

PRVÉ SKÚSENOSTI S MONITOROVANÍM VPLYVU IONOSFÉRY NA RTK MERANIA V SKPOS

FIRST EXPERIENCE FROM THE MONITORING OF THE IONOSPHERE INFLUENCE TO THE RTK MEASUREMENTS IN SKPOS

Branislav Droščák¹

Abstract

During October 2011, national service centre of SKPOS received from his users few comments focused on the decreased network RTK performance. The comments were based particularly on negative experience with longer initialisation times that were needed for fixing during routine measurements with comparison to previous ones. Because influenced periods corresponded with increased sun (ionosphere) activity, it was decided to perform some analysis to confirm this correlation. The presented paper deals with the results from this analysis, describes the influence of the higher ionosphere activity to the single and network RTK performance and describes how to avoid those negative effects.

1 Úvod

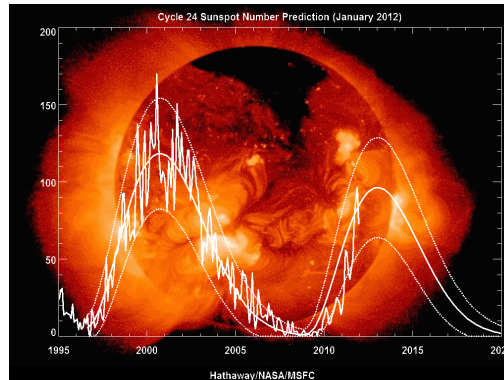
V poslednom období začína odborná verejnosť vyvíjajúca, spravujúca alebo využívajúca GNSS zariadenia a technológie čoraz častejšie upínať zrak na sledovanie informácií o vesmírnej meteorológii, presnejšie o aktivite Slnka. Tento jej záujem pramení najmä vo fakte, že sa blížime k novému maximu slnečnej aktivity, ktorého vrchol sa predpokladá v priebehu roka 2013. Keďže vieme, že zvýšená slnečná aktivita spôsobuje poruchy v ionosfére - v prostredí, ktoré už aj tak významne ovplyvňuje presnosť GNSS meraní, predpokladá sa, že bude tento negatívny dopad na všetky druhy družicových meraní v blízkej budúcnosti ešte väčší. Prvé signály o zhoršení kvality RTK meraní alebo o predĺžení času potrebného na získanie fixného riešenia, sme v národnom servisnom centre služby SKPOS na Geodetickom a kartografickom ústave Bratislava obdržali od niekoľkých užívateľov v priebehu októbra 2011. Aby sme dôveryhodnosť týchto informácií v spojitosti so súčasne zaznamenaným zhoršujúcim sa negatívnym vplyvom slnečnej aktivity overili, rozhodli sme sa vykonať jednoduchú analýzu inicializačných časov užívateľov SKPOS pre dni s extrémne odlišným charakterom ionosféry. Ešte pred tým je ale potrebné sa oboznámiť akou formou ovplyvňuje zvýšená aktivita ionosféry merania RTK a ako sa možno týmto negatívnym efektom brániť.

2 Slnečná aktivita

Správanie Slnka a najmä jeho zvýšená aktivita jednoznačne negatívne vplýva aj na aktivitu zemskej ionosféry, ovplyvňuje charakter jej častíc a zvyšuje jej poruchovosť. Je to logické, nakoľko Slnko počas vrcholov periódy svojej zvýšenej aktivity produkuje slnečné škvrny, solárnu žiaru a katapultuje masy svojej korony do okolia, čo samozrejme ovplyvňuje meteorológiu vo vesmíre a má vplyv aj na Zem a jej atmosféru. Najcitlivejšou zložkou atmosféry na slnečné žiarenie predstavuje práve ionosféra, nakoľko obsahuje vysoký počet voľných elektrónov a iónov. K zvýšenej slnečnej a tým pádom aj ionosférickej aktivite dochádza pravidelne v 11-ročných cykloch. Monitorovanie tejto zvýšenej slnečnej aktivity sa

¹ Branislav Droščák, Ing. PhD., Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: 00421 2 2081 6239, e-mail: branislav.droscak@skgeodesy.sk

vykonáva už od roku 1755, čo pri 11-ročnom cykle znamená, že sa práve blížíme k 24-tému sledovanému maximu, ktoré by malo vyvrcholiť v máji 2013 (Inside GNSS, 2011). Grafický priebeh blížiaceho sa vrcholu slnečnej aktivity možno vidieť aj na obr.2.1.



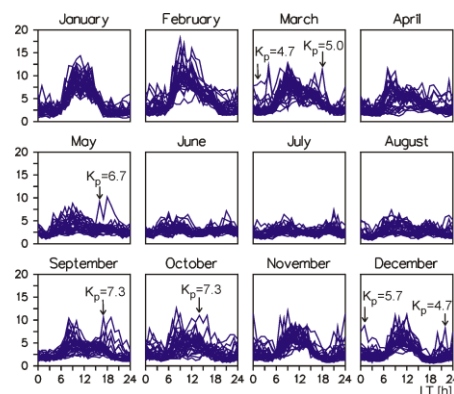
Obr.2.1 Aktuálny stav slnečnej aktivity a blížiac sa maximum - rok 2013(NASA web, 2012)

3 Ionosféra

Ionosféra ako súčasť Zemskej atmosféry predstavuje jednu z jej vrstiev, ktorá sa rozprestiera približne od 70 do 1000 km nad povrchom. Ide o disperzné prostredie, čo znamená, že prechádzajúce elektromagnetické vlnenie (družicové signály) podlieha zmenám v rýchlosti a smere jeho šírenia v dôsledku variácie elektrónov a nabitých častíc a to rozdielne pre kódové a fázové merania. Táto vlastnosť sa s výhodou používa pri odhade a eliminácii jej vplyvu ich vhodnou kombináciou (Hefty a Husár, 2003). Z uvedeného je zrejmé, že ionosféra ovplyvňuje všetky druhy meraní (absolútne aj relatívne), pričom metódy jej eliminácie sú rôzne. Keďže sa dnes pre účely zememeračstva, pri inžinierskej geodézii a pri meraniach pre kataster nehnuteľností využívajú najmä siete permanentných staníc a metóda RTK, budeme sa venovať hlavne popisu a vplyvu ionosféry na oblasť týchto meraní.

3.1 Periódy ionosférickej aktivity

Z kapitoly 2 je zrejmé, že rušivý vplyv (zvýšená aktivita) ionosféry jednoznačne koreluje s aktivitou Slnka, čo značí, že aj zvýšená aktivita ionosféry kulminuje s 11-ročnou periódou. Okrem tejto periódy ovplyvňuje aktivitu ionosféry aj sezónna (ročná) variácia spôsobujúca, že na severnej pologuli je v zime vplyv ionosféry vyšší ako v lete (obr.3.1). Ďalšou významnou periódou ionosférickej aktivity je jej denná variácia, ktorá je spojená s rotáciou Zeme. Najvyšší vplyv ionosféry je preto logicky počas poludnia (obr.4.3).



Obr.3.1 Príklad variácia ionosféry počas roka 2002 vyjadrená indexom I95 (Wanninger, 2004).

4 Vplyv ionosféry na merania RTK

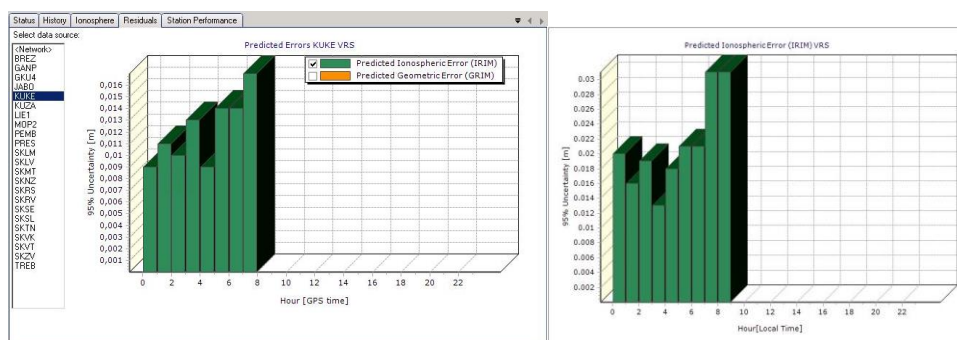
Merania RTK sú v dnešnej dobe jednoznačne spájané s využívaním sietí permanentných staníc. V závislosti od využívania informácií (korekcií) z jednej, viacerých alebo aj celej siete staníc ich rozdeľujeme na dva základné typy, a to single RTK a sieťové RTK (network RTK).

4.1 Monitorovanie a eliminácia ionosféry pri single RTK

Pri klasickom single RTK meraní, kedy sa využívajú informácie (korekcie) iba z jednej zvolenej permanentnej stanice, dochádza k obmedzeniu použitia metódy na väčšie vzdialenosti kvôli chybám závislým od narastajúcej vzdialenosti od referenčnej stanice. Napríklad aj charakter ionosféry limituje použitie single RTK metódy iba na niekoľko kilometrov. V takýchto prípadoch slúži meračom na pomoc ionosférický index I95, ktorý im umožňuje zistiť, aký je stav ionosféry a aký vplyv na meranie môžu očakávať. Index I95 sa začal používať približne v roku 1998, kedy sa v Európe rozvinula sieť permanentných staníc na dostatočnú hustú úroveň a bolo možné ho rutinne zrátať (Wanninger, 2004). Na jeho určenie sa používajú štandardné softvéry používané na správu sietí permanentných staníc a vyjadrujú sa pre jednotlivé hodiny dňa. Do výpočtu I95 vstupujú ionosférické korekcie určené pre všetky dostupné družice zo všetkých permanentných staníc siete v príslušnej hodine. Následne sa z výsledku odstráni 5% najhorších hodnôt a najvyššia výsledná hodnota z ostatku predstavuje práve ionosférický index I95 (Trimble VRS3Net help). Ten sa zobrazí do grafu, ktorý je dostupný užívateľom služby. Napr. pre užívateľov SKPOS je I95 dostupný na www.gku.skpos.sk v záložke Informácie o stave siete/I95 ionosféra. Príklady zobrazenia hodnôt indexov I95 softvérom Trimble VRS3Net možno vidieť na obr.4.3.

4.2 Monitorovanie a eliminácia ionosféry pri meraní sieťovým RTK

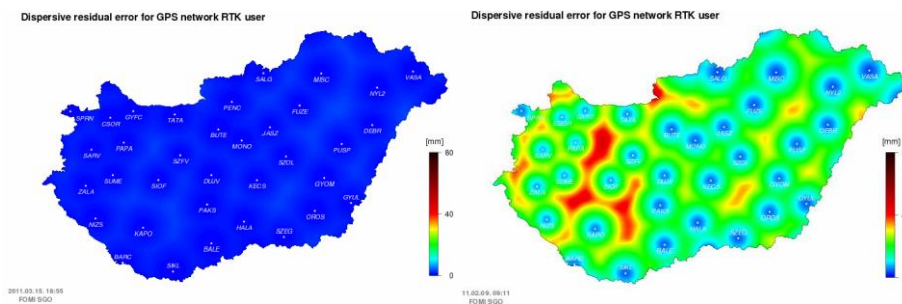
Aby sa predišlo limitovaniu metódy single RTK t.j. nárastu chýb spojených s nárastom vzdialenosti od referenčnej stanice, vyvinula sa metóda sieťového RTK (network RTK). V tomto prípade riadiaci softvér služby, na ktorú sa užívateľ pripája, vypočítava v reálnom čase na základe dostupných meraní zo všetkých permanentných staníc siete model ionosféry pre celé územie, z ktorého generuje korekcie, ktoré posiela užívateľom v teréne. Týmto je užívateľom služby umožnené vykonávať spoľahlivé meranie kdekoľvek v rámci siete bez nutnosti sledovania vzdialenosti. Avšak v prípade zvýšenej ionosférickej aktivity, je aj generovanie modelu ionosféry riadiacim softvérom služby pri meraniach vo väčších vzdialenostiach od referenčných staníc v dôsledku chýb interpolácie nedostatočné. Takto vzniknuté zostatkové chyby nazývame reziduálne chyby ionosféry a dokážeme ich taktiež do určitej miery predpovedať a poskytovať užívateľom (Trimble VRS3Net help).



Obr.4.1 Reziduálne chyby ionosféry pre konkrétne stanice (vľavo) alebo celé územie (vpravo).

4.2.1 Reziduálne chyby ionosféry

Odhad reziduálnych chýb ionosféry vychádza z podobného princípu ako je výpočet ionosférického indexu I95. V prípade softvéru Trimble VRS3Net je postup nasledovný: sieťový procesor služby úmyselne vynechá niektorú z referenčných staníc siete, pre ktorej polohu vyinterpoluje ionosférickú korekciu na základe modelu a porovná ju so známou hodnotou danej stanice. Takouto formou vypočíta interpolačnú chybu zvlášť pre ionosférickú a geometrickú časť a poskytne váženú RMS hodnotu pre každú družicu. Následne vypočíta pre každú hodinu dňa kumulovanú RMS hodnotu na základe informácií všetkých staníc siete, pričom vylúči najhorších 5% hodnôt. Výslednú hodnotu zobrazí graficky vo forme stĺpcového grafu pod názvom „Predpovedaná Ionosférická Chyba“ IRIM (Trimble VRS3Net help). Softvér Trimble VRS3Net produkuje touto formou grafy pre jednotlivé stanice (viď. obr.4.1 vľavo), alebo pre celú sieť (viď. obr.4.1 vpravo). Informácie sú dostupné pre užívateľov na webovom portáli služby (www.gku.skpos.sk) v záložke Informácie o stave siete/IRIM/GRIM. Hodnoty reziduálnych chýb ionosféry je možné zobrazit' nielen stĺpcovým grafom, ale napríklad aj plošne. Na obr. 4.2 je zobrazený príklad takéhoto plošného zobrazenia reziduálnych chýb na permanentnej sieti služby gnsnet.hu v Maďarsku. Z obrázkov je zrejmé ako narastá veľkosť reziduálnych chýb z narastajúcou vzdialenosťou od permanentných staníc pre prípad zvýšenej ionosférickej aktivity (obr.4.2 vpravo).



Obr.4.2 Zobrazenie reziduálnych chýb ionosféry v závislosti od polohy pre prípad nízkej (vľavo) a zvýšenej (vpravo) aktivity ionosféry na území Maďarska (Horvath, 2011).

4.3 Prejavy negatívneho pôsobenia vplyvu zvýšenej aktivity ionosféry

Typickými príkladmi prejavov negatívneho vplyvu zvýšenej aktivity ionosféry na merania RTK charakterizuje:

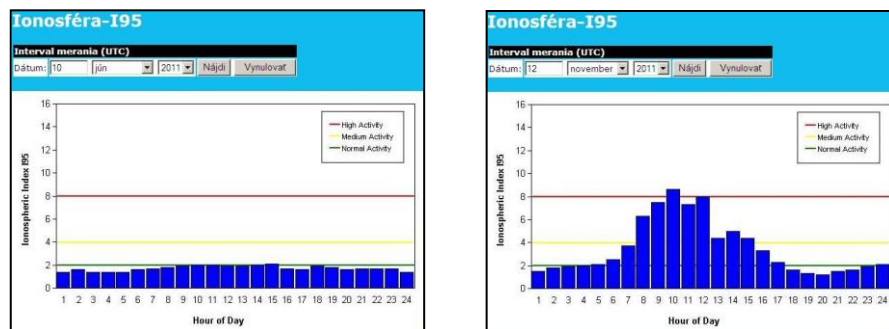
- neúmerne predĺženie inicializačného času potrebného na uskutočnenie „fixácie“ t.j. času potrebného na vyriešenie ambiguit od spustenia merania,
- problémy až nemožnosť dosiahnutia fixácie,
- problémy spojené s udrжанím fixácie počas merania.

Okrem negatívneho vplyvu ionosféry ovplyvňujú uvedené problémy s fixáciou aj iné faktory, ktoré možno (podľa AXIO-NET web) spolu s účinkami ionosféry rozdeliť do štyroch oblastí:

- efekt multipath a pohyb v území s veľkým množstvom zákrytov (budovy, objekty),
- prerušenia spôsobené nekvalitným príjmom sieťových korekcií v dôsledku slabého GPS alebo GPRS signálu,
- chybné vyrovnania a chyby spôsobené nesprávnou interpretáciou systému GLONASS,
- reziduálne chyby ionosféry.

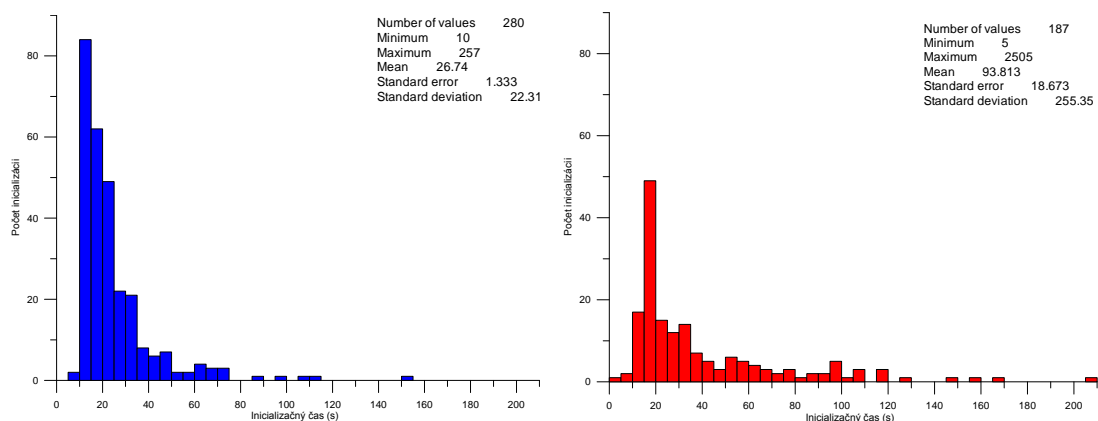
4.4 Analýza inicializačných časov užívateľov SKPOS pre dni s rozdielnym charakterom ionosféry

V priebehu októbra 2011 sme dostali do riadiaceho centra služby SKPOS od užívateľov niekoľko podnetov ohľadom problémov s vykonávaním meraní RTK. Užívateľia opísali stav problémov prejavmi podobným k tým, ktoré sú uvedené vyššie v kapitole 4.3. Pri kontrole dostupných grafov ionosféry I95 pre inkriminované dni bolo zrejmé, že uvedené problémy môžu byť spôsobené práve zvýšenou aktivitou ionosféry. Aby sa overila realnosť tejto domnienky, rozhodli sme sa na GKÚ vykonať analýzu, v ktorej by sa porovnali hodnoty inicializačných časov pre obdobia (dni) s úplne rozdielnym charakterom ionosférickej aktivity. Za deň s veľmi vysokými hodnotami ionosférickej aktivity bol zvolený inkriminovaný 12.november 2011. Naopak za deň s takmer zanedbateľným charakterom ionosféry bol zvolený 10.jún 2011. Stav ionosféry pre tieto dni je zrejмый z obr.4.3.



Obr.4.3 Stav ionosféry - I95 pre 10.6.2011 (vľavo) a 12.11.2011 (vpravo).

Hodnoty inicializačných časov užívateľov služby pre dané dni boli získané z archivovaných NMEA GPGGA správ. Z týchto správ je možné získať informácie o získaní fixného riešenia užívateľom služby po jeho prihlásení s presnosťou na 5s. Dosiiahnuté hodnoty inicializačných časov spolu so štatistikami presnosti pre zvolené dni sú uvedené na obr.4.4.



Obr.4.4 Početnosť inicializačných časov pre 10.6.2011 (vľavo) a 12.11.2011 (vpravo).

Z obr.4.4 je evidentné, že priemerná hodnota inicializačného času potrebného na získanie fixného riešenia bola počas dňa so zaznamenanou zvýšenou aktivitou ionosféry výrazne väčšia (93s) ako pre deň, kedy bol vplyv ionosféry nevýrazný (27s). Uvedená skutočnosť potvrdila predpokladanú domnienku o vplyve ionosféry na merania RTK. Nakoľko ale na druhej strane nemáme podrobnejšie informácie o typoch použitých prijímačoch a o kvalite prostredia, v ktorom prebiehalo meranie, nemožno samotné zhoršenie inicializačných časov prisúdiť iba vplyvu ionosféry, ale čiastočne aj ostatným faktorom spomenutých v kapitole 4.3.

4.5 Možnosti eliminácie negatívnych vplyv spôsobených zvýšenou aktivitou ionosféry

Najvhodnejšou možnosťou eliminácie negatívneho vplyvu spôsobeného zvýšenou aktivitou ionosféry predstavuje v dnešnej dobe využívanie nových RTCM v3.1 správ 1030 a 1031. Pomocou týchto správ je možné poslať priamo užívateľom do prijímačov extra informácie obsahujúce GPS (správa 1030) resp. GLONASS (správa 1031) „zvyškové sieťové chyby“. Tie obsahujú pre jednotlivé družice informácie o zvyškových neistotách nachádzajúcich sa v sledovanom signáli práve v dôsledku zvýšenej ionosférickej aktivity (obr.4.5). Ten GNSS prijímač užívateľa, ktorý vie tieto informácie využiť, prispôsobí svoje výpočtové algoritmy daným podmienkam a zvýši tak významne svoju výkonnosť (06-GPS web). Riadiaci softvér služby SKPOS umožňuje posielanie týchto správ a robí tak prostredníctvom mountpointu SKPOS_CM_31.

```
TM RTCM3.1 2266.2 Wed Dec 07 09:40:02.340 2011
MT1030 Stat 211 Status 1 Sec 2266 Seq 1000 Frame 496
MT1030 Tow 290239.0 NRefE 6 NRefGpsSV 8
MT1030 SV 03 Soc 6.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 22.000mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 05 Soc 36.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 14.000mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 06 Soc 5.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 7.500mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 16 Soc 2.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 8.500mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 18 Soc 7.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 16.500mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 21 Soc 0.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 0.500mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 29 Soc 7.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 4.000mm Sid 0.000ppm
MT1030 SV 31 Soc 31.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 16.000mm Sid 0.000ppm

TM RTCM3.1 2242.9 Wed Dec 07 09:40:06.215 2011
MT1031 Stat 211 Status 1 Sec 2243 Seq 1000 Frame 496
MT1031 EPT 41824.0 NRefE 6 NRefGloSV 8
MT1031 SV 46 Soc 21.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 37.000mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 47 Soc 2.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 15.000mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 48 Soc 9.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 14.000mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 53 Soc 3.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 20.000mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 54 Soc 1.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 12.500mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 62 Soc 7.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 12.500mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 63 Soc 0.500mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 5.000mm Sid 0.000ppm
MT1031 SV 64 Soc 4.000mm Sod 0.000ppm Soh 0.000ppm Sic 16.500mm Sid 0.000ppm
```

Obr.4.5 Ukážka obsahu RTCM3.1 správ 1030 a 1031.

5 Záver

Výsledky z vykonanej analýzy potvrdili predpoklad, že zvýšená aktivita ionosféry ovplyvňuje negatívnym spôsobom vykonávanie meraní RTK a to tak, že ovplyvňuje až znemožňuje dosiahnutie fixného riešenia. Na druhej strane ale analýza nebola zameraná aj na otestovanie iných efektov, ktoré by mohli mať vplyv na tieto skutočnosti, preto nemožno výsledné zhoršenie jednoznačne prisúdiť iba vplyvu ionosféry. Napriek tomu je v dnešnej dobe zhoršujúceho sa stavu slnečnej aktivity potrebné informácie o stave ionosféry sledovať a prispôbovať sa mu napríklad plánovaním merania, alebo využívaním RTCM3.1 správ 1030 a 1031. Na overenie nameraných výsledkov odporúčame taktiež vykonávať opakované merania. S monitoringom vplyvu ionosféry na RTK merania plánujeme na GKÚ aj naďalej pokračovať a prinášať tak osožné informácie pre užívateľov do budúcnosti.

Literatúra

- [1] *Inside GNSS (2011): Solar Max & Space Weather Prediction. InsideGNSS magazine. Volume 6, number 6. November/December 2011. pages 30-31.*
- [2] *NASA web (2012): http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_1.gif*
- [3] *Hefty, J. – Husár, L. (2003): Družicová geodézia. Globálny polohový systém. Slovenská technická univerzita, 2003.*
- [4] *Wanninger, L. (2004): Ionospheric Disturbance Indices for RTK and Network RTK. Positioning Proc. ION GNSS 2004, Long Beach, CA, 2849-2854.*
- [5] *Trimble VRS3Net help: help riadiaceho softvéru služby SKPOS – Trimble VRS3Net.*
- [6] *AXIO-NET web (2012): www.axio-net.eu – webová stránka permanentnej služby AXIO-NET.*
- [7] *Horvath T. (2011): Ionosphere. 19.zasadanie EUPOS riadiacej komisie. Budapešť 14-15.Apríl 2011. (nepublikované)*
- [8] *06-GPS web: www.06-gps.nl - webová stránka permanentnej siete 06-GPS.*