Výpočet SD odstráni chyby hodín družice. DD odstráni aj chyby hodín prijímača. Pri krátkej vzdialenosti dvojice prijímačov (rádovo km a prvé desiatky km) sú zvyčajne eliminované použitím DD aj chyby spôsobené ionosférou a atmosférou. Výhodou dvojitodiferencovaných observácií je tiež to, že zachovávajú ambiguity na ich celočíselnej hodnote, čo umožňuje ich riešenie a fixovanie.

Dvojité diferencie jednoducho umožňujú eliminovať niektoré chyby, vďaka čomu sa už nemusíme týmito chybami zaťažovať. Je možné ich určiť pre jedno a dvojfrekvenčné kódové a fázové merania. Využívajú sa pri real-time alebo post-processingu merania.

Rovnica pre výpočet jednoduchej diferencie [6]:

$$L_i^A = |\Phi^A - \Phi_i^A| + \Delta_{trop\ i}^A - \Delta_{ion\ i}^A + c\delta_i - c\delta^A + \lambda \cdot N_i^A + S_i$$

$$L_j^A = |\Phi^A - \Phi_j^A| + \Delta_{trop\ j}^A - \Delta_{ion\ j}^A + c\delta_j - c\delta^A + \lambda \cdot N_j^A + S_j$$

$$L_i^A - L_j^A = |\Phi^A - \Phi_i^A| - |\Phi^A - \Phi_j^A| + c\delta_{ij} + \lambda \cdot N_{ij}^A + S_{ij} \Rightarrow SD_{ij}$$

Rovnica pre výpočet dvojitej diferencie [6]:

$$SD_{ij}^A = |\Phi^A - \Phi_i^A| - |\Phi^A - \Phi_j^A| + c\delta_{ij} + \lambda \cdot N_{ij}^A + S_{ij}$$

$$SD_{ij}^B = |\Phi^B - \Phi_i^B| - |\Phi^B - \Phi_j^B| + c\delta_{ij} + \lambda \cdot N_{ij}^B + S_{ij}$$

$$SD_{ij}^A - SD_{ij}^B = DD_{ij}$$

$$DD_{ij} = |\Phi^A - \Phi_i^A| - |\Phi^A - \Phi_j^A| - |\Phi^B - \Phi_i^B| + |\Phi^B - \Phi_j^B| + \lambda \cdot N_{ij}^{AB} + S_{ij}$$

Definícia parametrov rovnice [6]:

| | |
|----------------------|---------------------------------------------|
| L_i^A | pseudovzdialenosť |
| Φ^A | družicou odvysielaná fáza signálov |
| Φ_i^A | prijímačom prijatá fáza signálov |
| $\Delta_{trop\ i}^A$ | troposférické oneskorenie |
| $\Delta_{ion\ i}^A$ | ionosférické zrýchlenie |
| $c\delta_i$ | chyba hodín prijímača |
| $c\delta^A$ | chyba hodín družice |
| λ | vlnová dĺžka nosnej vlny |
| N_i^A | ambiguita |
| S_i | chyba spôsobená prijímačom (multipath, šum) |

| | |
|---|---------------|
| A | družica č. 1 |
| B | družica č. 2 |
| i | prijímač č. 1 |
| j | prijímač č. 2 |

Dajú sa využiť aj trojité diferencie. A ide o meranie dvoch prijímačov k dvom rovnakým družiciam v dvoch rozdielnych časoch. Eliminujú chyby hodín družice, chyby hodín prijímača, chybu troposféry (pokiaľ predpokladáme, že sa jej stav medzi dvoma epochami nezmenil) a ambiguity (pokiaľ nedôjde medzi epochami ku strate signálu).

6.2 Technika Precise Point Positioning

Táto technika spracováva dáta len z jednej referenčnej stanice. Tým pádom nevyžaduje druhý prijímač, ani sieť staníc. PPP vykonáva určenie polohy z nediferencovaných dvojfrekvenčných alebo tiež jednofrekvenčných meraní. S použitím tejto techniky je možné dosahovať presnosť určenia súradníc miesta merania na úrovni decimetrov pre kinematické merania a s centimetrovou presnosťou pre statické meranie [7].

Výhodou tejto techniky je jej rýchlosť, ktorá plynie z toho, že dáta sú spracovávané vždy len z jednej referenčnej stanice.

Predmetom metódy je vykonať štandardné riešenie výpočtu polohy z dvojfrekvenčných fázových meraní jediným GPS prístrojom. Pri výpočte sú efemeridy poskytované družicami nahradené presnými efemeridami zo služby, ktorá poskytuje presné efemeridy, ako napríklad IGS (International GNSS Service) alebo CODE (Center for Orbit Determination in Europe) služba (alebo iného centra). To isté platí aj pre korekcie chýb hodín družíc. Do spracovania meraní je tiež možno zahrnúť elimináciu chýb z ďalších vplyvov (slapové sily, fázové centra prijímačov apod.) Značnou nevýhodou tejto metódy je, že chyby hodín družice

a prijímača, je možné eliminovať len čiastočne a taktiež ambiguity ostávajú obvykle nevyriešené [7].

Riešenie ambiguity je problematické zo strany hardwarového oneskorenia = UPD (uncalibrated phase delays). K UPD dochádza pri kombinácií jednotlivých signálov. Pri DD sú tieto oneskorenia úplne eliminované. Kvôli UPD nemajú ambiguity pri nediferencovaných meraniach podobu celého čísla. Preto je klasická technika PPP postavená na nevyriešených ambiguityách [8].

Ako bolo spomenuté, možno použiť aj jednofrekvenčný PPP. Hlavným problémom jednofrekvenčných PPP je, že nemožno eliminovať vplyv ionosférickej refrakcie kombináciou signálov. Presnosť techniky je preto odkázaná na kvalite korekcií vplyvu ionosféry [9].

6.3 ZHRNUTIE OBIDVOCH TECHNÍK

| Výhody PPP | Výhody DD |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| nevyžaduje meranie z viacerých prijímačov – nenáročné na infraštruktúru, získanie korekcií atd. | Úplná eliminácia chýb hodín družice a prijímača nezávislá na kvalite externých produktov |
| Veľmi rýchla metóda pre post - processing | Ambiguity sú celočíselné a tým pádom je relatívne ľahké ich vyriešiť |
| | Chyby spôsobené jedným prijímačom je ľahšie odhaliť a v sieti eliminovať, zvyškové chyby sú rozdelené do celej siete |

Tab. 1.: Porovnanie PPP a DD

Obe techniky používajú presné produkty efemerid družíc a korekcie chýb hodín družíc. Počas spracovania merania je možné eliminovať aj iné chyby.

7. SPRACOVANIE DÁT TECHNIKOU PPP V PROSTREDÍ BERNESE GPS

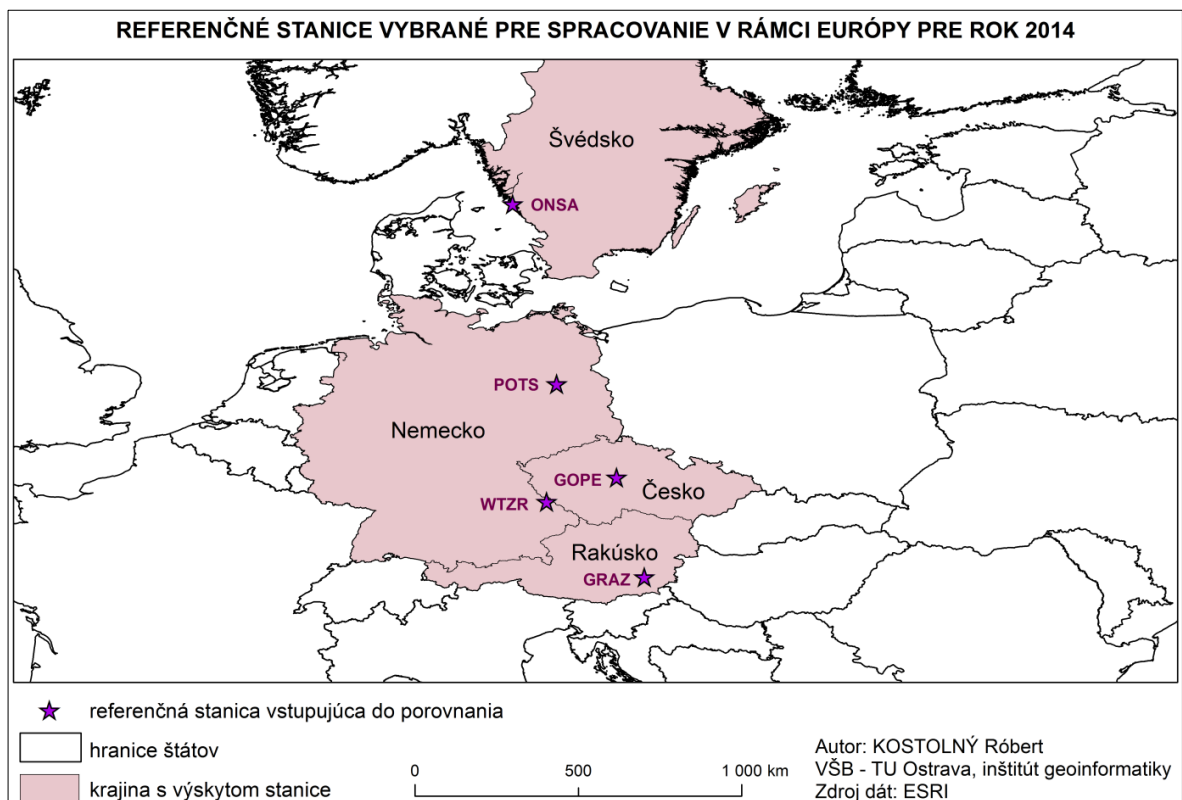
Táto kapitola resp. podkapitoly zahŕňajú komplexné spracovanie dát technikou PPP v prostredí Bernese GPS SW. Ďalej obsahuje stručný popis tohto softwaru, skript automatizovaného spracovania a výsledky spracovania. Referenčnou technikou pre stanovenie kvality ZTD hodnôt získaných PPP spracovaním je technika dvojítých diferencií. Výsledky spracovania z tejto techniky boli dodané vedúcim práce. Ide o dlhodobé spracovanie dát v priebehu viac než jedného roka. Konkrétne sa jedná o obdobie od septembra 2011 do októbra 2012 (cca 13-14 mesiacov). Kvalitu ZTD hodnôt získaných spracovaním technikou dvojítých diferencií, ktoré boli v tejto práci použité pre stanovenie kvality PPP riešenia, dokazuje práca Kačmařík (2013) [10]. Bola zistená vysoká zhoda medzi týmto riešením a všeobecne uznávanými ZTD riešeniami (finálne IGS riešenia a riešenia analytického centra GOP (Geodetická observatoř Pecný) dodávané do kombinovaného EPN (EUREF Permanent Network) riešenia) v podobe priemerného bias okolo 1 mm a smerodajné odchýlky okolo 3 mm.

7.1 Bernese GPS SW

Bernese software je vedecký, presný GNSS software pre spracovanie dát, vyvinutý na Astronomickom ústave Univerzity v Berne. Dáta v ňom možno spracovávať automatizovane alebo manuálne. Je v neustálom vývoji a najnovšou verziou je verzia 5.2. Pre účel mojej práce bola použitá verzia 5.0. Tento software je primárne zameraný na spracovanie technikou DD. Možnosť spracovania nediferencovaných observácií technikou PPP má slúžiť primárne k získaniu vstupných presných súradníc staníc pre sieťové spracovanie. Pre tie stanice, ktorých súradnice nie sú k dispozícii z iného zdroja. Aj napriek tomu je Bernese schopný poskytovať kvalitné výsledky parametrov troposféry v časovom intervale 15 – 60 min alebo súradnice staníc s centimetrovou presnosťou [4].

7.2 Referenčné stanice

Pre spracovanie bolo vybraných celkom 5 referenčných staníc v rámci Európy. Sú nimi stanica ONSA vo Švédsku, stanica GOPE v Česku, stanica GRAZ v Rakúsku a stanice POTS a WTZR z Nemecka. Referenčné stanice boli zadané vedúcim bakalárskej práce. Dôvodom ich výberu bola dlhodobá stabilita kvality observácií (všetky stanice sú súčasťou IGS siete) a umiestnenie v rozdielnych nadmorských výškach, ktoré má svoju úlohu pri vydefinovaní parametrov troposféry pri spracovaní GNSS meraní.



Obr. 2.: Referenčné stanice vybrané pre spracovanie a porovnanie

7.3 Dáta

Ako už bolo spomenuté dáta boli poskytnuté vedúcim práce. Balík dát obsahoval priechinky jednotlivých dní od GPS dňa 240 v roku 2011 po GPS deň 280 v roku 2012. Jednotlivé priechinky boli označené podľa príslušných dní. Každý priechinok obsahoval parametre troposféry (ZTD) spracované technikou DD a dáta

potrebné pre spracovanie technikou PPP. Bernese GPS SW počas spracovania používa vlastnú adresárovú štruktúru, kde sú uložené vstupné dáta a výsledky spracovania. Túto štruktúru je potrebné dodržiavať a je obsiahnutá v tabuľke č.2.

| | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ATM | údaje o troposfére (ZTD) |
| BPE | priečnikov pre automatizované spracovanie technikou PPP |
| OBS | observačné súbory vo formáte Bernese |
| ORX | vstupné dáta vo formáte RINEX |
| OUT | log files súbory, výstupy z počas spracovania |
| RAW | kópie vstupných RINEX |
| SOL | časť medzivýsledkov |
| ORB | efemeridy družice |
| STA | súbory združujúce informácie o presných súradniciach referenčných staníc |

Tab. 2.: Adresárová štruktúra jednotlivých priečnikov pre spracovanie dát technikou PPP [4].

Vzhľadom nato, že mojou úlohou bolo porovnať výsledky obidvoch techník vstupné dáta by mali byť rovnaké, čo bolo dodržané. Prvými vstupnými dátami pre riešenie úlohy boli efemeridy družíc a korekcie chýb hodín družíc (ORB). Pre tieto spracovania boli použité efemeridy družíc a korekcie hodín družíc z produktov CODE vo verzii final. Druhou zložkou vstupných dát boli observačné dáta vo formáte RINEX (Receiver Independent Exchange) (ORX) s intervalom observácií 30 s pre jednotlivé referenčné stanice. A poslednou zložkou vstupných dát boli súradnice referenčných staníc (STA) platné pre aktuálne spracovávanú epochu získané z týždenných riešení EUREF (European Reference Frame).

7.4 Spracovanie dát

Dáta možno spracovávať manuálne alebo automatizovane na základe skriptu. Vzhľadom na to, že balík dát, ktorý mi bol dodaný obsahuje veľké množstvo údajov bol zvolený automatizovaný postup spracovania BAT súborom, ktorý v sebe zahŕňal samotné PPP spracovanie v Bernese GPS SW. Pre tento

účel bol použitý skript PPP, ktorý je súčasťou inštalácie Bernese a obsahuje štandardné PPP riešenie. Pre spracovanie boli používané iba merania k družiciam GPS. Postup spracovania dát technikou PPP v Bernese je nasledovný:

1. príprava vstupných dát (efemeridy družíc, dáta vo formáte RINEX, presné súradnice ref. staníc, korekcie atd.)
2. vytvorenie a nastavenie novej kampane (nového projektu)
3. konverzia observačných RINEX súborov do natívneho binárneho formátu Bernese
4. konverzie a úpravy súborov s efemeridami družíc, korekciami chýb hodín družíc a údajmi o zemských póloch do formátu Bernese
5. predspracovanie s využitím kódových meraní, synchronizácia hodín prijímačov a družíc
6. vytvorenie súboru z reziduí založených na lineárnej kombinácii L_3
7. odstránenie observácií z hodnotou reziduí presahujúcich stanovený limit.
8. stanovenie korekcií hodín družíc, súradníc prijímača, parametrov troposféry a iných na základe neodstránených observácií
9. tvorba výstupov

Body 6. až 8. sú niekoľko krát opakované s postupne znižujúcou sa limitnou hranicou pre reziduum. Z tohto dôsledku sú niektoré observácie odstránené a všetky výstupné súbory sú stanovované v jednom kroku.

Ako bolo spomenuté celé spracovanie prebehlo automatizovane na základe BAT súboru, ktorého ukážku poskytuje obr.3.

```

mkdir C:\nova\ATM
mkdir C:\nova\BPE
mkdir C:\nova\OBS
mkdir C:\nova\ORB
mkdir C:\nova\ORX
mkdir C:\nova\OUT
mkdir C:\nova\RAW
mkdir C:\nova\SOL
mkdir C:\nova\STA

SET /a i=1

:loop
IF %i% == 36 GOTO END
IF %i% LSS 10 GOTO ONE
IF %i% LSS 100 GOTO DECA
GOTO WORK

:one
SET d=00%i%
GOTO WORK

:deca
SET d=0%i%
GOTO WORK

:work
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORB C:\nova\ORB
copy C:\ppp\%d%\hotovo\STA C:\nova\STA
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORX\graz%d%0*. * C:\nova\ORX
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORX\gope%d%0*. * C:\nova\ORX
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORX\onsa%d%0*. * C:\nova\ORX
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORX\pots%d%0*. * C:\nova\ORX
copy C:\ppp\%d%\hotovo\ORX\wtzr%d%0*. * C:\nova\ORX
copy C:\nova\ORB C:\nova\OUT

ppp.pl 2012 %d%

mkdir C:\ppps\%d%
copy C:\nova\ATM\*. * C:\ppps\%d%

del C:\nova\ATM\*.TRP
del C:\nova\ATM\*.TRO

del C:\nova\BPE\*.LOG

del C:\nova\BPE\*.PRT
del C:\nova\BPE\*.OUT
del C:\nova\BPE\*.BPE
del C:\nova\BPE\*.RUN

```

Obr. 3.: Ukážka BAT súboru

Spracovanie BAT súborom možno zhrnúť do niekoľkých krokov:

1. vytvorenie adresárovej štruktúry uvedenej v tabuľke 2
2. nakopírovanie potrebných dát pre spracovávaný deň
3. spracovanie v Bernese na základe skriptu v jazyku Pearl
(tento skript je súčasťou inštaláčného balíka softwaru Bernese, preto nebolo nutné ho napísať, len pridať do BAT súboru jeho zavolaním)
4. vykopírovanie parametrov troposféry z priečinku ATM
5. vymazanie nepotrebných dát
6. nakopírovanie dát pre spracovanie ďalšieho dňa

7.5 Výsledok automatizovaného spracovania

Výsledkom spracovania by malo byť cca 400 dní obsahujúcich troposférické parametre (hodnoty ZTD) pre všetky stanice, ktoré boli vybrané v rámci riešenia tejto práce. Avšak z dôvodu chýbajúcich RINEXov, neboli pre niektoré stanice spracované dni. Preto je výsledkom spracovania pre každú stanicu iný počet dní. Na každej stanici boli hodnoty vypočítané v 30 minútových intervaloch. To znamená, že pre každý deň a každú stanicu je pre ďalšie spracovanie poskytnutých 48 hodnôt ZTD uvádzaných v mm. Takto spracované dáta vstupujú do výslednej fázy tejto práce, čím je štatistické ohodnotenie dát.

| +TROP/SOLUTION | | | |
|----------------|--------------|--------|--------|
| *SITE | EPOCH | TROTOT | STDDEV |
| GOPE | 11:240:00000 | 2269.8 | 1.0 |
| GOPE | 11:240:01800 | 2268.7 | 0.7 |
| GOPE | 11:240:03600 | 2266.6 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:05400 | 2266.3 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:07200 | 2265.7 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:09000 | 2266.4 | 0.7 |
| GOPE | 11:240:10800 | 2266.5 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:12600 | 2265.3 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:14400 | 2261.5 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:16200 | 2261.4 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:18000 | 2265.5 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:19800 | 2268.4 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:21600 | 2269.7 | 0.6 |
| GOPE | 11:240:23400 | 2272.2 | 0.5 |

Obr. 4.: Ukážka výstupu s hodnotami ZTD v mm pre stanicu GOPE z 240 dňa roku 2011

Obr. č. 4 je vybraná ukážka spracovaných dát, pričom v ľavom stĺpci je názov stanice, potom časová stopa, pre ktorú bola hodnota ZTD spracovaná, ďalej hodnota ZTD uvádzaná v mm, a v poslednom stĺpci je smerodajná odchýlka predstavujúca teoretickú chybu určenia ZTD v mm.

Problémom pri spracovaní boli chýbajúce RINEXi pre jednotlivé stanice. Pri niektorých dňoch nastal tento problém a tým pádom pre tieto stanice nemohlo spracovanie prebehnúť.

8. ŠTATISTICKÉ OHODNOTENIE VÝSLEDKOV SPRACOVANIA

Posledná kapitola tejto práce je zameraná na štatistiku. Štatistikou je myslené štatistické ohodnotenie výsledkov spracovania techniky DD a techniky PPP za účelom odhalenia náhodnej a systematickej chyby. Predmetom porovnania sú hodnoty ZTD určené predchádzajúcim spracovaním. V rámci riešenia tejto práce boli hodnoty ZTD porovnávané pre vybrané stanice.

Systematická chyba, je zložka chyby meraní, ktorá pri viacerých meraniach rovnakej veličiny ostáva stála alebo sa mení. Príčiny tejto chyby môžu byť známe alebo neznáme [[odkaz 9](#)]. V rámci riešenia tejto práce, poukazuje na systematickú chybu hodnota BIAS. Hodnota BIAS je priemer z rozdielov hodnôt ZTD a ako všetky hodnoty je uvádzaná v mm. Z takýchto rozdielov je potom vypočítaná hodnota BIAS pre každý deň a každú stanicu. Pokiaľ sú porovnávané dve techniky a predpokladom je, že budú dodávať podobné výsledky, tak nenulová hodnota BIAS hovorí, že sa tieto výsledky systematicky líšia t.j., že jedna poskytuje všeobecne nižšie alebo väčšie hodnoty ZTD ako druhá.

Náhodná chyba je v mojej práci reprezentovaná smerodajnou odchýlkou (SDEV). Hodnota SDEV hovorí o tom, do akej vzdialenosti sú jednotlivé rozdiely hodnôt rozptýlené od stredného metra (od BIASU). Pokiaľ je smerodajná odchýlka malá, je to dôkaz toho, že sa hodnoty rozdielov držia okolo priemeru a značí to o stabilite rozdielov porovnávaných techník. Keď je hodnota smerodajnej odchýlky veľká, hodnoty rozdielov sú rôzne veľké. Ideálny prípad nastane vtedy ak je hodnota BIAS a SDEV nulová, takýto výsledok hovorí celkovej stabilite riešenia.

8.1 Automatizované spracovanie hodnôt ZTD

Ďalšie automatizované spracovanie tejto práce pozostáva práve v porovnaní hodnôt ZTD. Ako už bolo spomenuté je porovnávaných cca 400 dní pre každú stanicu. Toto spracovanie má za úlohu urobiť rozdiely hodnôt z oboch techník pre rovnakú stanicu, rovnaký deň a rovnaký čas a z týchto rozdielov potom pre každý deň a každú stanicu vypočítať hodnotu BIAS a SDEV.

Spracovanie prebehlo na základe skriptu vytvoreného autorom práce v programovacom jazyku Python.

```
stanice = (("GOPE", "GOP1"), ("GRAZ", "GRA1"), ("ONSA", "ONS1"), ("POTS", "POT1"), ("WTZR", "WTZ1"))
roky = ("2011", "2012")

def nacitaj(subor, stanica):
    data = []
    prve = True
    while True:
        riadok = subor.readline()
        if not riadok:
            break
        riadok_list = riadok.split()
        if(riadok_list[0] == stanica):
            if(prve):
                prve = False
                continue
            data.append(float(riadok_list[2]))
    return data

def priemer(data):
    suma = 0
    for cislo in data:
        suma += cislo
    return suma / len(data)

def smerodajna_odchylka(data, priemer):
    suma = 0
    for cislo in data:
        suma += (cislo - priemer)**2
    return sqrt(suma / len(data))
```

Obr. 5.: Ukážka skriptu v programovacom jazyku Python

Výsledkom takého spracovania dát sú hodnoty BIAS a SDEV pre každý deň a stanicu obsiahnuté v textových súboroch a pripravené pre ďalšie spracovanie. Textových súborov je dohromady 10, pre každú stanicu a rok spracovania zvlášť a sú súčasťou prílohy tejto práce.

| deň | BIAS | SDEV | rozdiely |
|------|----------------|-----------------|----------|
| 240, | 2.74285714286, | 2.12208984403, | 49 |
| 241, | 2.44081632653, | 1.55286678501, | 49 |
| 242, | 3.34285714286, | 2.27210232595, | 49 |
| 243, | 3.24285714286, | 1.7276857235, | 49 |
| 244, | 4.10816326531, | 2.07697157229, | 49 |
| 245, | 2.94285714286, | 1.9265068314, | 49 |
| 246, | 2.75102040816, | 2.64444913047, | 49 |
| 247, | 2.78163265306, | 1.60238004988, | 49 |
| 248, | 4.35714285714, | 2.9726645781, | 49 |
| 249, | 1.30816326531, | 0.882676064346, | 49 |
| 250, | 2.25510204082, | 1.27840162073, | 49 |
| 251, | 2.84693877551, | 1.60917040876, | 49 |
| 252, | 2.95918367347, | 2.40932866993, | 49 |
| 253, | 2.9387755102, | 2.17451062536, | 49 |
| 254, | 3.74285714286, | 3.25651623045, | 49 |

Obr. 6.: Ukážka textového súboru so spracovaných dát stanice GOPE

8.2 Kontrola spracovaných dát

Predmetom kontroly boli práve výstupné textové súbory z predchádzajúcej úlohy. Kontrola prebiehala vizuálne. Dni ktorých hodnota BIASu a smerodajnej odchýlky bola väčšia alebo menšia ako ± 5 mm boli odstránené a zisťovala sa príčina chyby. Príčinou takýchto hodnôt boli vždy chýbajúce observácie na referenčnej stanici pre určitú časť dňa, ktoré znemožnili či skreslili určenie hodnôt ZTD v ostatných časoch dňa. Poukazuje na to aj extrémna smerodajná odchýlka predstavujúcu teoretickú chybu určenia ZTD na Obr. 7. Tým pádom hodnoty ZTD na Obr. 7 nadobudli opakujúce sa hodnoty, ktoré sú pravdepodobne nesprávne. Tieto chyby v určení hodnôt ZTD sa následne preniesli aj do vypočítaných BIAS a SDEV. Preto, aby tieto hodnoty neskresľovali celkový výsledok hodnôt BIASu a SDEV boli zo spracovania odstránené. V konečnom dôsledku do výsledného porovnania vstúpilo pre stanicu GOPE 354 dní, pre stanicu GRAZ 358 dní, pre stanicu ONSA 358 dní, pre stanicu POTS 327 a pre stanicu WTZR 356 dní. Situácia celkovo ukazuje na potenciálny problém pri využití techniky PPP pre určenie hodnôt ZTD, pokiaľ dôjde k výpadku observačných dát na určitú časť spracovávanej doby meraní.

| stanica | čas | ZTD | STDDEV |
|---------|--------------|--------|--------|
| POTS | 12:084:25200 | 2361.6 | 6.7 |
| POTS | 12:084:27000 | 2361.5 | 6.7 |
| POTS | 12:084:28800 | 2361.5 | 6.8 |
| POTS | 12:084:30600 | 2361.5 | 6.8 |
| POTS | 12:084:68400 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:70200 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:72000 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:73800 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:75600 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:77400 | 2476.6 | 17.4 |
| POTS | 12:084:79200 | 2476.6 | 17.4 |

Obr. 7.: Ukážka problematického dňa s výpadkom observácií a opakujúcich sa hodnôt ZTD určenými PPP spracovaním - 84. Deň roku 2012 pre stanicu POTS.

8.3 Spracovanie hodnôt BIAS a SDEV v prostredí Excel

Posledná kapitola sa zaoberá spracovaním hodnôt BIAS a SDEV v prostredí Microsoft Excel. Každá stanica bola spracovaná separátne. Jednotlivé dni boli rozdelené do 14 kalendárnych mesiacov a bola vypočítaná priemerná hodnota BIAS a SDEV pre každý mesiac. Taktiež bol určený celkový počet hodnôt rozdielov, z ktorých boli vypočítané mesačné priemery. Výsledkom separácie dní a výpočtu sú nasledovné tabuľky. Pre každú stanicu je vytvorená jedna tabuľka a výsledky sú vizualizované jedným grafom pre BIAS a jedným pre SDEV.

| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre stanicu GOPE za spracovávané obdobie | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| mesiac/rok | priemer BIAS (mm) | priemer SDEV (mm) | počet porovnaných hodnôt za mesiac | počet spracovaných dní v mesiaci |
| 9/11 | 0,58 | 3,24 | 1 565 | 33 |
| 10/11 | 0,40 | 3,22 | 1 519 | 31 |
| 11/11 | 2,51 | 2,70 | 1 421 | 29 |
| 12/11 | 1,18 | 2,80 | 1 421 | 29 |
| 1/12 | -0,71 | 2,54 | 1 452 | 30 |
| 2/12 | -0,37 | 2,65 | 1 225 | 25 |
| 3/12 | 0,93 | 2,71 | 1 260 | 26 |
| 4/12 | -0,60 | 3,16 | 1 105 | 23 |
| 5/12 | 0,27 | 2,52 | 686 | 14 |
| 6/12 | 0,73 | 2,94 | 1 026 | 21 |
| 7/12 | 0,49 | 3,18 | 1 470 | 30 |
| 8/12 | 0,32 | 3,04 | 1 323 | 27 |
| 9/12 | 0,88 | 2,94 | 1 309 | 28 |
| 10/12 | 1,14 | 3,18 | 392 | 8 |
| priemer | 0,56 | 2,92 | - | - |
| suma | - | - | 17 174 | 354 |

Tab. 3.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu GOPE

| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre stanicu GRAZ za spracovávané obdobie | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| mesiac/rok | BIAS priemer (mm) | SDEV priemer (mm) | počet porovnaných hodnôt za mesiac | počet spracovaných dní za mesiac |
| 9/11 | 0,18 | 3,14 | 1 617 | 33 |
| 10/11 | 0,15 | 3,00 | 1 519 | 31 |
| 11/11 | 1,35 | 2,65 | 1 421 | 29 |
| 12/11 | 0,43 | 2,61 | 1 421 | 29 |
| 1/12 | -0,69 | 2,29 | 1 470 | 30 |
| 2/12 | -0,51 | 2,39 | 1 274 | 26 |
| 3/12 | 0,54 | 2,22 | 1 271 | 26 |
| 4/12 | -0,61 | 2,48 | 1 125 | 23 |
| 5/12 | -0,49 | 2,57 | 686 | 14 |
| 6/12 | 0,24 | 2,87 | 1 025 | 21 |
| 7/12 | 0,55 | 3,06 | 1 470 | 30 |
| 8/12 | -0,02 | 3,03 | 1 404 | 29 |
| 9/12 | 0,77 | 2,66 | 1 470 | 29 |
| 10/12 | 1,51 | 3,28 | 392 | 8 |
| priemer | 0,24 | 2,73 | - | - |
| suma | - | - | 17 565 | 358 |

Tab. 4.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu GRAZ

| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre stanicu ONSA za spracovávané obdobie | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| mesiac/rok | BIAS priemer (mm) | SDEV priemer (mm) | počet porovnaných hodnôt za mesiac | počet spracovaných dní v mesiaci |
| 9/11 | 0,88 | 3,00 | 1 617 | 33 |
| 10/11 | 0,22 | 3,10 | 1 519 | 31 |
| 11/11 | 1,09 | 2,62 | 1 419 | 29 |
| 12/11 | 0,02 | 2,56 | 1 332 | 28 |
| 1/12 | -0,87 | 2,25 | 1 489 | 31 |
| 2/12 | -0,67 | 2,27 | 1 274 | 26 |
| 3/12 | 0,39 | 2,13 | 1 321 | 27 |
| 4/12 | -0,06 | 2,28 | 1 072 | 22 |
| 5/12 | -0,92 | 2,69 | 686 | 14 |
| 6/12 | 0,16 | 2,88 | 1 029 | 21 |
| 7/12 | 0,80 | 2,82 | 1 470 | 30 |
| 8/12 | -0,04 | 2,66 | 1 417 | 29 |
| 9/12 | 1,18 | 2,57 | 1 466 | 30 |
| 10/12 | 1,83 | 2,76 | 343 | 7 |
| priemer | 0,29 | 2,61 | - | - |
| suma | - | - | 17 454 | 358 |

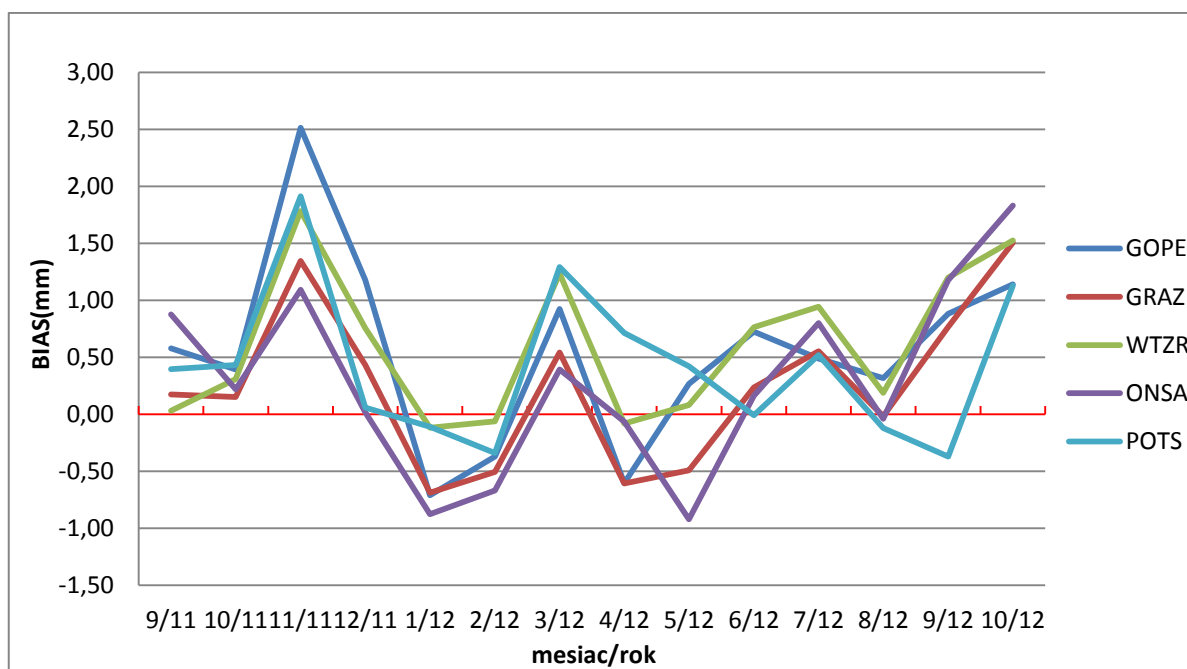
Tab. 5.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu ONSA

| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre stanicu POTS za spracovávané obdobie | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| mesiac/rok | BIAS priemer (mm) | SDEV priemer (mm) | počet porovnaných hodnôt za mesiac | počet spracovaných dní za mesiac |
| 9/11 | 0,40 | 3,00 | 1 617 | 33 |
| 10/11 | 0,43 | 3,00 | 1 519 | 31 |
| 11/11 | 1,91 | 2,40 | 1 367 | 29 |
| 12/11 | 0,06 | 2,31 | 1 157 | 26 |
| 1/12 | -0,11 | 3,25 | 1 293 | 29 |
| 2/12 | -0,34 | 2,42 | 795 | 17 |
| 3/12 | 1,29 | 2,03 | 692 | 16 |
| 4/12 | 0,71 | 3,10 | 724 | 16 |
| 5/12 | 0,42 | 2,76 | 611 | 13 |
| 6/12 | -0,01 | 2,94 | 989 | 21 |
| 7/12 | 0,52 | 3,36 | 1 470 | 30 |
| 8/12 | -0,12 | 2,96 | 1 417 | 29 |
| 9/12 | -0,37 | 2,84 | 1 468 | 30 |
| 10/12 | 1,13 | 3,12 | 331 | 7 |
| priemer | 0,42 | 2,82 | - | - |
| suma | - | - | 15 450 | 327 |

Tab. 6.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu POTS

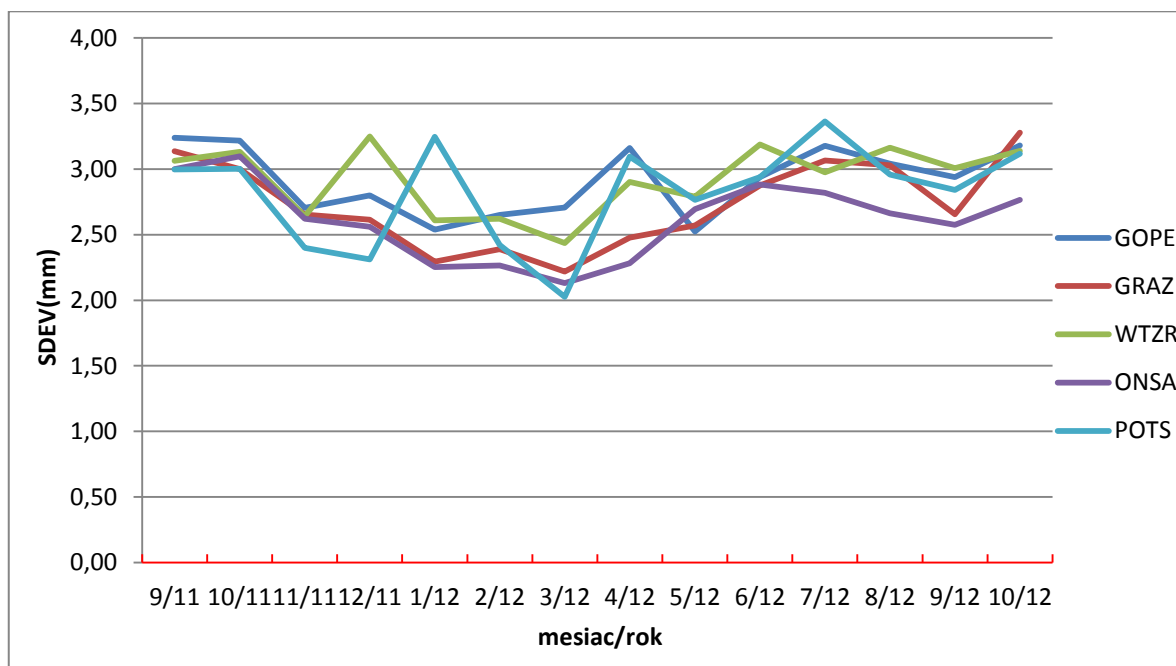
| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre stanicu WTZR za spracované obdobie | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| mesiac/rok | BIAS priemer (mm) | SDEV priemer (mm) | počet porovnaných hodnôt za mesiac | počet spracovaných dní za mesiac |
| 9/11 | 0,03 | 3,06 | 1 616 | 33 |
| 10/11 | 0,31 | 3,13 | 1 519 | 31 |
| 11/11 | 1,78 | 2,64 | 1 419 | 29 |
| 12/11 | 0,76 | 3,25 | 1 421 | 29 |
| 1/12 | -0,12 | 2,61 | 1 519 | 31 |
| 2/12 | -0,06 | 2,62 | 1 274 | 26 |
| 3/12 | 1,24 | 2,44 | 1 274 | 26 |
| 4/12 | -0,08 | 2,90 | 1 029 | 21 |
| 5/12 | 0,08 | 2,79 | 686 | 14 |
| 6/12 | 0,76 | 3,19 | 1 029 | 21 |
| 7/12 | 0,94 | 2,98 | 1 470 | 30 |
| 8/12 | 0,19 | 3,16 | 1 419 | 29 |
| 9/12 | 1,20 | 3,01 | 1 470 | 30 |
| 10/12 | 1,53 | 3,14 | 294 | 6 |
| priemer | 0,61 | 2,92 | - | - |
| suma | - | - | 17 439 | 356 |

Tab. 7.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu WTZR



Obr. 8.: Priebec hodnoty BIAS na referenčných staniach za jednotlivé mesiace

V rámci porovnania priemerných BIAS hodnôt medzi jednotlivými mesiacmi možno tvrdiť, že trendy jednotlivých staníc poskytujú podobné hodnoty v priebehu celého roka a nie je medzi nimi žiadny pozorovateľne globálny trend. Maximálny mesačný BIAS je zaznamenaný na stanici GOPE v 11 mesiaci roku 2011 a minimálny na stanici ONSA v 5 mesiaci roku 2011. Najlepšie priemerné výsledky v priebehu celého roka poskytuje stanica GRAZ a ONSA, kde sa priemerný ročný BIAS pohybuje okolo 0,25 mm. Takéto výsledky hovoria o vysokej kvalite spracovania dát technikou PPP pri porovnaní jej výsledkov s technikou DD.



Obr. 9.: Priebeh hodnoty SDEV na referenčných staniciach za jednotlivé mesiace

Pri porovnaní hodnôt SDEV, môžeme u staníc ONSA, GRAZ a čiastočne GOPE sledovať zvýšený sezónny trend pre jednotlivé letné mesiace, v ktorých je nehydrostatická zložka oneskorenia signálu vplyvom troposféry spôsobovaná primárne vodnou parou výrazne väčšie a časovo i priestorovo variabilnejšie než v prípade zimných mesiacov. Tento nárast hodnôt ZTD v letných mesiacoch je u staníc POTS a WTZR prekrytý náhodným kolísaním hodnôt SDEV v priebehu celého obdobia bez existencie globálneho trendu. Zvýšená smerodajná odchýlka nám hovorí o zvýšenej nestabilite jednotlivých rozdielov hodnôt ZTD okolo stredného metra. Celkovo sú si všetky stanice v hodnotách SDEV podobné

a celkový priemer SDEV hovorí o hodnote cca 3 mm. Na základe tejto hodnoty možno tvrdiť, že stabilita výsledkov PPP spracovaní v podobe hodnôt ZTD je veľmi vysoká.

| priemerné hodnoty BIAS a SDEV pre celé spracovávané obdobie | | | | |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| stanica | BIAS priemer (mm) | SDEV priemer (mm) | počet celkovo porovnaných hodnôt | počet celkovo porovnaných dní |
| GOPE | 0,56 | 2,92 | 17 174 | 354 |
| GRAZ | 0,24 | 2,73 | 17 565 | 358 |
| ONSA | 0,29 | 2,61 | 17 454 | 358 |
| POTS | 0,42 | 2,82 | 15 450 | 327 |
| WTZR | 0,61 | 2,92 | 17 439 | 356 |
| priemer | 0,42 | 2,8 | - | 351 |
| suma | - | - | 85 082 | - |

Tab. 8.: Výsledky štatistického porovnania hodnôt ZTD z celého spracovania

Tabuľka č.6 hovorí o priemerných hodnotách BIAS a SDEV v priebehu celého spracovávaného obdobia. Najmenšie rozdiely medzi oboma technikami sú pri stanici GRAZ a WTZR. Priemerné hodnoty BIAS za celé spracovávané obdobie sa u jednotlivých staníc pohybujú v rozsahu 0,2 mm až 0,6 mm, čo je pri typickej hodnote ZTD okolo 2 200 mm rozdiel minimálny. Hodnoty SDEV, ktoré vypovedajú o stabilite celého riešenia, sa u všetkých staníc pohybujú v rozsahu 2,6 až 2,9 mm.

Prakticky rovnakých výsledkov BIAS a SDEV bolo dosiahnuté v práci Kačmařík (2013), kde boli ZTD hodnoty z techniky dvojitéch diferencií (jedná sa práve o tie hodnoty ZTD, ktoré boli použité v tejto bakalárskej práci) porovnávané s výstupmi celosvetovo uznávaných ZTD riešení [10]. Táto situácia taktiež ukazuje na vysokú kvalitu vytvoreného PPP riešenia.

9. ZÁVER

Hlavným cieľom predstavenej práce bolo z výsledkov spracovania zhodnotiť veľkosť rozdielov medzi hodnotami ZTD získanými z dlhodobých spracovaní technikou PPP a sieťovým riešením nad DD. Spracovaniu hodnôt a štatistickému porovnaniu predchádzala rešeršná práca a štúdium problematiky GNSS Meteorológie ako aj štúdium techniky dvojitéch diferencií a techniky Precise Point Positioning. Súčasťou štúdia techniky dvojitéch diferencií bolo manuálne spracovanie dát v prostredí Bernese na skúšobných dátach prostredníctvom tutoriálu. Toto spracovanie bolo uskutočnené hlavne pre lepšie pochopenie spracovania dát a výsledky tohto spracovania nie sú obsiahnuté v tejto práci.

V rámci práce malo byť technikou PPP v prostredí Bernese GPS spracovaných približne 400 dní v rokoch 2011 a 2012 pre 5 vybraných referenčných staníc. Spracovanie prebehlo automatizovane na základe skriptu vytvoreného autorom bakalárskej práce. Výsledok spracovania mal poskytnúť 48 hodnôt pre každý deň v roku. Avšak chýbajúce dáta vo formáte RINEX zapríčinili, že niektoré dni nemohli byť spracované, pretože tieto dáta sú najdôležitejšou zložkou spracovania, ktoré vstupujú do riešenia. Dohromady bolo tým pádom spracovaných cca 86 000 hodnôt celkového oneskorenia signálu vplyvom troposféry (ZTD) namiesto úplných 96 000. Tento počet hodnôt ZTD bolo potrebné štatisticky porovnať zo ZTD hodnotami získanými spracovaním dát technikou dvojitéch diferencií, čo bolo úlohou poslednej kapitoly tejto práce.

Štatistickým porovnaním je myslené spracovanie porovnaním hodnôt ZTD z oboch metód, pre rovnaké stanice, rovnaký deň a rovnakú časovú stopu. Z takýchto rozdielov boli následne vypočítané hodnoty BIAS a SDEV pre každý deň. Tak ako v predošlom prípade aj toho spracovanie prebehlo automatizovane na základe skriptu vytvoreného autorom práce v programovacom jazyku Python. V rámci riešenia boli hodnoty ZTD spracované technikou DD odpočítavané od hodnôt ZTD spracovaných technikou PPP. Výstupom z automatizovaného spracovania bolo spolu 10 textových súborov pre každú stanicu a rok spracovania zvlášť. Takto spracované dáta boli prekopírované do aplikácie Excelu

a podrobené kontrole. Kontrola dát spočívala v nájdení odlišných až extrémne odlišných hodnôt BIASu a SDEV. Príčinou takýchto nepravdivých údajov boli chýbajúce observácie na stanicích počas niektorých dní. Chýbajúce observácie zapríčinili chybné určenie chybné určenie hodnôt ZTD v ďalšom spracovaní. Takéto hodnoty ZTD vstúpili do štatistického spracovania a tým pádom aj hodnoty BIAS a SDEV nimi boli ovplyvnené. Tieto hodnoty boli zo spracovania vyradené, aby neskresľovali celkový výsledok spracovania a do výsledného výpočtu vstúpilo 85 082 hodnôt ZTD z priemerne 351 dní/stanici.

Po kontrole a vyradení hodnôt, bolo potrebné jednotlivé dni separovať do mesiacov. Následným spracovaním bol výpočet hodnôt BIAS a SDEV pre každý mesiac. Z takto spracovaných dát bol vytvorený graf priebehu hodnôt pre BIAS a SDEV za jednotlivé mesiace.

Celkový výsledok spracovania (Tab. 6.) hovorí o priemerných rozdieloch pre BIAS (0,4 mm) a SDEV (2,8 mm) medzi jednotlivými metódami a vysokej kvalite PPP riešenia pri jeho porovnaní s DD riešením. Z toho vyplýva, že veľkosť systematickej a náhodnej chyby nie je výrazná natoľko, aby sa mohlo uvažovať o nestabilite výsledkov alebo nekvalite PPP spracovania.

Z takéhoto záveru možno tvrdiť, že technika PPP poskytuje podobné výsledky ako technika dvojítých diferencií. Tieto výsledky úplne podporujú súčasný trend nárastu nasadzovania techniky PPP pre presné spracovanie GPS meraní na získanie parametrov troposféry a potvrdzujú porovnateľnosť jej výsledkov s výstupmi techniky dvojítých diferencií.

ZOZNAM OBRÁZKOV

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Obr. 1.: Ukážka výsledkov asimilácie hodnôt ZTD z GPS meraní pre územie Francúzska [1].....</i> | 10 |
| <i>Obr. 2.: Referenčné stanice vybrané pre spracovanie a porovnanie.....</i> | 26 |
| <i>Obr. 3.: Ukážka BAT súboru</i> | 29 |
| <i>Obr. 4.: Ukážka výstupu s hodnotami ZTD v mm pre stanicu GOPE z 240 dňa roku 2011.....</i> | 30 |
| <i>Obr. 5.: Ukážka skriptu v programovacom jazyku Python</i> | 32 |
| <i>Obr. 6.: Ukážka textového súboru so spracovanými dátami stanice GOPE.....</i> | 33 |
| <i>Obr. 7.: Ukážka nepravdivých opakujúcich sa hodnôt z 84. dňa roku 2012 pre stanicu POTS.....</i> | 34 |
| <i>Obr. 8.: Priebeh hodnoty BIAS na referenčných staniach za jednotlivé mesiace.....</i> | 37 |
| <i>Obr. 9.: Priebeh hodnoty SDEV na referenčných staniach za jednotlivé mesiace.....</i> | 38 |

ZOZNAM TABULIEK

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tab. 1.: Porovnanie PPP a DD.....</i> | 24 |
| <i>Tab. 2.: Adresárová štruktúra jednotlivých priechodov pre spracovanie dát technikou PPP [4].....</i> | 27 |
| <i>Tab. 3.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu GOPE.....</i> | 35 |
| <i>Tab. 4.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu GRAZ.....</i> | 35 |
| <i>Tab. 5.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu ONSA.....</i> | 36 |
| <i>Tab. 6.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu POTS.....</i> | 36 |
| <i>Tab. 7.: Výsledky hodnôt BIAS a SDEV pre stanicu WTZR</i> | 37 |
| <i>Tab. 8.: Výsledky štatistického porovnania hodnôt ZTD z celého spracovania</i> | 39 |

ZOZNAM PRÍLOH NA PRILOŽENOM CD

1. ppp BAT súbor (skript pre automatizované spracovanie PPP)
2. ZTD súbory so spracovanými hodnotami ZTD pre každý deň
3. skript skript vytvorený v jazyku Python pre automatizované spracovanie hodnôt ZTD a štatistické ohodnotenie
4. štatistika Excel dokument s tabuľkami a grafmi hodnôt BIAS a SDEV pre celé spracované obdobie
5. final priečinok obsahujúci 10 textových súborov so spracovanými hodnotami BIAS a SDEV pre každý deň a stanicu

LITERATÚRA

- [1] Vedel, H. et al. *On the impact of ground-based GNSS data in European Meteorology*, EUREF 2013 Symposium, Budapešť, Maďarsko, 2013, dostupné na [\[odkaz 10\]](#)
- [2] Igondová, M.: *Využitie permanentných sietí GPS na modelovanie troposféry a ionosféry*, dizertačná práca, Bratislava: STU Bratislava, 2004.
- [3] Kačmařík, M. : *GNSS Meteorológia*, dizertačná práca, VŠB – TU Ostrava, 2012.
- [4] Dach et al. 2007. *GPS Bernese Software, Version 5.0*. Astronomický Institut, University of Bern, Švajčiarsko.
- [5] Kačmařík, M.: Mapové výstupy hodnot obsahu vodních par v atmosféře získaných z GPS měření pro území ČR, *Meteorologické zprávy*, ročník 64, číslo 5, 152-155, 2011.
- [6] Vojtek, D.: *Globální navigačné a polohové systémy, Metody zpřesňování polohy a času*, přednáška 10, VŠB-TU Ostrava, 2010.
- [7] Zumberge et al.: *Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks*, Journal of Geophysical Research, 1997.
- [8] Ge, M. et al., *Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations*, Journal of Geodesy, Vol. 82, pp. 389-399, 2008.
- [9] Le, A. Q and Tiberius, Ch. *Single-frequency precise point positioning with optimal filtering*, GPS Solutions, Vol. 11, pp. 61-69, 2007.
- [10] Kačmařík, M.: *Vplyv príspevní signálů GLONASS na stanovení hodnot celkového zpoždění signálu vlivem troposféry*, ročník 59, číslo 6, 109-136, 2013.

INÉ INTERNETOVÉ ZDROJE

[odkaz 1]

<http://tomasf.host.sk/gpsindex.html>

[odkaz 2]

<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

[odkaz 3]

<http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>

[odkaz 4]

<http://glonass-iac.ru/en/GLONASS/>

[odkaz 5]

<http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>

[odkaz 6]

http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS_meteorologie

[odkaz 7]

<http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/314>

[odkaz 8]

<http://oko.asu.cas.cz/pecny/wvradio.html>

[odkaz 9]

http://www.vugtk.cz/slovník/4226_systematicka-chyba

[odkaz 10]

<http://euref2013.fomi.hu/Download/Session2/01VedelGNSSmeteorologyinvited.pdf>