

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

**MONITORING KVALITY SIEŤOVÉHO RIEŠENIA
SKPOS V REÁLNO M ČASE**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

SvF-5330-49675

2013

Bc. Karol Smolík

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

**MONITORING KVALITY SIEŤOVÉHO RIEŠENIA
SKPOS V REÁLNO M ČASE**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

SvF-5330-49675

Študijný program: Geodézia a kartografia
Pracovisko: Katedra geodetických základov
Vedúci záverečnej práce: prof. Ing. Ján Hefty, PhD.
Konzultant: Ing. Branislav Droščák, PhD.

2013

Bc. Karol Smolík



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Karol Smolík**
ID študenta: 49675
Študijný program: geodézia a kartografia
Študijný odbor: 5.1.3 geodézia a kartografia
Vedúci práce: prof. Ing. Ján Hefty, PhD.
Konzultant: Ing. Branislav Droščák, PhD.
Miesto vypracovania: GKÚ Bratislava, SvF STU Bratislava

Názov práce: **Monitoring kvality sieťového riešenia SKPOS v reálnom čase**

Špecifikácia zadania:

Vyhotovte a popíšte aplikáciu zameranú na monitorovanie kvality sieťového riešenia SKPOS v reálnom čase. Pri realizácii aplikácie vychádzajte z požiadaviek správy SKPOS – Geodetického a kartografického ústavu Bratislava:

- monitorovanie sieťového riešenia na celom území Slovenska,
- automatizovaný proces monitorovania,
- zabezpečenie možnosti poskytovania výsledkov aj používateľom služby SKPOS,
- riešenie bez potreby budovania nových fyzických monitorovacích staníc (virtuálny prístup),
- ekonomicky nenáročné riešenie.

V diplomovej práci sa zamerajte na popis poskytovaného sieťového riešenia SKPOS, overte presnosť navrhnutého virtuálneho monitoringu s výsledkami z reálnej (fyzickej) monitorovacej stanice, posúďte kvalitu (presnosť) virtuálneho monitoringu a odôvodnite zvolenú stratégiu riešenia (voľbu dĺžky monitorovacích meraní, voľbu monitorovaných polôh, voľbu grafickej prezentácie).

Zoznam odbornej literatúry:

1. Ferienc, D. – Leitmannová, K. – Šalátová, E., 2007: SKPOS – Slovenská priestorová observačná služba. XIII. medzinárodné slovensko-poľsko-české geodetické dni, Liptovský Ján.
2. Landau, H. – Vollath, U. – Chen, X., 2002: Virtual reference station systems. Journal of Global Positioning Systems. Vol. 1, no. 2, s. 137-143.
3. Lukeš, Z. – Mervart, L. – Rezníček, J. – Šnajdrová, M., 2010: Kontrola presnosti sieťového riešenia CZEPOS v reálnom čase. In: Družicové metódy v geodezii a katastru. Brno, Vysoké učení technické v Brne, Fakulta stavební, Ústav geodézie, 108 s
4. Takasu, T., 2011: RTKLIB ver. 2.4.1 Manual. http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.1.pdf

Riešenie zadania práce od: 08. 02. 2013

Dátum odovzdania práce: 24. 05. 2013

L. S.

Bc. Karol Smolík
študent



doc. Ing. Juraj Janák, PhD.
vedúci pracoviska

prof. Ing. Alojz Kopáček, PhD.
garant študijného programu

POKYNY na vypracovanie diplomovej práce

Úvodné ustanovenie

V zmysle zákona č. 131/2002 Z. z. o vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov je súčasťou štúdia podľa každého študijného programu aj záverečná práca. Jej obhajoba patrí medzi štátne skúšky. Záverečnou prácou pri štúdiu podľa študijného programu druhého stupňa je diplomová práca. Podkladom na vypracovanie diplomovej práce je zadanie diplomovej práce.

Štruktúra záverečnej práce

- titulný list,
- zadanie záverečnej práce,
- pokyny na vypracovanie,
- vyhlásenie autora,
- názov a abstrakt v slovenskom a v anglickom jazyku (rozsah jednej strany),
- obsah s očíslovaním kapitol,
- zoznam príloh,
- zoznam skratiek a značiek,
- text samotnej práce (odporúčané členenie),
 - úvod,
 - súčasný stav problematiky,
 - ciele záverečnej práce,
 - vlastné riešenie členené na kapitoly podľa charakteru práce,
 - zhodnotenie dosiahnutých výsledkov resp. navrhnutých riešení,
 - záver,
- resumé (len pre práce vypracované v cudzom jazyku),
- zoznam použitej literatúry,
- prílohy (výkresy, tabuľky, mapy, náčrty) vrátane postera s rozmermi 1000x700 mm.

Rozsah a forma

1. Obsah a forma záverečnej práce musí byť spracovaná v zmysle vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 233/2011 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona č. 131/2002 Z. z. a v zmysle Metodického usmernenia č. 56/2011 o náležitostiach záverečných prác.
2. Vyžadovaný rozsah diplomovej práce je 30 až 50 strán. Práca musí byť viazaná v pevnej väzbe, odovzdáva sa v dvoch vyhotoveniach. Rozsiahle grafické prílohy možno v prípade súhlasu vedúceho práce odovzdať v jednom vyhotovení. Autor práce je povinný vložiť prácu v elektronickej forme do akademického informačného systému.

3. Odporúčaný typ písma je Times New Roman, veľkosť 12 a je jednotný v celej práci. Odporúčané nastavenie strany - riadkovanie 1,5, okraj vnútorný 3,5 cm, vonkajší 2 cm, zhora a zdola 2,5 cm, orientácia na výšku, formát A4.
4. Obrázky a vzorce sa číslujú v rámci jednotlivých kapitol (napr. obr. 3.1 je obrázok č. 1 v kapitole 3). Vzorce sa číslujú na pravom okraji riadku v okrúhlych zátvorkách - napr. (3.1).
5. Všetky výpočty musia byť usporiadané tak, aby bolo možné preveriť ich správnosť.
6. Pri všetkých prevzatých vzorcoch, tabuľkách, citovaných častiach textu musí byť uvedený prameň.
7. Citovanie literatúry vrátane elektronických materiálov sa uvádza podľa STN ISO 690 (01 0197) Informácie a dokumentácia. Návod na tvorbu bibliografických odkazov na informačné pramene a ich citovanie. 2012.
8. Príklad zoznamu bibliografických odkazov:
 ABELOVIČ, J. a kol.: *Meranie v geodetických sieťach*. Bratislava, Alfa 1990, ISBN 0-1554-9173.
 MICHALČÁK, O. – ADLER, E.: Výskum stability dunajských hrádzí. In: *Zborník vedeckých prác Stavebnej fakulty SVŠT*, Bratislava, Edičné stredisko SVŠT 1976, ISBN 0-3552-5214.
 ŠÜTTI, J.: Určovanie priestorových posunov stavebných objektov. *Geodetický kartografický obzor*, 35 (77), 1987, č. 2, ISSN 0811-6900.
 STN 73 0405: 1986 *Meranie posunov stavebných objektov*.
 Zákon NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii.
 Vyhláška Úradu geodézie, kartografie a katastra SR č. 178/1996 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii.
 Dostupné na internete: <http://www.lac.uk/iso/tc456>.
9. Za jazykovú a terminologickú správnosť záverečnej práce zodpovedá diplomant.
10. Formu postera (elektronická alebo aj tlačенá) určí garant študijného programu.
11. Vzor pre poster je uvedený na dokumentovom serveri v akademickom informačnom systéme univerzity.

.....
 podpis garanta študijného programu

Ustanovenia týchto pokynov som vzal na vedomie. Som si vedomý(á), že ak nebude moja diplomová práca vypracovaná v súlade s týmito pokynmi, nebude prijatá na obhajobu.

V Bratislave 20.2. 2013

.....
 Surov.L

.....
 podpis študenta

Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry, pod odborným vedením vedúceho diplomovej práce prof. Ing. Jána Heftyho, PhD. a konzultanta Ing. Branislava Droščáka, PhD.

V Bratislave, 20. 5. 2013

Bc. Karol Smolík

Pod'akovanie

Za odborné vedenie a cenné rady ďakujem vedúcemu diplomovej práce prof. Ing. Jánovi Heftymu, PhD. Ďalej ďakujem Ing. Jurajovi Papčovi, PhD. za strávený čas a pomoc pri realizácii experimentu. A v neposlednom rade ďakujem Geodetickému a kartografickému ústavu Bratislava za umožnenie pracovať na tejto diplomovej práci, osobitne sa chcem poďakovať celému oddeleniu analýz geodetických základov a predovšetkým konzultantovi práce Ing. Branislavovi Droščákovi, PhD. za ochotu a trpezlivosť, a hlavne za odborné vedenie a pripomienky, ktoré významnou mierou pomohli k napísaniu práce.

ABSTRAKT

Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS) je prístupná svojim používateľom od konca roku 2006. Od samotného počiatku svojou infraštruktúrou permanentných staníc GNSS reprezentuje aktívne geodetické základy Slovenska a zabezpečuje realizáciu referenčného systému ETRS89 na celom území štátu. Je preto nesmierne dôležité vykonávať nepretržitý monitoring kvality poskytovaného sieťového riešenia, ktorému sa predložená práca venuje, aby si bol správca ako aj používatelia služby istý jeho spoľahlivosťou. V jednotlivých kapitolách sa tak dočítate o infraštruktúre SKPOS, koncepcii virtuálnej referenčnej stanice, a metódach monitoringu sieťového riešenia. Jadrom práce je návrh a realizácia virtuálneho monitoringu s využitím open source softvéru RTKLIB, ako aj overenie presnosti tohto monitoringu prostredníctvom fyzických monitorovacích staníc. V závere práce sú prezentované prvé výsledky monitoringu, ich analýza, a taktiež podnety a myšlienky do budúcnosti.

Kľúčové slova: Slovenská priestorová observačná služba, SKPOS, monitoring sieťového riešenia, RTKLIB

ABSTRACT

The Slovak real time positioning service (SKPOS) is accessible to their users since the end of the 2006. From the beginning of its establishment represents with the permanent GNSS stations infrastructure the active geodetic controls of Slovakia and realizes reference system ETRS89 in the whole country territory. It is very important to carry out continuous quality monitoring of the service network solution, which is the work focused on, to ensure the administrator and the users as well by its reliability. In the chapters below one can read about infrastructure of SKPOS, the virtual reference station concept and methods of monitoring of the network solution. The main part of thesis is proposal and implementation of the virtual monitoring by the open source software RTKLIB, but also the verification of its precision reached from real monitoring stations. Furthermore at the end the first results of monitoring, their analysis, and also suggestions and ideas for the future.

Keywords: The Slovak real time positioning service, SKPOS, monitoring of the network solution, RTKLIB

OBSAH

ZOZNAM PRÍLOH	11
ZOZNAM OBRÁZKOV	12
ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK.....	13
ÚVOD	15
1 SLOVENSKÁ PRIESTOROVÁ OBSERVAČNÁ SLUŽBA	16
1.1 Infraštruktúra SKPOS.....	16
1.2 Sieť referenčných staníc	16
1.3 Národné servisné centrum	18
1.4 Virtuálna privátna sieť WPS-WAN	18
1.5 Poskytované služby	18
1.6 Sieťové riešenie SKPOS - koncept virtuálnej referenčnej stanice.....	19
2 METÓDY MONITORINGU SIEŤOVÉHO RIEŠENIA	21
2.1 Monitoring pomocou fyzickej monitorovacej stanice.....	21
2.1.1 Monitoring kvality siete permanentných staníc GNSSnet.hu	21
2.2 Monitoring pomocou virtuálneho riešenia	23
2.2.1 Kontrola presnosti sieťového riešenia CZEPOS.....	23
3 MONITORING KVALITY SIEŤOVÉHO RIEŠENIA SKPOS	25
3.1 RTKLIB.....	26
3.1.1 Určovanie polohy v reálnom čase softvérom RTKNAVI	27
3.1.2 Výstupy z RTKNAVI.....	28
3.2 Voľba testovacích bodov	28
3.3 Štatistické spracovanie	31
3.4 Automatizácia riešenia	32
3.5 Grafické rozhranie pre používateľov	35

4	OVERENIE SPRÁVNOSTI VIRTUÁLNEHO RIEŠENIA	36
4.1	Overenie správnosti virtuálneho riešenia	36
4.1.1	Fisherov test na overenie rovnosti disperzií (F-test)	40
4.2	Overenie správnosti výpočtového softvéru	43
5	SKÚSENOSTI S MONITORINGOM SIEŤOVÉHO RIEŠENIA SKPOS	46
5.1	Prvé výsledky z monitoringu sieťového riešenia SKPOS	46
5.2	Analýza prvých výsledkov	47
5.3	Podnety a myšlienky do budúcnosti	50
	ZÁVER	51
	LITERATÚRA	52

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha A Grafické znázornenie odchýlok virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice
- Príloha B Mapy izočiar odchýlok vo výškovej zložke
- Príloha C Poster k diplomovej práci

ZOZNAM OBRÁZKOV

obr. 1.1 Stabilizácia bodov SKPOS	17
obr. 1.2 Mapa referenčných staníc SKPOS (stav ku 5.5.2013)	17
obr. 1.3 Koncept virtuálnej referenčnej stanice	20
obr. 2.1 Sieť referenčných a monitorovacích staníc GNSSnet	22
obr. 2.2 Výstupy monitoringu siete GNSSnet	22
obr. 2.3 Základnice monitoringu virtuálneho riešenia	23
obr. 2.4 CZEPOS - Testovacie trojuholníky.....	24
obr. 2.5 Graf polohových a výškových odchýlok	24
obr. 3.1 Aplikačné rozhranie softvéru RTKNAVI.....	27
obr. 3.2 Monitorované územia	29
obr. 3.3 Príklad náhodného generovania testovacích bodov počas ôsmich hodín.....	29
obr. 3.4 Testovacie body počas jedného dňa	30
obr. 3.5 Poloha a výška testovacích bodov.....	30
obr. 3.6 Grafické znázornenie odchýlok v polohe a výške.....	32
obr. 3.7 Priebežné informácie zo softvéru na riadenie monitoringu	33
obr. 3.8 UML UseCase Diagram	33
obr. 3.9 Vývojový diagram riešenia monitoringu	34
obr. 3.10 Grafické rozhranie pre používateľov služby.....	35
obr. 4.1 Rozloženie testovaných základníc.....	36
obr. 4.2 Princíp testu na overenie správnosti virtuálneho riešenia.....	37
obr. 4.3 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice BBYS → SKZV .	38
obr. 4.4 Grafické znázornenie odchýlok oproti referenčnej polohe.....	39
obr. 4.5 Rozptyl hodnôt okolo strednej hodnoty, základnica GKU1 → GKU4	42
obr. 4.6 Schéma zapojenia prijímačov a odosielanie dát.....	43
obr. 4.7 Odchýlky výpočtu softvérom RTKNAVI od softvéru integrovaného v prijímači.	45
obr. 5.1 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 5 hod.....	47
obr. 5.2 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 6 hod.....	47
obr. 5.3 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 7 hod.....	48
obr. 5.4 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 8 hod.....	48
obr. 5.5 Grafické znázornenie odchýlok, lokalita: LIE1	49
obr. 5.6 Grafické znázornenie odchýlok, lokalita: SKLM	49

ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

α	Hladina významnosti
φ	Elipsoidická šírka
λ	Elipsoidická dĺžka
h	Elipsoidická výška
H_0	Nulová hypotéza
H_1	Alternatívna hypotéza
F	Testovacia štatistika Fisherovho testu
n	Zložka sever – juh lokálneho topocentrického súr. systému
e	Zložka západ – východ lokálneho topocentrického súr. systému
u	Výšková zložka lokálneho topocentrického súr. systému
ne	Polohová zložka lokálneho topocentrického súr. systému
AJAX	Asynchrónny JavaScript a XML
Bpv	Baltský výškový systém po vyrovnaní
CSS	Kaskádové štýly (z angl. Cascading Style Sheets)
CZEPOS	Česká sieť permanentných staníc pre určovanie polohy
DPZ	Diaľkový prieskum Zeme
ETRS89	Európsky terestrický referenčný systém 1989
FTP	Protokol prenosu súborov (z angl. File Transfer Protocol)
GKÚ	Geodetický a kartografický ústav Bratislava
GLONASS	Ruský družicový navigačný systém
GNSS	Globálne navigačné družicové systémy
GPS	Globálny polohový systém
GSM	Globálny systém mobilných komunikácií
GPRS	Univerzálna paketová rádiová služba
HTML	Hypertextový značkový jazyk
MLS	Mervant – Lukeš Software
NTRIP	Protokol na streamovanie GNSS dát prostredníctvom internetu
PGB	Podrobný geodetický bod
PHP	Hypertext Preprocessor: programovací jazyk
RINEX	Výmenný formát nezávislý od typu prijímača
RMS	Kvadratický priemer (z angl. root mean square)
RTK	Kinematická metóda v reálnom čase
SKPOS	Slovenská priestorová observačná služba

ÚGKK SR	Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej Republiky
UML	Unifikovaný modelovací jazyk
VPS	Virtuálny privátny server
VRS	Virtuálna referenčná stanica
XML	Rozšíriteľný značkový jazyk (z angl. eXtensible Markup Language)

ÚVOD

Slovenská priestorová observačná služba je prístupná svojim používateľom od konca roku 2006. V súčasnosti je najvyužívanejšou službou v rámci geodetických základov, pracuje nonstop, a pre používateľov je k dispozícii 24 hodín denne. So svojou infraštruktúrou permanentných staníc GNSS reprezentuje aktívne geodetické základy Slovenska a predstavuje dôležitú súčasť Štátnej priestorovej siete. Podľa ods. (2), §4 zákona NR SR č. 215/1995 sa Geodetický a kartografický ústav Bratislava zaväzuje poskytovať kvalitné, moderné, a dostupné služby pre používateľov využívajúcich GNSS prijímače pracujúce v národných geodetických referenčných systémoch. Táto úloha je realizovaná práve prostredníctvom Slovenskej priestorovej observačnej služby, ktorá realizuje referenčný systém ETRS89 na Slovensku. Keďže je nutné poznať kvalitu poskytovanej služby, je veľmi dôležité vykonávať jej nepretržitý monitoring. V súčasnosti je monitoring zabezpečovaný pomocou riadiaceho softvéru, ktorý nepretržite sleduje integritu siete a vykonáva monitoring jednotlivých jej súčastí. No ani jedna z týchto súčastí nereprezentuje skutočnú vonkajšiu kvalitu sieťového riešenia. Preto bol záujem Geodetického a kartografického ústavu, ako správcu služby, a súčasne aj cieľ tejto práce, vytvoriť monitoring kvality sieťového riešenia pracujúci v reálnom čase.

1 SLOVENSKÁ PRIESTOROVÁ OBSERVAČNÁ SLUŽBA

Podľa zákona č. 600/2008 Z. z. z 3. decembra 2008, ktorým sa mení a dopĺňa zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov a o zmene ďalších zákonov, sa permanentná lokalizačná služba, ktorá využíva globálne navigačné satelitné systémy definuje ako sieť kooperujúcich staníc, ktorá spracúva a v reálnom čase poskytuje geocentrické súradnice na presnú lokalizáciu objektov a javov.

1.1 Infraštruktúra SKPOS

Slovenská priestorová observačná služba je vybudovaná na nasledujúcich pilieroch (GKÚ web, 2013):

- legislatíva (zákony, smernice, štandardy, a i.),
- sieť referenčných staníc na príjem signálov GNSS umiestnených na geodetických bodoch,
- národné servisné centrum, zriadené u správcu geodetických základov v Geodetickom a kartografickom ústave Bratislava,
- virtuálna privátna sieť rezortu ÚGKK SR (WPS-WAN) slúžiaca na prenos dát z referenčných staníc do Národného servisného centra.

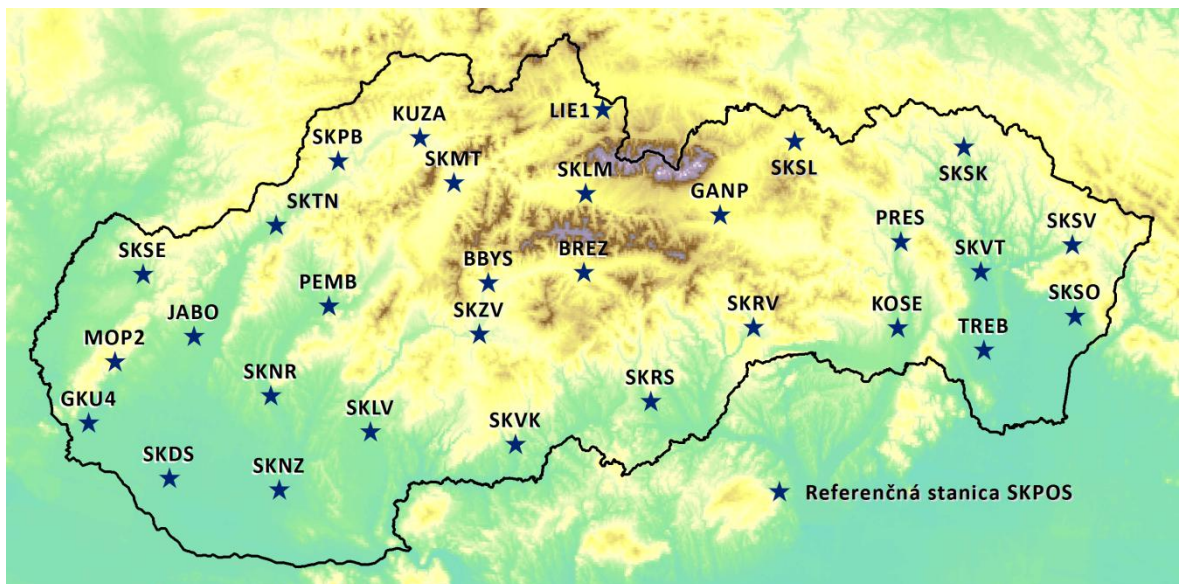
1.2 Sieť referenčných staníc

Na geodetických bodoch sú metódou nútenej centrácie pomocou centračnej tyče vysokej 38 cm, prípadne 28 cm osadené antény GNSS prístrojov (obr. 1.1). Stanice sú vybudované na nosných častiach striech budov (24 bodov) alebo na pilieroch hĺbkovou stabilizáciou, spĺňajúce kritéria pre geodynamické body (6 bodov). Aktuálne rozmiestnenie staníc je znázornené na (obr. 1.2). Stanice sú vybavené prijímačmi Trimble NetR9, NetR8 alebo NetR5 a anténami Zephyr Geodetic Model 2 alebo Trimble Choke ring umožňujúcich prijímať signály L1, L2, L2C a L5 z družíc GPS, a L1 a L2 z družíc GLONASS. Prístroje umožňujú priame pripojenie na rezortnú WAN sieť cez port RJ45 s vlastnou IP adresou (Ferianc a kol., 2007).



obr. 1.1 Stabilizácia bodov SKPOS (Droščák, 2010)

Referenčné stanice SKPOS tvoria A triedu bodov Štátnej priestorovej siete a zabezpečujú on-line realizáciu národného referenčného súradnicového systému ETRS89. Poloha referenčných staníc je počítaná vedeckým softvérom Bernese v.5.0. Všetky referenčné stanice boli pripojené presnou niveláciou k Štátnej nivelačnej sieti, čo umožnilo určenie ich výšok v systéme Bpv (Droščák, 2010).



obr. 1.2 Mapa referenčných staníc SKPOS (stav ku 5.5.2013)

1.3 Národné servisné centrum

Národné servisné centrum SKPOS zabezpečuje všetky činnosti spojené s prevádzkou služby. Teda správu referenčných staníc, ich monitorovanie, zhromažďovanie a zálohovanie dát, sledovanie chodu spracovateľského softvéru zabezpečujúceho generovanie korekcií pre jednotlivé služby, registráciu používateľov a monitorovanie kvality služieb (Droščák, 2010). Prevažná väčšina činnosti sa zabezpečuje pomocou riadiaceho a spracovateľského softvéru. Ktorým bol od spustenia služby softvér Trimble GPSNet, neskôr Trimble VRS³Net a v súčasnosti Trimble Pivot.

1.4 Virtuálna privátna sieť WPS-WAN

Z dôvodu potreby kvalitnej a stabilnej komunikácie medzi referenčnými stanicami a servisným centrom, je väčšina ref. staníc umiestnená v blízkosti Správ katastra, ktoré sú pripojené na rezortnú virtuálnu privátnu sieť (VPS). K externým staniciam je VPS vybudovaná najmä cez pevné pripojenia (Ferianc a kol, 2007).

1.5 Poskytované služby

SKPOS poskytuje tri základné služby, a to: diferenciálne korekcie pre kódové merania v reálnom čase, diferenciálne korekcie pre fázové merania v reálnom čase, a dodatočné spracovanie (post-processing) kódových a fázových meraní (tab. 1.1).

- Služba *SKPOS_dm* zabezpečuje poskytovanie diferenciálnych korekcií pre kódové merania. Jej presnosť je na úrovni niekoľkých decimetrov. Korekcie sú generované v koncepte VRS vo formáte RTCM 2.1 a RTCM 2.3.
- Služba *SKPOS_cm* zabezpečuje poskytovanie diferenciálnych korekcií pre fázové merania. Je poskytovaná prostredníctvom sieťového riešenia v koncepte VRS. Korekcie sú poskytované prostredníctvom internetového pripojenia GPRS cez protokol NTRIP.
- Služba *SKPOS_mm* slúži na dodatočné spracovanie kódových alebo fázových meraní. Dáta sú poskytované vo formáte RINEX 2.12.

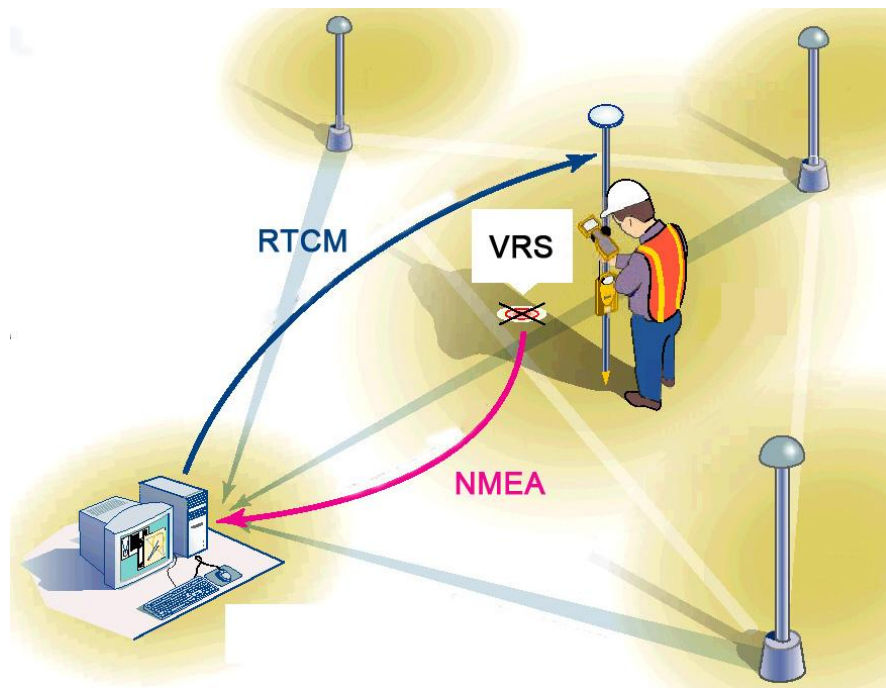
tab. 1.1 Služby SKPOS (Ferianc a kol., 2012)

Služba	Presnosť	Formát korekcií	Hustota záznamu
SKPOS_dm	0,3 m – 1 m	RTCM 2.1 RTCM 2.3	1 s
SKPOS_cm	2 cm – 4 cm	RTCM 2.3 RTCM 3.1 CMRx CMR+	1 s
SKPOS_mm	1 mm – 1 cm	RINEX 2.12	1 s

1.6 Siet'ové riešenie SKPOS - koncept virtuálnej referenčnej stanice

Korekcie môžu byť poskytované formou pripojenia priamo na konkrétnu referenčnú stanicu (single solution) alebo pomocou sieťového riešenia v koncepte: MAC, FKP, VRS a i. SKPOS poskytuje korekcie svojim používateľom výlučne v koncepte virtuálnej referenčnej stanice (VRS). Tento koncept je založený na existencii siete referenčných staníc nepretržite pripojených cez dátové spojenie s riadiacim centrom. Server v riadiacom centre priebežne zhromažďuje dáta zo všetkých prijímačov a tvorí databázu regionálnych korekcií – „Regional Area Corrections“. Tie sa využívajú na vytvorenie virtuálnej referenčnej stanice, ktorá sa nachádza len niekoľko metrov od miesta, kde sa nachádza rover. Ten potom používa a interpretuje dáta z VRS rovnako, ako keby pochádzali z reálnej referenčnej stanice (Landau et al., 2002).

V praxi GNSS rover po úspešnej autorizácii posieľa svoju približnú polohu vo forme NMEA GGA správy do riadiaceho centra. Prenos je zabezpečený mobilnými dátovými linkami ako GSM/GPRS. Riadiace centrum akceptuje túto polohu ako lokalitu pre novú virtuálnu referenčnú stanicu. Vypočíta korekcie pre túto VRS a odosiela ich do rovera v štandarde RTCM alebo inom proprietárnom formáte. Ako náhle ich rover prijme, vypočíta riešenie a aktualizuje svoju polohu (obr. 1.3).



obr. 1.3 Koncept virtuálnej referenčnej stanice (Landau et al., 2002)

Softvér a hardvér

Každá referenčná stanica je vybavená GNSS prijímačom a anténou. Prostredníctvom dátovej siete komunikuje s riadiacim centrom, v ktorom sa nachádza riadiaci a spracovateľský softvér, ktorý vykonáva niekoľko hlavných úloh (Landau et al., 2002):

- prijíma surové dáta z referenčných staníc a kontroluje ich kvalitu,
- ukladá a archivuje dáta vo formáte RINEX,
- odhaduje a modeluje systematické chyby,
- generuje a odosiela dáta pre vytvorenie virtuálnej referenčnej stanice.

Spracovateľský softvér taktiež vykonáva priebežný výpočet a odhad ďalších parametrov (Landau et al., 2002):

- korekcie chýb z viaccestného šírenia signálu,
- odhad ionosférického modelu,
- odhad troposférického modelu,
- korekcie chýb z vysielaných efemeríd.

2 METÓDY MONITORINGU SIEŤOVÉHO RIEŠENIA POLOHOVÝCH SLUŽIEB

V súčasnosti sú známe dve základné metódy monitoringu kvality sieťového riešenia polohových služieb:

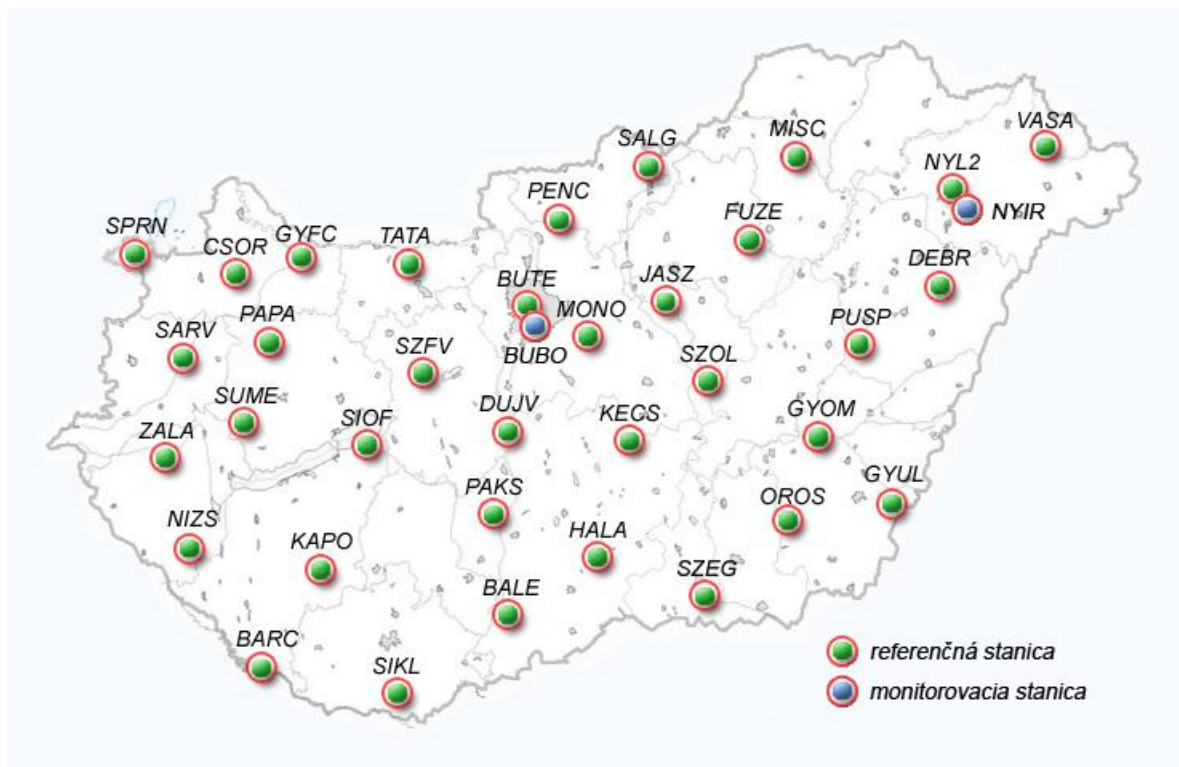
- Monitoring pomocou fyzickej monitorovacej stanice,
- Monitoring pomocou virtuálneho riešenia.

2.1 Monitoring pomocou fyzickej monitorovacej stanice

Metóda je založená na fyzickom umiestnení monitorovacej stanice v teréne. Prijímač na monitorovacej stanici sa neustále pripája do observačnej služby a počíta svoje súradnice z korekčných dát zo sieťového riešenia. Rozdiel vypočítaných a referenčných súradníc monitorovacej stanice sú charakteristikou presnosti sieťového riešenia v danom čase a lokalite. Na monitorovanie celého územia siete je potrebné umiestniť veľké množstvo monitorovacích staníc, nakoľko sieťové riešenie nie je homogénne v každej časti siete. Alebo je možnosť umiestniť iba niekoľko monitorovacích staníc, no výsledky takéhoto riešenia síce monitorujú fungovanie služby, ale nemonitorujú jej kvalitu pre celú sieť, ale len pre lokality v ktorých sa stanice nachádzajú. Nevýhodou tohto riešenia sú vysoké ekonomické náklady na zriadenie monitorovacích staníc, potreba obstarania monitorovacieho softvéru, a takmer nemožnosť kvalitatívne monitorovať celé záujmové územie.

2.1.1 Monitoring kvality siete permanentných staníc GNSSnet.hu

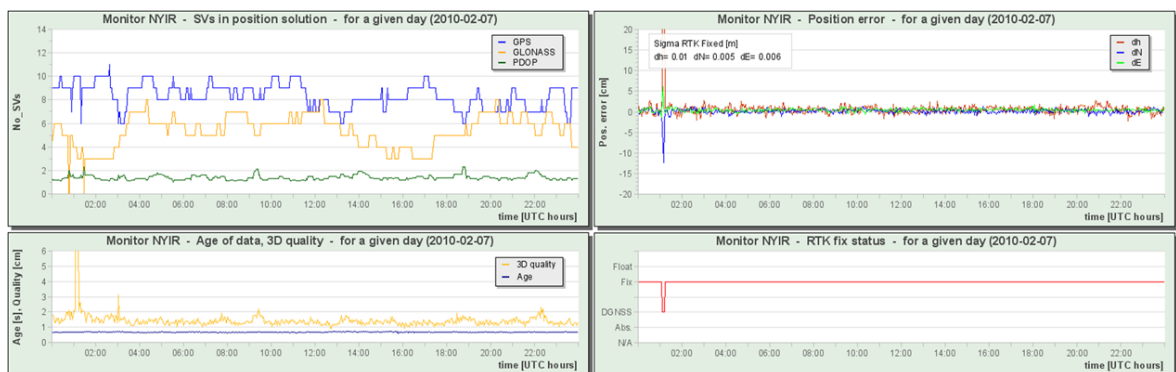
Monitoring siete pomocou monitorovacích staníc zvolil aj Ústav geodézie, kartografie a DPZ Maďarska vo svojej sieti GNSSnet. Konkrétne boli použité 2 monitorovacie stanice (obr. 2.1), jedna je umiestnená v strede siete v zastavanom území Budapešti (BUBO) a druhá na okraji v menej využívannej časti Maďarska (NYIR) (Horváth, 2010).



obr. 2.1 Sieť referenčných a monitorovacích staníc GNSSnet (GNSSnet web, 2013)

Monitorovacie stanice sú ovládané pomocou RX simulátora. Spracovanie meraní je prevádzkované open source softvérom GnsSurfer. Z ktorého sú následne výsledky posiadané do riadiaceho softvéru Geo++, kde sú generované výstupy vo forme grafov znázorňujúcich (obr. 2.2) (Horváth, 2010):

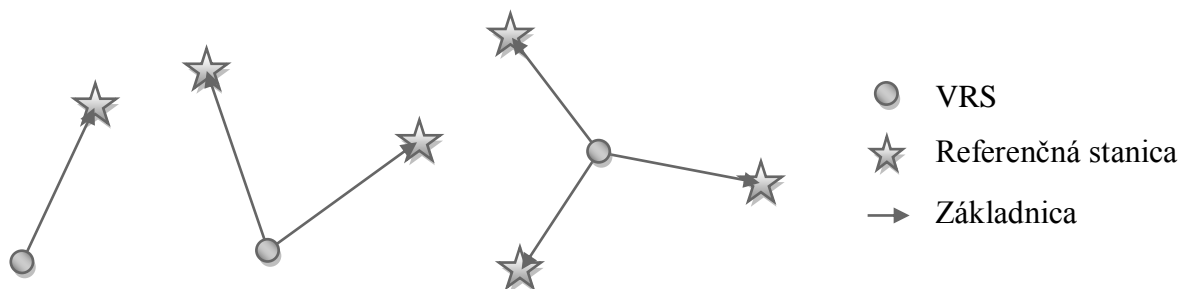
- počet družíc v rámci dňa,
- stredné chyby d_N , d_E , d_h ,
- stav fixného riešenia,
- vek dát (s),
- 3D kvalita (cm).



obr. 2.2 Výstupy monitoringu siete GNSSnet (Horváth, 2010)

2.2 Monitoring pomocou virtuálneho riešenia

Princíp druhej metódy je založený na generovaní VRS a následne počítaní základnice tvorenej VRS a referenčnou stanicou. Do výpočtu vstupujú vygenerované korekcie pre VRS a observačné dáta z referenčnej stanice. VRS v tomto prípade slúži ako báza, jej súradnice sú známe, a počítané sú súradnice referenčnej stanice (obr. 2.3). Tieto vypočítané súradnice sú porovnávané s referenčnou polohou stanice. Rozdiely medzi vypočítanými a referenčnými súradnicami sú kritériom kvality služby.

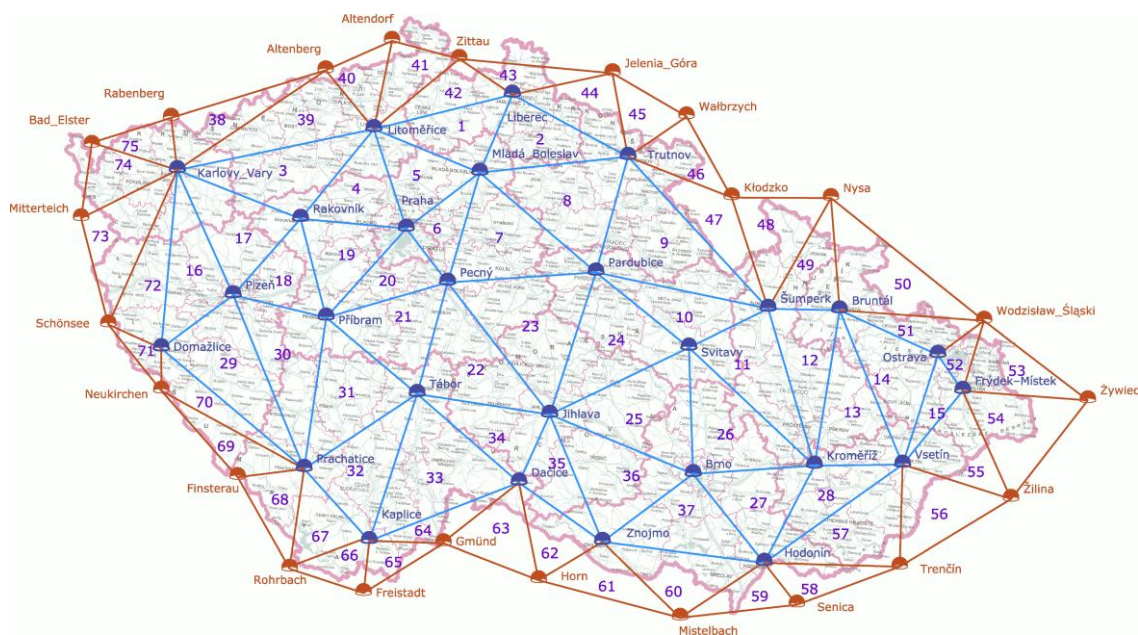


obr. 2.3 Základnice monitoringu virtuálneho riešenia

Výhodou tejto metódy je, že je možné monitorovať územie celej siete, a to bez nutnosti fyzického umiestnenia prijímača v teréne. Z čoho vyplývajú nižšie ekonomické náklady na zriadenie služby. Nevýhoda je, že monitoring je založený na virtuálnom riešení, čiže výsledky sa môžu od skutočných hodnôt líšiť.

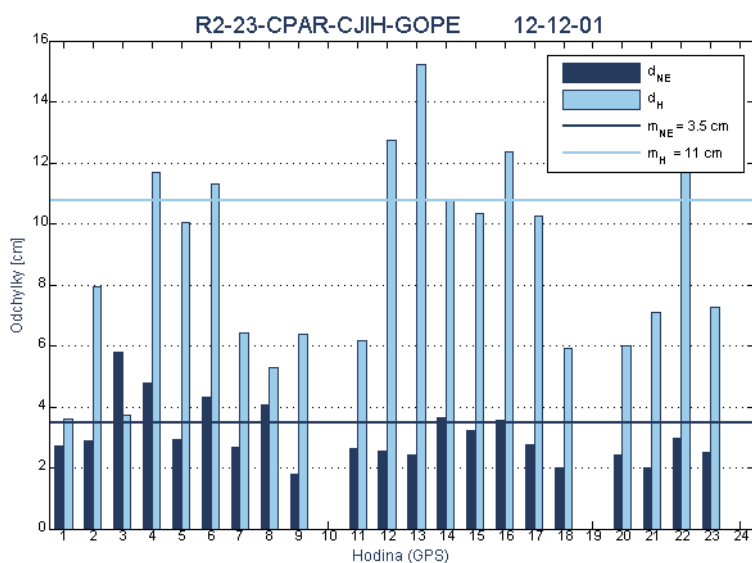
2.2.1 Kontrola presnosti sieťového riešenia CZEPOS

Cestou monitoringu pomocou virtuálneho riešenia sa vydal aj Zeměměřický úřad České republiky vo svojej sieti permanentných staníc CZEPOS. Jadrom kontroly sieťového riešenia je špeciálny softvér MLS (Mervant-Lukeš-Software) vyvinutý na katedre vyšší geodézie Fsv ČVUT v Prahe. Územie Českej republiky bolo pomocou Delaunayho triangulácie rozdelené na 37 trojuholníkov, ktorých vrcholy tvoria referenčné stanice CZEPOS. K staniciam CZEPOS sa pridali stanice z okolitých krajín pripojených do sieťového riešenia, a tak vzniklo 75 testovacích trojuholníkov (obr. 2.4) (Lukeš a kol., 2010).



obr. 2.4 CZEPOS - Testovacie trojuholníky (CZEPOS web, 2013)

Ako testovacie body boli zvolené ťažiská trojuholníkov. Program MLS simuluje rover používateľa stojaceho na známom bode (v ťažisku trojuholníka) a pripája sa k sieti CZEPOS. V rámci každej oblasti (trojuholníka) sú testované 3 základnice – spojnice ťažiska s jednotlivými vrcholmi. Vyhodnocovaný je potom rozdiel referenčných a vypočítaných dĺžok základníc. Výsledné rozdiely sú ďalej štatisticky spracované a graficky znázornené pre každú testovaciu oblasť formou aktuálnych polohových a výškových odchýlok a ich stredných chýb (obr. 2.5) (Lukeš a kol., 2010).



obr. 2.5 Graf polohových a výškových odchýlok (CZEPOS web, 2013)

3 MONITORING KVALITY SIEŤOVÉHO RIEŠENIA SKPOS

Podľa ods. (2), §4 zákona NR SR č. 215/1995 Z. z. sa Geodetický a kartografický ústav Bratislava zaväzuje poskytovať kvalitné, moderné a dostupné služby pre používateľov využívajúcich GNSS prijímače pracujúce v národných geodetických referenčných systémoch. Táto úloha je realizovaná prostredníctvom Slovenskej priestorovej observačnej služby, ktorá realizuje referenčný systém ETRS89 na Slovensku. Aj pre tieto skutočnosti je nutné vykonávať nepretržitý monitoring kvality služby. V súčasnosti je monitoring zabezpečovaný pomocou riadiaceho softvéru Trimble Pivot, ktorý nepretržite sleduje integritu siete a vykonáva monitoring jednotlivých jej súčastí (Trimble Navigation Ltd, 2005):

- monitoring súradníc referenčných staníc,
- kontrola kvality observačných dát,
- monitoring stavu ionosféry,
- monitoring stavu troposféry,
- predikcia geometrických chýb.

Ani jedna z uvedených kontrol však nereprezentuje skutočnú vonkajšiu kvalitu sieťového riešenia. Preto je záujem Geodetického a kartografického ústavu ako správcu služby vytvoriť monitoring pre územie celého Slovenska pracujúceho v reálnom čase.

Základné požiadavky na monitoring SKPOS kladené správcom služby:

- monitorované musí byť celé územie Slovenska,
- monitorovanie musí byť automatizované,
- v prípade záujmu majú byť výsledky dostupné pre používateľov služby,
- vyhnúť sa budovaniu množstva reálnych monitorovacích staníc,
- vyhnúť sa drahým softvérovým riešeniam.

Na základe uvedených požiadaviek a naštudovaných informácií bolo rozhodnuté použiť virtuálne riešenie s využitím konceptu VRS. Jadrom kontroly riešenia je program RTKNAVI softvérového balíčka RTKLIB (RTKLIB web, 2013). Riešenie je založené na tom, že program RTKNAVI simuluje rover stojaci na známom bode, pripája sa do SKPOS, a na základe sieťového riešenia počíta základnicu Rover (VRS) – Referenčná stanica. Kritériom kvality sú potom odchýlky medzi vypočítanou a referenčnou (známou) polohou

stanice. Kde referenčná poloha nám predstavuje aktuálne súradnice stanice definované v riadiacom softvéri.

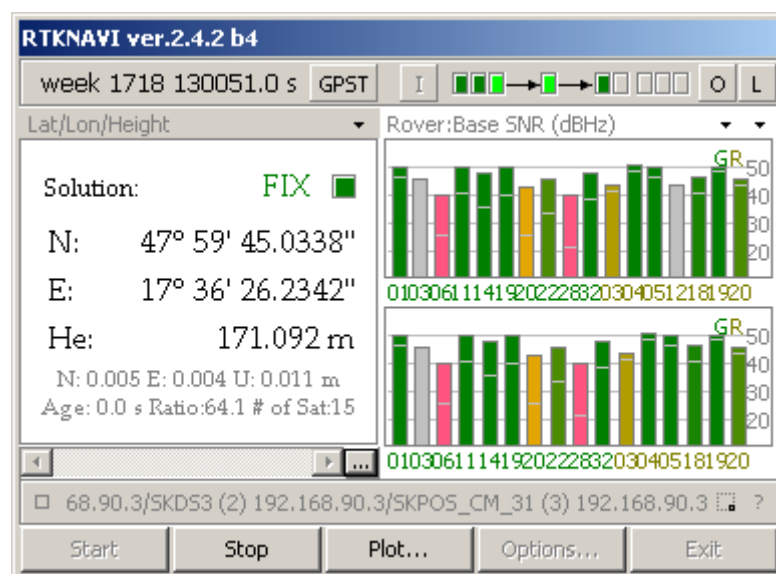
3.1 RTKLIB

RTKLIB je open source balíček programov pre štandardné a presné určovanie GNSS polohy vydávaný pod licenciou BSD-2. RTKLIB sa skladá z programových knižníc a aplikačných programov, ktoré sú napísané v jazyku ANSI C. Aplikačné rozhranie je dostupné pre operačné systémy Linux/Unix a Windows. RTKLIB má so svojimi štandardnými knižnicami nasledujúce vlastnosti (Takasu, 2013):

- podpora štandardných a presných algoritmov na určovanie polohy v systémoch: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS a SBAS,
- podpora rôznych metód GNSS real-time a post-processing spracovania dát: Single-point, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-baseline, Fixed, PPP-Kinematic a PPP-Static,
- podpora štandardných formátov a protokolov pre GNSS spracovania: RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, protokoly RTCM v. 2.3, 3.1, NTRIP 1.0, NMEA správy 0183 a ďalšie,
- podpora niektorých proprietárnych formátov: NovAtel: OEM4/V, OEM3, OEMStar, Superstar II, Hemisphere: Eclipse, Crescent, u-blox: LEA-4T, LEA-5T, LEA-6T, SkyTraq: S1315F, JAVAD GRIL/GREIS, Furuno GW-10-II/III,
- podpora externej komunikácie prostredníctvom: Serial portu, TCP/IP protokolu, NTRIP casteru a FTP/HTTP protokolu,
- poskytuje aplikačné programy a konzoly pre:
 - real-time spracovanie dát - RTKNAVI, RTKRCV
 - post-processing analýzy - RTKPOST, RNX2RTKP
 - vizualizáciu riešenia a observačných dát - RTKPLOT
 - konvertor RTCM správ do RINEX formátu - RTKCONV, CONVBIN
 - komunikačné nástroje - STRSVR, STR2STR
 - prehliadač zdrojovej tabuľky NTRIP casteru - NTRIPSRCBROWS

3.1.1 Určovanie polohy v reálnom čase softvérom RTKNAVI

Vstupné dáta pre výpočet polohy v reálnom čase tvoria observačné dáta z GNSS prijímačov a efemeridy družíc. V našom prípade, keďže je záujem čo najviac simulovať meranie v teréne, využívame vysielané efemeridy. Ako Base Station zadávame polohu testovacích bodov, čiže polohu VRS, ktorej korekčné dáta sú generované sieťovým riešením, do ktorého je pripájanie pomocou NTRIP casteru. Ako prístupová služba (mountpoint) do siete je použitá služba SKPOS_CM_31, keďže ide v súčasnosti o najpoužívanejšiu službu. Ako rover vstupujú do riešenia observačné dáta z jednotlivých referenčných staníc pripojené taktiež pomocou NTRIP casteru (obr. 3.1).



obr. 3.1 Aplikačné rozhranie softvéru RTKNAVI

Okrem vstupných dát je potrebné vykonať základné nastavenia programu simulujúce čo najviac nastavenia používateľa SKPOS v teréne. A to nasledovné:

- Príjem signálov z družíc: GPS, GLONASS
- Metóda merania: statická
- Prijímané frekvencie: L1+L2
- Elevačná maska: 15°
- Ionosférické korekcie: vysielané
- Efemeridy družíc: vysielané
- Výpočet ambiguit: kontinuálny výpočet
- GLONASS ambiguity: vypnuté

3.1.2 Výstupy z RTKNAVI

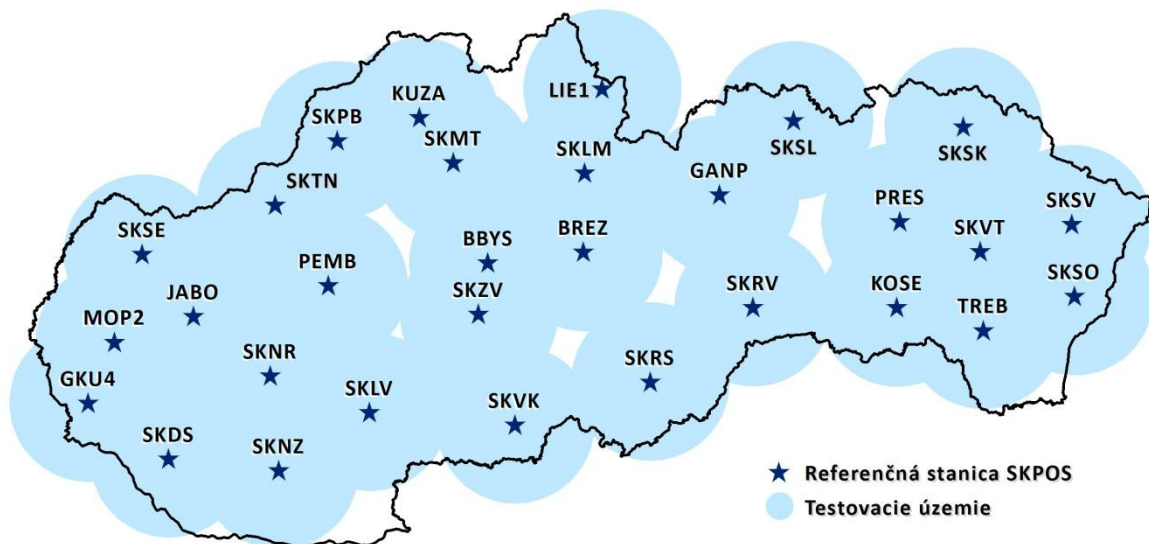
RTKNAVI nám umožňuje vytvárať a ukladať výsledky do súboru alebo posielat' pomocou Serial portu, TCP a NTRIP servera. Je možné zvolit' formát výsledkov (Takasu, 2013):

- elipsoidické súradnice – $\phi/\lambda/h$,
- karteziánske súradnice – X/Y/Z,
- topocentrické súradnice základnice – E/N/U,
- NMEA-183 správa.

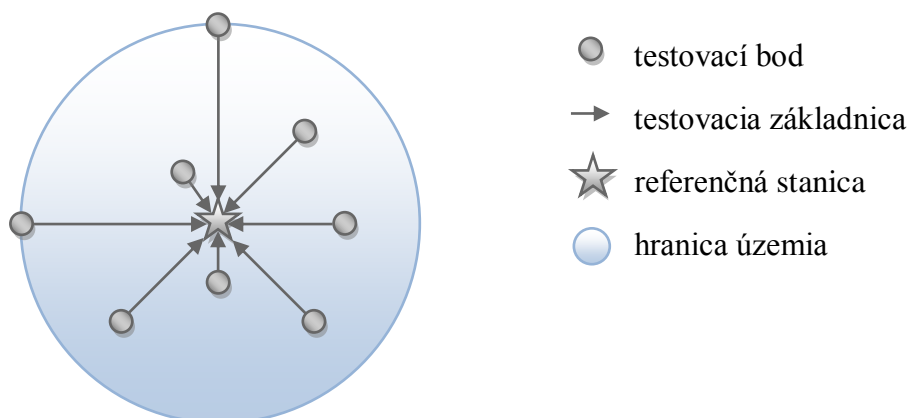
V našom riešení využívame výsledky vo forme elipsoidických súradníc so sekundovým intervalom záznamu do lokálneho súboru.

3.2 Voľba testovacích bodov

Slovensko je rozdelené na územia kruhového tvaru so stredom v referenčných staniách (obr. 3.2). V rámci každého územia sú testovacie body volené vo vzdialenosti: 3km, 13km alebo 23km. Horná hranica 23km bola stanovená tak, aby testovacie body pokrývali takmer celé územie Slovenska s prihliadnutím na časový limit, keďže za jednu hodinu je potrebné zmonitorovať všetky testovacie územia a s narastajúcou vzdialenosťou narastá aj inicializačný čas potrebný na dosiahnutie fixného riešenia. Ostatné vzdialenosti 3km a 13km boli zvolené tak, aby rovnomerne pokrývali územie v rámci intervalu [0km, 23km]. Azimut testovacej základnice nadobúda hodnoty: 0° , 45° , 90° , ..., 315° . Interval 45° bol zvolený preto, aby sme kombináciou vzdialenosti a azimutov dostali 24 polôh testovacieho bodu v rámci jedného územia (obr. 3.3). Každé územie je testované raz za hodinu vždy inou kombináciou vzdialenosti a azimutu v rámci jedného dňa. Tieto kombinácie sú náhodne generované pre každé územie a každý deň. Taktiež poradie testovania území v rámci jednej hodiny je generované náhodne. Väčší počet testovacích bodov bol zvolený kvôli eliminácii možných systematických chýb v určitých lokalitách a náhodnosť generovania nám minimalizuje závislosť (koreláciu) v čase.

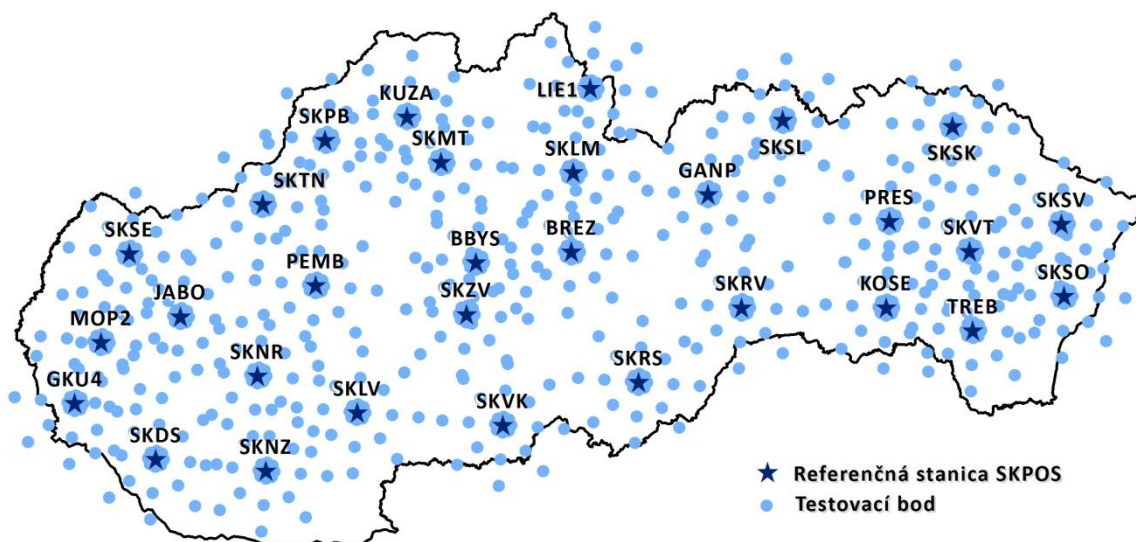


obr. 3.2 Monitorované územia



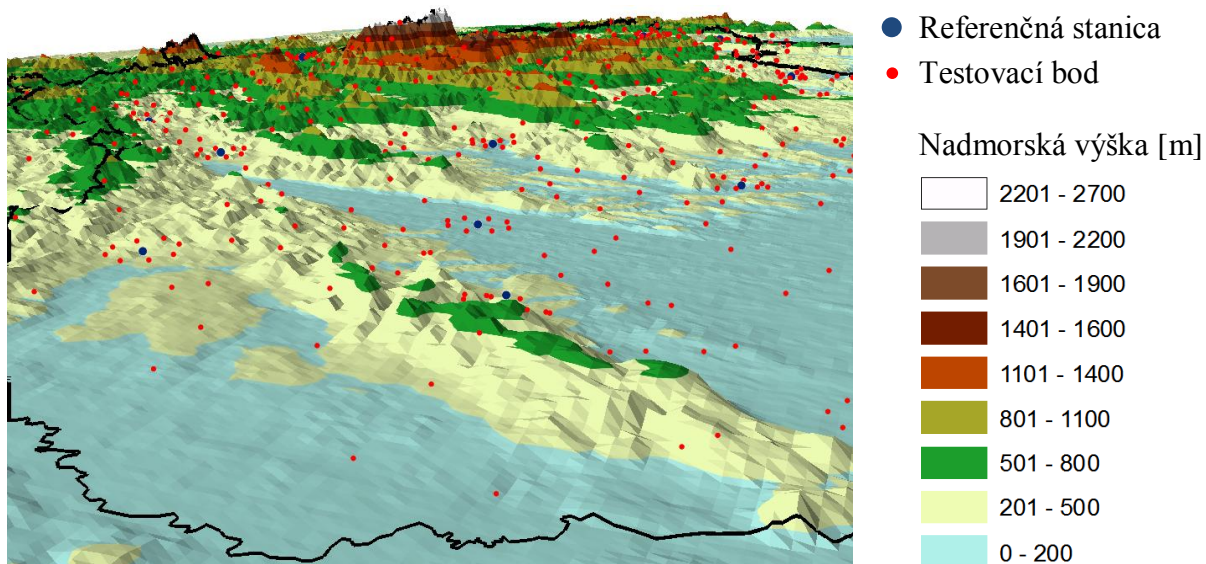
obr. 3.3 Príklad náhodného generovania testovacích bodov počas ôsmich hodín

V súčasnosti SKPOS tvorí 30 referenčných staníc. Na to, aby sa celé územie Slovenska zmonitorovalo každú hodinu, testovanie je rozdelené na dve nezávislé riešenia: západ (15 testovacích území) a východ (15 testovacích území). Testovanie oboch riešení prebieha súbežne. Každé testovanie (meranie) trvá 120 epoch (2 minúty) – čas odporúčaný pre určovanie polohy podrobných geodetických bodov (PGB) RTK metódou, stanovený vyhláškou Úradu geodézie, kartografie a katastra SR č. 75/2011 (ÚGKK SR, 2011). Čiže v rámci jedného riešenia je vykonaných každú hodinu 15 meraní po 2 minúty, t. j. v rámci dňa pre obe riešenia celkovo 720 meraní (obr. 3.4).



obr. 3.4 Testovacie body počas jedného dňa

Testovacie body sú zadávané vo forme elipsoidických súradníc φ/λ . Aby to neboli fiktívne body s nulovou výškou do RTKNAVI bol implementovaný digitálny výškový model SRTM. A tak je pre každú polohu testovacieho bodu pomocou bilinéarnej interpolácie určená aj výška (obr. 3.5), ktorá spolu s polohou vystupuje v odosielanej NMEA správe, na základe ktorej sa generujú korekcie pre VRS.



obr. 3.5 Poloha a výška testovacích bodov

3.3 Štatistické spracovanie

Namerané výsledky sa štatisticky spracovávajú. Najprv sú vylúčené všetky hodnoty, v ktorých nebolo dosiahnuté fixné riešenie. Následne sú pomocou Grubbsovho testu na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ vylúčené odľahlé hodnoty. Použitá testovacia štatistika Grubbsovho testu má tvar (Kalina a kol., 2010):

$$T_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{s}, \quad T_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{s} \quad (3.1)$$

kde:

- x_{\max}, x_{\min} - extrémne hodnoty variačného radu,
- \bar{x} - stredná hodnota
- s - štandardná odchýlka.

Z výsledných hodnôt je určovaný priemer súradníc $\varphi/\lambda/h$, ktoré sú transformované do lokálneho topocentrického súradnicového systému $n/e/u$ s počiatkom v referenčnej polohe referenčnej stanice (Hefty a kol., 2003):

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

kde:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{\text{vyp}} - X_{\text{ref}} \\ Y_{\text{vyp}} - Y_{\text{ref}} \\ Z_{\text{vyp}} - Z_{\text{ref}} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Výsledkom testovania je grafické znázornenie odchýlok v polohe ne a výške u pre každú testovaciu oblasť s hodinovým intervalom (obr. 3.6). Odchýlka v polohe je definovaná ako:

$$ne = \sqrt{n^2 + e^2} \quad (3.4)$$

A odchýlka vo výške:

$$u = |u| \quad (3.5)$$

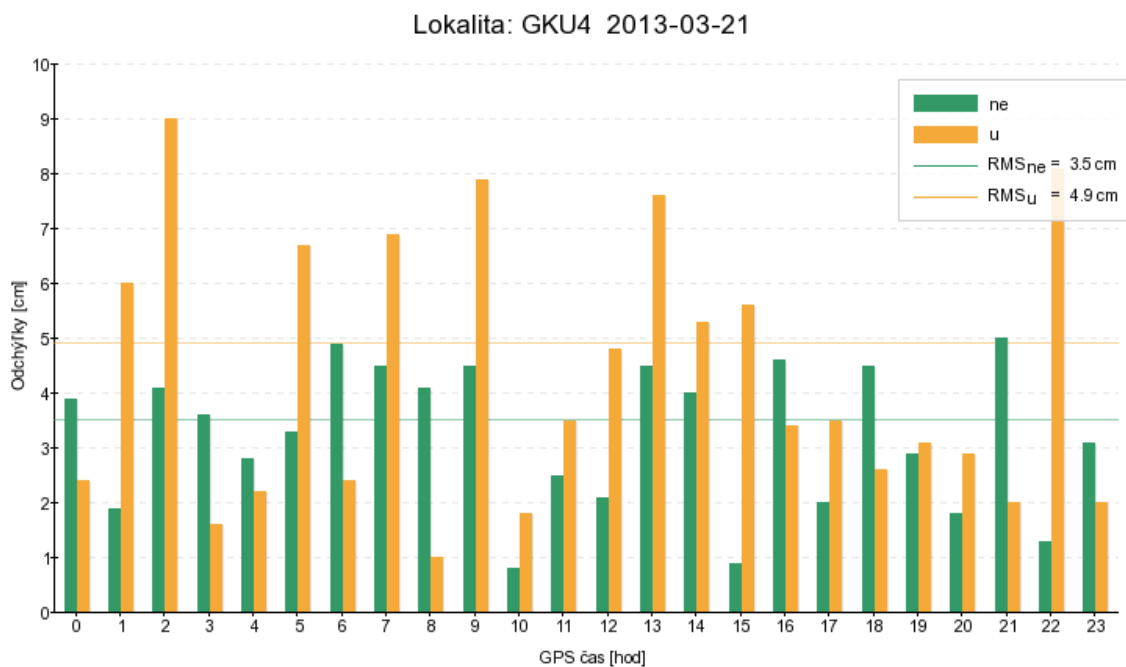
Ďalej sú vodorovnými čiarami znázornené denné kvadratické priemery (z angl. root mean square) pre polohu RMS_{ne} a výšku RMS_u :

$$RMS_x = \left(\frac{\sum x_i^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

kde:

x_i – sú jednotlivé odchýlky ne alebo u

n – počet hodnôt



obr. 3.6 Grafické znázornenie odchýlok v polohe a výške

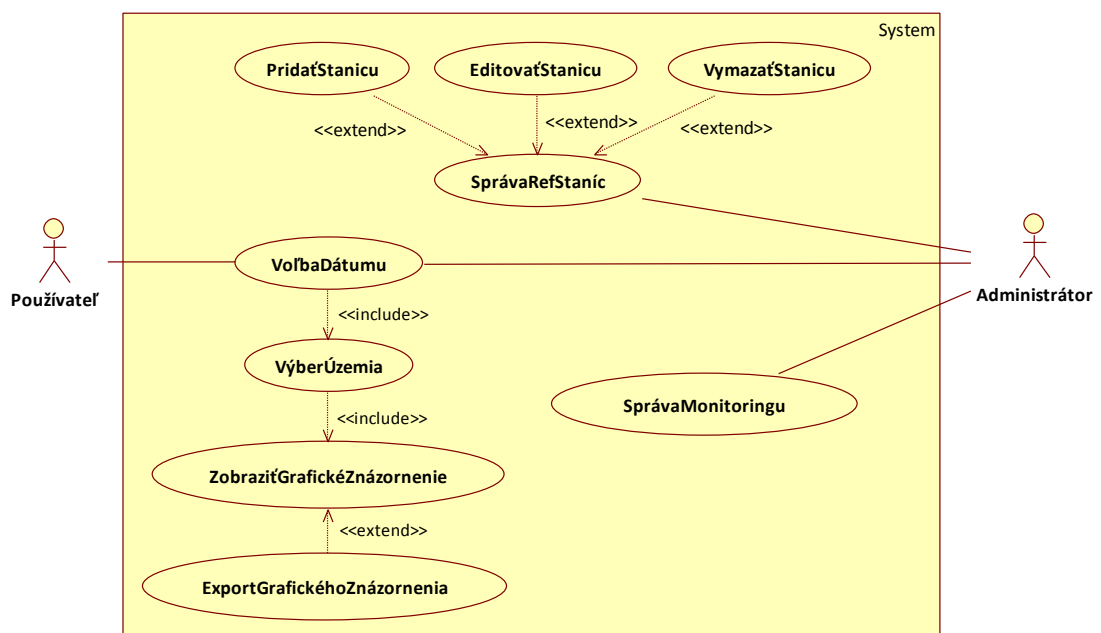
3.4 Automatizácia riešenia

Celý monitoring pracuje automatizovane bez zásahu správcu služby. Všetky procedúry sú riadené softvérom (obr. 3.7) napísaným v skriptovacom nástroji AutoHotkey (AutoHotkey web, 2013).

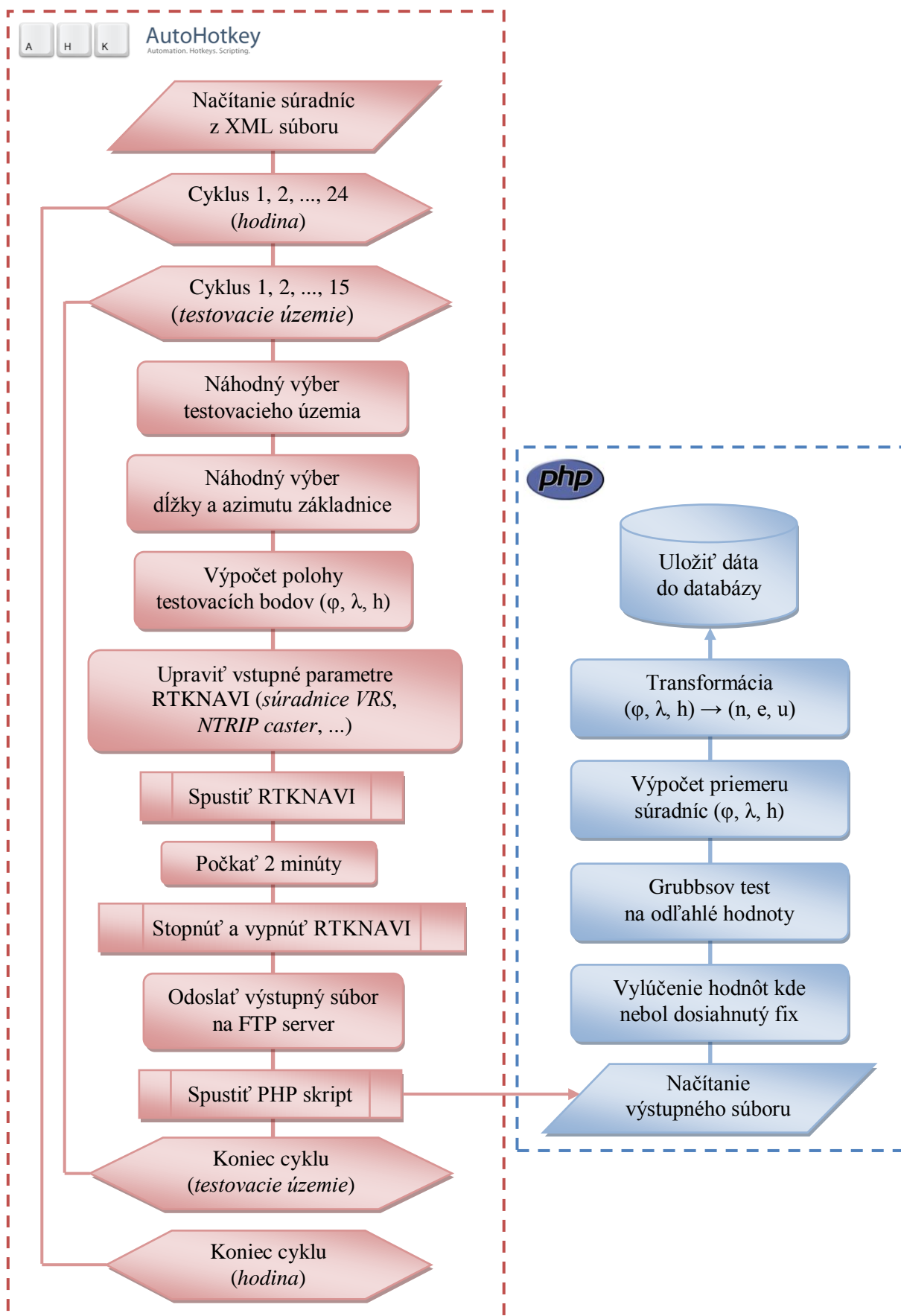
DATE	TIME	STATION	DISTANCE	ANGLE	LATITUDE	LONGITUDE
2013-04-11	14:00:21	JABO	13	225	48.399138	17.540874
2013-04-11	14:03:42	SKDS	13	180	47.878925	17.607287
2013-04-11	14:07:04	SKTN	3	0	48.915970	18.032948
2013-04-11	14:10:25	SKNR	13	315	48.392352	17.959952
2013-04-11	14:13:47	GKU4	3	225	48.138021	17.143393
2013-04-11	14:17:08	SKMT	3	180	49.055299	18.933680
2013-04-11	14:20:30	KUZA	13	315	49.306023	18.612505
2013-04-11	14:23:51	SKSE	23	0	48.886837	17.373121
2013-04-11	14:27:13	SKNZ	13	180	47.872697	18.170138
2013-04-11	14:30:34	PEMB	13	270	48.622421	18.164294
2013-04-11	14:33:56	BBYS	23	45	48.885800	19.372809
2013-04-11	14:37:18	SKPB	3	270	49.115094	18.403315
2013-04-11	14:40:39	SKLV	3	315	48.232327	18.577020
2013-04-11	14:44:01	MDP2	3	135	48.353412	17.302452
2013-04-11	14:47:22	SKZV	13	180	48.457719	19.122585

obr. 3.7 Priebežné informácie zo softvéru na riadenie monitoringu

Každú hodinu sa načíta XML súbor s nastaveniami a súradnicami referenčných staníc a zároveň sa spustí cyklus monitoringu, v rámci ktorého sa náhodne vyberie testovacie územie, a v rámci neho sa náhodne vygeneruje dĺžka a azimut základnice. Z nich sa priamou geodetickou úlohou vypočítajú súradnice testovacieho bodu a upraví sa vstupné parametre pre softvér RTKNAVI, ktorý sa spustí po dobu dvoch minút. Softvér po úspešnej inicializácii počíta polohu pre zadanú referenčnú stanicu a ukladá riešenie do výstupného súboru. Tento súbor je následne odosielaný na FTP server, štatisticky spracovávaný PHP skriptom (kapitola 3.3), a výsledné odchýlky sú ukladané do databázy MySQL. Na (obr. 3.8) je znázornený UML UseCase Diagram, v ktorom sú znázornené prípady použitia používateľa a administrátora. Vývojový diagram riešenia je znázornený na (obr. 3.9).



obr. 3.8 UML UseCase Diagram



obr. 3.9 Vývojový diagram riešenia monitoringu

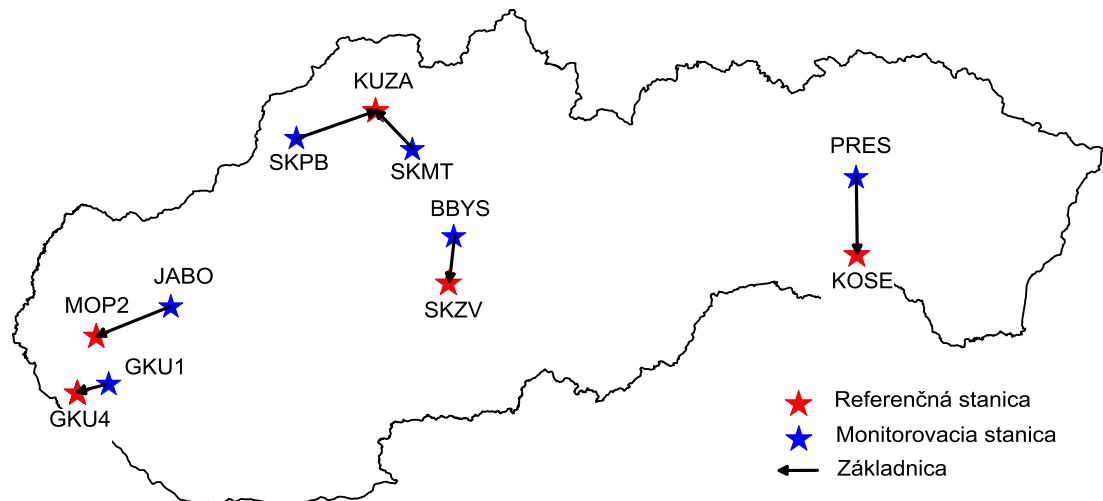
4 OVERENIE SPRÁVNOSTI VIRTUÁLNEHO RIEŠENIA

Ako už bolo spomenuté v (kapitole 2.2), výsledky virtuálneho riešenia sa môžu od skutočných hodnôt líšiť. Preto boli vykonané testy na:

- Overenie správnosti virtuálneho riešenia,
- Overenie správnosti výpočtového softvéru.

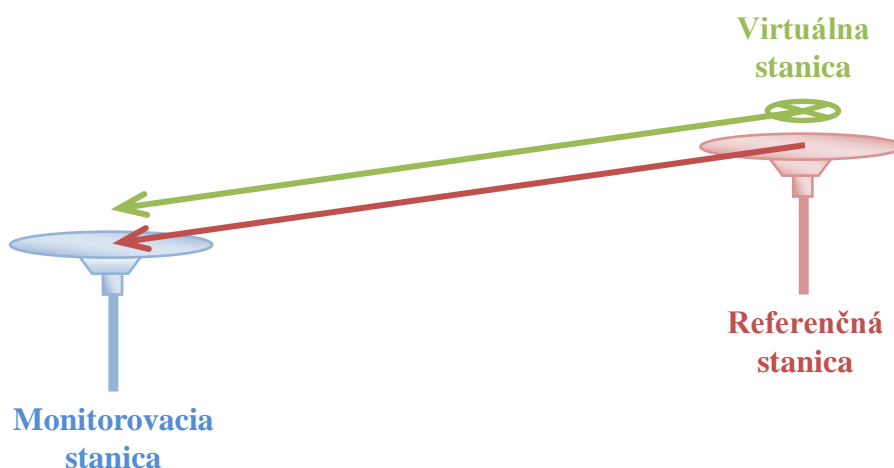
4.1 Overenie správnosti virtuálneho riešenia

Správnosť virtuálneho riešenia bolo overené pomocou fyzických monitorovacích staníc. Tieto stanice boli zvolené v rôznych častiach Slovenska, tak aby pokrývali jednotlivé regióny: západ, stred, východ, sever, juh (obr. 4.1).



obr. 4.1 Rozloženie testovaných základníc

Zriadenie fyzických monitorovacích staníc je veľmi nákladné, preto bol využitý bod GKU1, na ktorý sa umiestnil prijímač a na zriadenie ostatných staníc bol využitý testovací server SKPOS, kde po dobu testu boli zo sieťového riešenia vylúčené niektoré referenčné stanice a tie boli použité ako monitorovacie. Základ testu tvorí výpočet základnice referenčná stanica → monitorovacia stanica, a v tom istom časovom okamihu výpočet základnice VRS → monitorovacia stanica, kde VRS je generovaná pre polohu referenčnej stanice (obr. 4.2). Referenčné stanice boli volené tak, aby dĺžky základníc nadobúdali rôzne hodnoty (0,02 km – 32 km).



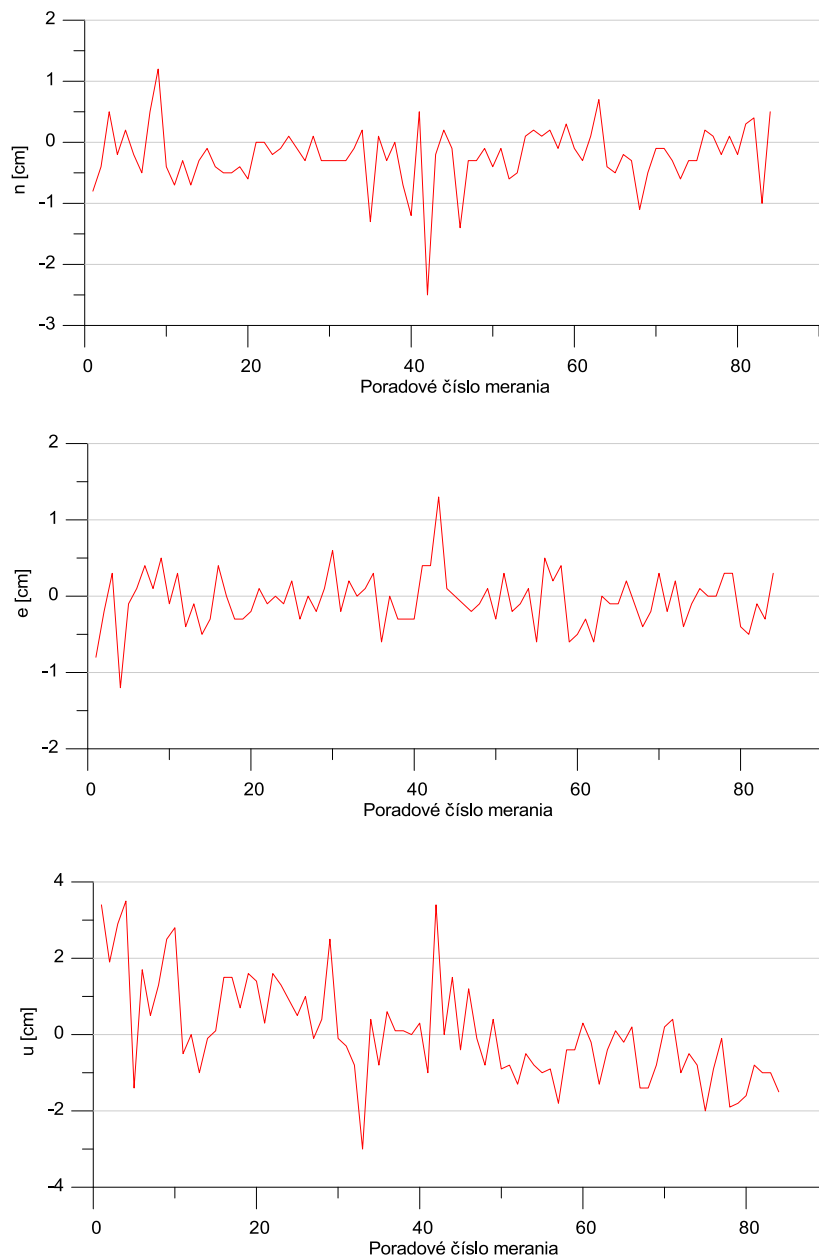
obr. 4.2 Princíp testu na overenie správnosti virtuálneho riešenia

Test prebiehal počas piatich dní, zaznamenaných bolo celkovo 777 hodnôt. Výpočet v oboch prípadoch prebiehal v reálnom čase softvérom RTKNAVI s rovnakými nastaveniami. Rozdiel medzi priamou základnicou a virtuálnym riešením nám predstavuje odchýlku virtuálneho monitoringu od skutočnej reálnej hodnoty v teréne. Odchýlky sú vyjadrené v lokálnom topocentrickom systéme $n/e/u$. Spracovaná bola každá základnica zvlášť ako aj charakteristiky všetkých základníc dohromady (tab. 4.1).

tab. 4.1 Charakteristiky odchýlok virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice

	n [cm]	e [cm]	u [cm]
Počet hodnôt	777	777	777
Minimálna hodnota	-3,2	-1,7	-3,0
Maximálna hodnota	2,3	2,7	6,8
Priemer	0,49	0,24	0,52
Stredná chyba	0,64	0,39	1,63
Stredná chyba výb. priemeru	0,02	0,01	0,06

Na (obr. 4.3) sú znázornené odchýlky pre konkrétnu základnicu BBYS → SKZV a jej charakteristiky sa nachádzajú v (tab. 4.2). Grafické znázornenia pre ostatné základnice sa nachádzajú v (Prílohe A).

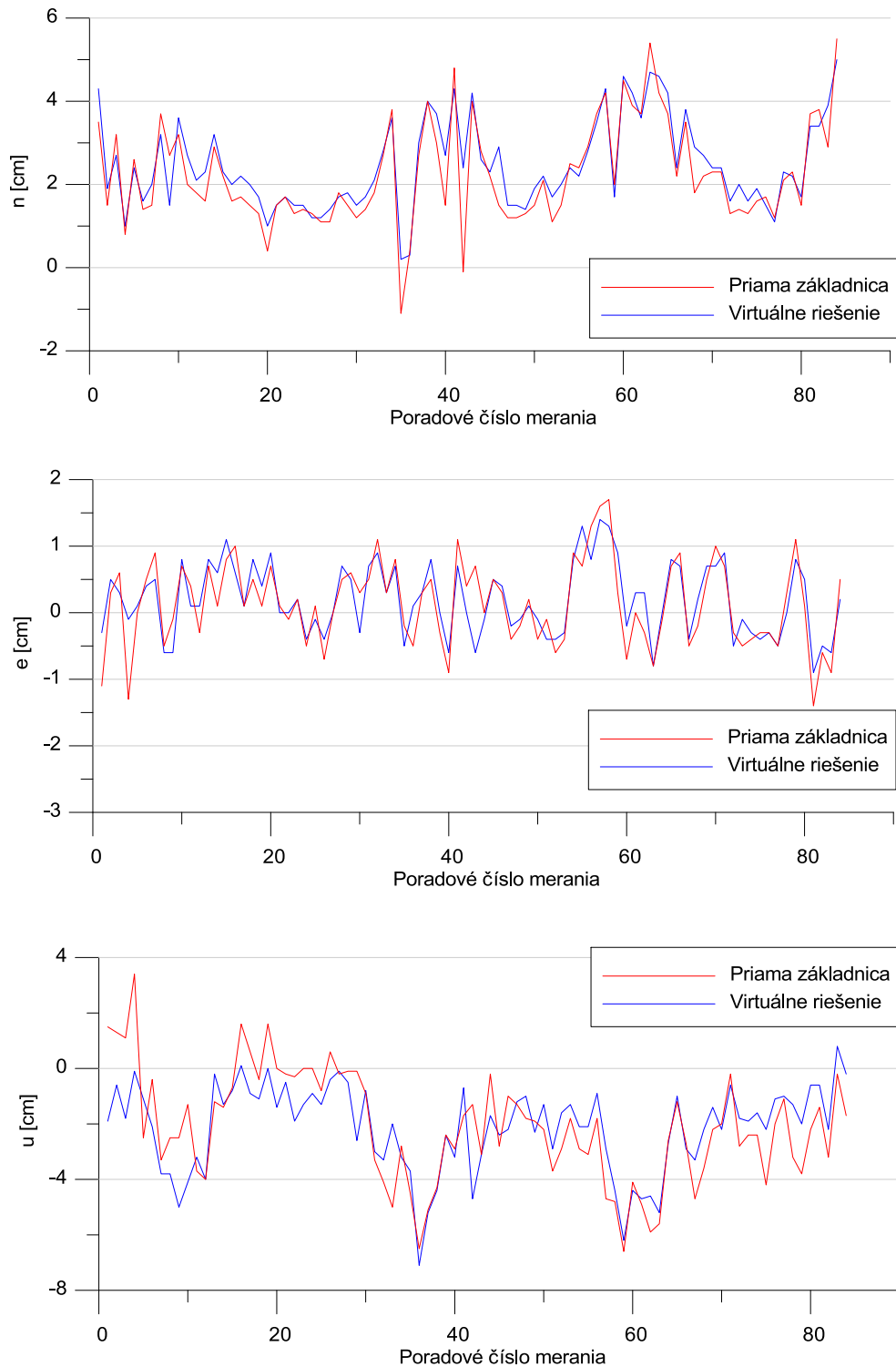


obr. 4.3 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice BBYS → SKZV

tab. 4.2 Charakteristiky odchýlok základnice BBYS → SKZV

	n [cm]	e [cm]	u [cm]
Počet hodnôt	84	84	84
Minimálna hodnota	-2,5	-1,2	-3,0
Maximálna hodnota	1,2	1,3	3,5
Priemer	-0,22	-0,05	0,06
Stredná chyba	0,49	0,35	1,32
Stredná chyba výb. priemeru	0,05	0,04	0,14

Okrem porovnania oboch riešení navzájom je zaujímavé aj grafické znázornenie odchýlok jednotlivých riešení voči referenčnej polohe referenčnej stanice (obr. 4.4).



obr. 4.4 Grafické znázornenie odchýlok oboch riešení oproti referenčnej polohe stanice: základnica BBYS → SKZV

Z grafických znázornení odchýlok a ich charakteristík je zrejmé, že odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice len vo výnimočných prípadoch prekračujú hodnoty ± 1 cm v súradniciach n a e , a ± 2 cm vo výškovej zložke u . Tieto odchýlky môžu byť do určitej miery spôsobené stabilitou a pohybom referenčných staníc, ktorých analýza je publikovaná napr. v (Droščák, 2010), a teda nedokonalou znalosťou súradníc bodu použitého ako referenčná stanica pri priamom určení základnice. Ďalším rušivým vplyvom mohol byť fakt, že meranie prebiehalo v zimnom období a snehová pokrývka na anténach negatívne ovplyvňuje hlavne výškovú zložku merania. Aj pri uvážení týchto negatívnych vplyvov môžeme ale konštatovať, že odchýlky dosahujú nízke hodnoty vzhľadom na deklarovanú presnosť SKPOS. Tak isto z odchýlok riešení voči referenčnej polohe znázornených na (obr. 4.4) je vidieť, že priebeh týchto riešení do veľkej miery koinciduje, čo potvrdzuje, že virtuálne riešenie je veľmi blízke reálnemu meraniu v teréne, a preto je ho možné použiť na monitoring kvality celého sieťového riešenia. Okrem porovnania súradníc bolo vykonané aj porovnanie dosiahnutej presnosti, a to prostredníctvom Fisherovho testu.

4.1.1 Fisherov test na overenie rovnosti disperzií (F-test)

Fisherov test je vhodné použiť na testovanie hypotézy či dva nezávislé súbory pochádzajú z normálne rozdelených súborov s rovnakými disperziami (Hefty, 2010). V našom prípade máme súbor získaný z merania priamej základnice a druhý súbor z virtuálneho riešenia. Tieto súbory meraní sme najskôr overili na normalitu testom empirických koeficientov asymetrie a excesu (Hefty, 2010). Na základe výsledkov týchto testov nezamietame hypotézu o normalite všetkých testovaných súborov na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Fisherov test na overenie rovnosti disperzií je definovaný (Hefty, 2010):

Nulová hypotéza:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Alternatívna hypotéza:

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Testovacia štatistika:

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{i1} - \hat{m}_1)^2}{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{i2} - \hat{m}_2)^2} = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2} \quad (4.1)$$

má Fisherovo-Snedecorovo rozdelenie pravdepodobnosti s $n_1 - 1$ a $n_2 - 1$ stupňami voľnosti (Hefty, 2010).

kde:

- x_{i1}, x_{i2} - súbory meraní,
- n_1, n_2 - početnosť hodnôt,
- \hat{m}_1, \hat{m}_2 - empirické stredné hodnoty,
- $\hat{\sigma}_1^2, \hat{\sigma}_2^2$ - empirické disperzie.

Fisherov test bol aplikovaný pre jednotlivé základnice a pre každú súradnicu $\varphi/\lambda/h$ na akceptačnej oblasti pre hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ (tab. 4.3).

tab. 4.3 Fisherov test na overenie rovnosti disperzií

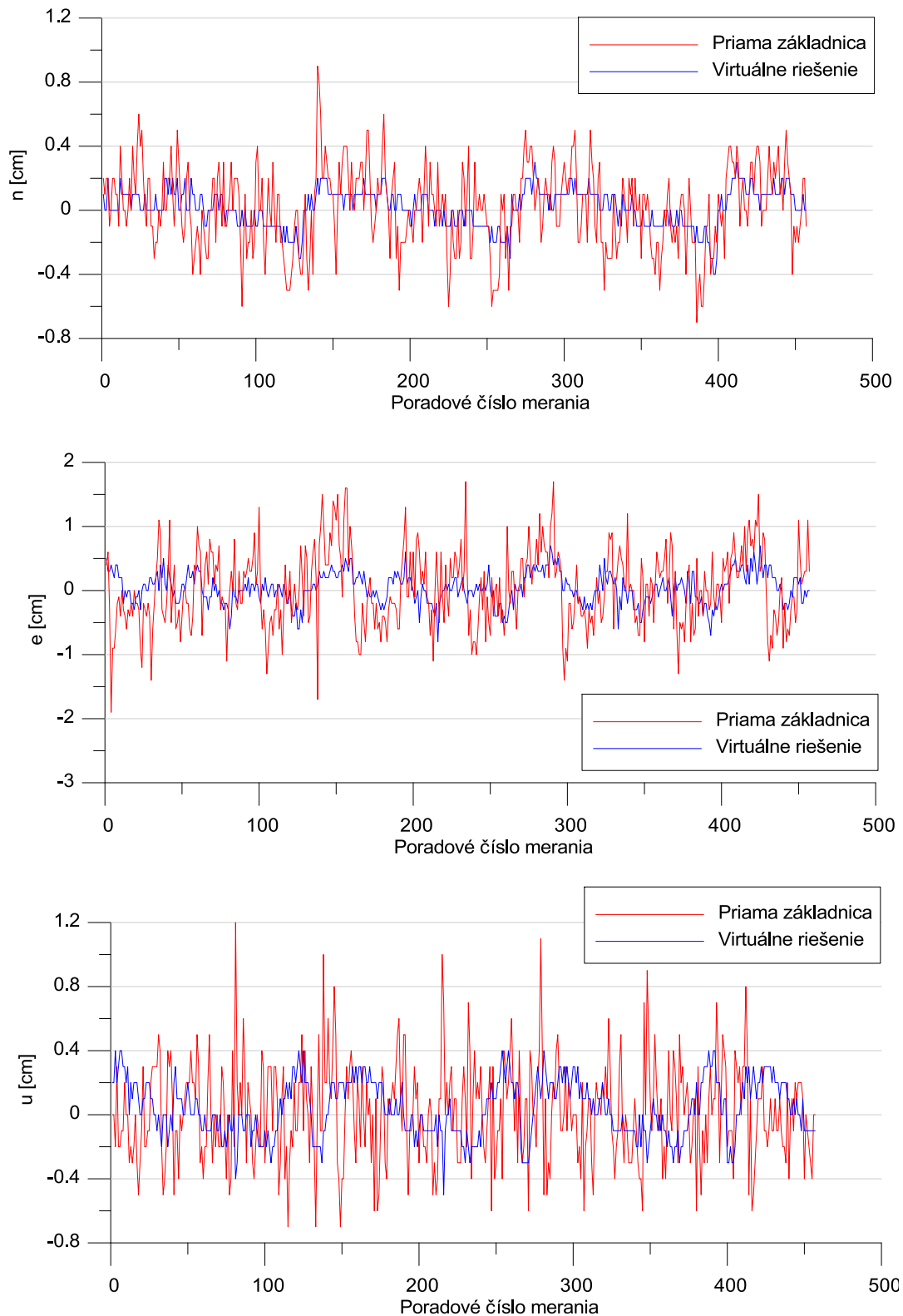
	Počet meraní	Testovacia štatistika \hat{F}			Akceptačná oblasť $\alpha = 0.05$	Výsledok testu		
		φ	λ	h		φ	λ	h
BBYS → SKZV	84	1.298	1.390	1.607	(0.718, 1.392)	√	√	x
GKU1 → GKU4	457	3.682	4.801	5.996	(0.863, 1.159)	x	x	x
JABO → MOP2	35	1.193	1.030	0.846	(0.533, 1.841)	√	√	√
PRES → KOSE	67	1.084	1.454	1.400	(0.682, 1.466)	√	√	√
SKMT → KUZA	68	1.760	1.061	1.072	(0.682, 1.466)	x	√	√
SKPB → KUZA	69	1.416	1.060	1.090	(0.682, 1.466)	√	√	√

Kde symboly reprezentujú:

- √ - na hladine významnosti 0,05 nezamietame nulovú hypotézu, že uvedené súbory pochádzajú z normálne rozdelených súborov s rovnakými disperziami,
- x - na hladine významnosti 0,05 zamietame nulovú hypotézu, že uvedené súbory pochádzajú z normálne rozdelených súborov s rovnakými disperziami.

Testovacie štatistiky pre základnicu GKU1 → GKU4 sa realizovali výrazne mimo akceptačnú oblasť. Čo je pravdepodobne spôsobené tým, že súradnice stanice GKU1 sme nepoznali s dostatočnou presnosťou, nakoľko boli určené iba z mesačnej observácie. Disperzie priamej základnice boli preto niekoľkonásobne vyššie ako disperzie virtuálneho riešenia o čom svedčí aj rozptyl hodnôt okolo strednej hodnoty znázornený na (obr. 4.5). Pri ostatných základniciach sa testovacia štatistika realizovala do akceptačnej oblasti okrem dvoch hodnôt, ktoré mierne prekročili akceptačnú oblasť. Preto môžeme vysloviť

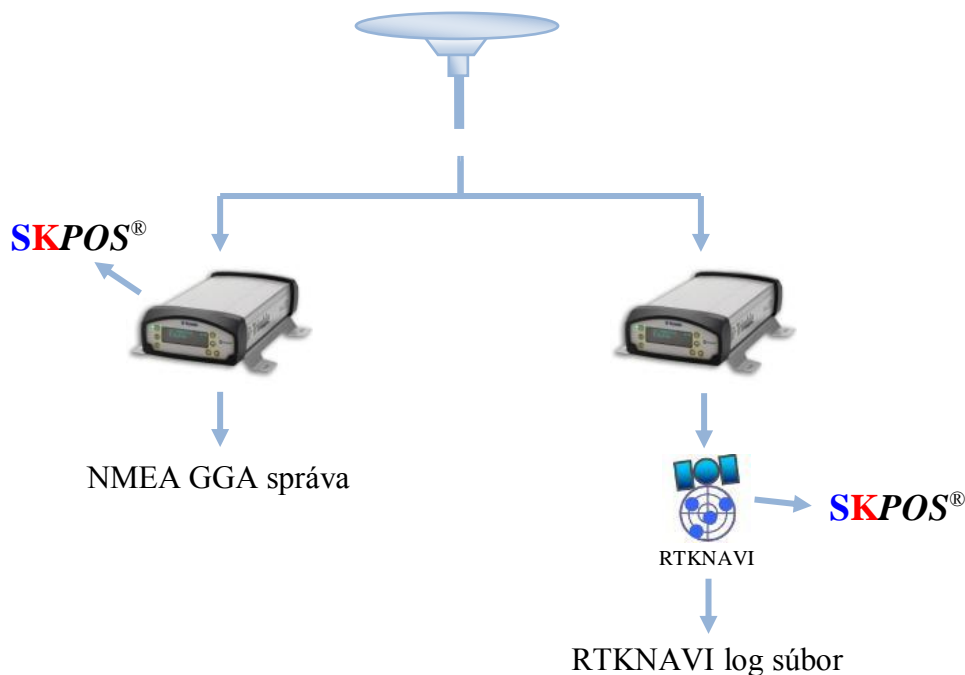
výrok, že virtuálne riešenie a výpočet priamej základnice sú nezávislé súbory meraní s rovnakými disperziami, a teda virtuálne riešenie je veľmi blízke skutočnému reálnemu meraniu aj čo sa týka presnosti.



obr. 4.5 Rozptyl hodnôt okolo strednej hodnoty, základnica GKU1 → GKU4

4.2 Overenie správnosti výpočtového softvéru

Všetky spracovania meraní a výpočty riešenia prebiehajú pomocou softvéru RTKNAVI. Keďže sa chceme čo najviac priblížiť hodnotám nameraným priamo v teréne bol vykonaný test, kde boli porovnané výsledky merania zo softvéru RTKNAVI so softvérom zabudovaným priamo v prijímači. Teda prijímač sa pripájal do sieťového riešenia SKPOS a počítal svoju polohu z korekčných dát a súčasne prebiehal ten istý výpočet pomocou RTKNAVI s tým, že ako vstupné dáta figurovali observačné dáta z prijímača. Nakoľko nami použitý prijímač neumožňoval odosielať surové observačné dáta a zároveň počítať, a poskytovať fixnú polohu, bol použitý rozdeľovač anténneho signálu a na jednu GNSS anténu boli pripojené dva identické prijímače s rovnakými nastaveniami. Jeden počítal svoju polohu pripojením do SKPOS a druhý odosielał observačné dáta na výpočet pomocou RTKNAVI (obr. 4.6).



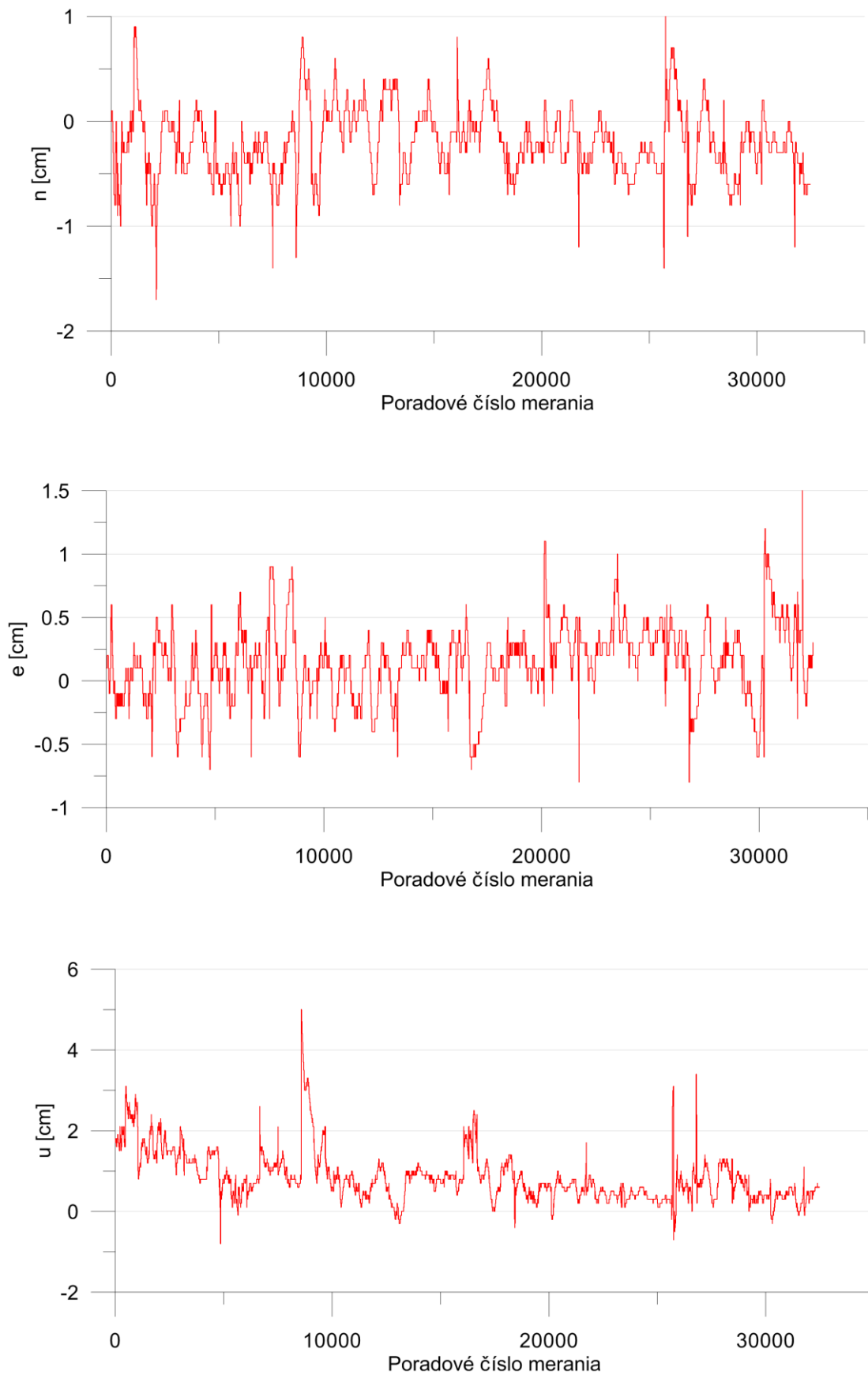
obr. 4.6 Schéma zapojenia prijímačov a odosielanie dát

Výstup je vo forme NMEA GGA správy a RTKNAVI log súboru. V ktorých sú identifikované hodnoty v rovnakom čase s 5 Hz záznamom. Test prebiehal počas piatich dní, celkovo bolo zaznamenaných 32 478 hodnôt z každého riešenia (tab. 4.4).

tab. 4.4 Odchýlky výpočtu softvérom RTKNAVI od softvéru integrovaného v prijímači

	n [cm]	e [cm]	u [cm]
Počet hodnôt	32 478	32 478	32 478
Minimálna hodnota	-1,7	-0,8	-0,8
Maximálna hodnota	1,0	1,5	5,0
Priemer	-0,21	0,14	0,85
Stredná chyba	0,32	0,29	0,62
Stredná chyba výb. priemeru	0,00	0,00	0,00

Z minimálnych a maximálnych hodnôt ako aj z priemeru a strednej chyby môžeme konštatovať, že odchýlky softvéru RTKNAVI od softvéru integrovaného v prijímači dosahujú minimálne hodnoty. Navyše použitím rozdeľovača anténneho signálu a dvoch prijímačov sa dopúšťame určitej systematickej chyby, ktorá vzniká v dôsledku špecifických vlastností elektronických obvodov prijímača (Marhula a kol., 2012). Grafické znázornenie odchýlok softvérov sa nachádza na (obr. 4.7). Vo výškovej zložke u možno vidieť systematický posun, odchýlky oscilujú okolo hodnoty 1 cm. Tento posun môže byť spôsobený rozdielnym algoritmom redukcie hodnôt z fázového centra na referenčný bod. Pri vykonávaní testu bola navyše zistená závislosť poskytovaných korekcií SKPOS od výšky vystupujúcej v odosielanej NMEA GGA správe. Preto bola následne vykonaná implementácia výškového modelu do RTKNAVI, aby sa hodnoty čo najviac približovali skutočným v teréne. Test preukázal, že softvér RTKNAVI pracuje správne a odchýlky sú zanedbateľné oproti deklarovanej presnosti SKPOS. Realizácia takéhoto testu nie je z technologického hľadiska jednoduchá, no v budúcnosti by bolo určite vhodné vykonať obdobné testy vo viacerých lokalitách.



obr. 4.7 Odchýlky výpočtu softvérom RTKNAVI od softvéru integrovaného v prijímači

5 SKÚSENOSTI S MONITORINGOM SIEŤOVÉHO RIEŠENIA SKPOS

Predkladaná diplomová práca nám popisuje automatizovaný nástroj na monitoring kvality sieťového riešenia SKPOS pracujúceho v reálnom čase. Po implementácii by tak mohol správca služby, ale aj samotný používatelia prostredníctvom webovej aplikácie sledovať kvalitu poskytovaných služieb. Používatelia by boli obohatení o dôležité informácie, ktoré doteraz nemali k dispozícii, a v budúcnosti by mohli deklarovať presnosť svojich prác práve predkladaným nástrojom. Okrem sledovania kvality nám aplikácia umožňuje monitorovanie dostupnosti služieb – sledovanie výpadkov, a tak nám poskytuje informácie o fungovaní a prevádzke služby. Aplikácia monitoringu bola spustená prvý aprílový týždeň a v nasledujúcich riadkoch si vás dovoľím oboznámiť z prvými výsledkami a skúsenosťami.

5.1 Prvé výsledky z monitoringu sieťového riešenia SKPOS

Celkový počet meraní, ktorých bolo počas mesiaca apríl zaznamenaných je 12 638. Priemerná hodnota odchýlok v polohe dosiahla 1,5 cm a vo výške 2,8 cm (tab. 5.1). Tieto odchýlky sú v súlade s očakávanými hodnotami, keďže presnosť služby SKPOS je definovaná na 2 cm – 4 cm.

tab. 5.1 Výsledky monitoringu za mesiac apríl 2013

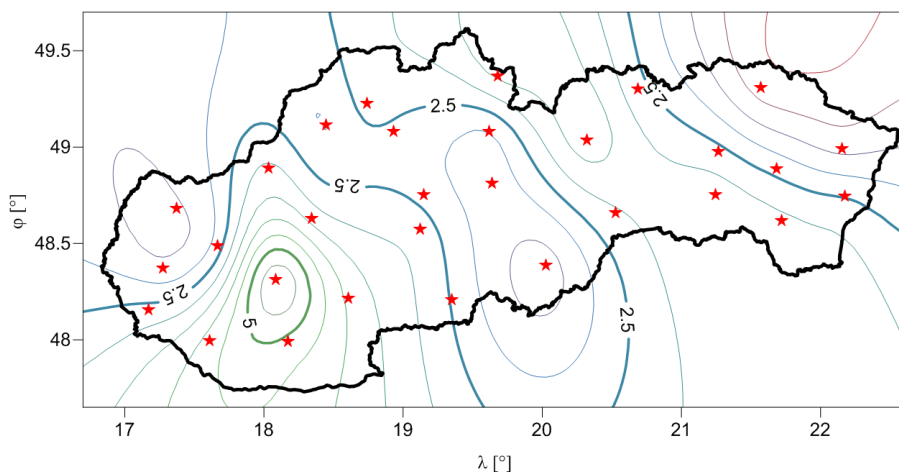
	ne [cm]	u [cm]
Počet hodnôt	12 638	12 638
Minimálna hodnota	0,0	0,0
Maximálna hodnota	15,7	19,4
Priemer	1,5	2,8
Stredná chyba	1,96	3,68
Stredná chyba výb. priemeru	0,02	0,03

Monitoring preukázal, že presnosť sieťového riešenia je v čase premenlivá, čomu svedčia niektoré odľahlé hodnoty vysoko prevyšujúce priemer. Preto je nutné, aby používatelia služby svoje meranie opakovali s určitým časovým intervalom. Ďalej bolo zistené že pri jednotlivých meraniach nie vždy dôjde k dosiahnutiu fixného riešenia, hlavne pri

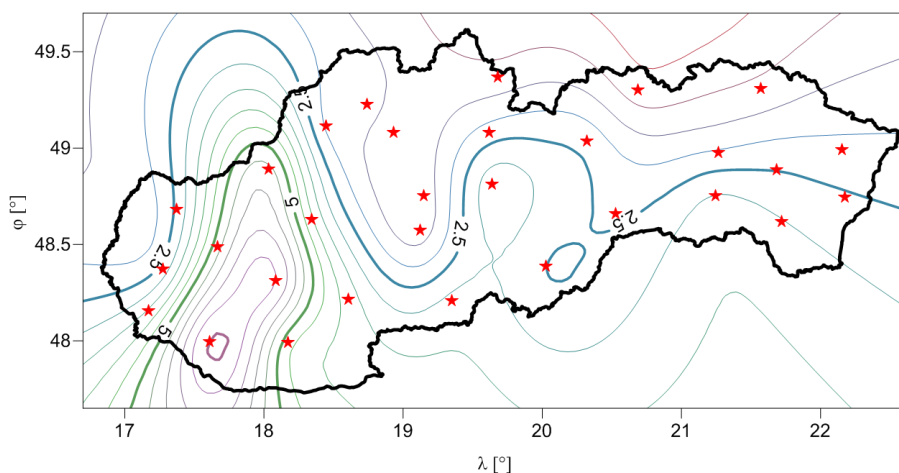
základniciach dĺžky 23 km. Tento fakt sa prejavuje vo veľkej miere cez deň a pripisujeme ho zvýšenému stavu ionosféry. Preto by bolo vhodné z dlhodobejšieho merania určiť váhu a množstvo takýchto meraní a ak to bude nutné, uskutočniť úpravu napr. skrátením dĺžky základnice.

5.2 Analýza prvých výsledkov

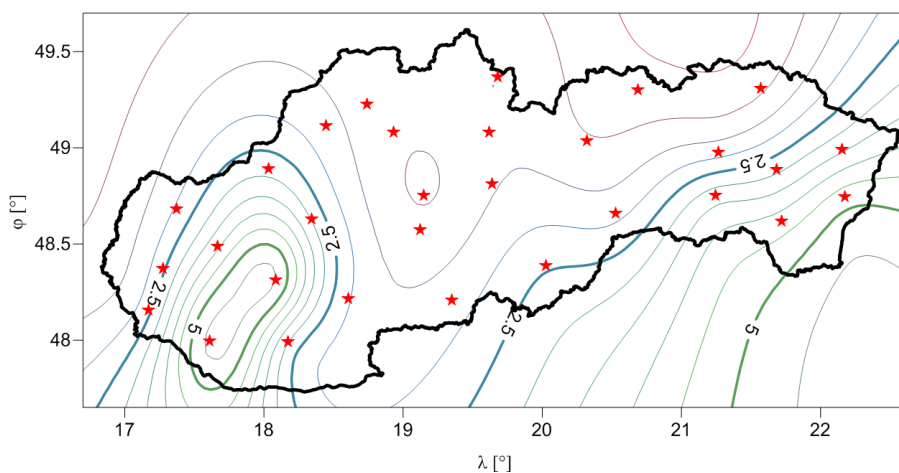
Pomocou aplikácie a dopytov v databáze, kde sú dáta uložené, je možné sledovať priebeh – vývoj odchýlok v čase, a to s hodinovým intervalom. Na tento účel boli pre deň 19.4. vytvorené mapy izočiar znázorňujúce odchýlky v polohe a výške. Tieto informácie nám napomáhajú k lepšiemu poznaniu a porozumeniu správania sa sieťového riešenia. Na obrázkoch (obr. 5.1) až (obr. 5.4) je znázornený priebeh odchýlok výškovej zložky a je tak možné sledovať vývoj týchto odchýlok, ktorý je v tomto prípade plynulý. Ostatné mapy izočiar sa nachádzajú v (Prílohe B).



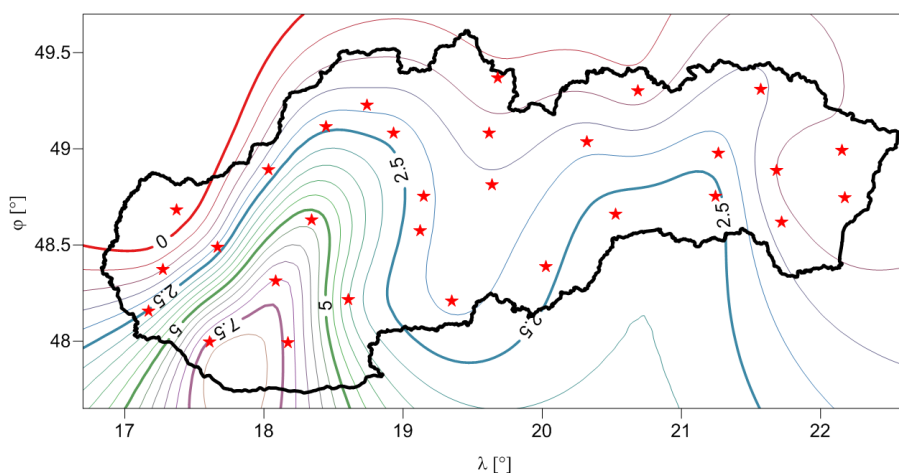
obr. 5.1 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 5 hod.



obr. 5.2 Priebeh odchýlok v zložke u, čas: 6 hod.

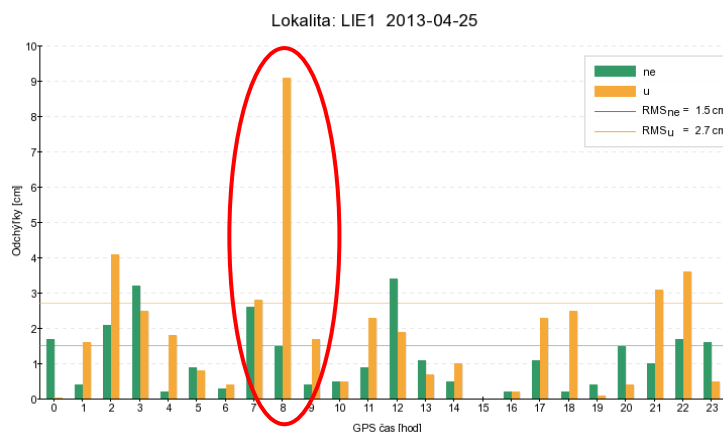


obr. 5.3 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 7 hod.

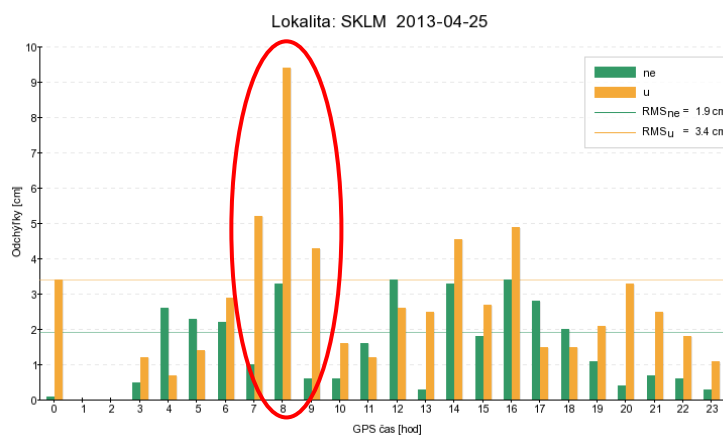


obr. 5.4 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 8 hod.

To, že je priebeh plynulý a niektoré závislosti sa prejavujú vo väčšom území je možné sledovať aj na grafickom znázornení odchýlok získaného priamo z webovej aplikácie monitoringu. Na obrázkoch (obr. 5.5) a (obr. 5.6) sú odchýlky pre rovnaký deň pre dve susedné územia LIE1 a SKLM. Na oboch grafoch je možné vidieť zvýšenú odchýlku vo výške v čase ôsmich hodín.



obr. 5.5 Grafické znázornenie odchýlok, lokalita: LIE1



obr. 5.6 Grafické znázornenie odchýlok, lokalita: SKLM

Ďalší poznatok, ktorý je možné sledovať je veľkosť polohových odchýlok n a e . Vyslovme predpoklad, že odchýlka v smere sever – juh (n) dosahuje väčšie hodnoty ako odchýlka v smere západ – východ (e). Čo je spôsobené sklonom dráhy družíc, a teda priaznivejším rozmiestnením družíc v smere západ – východ. Z nášho monitoringu, ktorý bol spustený v mesiaci apríl vyšla priemerná hodnota odchýlky n 1,1 cm a odchýlky e 0,8 cm. Tieto hodnoty sa len nepatrne líšia, ale potvrdzujú vyslovený predpoklad. Určite by bolo vhodnejšie tieto hodnoty porovnávať z dlhodobejších meraní, z ktorých by bolo možné získať aj ďalšie informácie ako korelácia odchýlok cez deň a noc, závislosť hodnôt na čase, ročnom období, významných periódach.

5.3 Podnety a myšlienky do budúcnosti

V budúcnosti je stále priestor na vylepšenie a zdokonalenie aplikácie, a to:

- pridaním interaktívnej mapy, kde po kliknutí na určitý bod by sa zobrazilo grafické znázornenie odchýlok pre súradnice tohto bodu. Odchýlky by sa preberali z najbližšej stanice alebo interpolovali z okolitých staníc, to je už vec následného testovania,
- zahrnutím zahraničných staníc pripojených do sieťového riešenia SKPOS. Nakoľko v súčasnosti nemáme prístup k týmto staniciam, preto sú monitorované len stanice na území SR,
- uvážením pohybu referenčných staníc – uvážením trendu a periodických zložiek, čo by viedlo ešte k objektívnejšiemu vyjadreniu odchýlok.

Po drobných úpravách by bolo možné aplikáciu použiť aj na monitorovanie iných súkromných sietí. Nakoľko SKPOS realizuje referenčný systém ETRS89 na Slovensku, vznikom súkromných sietí nastáva otázka či tieto siete pracujú homogénne s SKPOS a realizujú ten istý referenčný rámec. Pripojením do sieťového riešenia súkromnej siete a monitorovaním referenčných staníc SKPOS by sme získali odchýlky týchto dvoch realizácií.

ZÁVER

Predložená práca teoreticky popisuje infraštruktúru Slovenskej priestorovej observačnej služby, metódy monitoringu sieťového riešenia, a predovšetkým opisuje monitoring kvality Slovenskej priestorovej observačnej služby. Poukazuje, že aj bez finančných prostriedkov, bez nutnosti budovania monitorovacích staníc, a s využitím open source softvéru sa dá vytvoriť plnohodnotný monitoring celého územia Slovenska. Monitoring neposkytuje informácie o presnosti konkrétnych meraní v teréne, ktoré sú závislé od dĺžky observácie, vnútornej presnosti prístroja a pod., ale poskytuje informácie o sieťovom riešení, teda s akou presnosťou dokáže služba generovať virtuálne referenčné stanice. Správnosť navrhnutého a zrealizovaného monitoringu bola skontrolovaná na základe testov na overenie správnosti virtuálneho riešenia a správnosti výpočtového softvéru. Tieto testy preukázali, že koncept virtuálneho monitoringu je veľmi blízky skutočným hodnotám v teréne, a preto je použiteľný na monitoring celého sieťového riešenia. Prvé výsledky z monitoringu sú v súlade s očakávanými hodnotami a deklarovanou presnosťou SKPOS no potvrdil sa fakt, že sieťové riešenie je v čase premenlivé, a preto je nutné, aby používatelia služby svoje meranie opakovali v určitom časovom intervale. Okrem hlavného účelu, a to monitorovania kvality sieťového riešenia, nám aplikácia poskytuje ďalšie dôležité informácie o fungovaní a prevádzke služby, závislosti odchýlok od času, ročného obdobia a pod. V úvode stanovený cieľ, vytvoriť monitoring spĺňajúci všetky požiadavky správcu, týmto považujeme za splnený. Zavedenie monitoringu do ostrej prevádzky by poskytovalo správcovi, ale aj samotným používateľom, dôležité informácie o kvalite sieťového riešenia v jednotlivých lokalitách a v ľubovoľnom čase. Používateľ by si tak pred, počas aj po skončení merania mohol overiť presnosť služby v záujmovej lokalite. Zavedenie monitoringu kvality by bolo ďalším krokom k skvalitneniu poskytovaných služieb SKPOS.

LITERATÚRA

HEFTY, J. – HUSÁR, L. 2003: *Družicová geodézia : Globálny polohový system.*

Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2003. 186 s. ISBN 80-227-1823-8.

FERIANC, D. – BEŇOVÁ, E. – BOLECH, V. – DROŠČÁK, B. – ROHÁČEK, M., 2012:

Geodetické základy Slovenska v roku 2012. In *Odborný seminár 60 rokov pôsobenia Katedry geodetických základov*. Kočovce: Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

HORVÁTH, T., 2010: GNSSnet.hu system monitoring and quality control. In *17-th*

Conference of the EUPOS ISC. Novi Sad: Serbia.

TRIMBLE NAVIGATION LTD., 2005: *GPSNet Technical Notes*. [online]. [cit. 5.5.2013].

Dostupné na internete: <[http://www.evsgps.com/PDFS/Datasheet - survey Trimble GPSNet Software.pdf](http://www.evsgps.com/PDFS/Datasheet_survey_Trimble_GPSNet_Software.pdf)>.

LUKEŠ, Z. – MERVANT, L. – REZNÍČEK, J. – ŠNAJDROVÁ, M., 2010: Kontrola

presnosti síťového řešení CZEPOS v reálnom čase. In *Seminár s medzinárodnou účasťou Družicové metody v geodezii a katastru*. Brno: Vysoké učení technické, fakulta stavební. s. 32-38.

MARHULA, M. – HURAJOVÁ, M. – KRIVOSUDSKÁ, M., 2012: Porovnanie

parametrov prijímačov GNSS s využitím rozdeľovača anténneho signálu. In *Študentská vedecká konferencia 2012*. Bratislava: Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

HEFTY, J., 2010: *Prednášky z predmetu Analýza a spracovanie meraní II*. Bratislava:

Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta.

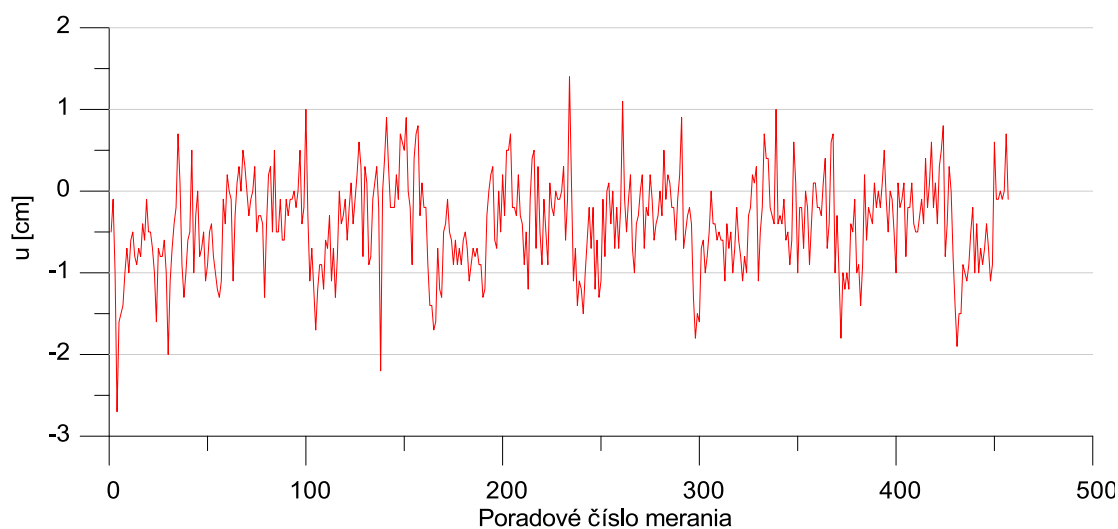
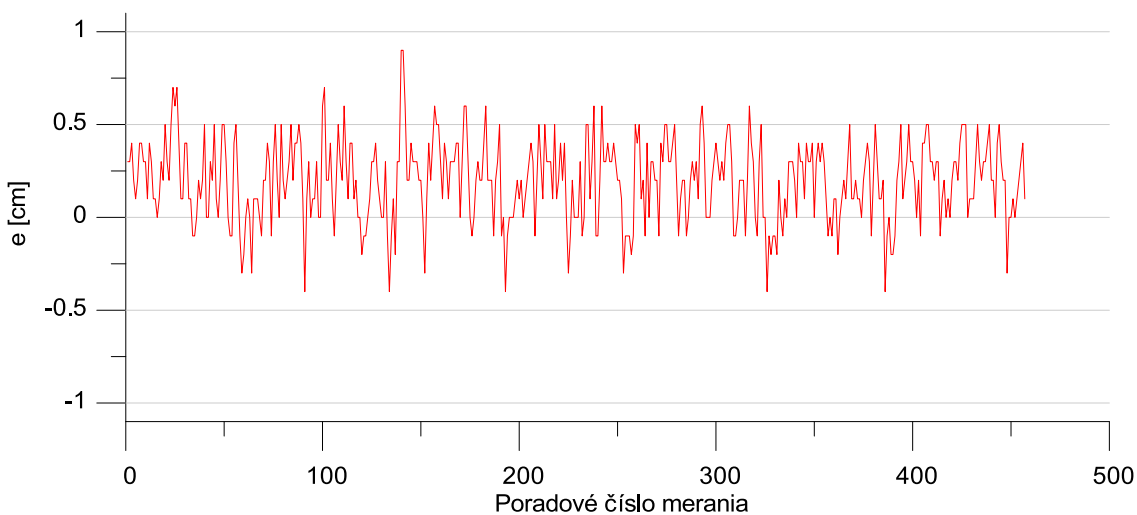
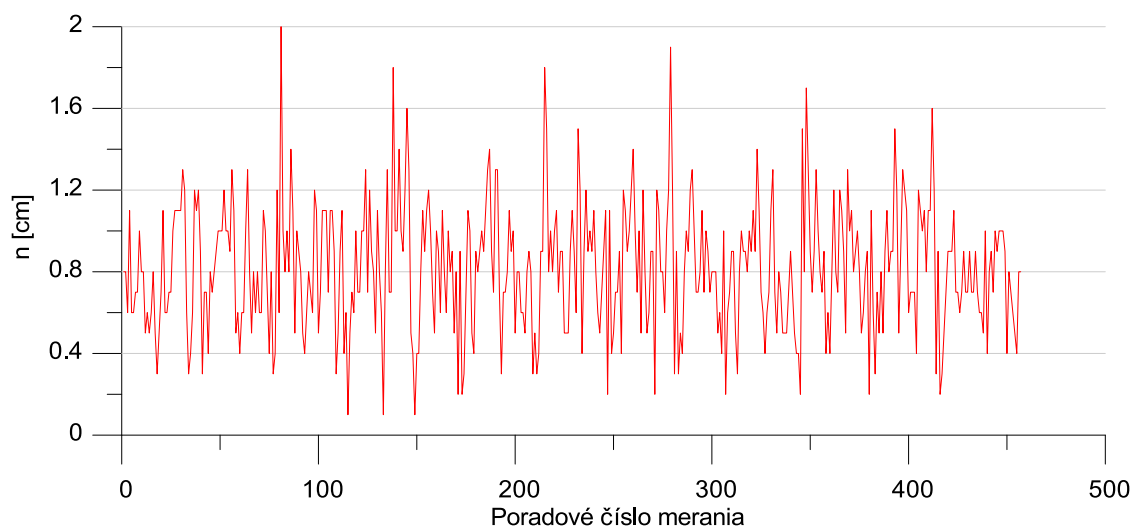
TAKASU, T., 2013: *RTKLIB ver. 2.4.4 Manual*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na

internet: <http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.1.pdf>.

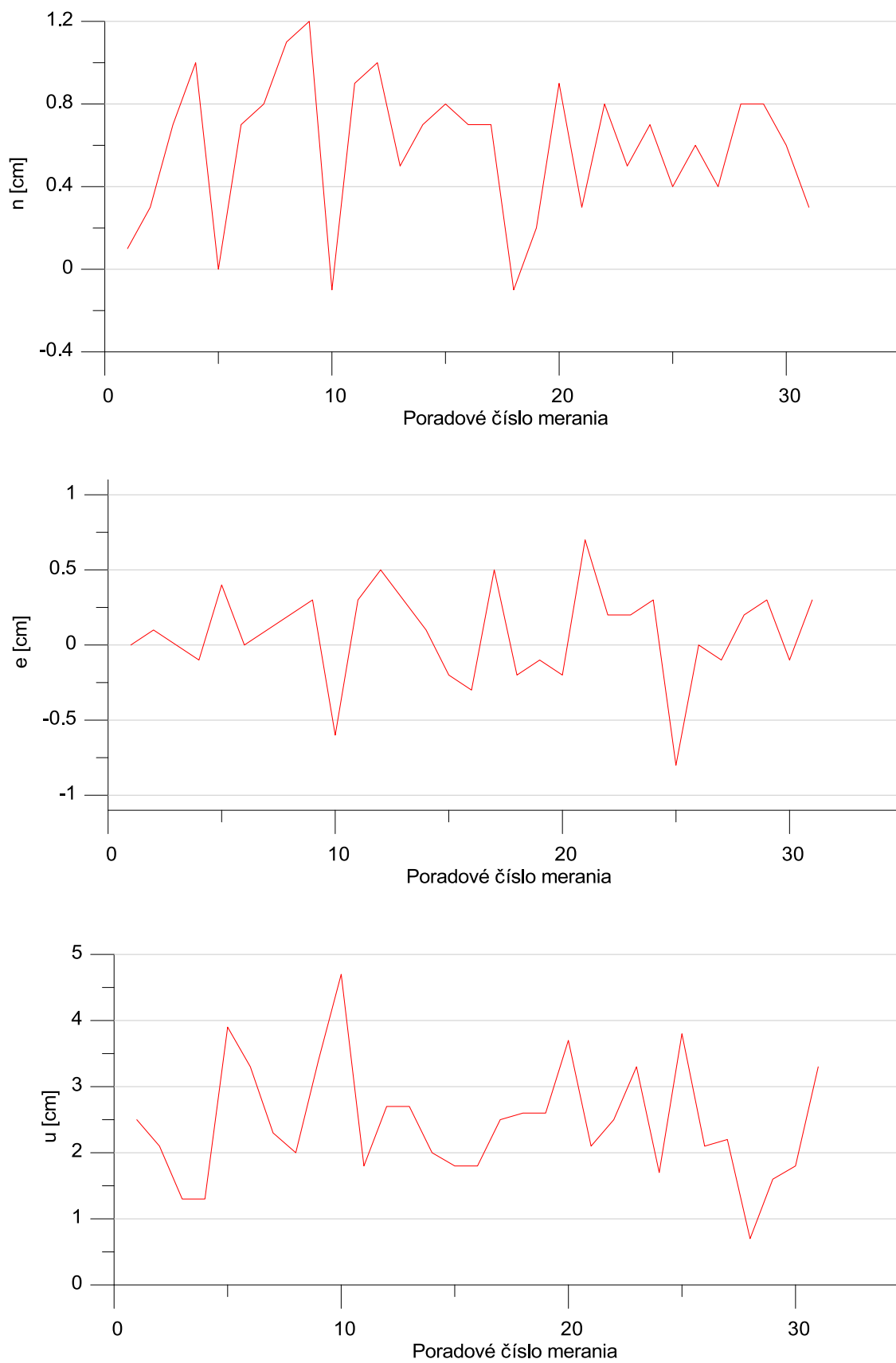
- DROŠČÁK, B., 2010: Skúsenosti z monitorovania stability staníc SKPOS. In *Seminár družicové technológie a súčasná geodézia*. Brno: Vysoké učení technické, fakulta stavební.
- FERIANC, D. – LEITMANNOVÁ, K. – ŠALÁTOVÁ, E., 2007: SKPOS – Slovenská priestorová observačná služba. In *XIII. Medzinárodné slovensko-poľsko-české geodetické dni*. Liptovský Ján.
- DROŠČÁK, B., 2010: SKPOS permanent stations stability monitoring. In *International Symposium on Global Navigation Satellite Systems*. Brussel, Belgium.
- ÚGKK SR, 2011: *Vyhláška Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky č. 75/2011*.
- LANDAU, H. – VOLLATH, U. – CHEN, X., 2002: Virtual reference station systems. In *Journal of Global Positioning Systems*. 2002. vol. 1, no. 2, p. 137-143.
- AutoHotkey web, 2013: *Webová stránka open source skriptovacieho nástroja AutoHotkey*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.autohotkey.com>>.
- CZEPOS web, 2013: *Webová stránka siete permanentných staníc GNSS Českej republiky*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.czeupos.cuzk.cz>>.
- GKÚ web, 2013: *Webová stránka Geodetického a kartografického ústavu Bratislava*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.gku.sk>>.
- GNSSnet web, 2013: *Webová stránka siete permanentných staníc GNSSnet*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.gnssnet.hu>>.
- RTKLIB web, 2013: *Webová stránka open source softvéru RTKLIB*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.rtklib.com>>.
- SKPOS web, 2013: *Webový portál Slovenskej priestorovej observačnej služby*. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.skpos.gku.sk>>.
- KALINA, M. – BACIGÁL, T. – SCHIESSLOVÁ, A., 2010: *Základy pravdepodobnosti a matematickej štatistiky*. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2010. ISBN 978-80-227-3273-4.

PRÍLOHY

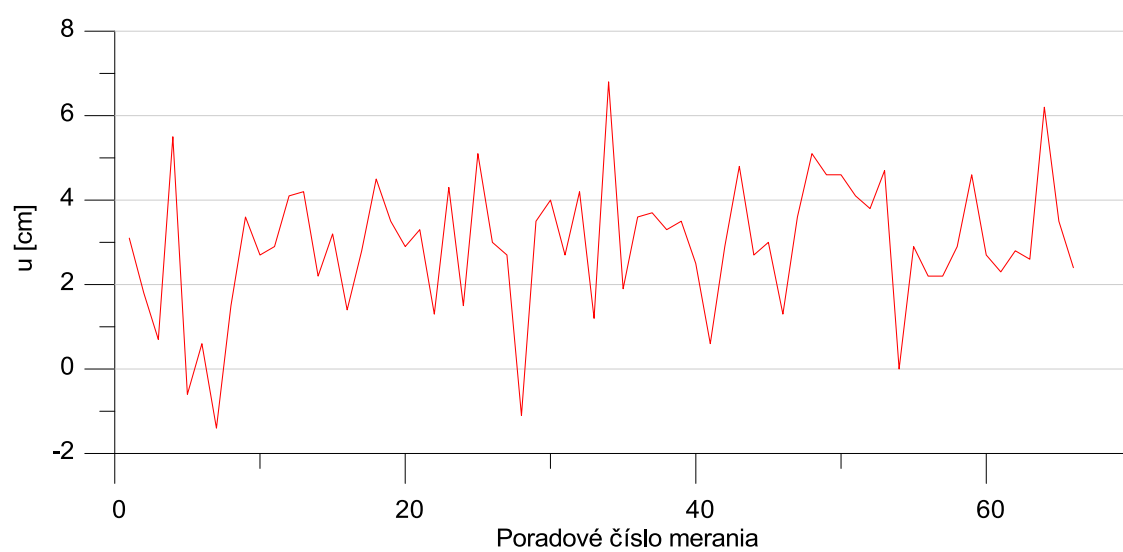
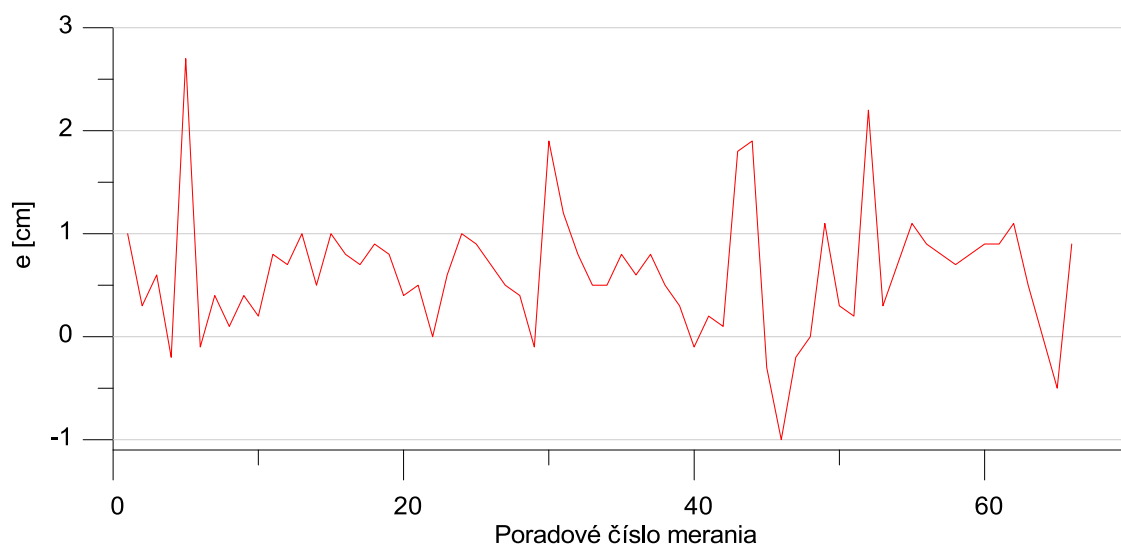
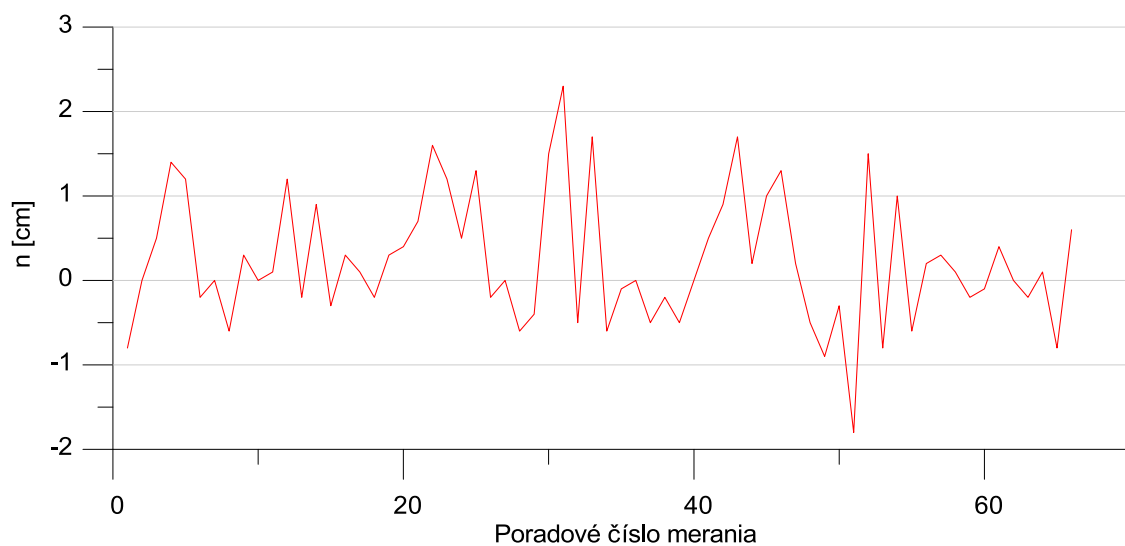
Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice

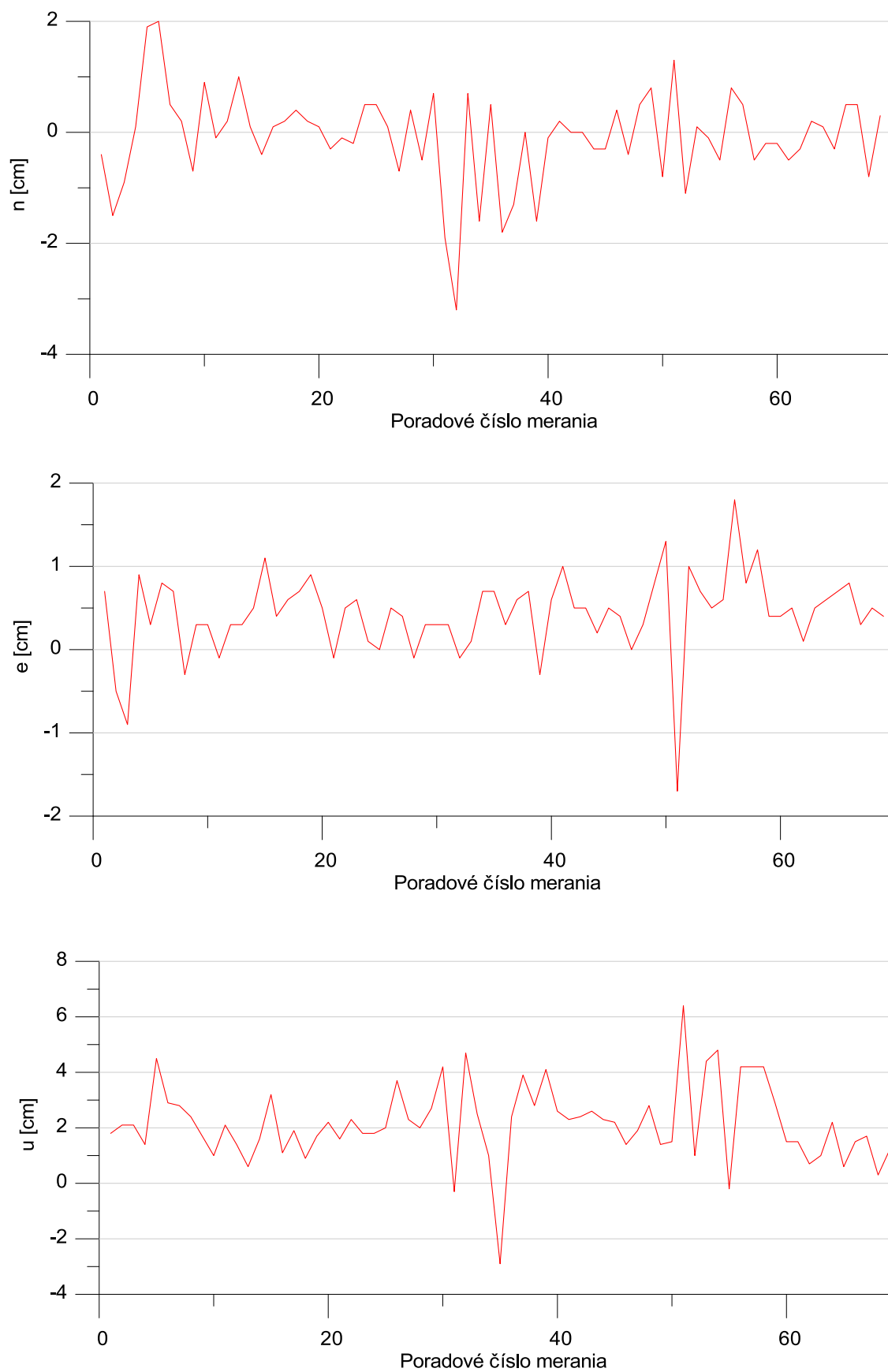


obr. A.1 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice GKU1 → GKU4

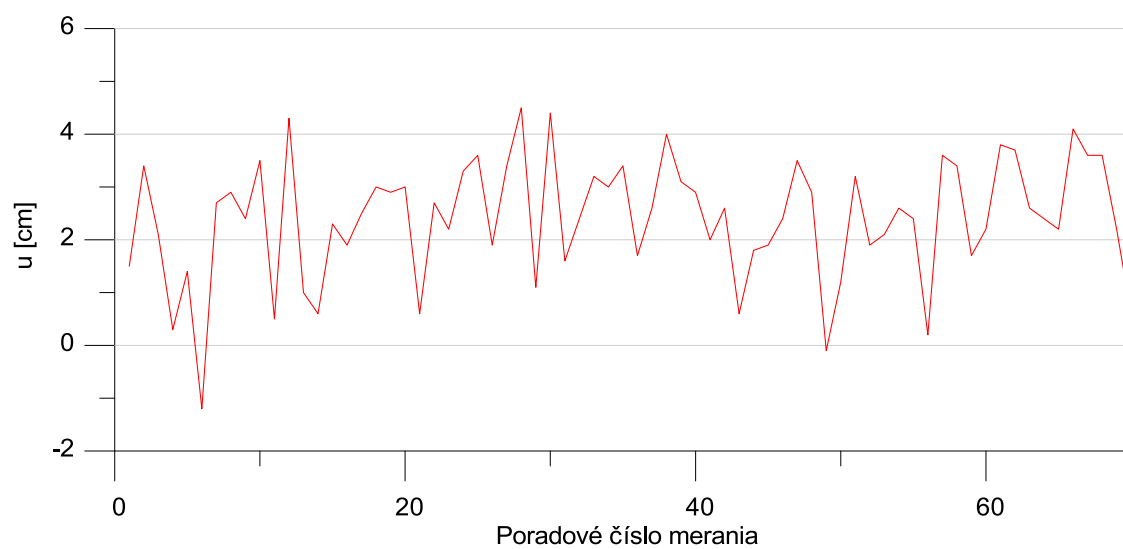
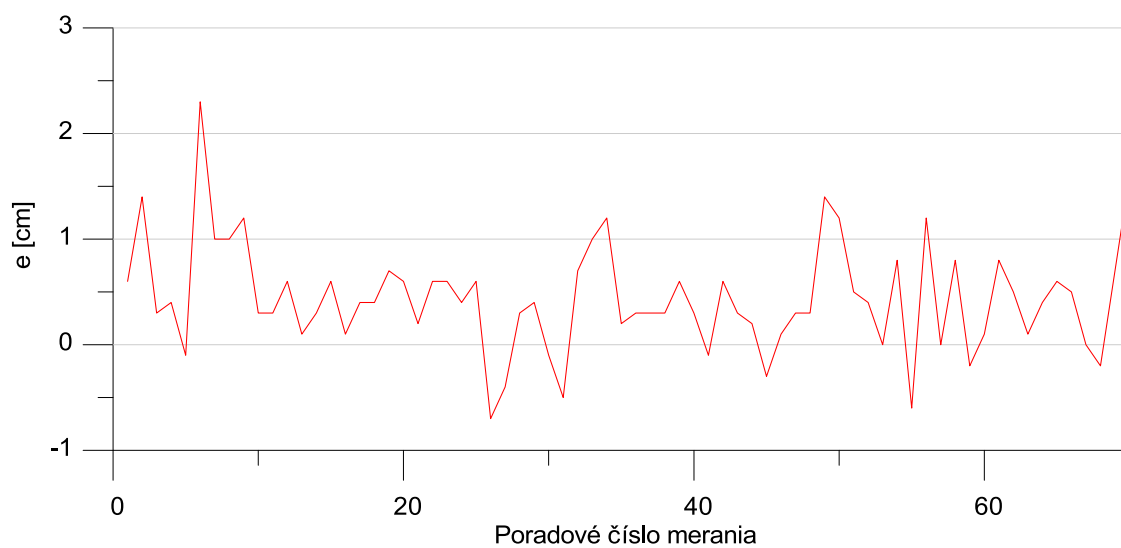
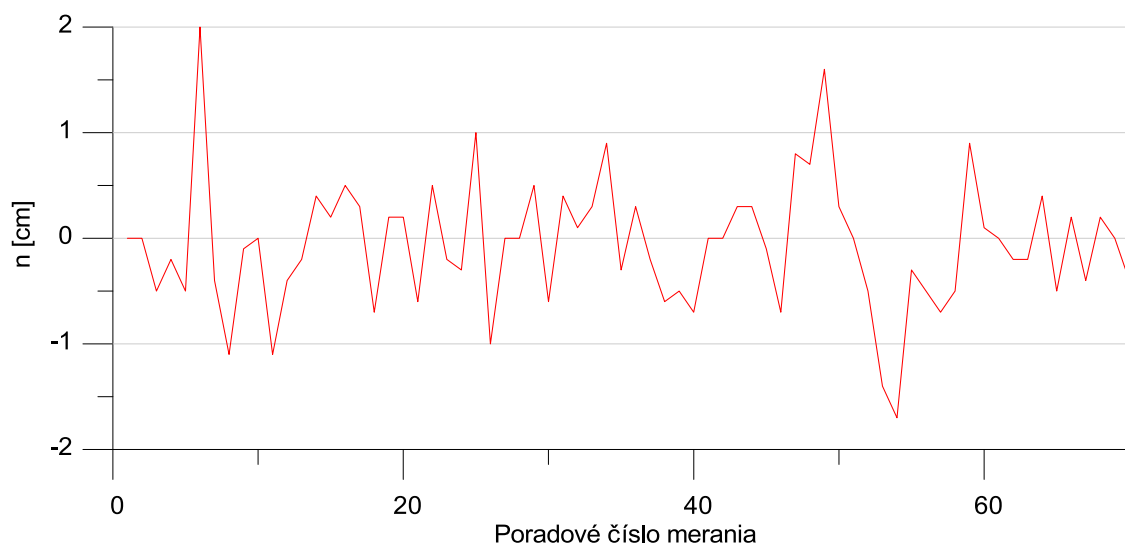


obr. A.2 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice JABO → MOP2

obr. A.3 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice PRES \rightarrow KOSE

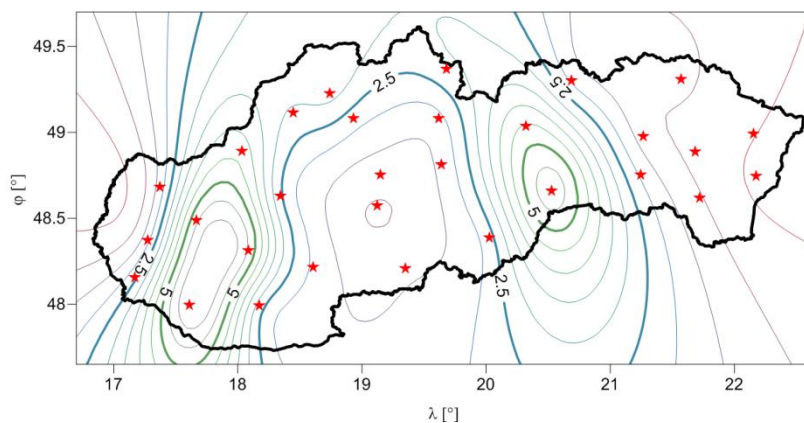


obr. A.4 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice SKMT → KUZA

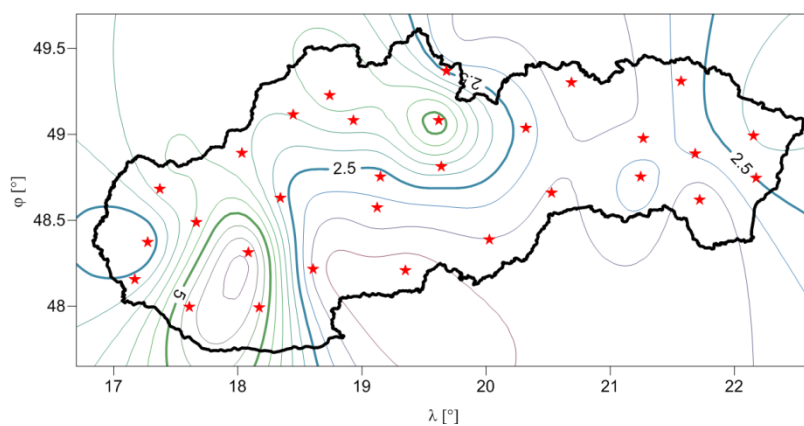


obr. A.5 Odchýlky virtuálneho riešenia od výpočtu priamej základnice SKPB → KUZA

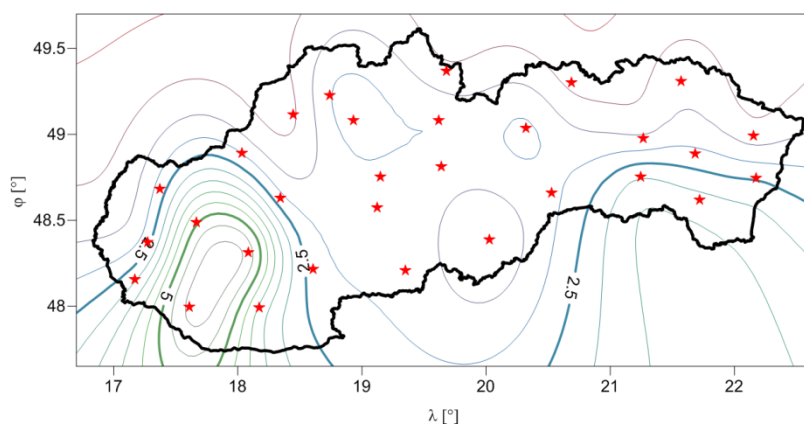
Mapy izočiar odchýlok vo výškovej zložke



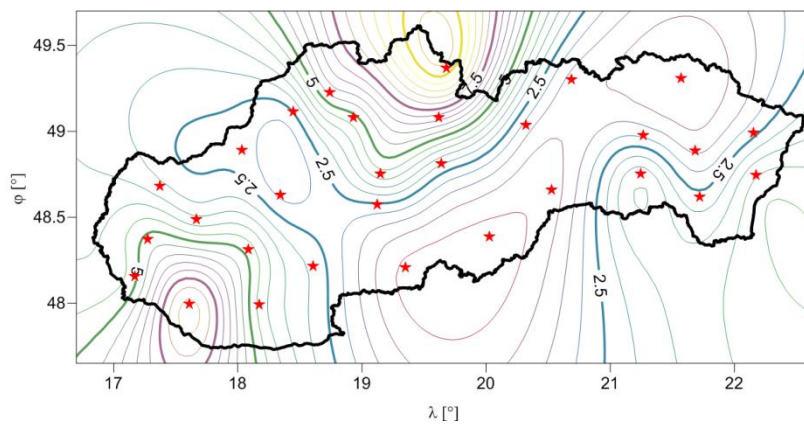
obr. B.1 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 0 hod.



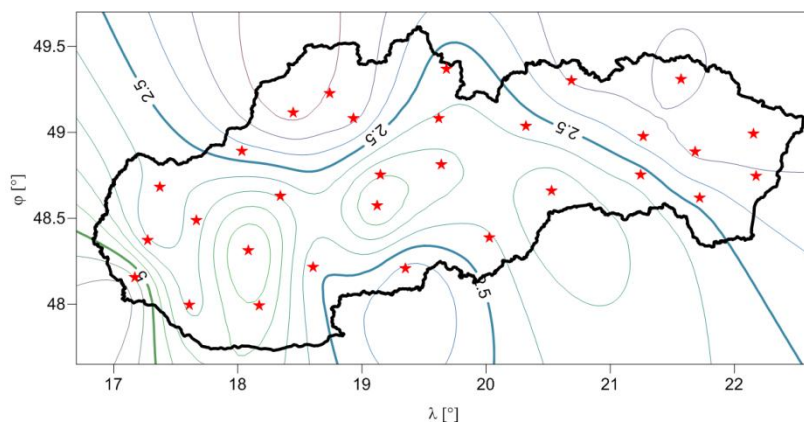
obr. B.2 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 1 hod.



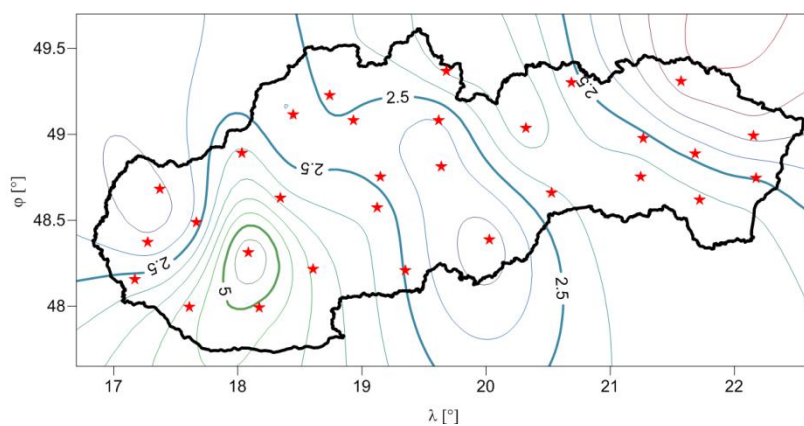
obr. B.3 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 2 hod.



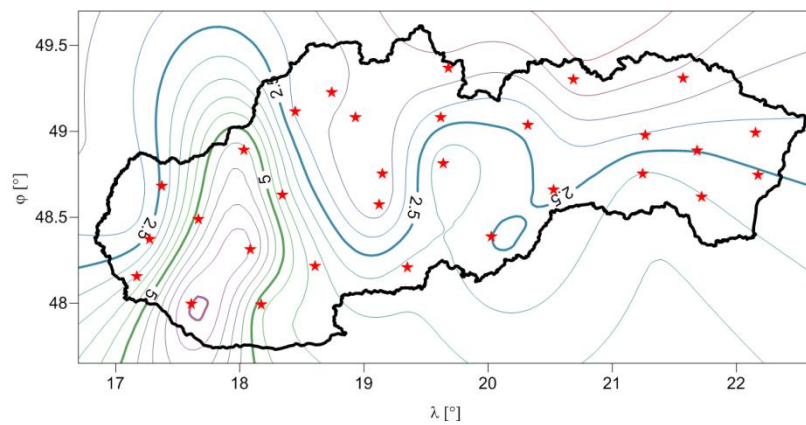
obr. B.4 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 3 hod.



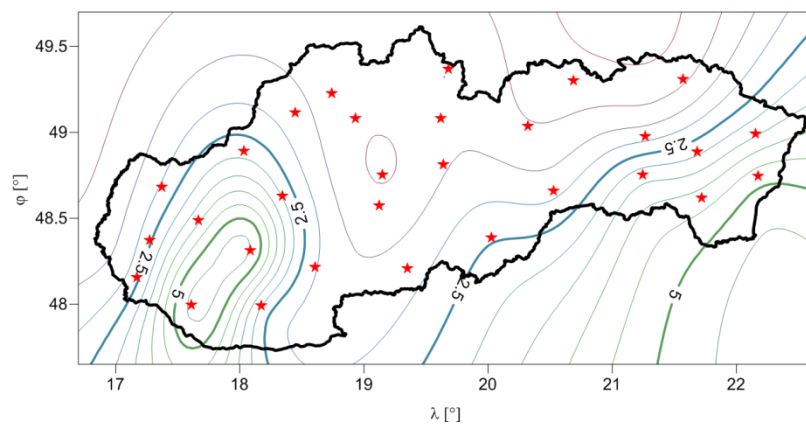
obr. B.5 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 4 hod.



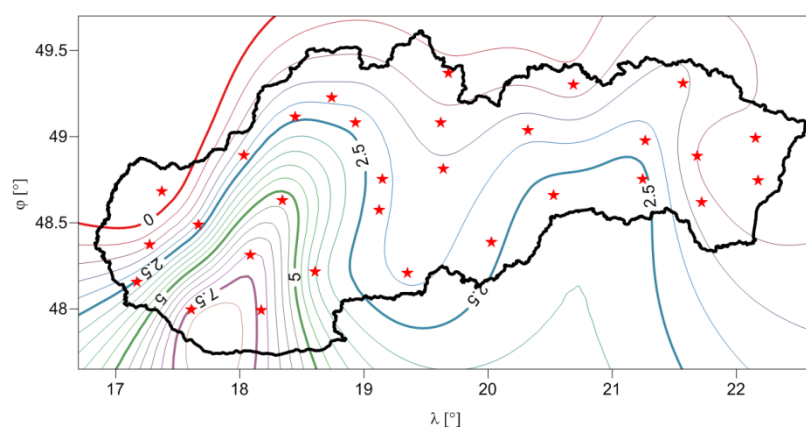
obr. B.6 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 5 hod.



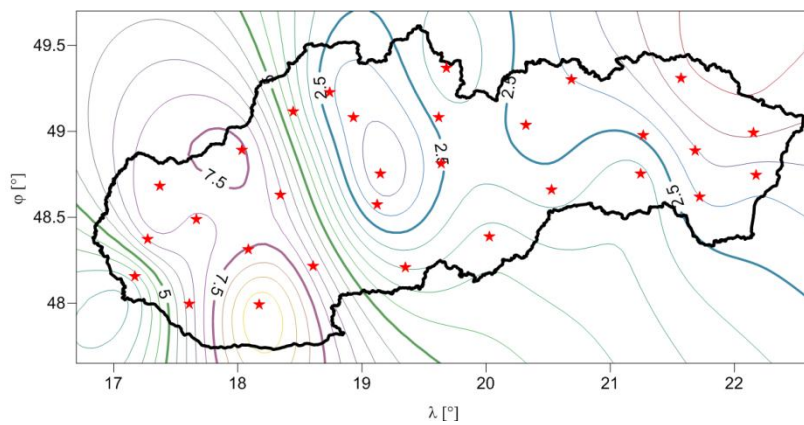
obr. B.7 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 6 hod.



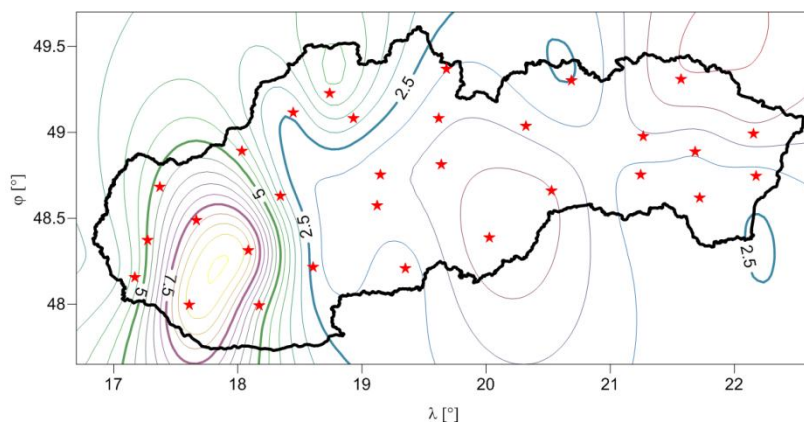
obr. B.8 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 7 hod.



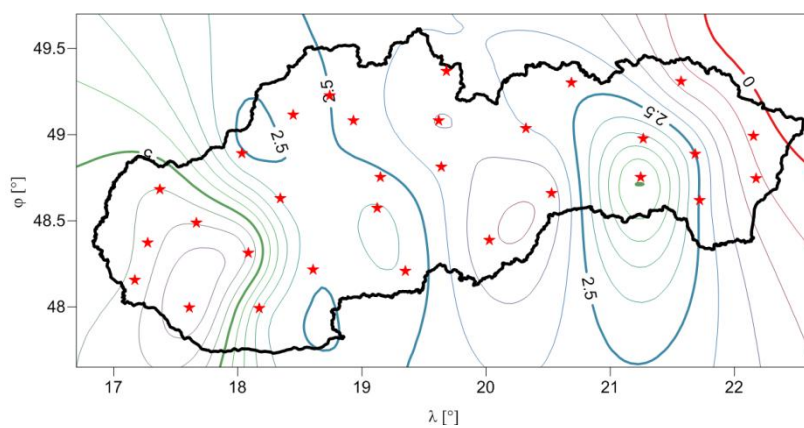
obr. B.9 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 8 hod.



obr. B.10 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 9 hod.



obr. B.11 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 10 hod.



obr. B.12 Priebek odchýlok v zložke u, čas: 11 hod.