

Geokinematika Slovenska z pohľadu spracovania údajov z referenčných staníc SKPOS (roky 2007-2019)

Martin Ferianc

*Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava.
martin.ferianc@skgeodesy.sk*

Branislav Droščák

*Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava.
branislav.droscak@skgeodesy.sk*

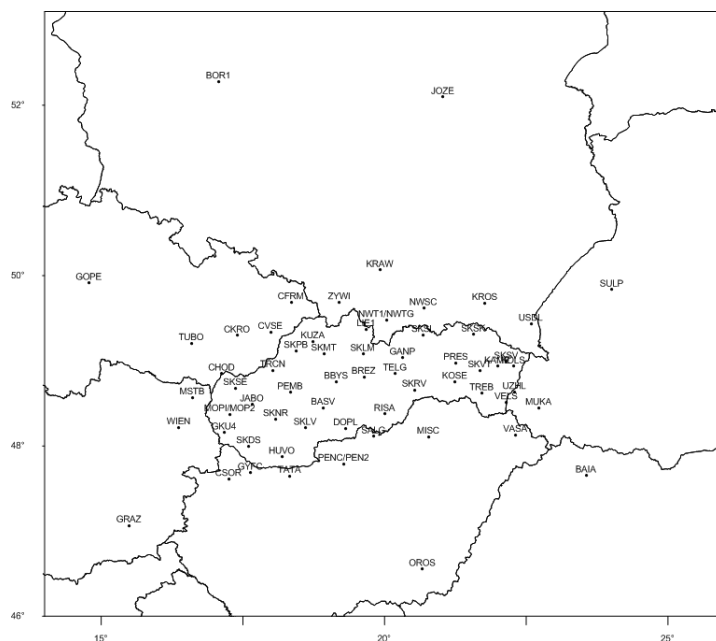
ABSTRAKT: Pracovníci odboru Geodetických základov na Geodetickom a kartografickom ústave Bratislava sa okrem iného dlhodobo venujú presnému spracovaniu údajov GNSS zaznamenaných referenčnými stanicami SKPOS. Ak vezmeme do úvahy skutočnosť, že spracované údaje pretavené do časových radov jednotlivých súradnicových komponentov reprezentujú pohyby antén, ktoré pri splnení podmienky ich pevného spojenia so zemou reprezentujú vlastne pohyby vrchnej časti zemskej kôry, čiže de facto umožňujú skúmanie geokinematiky územia Slovenska. Celý princíp spočíva v presnom spracovaní údajov GNSS zaznamenaných referenčnými stanicami SKPOS a následnej analýze časových radov. Najdôležitejšiu veličinu z pohľadu skúmania geokinematiky predstavuje trend jednotlivých súradnicových komponentov, ktorý reprezentuje rýchlosť t.j. veľkosť a smer posunu, resp. zmeny jednotlivých súradnicových komponentov v čase. Článok sa venuje určeniu geokinematiky Slovenska na základe parametrov trendu odhadnutých z časových radov súradníc referenčných staníc SKPOS zo spracovaných údajov z rozpätia rokov 2007 – 2019.

1 ÚVOD

Slovenskú priestorovú observačnú službu (ďalej SKPOS) tvorí sieť referenčných permanentných staníc GNSS, z ktorých viaceré sú v nepretržitej prevádzke už viac ako 13 rokov. Permanentné stanice nepretržite prijímajú signály z družíc GNSS, z ktorých je možné určovať ich polohy a na základe nich spoľahlivo interpretovať recentné geokinematické procesy na Slovensku. Predkladaný príspevok opisuje postup určenia časových zmien súradníc t.j. rýchlostí staníc SKPOS reprezentujúcich rýchlostné pohyby zemskeho povrchu jednotlivých lokalít Slovenska a poukazuje na úskalía, ktoré napriek množstvu spoľahlivých údajov z pomerne dlhého časového obdobia môžu komplikovať ich samotný odhad.

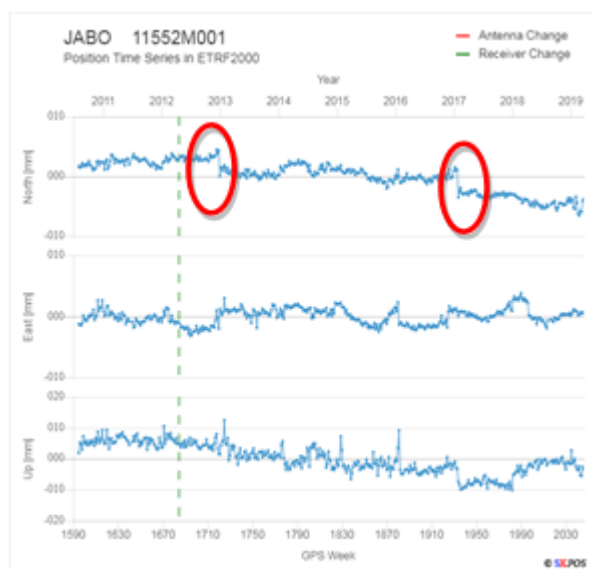
2 SPRACOVÁVANIE GNSS ÚDAJOV A TVORBA ČASOVÝCH RADOV

Na výpočet súradníc referenčných staníc SKPOS sa na Geodetickom a kartografickom ústave Bratislava (GKÚ) využíva vedecký softvér Bernese verzia 5.2 (Dach et al., 2015). Pomocou softvéru prebieha rutinný výpočet denných a následne týždenných (kombinovaných) riešení, ktoré sa ukladajú v štandardizovanom výmennom formáte SINEX. Súbor SINEX obsahujú vypočítané geocentrické súradnice referenčných staníc SKPOS v realizácii IGS14, ktoré sa následne transformujú do ETRF2000 a načítavajú do aplikácie na vykresľovanie časových radov topocentrických súradníc referenčných staníc. Na obr. 1 sú zobrazené stanice SKPOS, zahradničné SKPOS a vybrané stanice siete EPN, ktoré sú súčasťou rutinného spracovania na GKÚ.



Obr 1. Permanentné stanice GNSS spracovávané na GKÚ (rok 2019).

V rozpätí rokov 2007 – 2013 bol na presný výpočet súradníc referenčných staníc SKPOS využívaný softvér Bernese verzia 5.0, ktorý je podrobne popísaný v (Dach et al., 2007). Súradnice permanentných staníc boli pre toto obdobie určené v referenčnom rámci ITRF2005 (Droščák, 2013). Od roku 2013, kedy došlo k prechodu na novšiu verziu Bernese 5.2, sa prešlo na určovanie súradníc v referenčnom rámci ITRF2008. Rovnaká situácia nastala 29.1.2017, kedy sa prešlo na najnovšiu realizáciu IGS14. Napriek tomu, že sa súradnice oboch rámcov na ďalšie výpočty transformujú do ETRF2000, sa tento fakt nejednotného rámca prejavuje na viacerých časových radoch v podobe skoku začiatkom roka 2013, resp. 2017 (obr. 2).



Obr 2. Ukážka skoku v súradniciach časových radov spôsobeného prechodom z ITRF2005 na ITRF2008 a z ITRF2008 na IGS14.

Na základe tohto faktu sa pracovníci GKÚ rozhodli vykonať tzv. reprocessing celého obdobia v jednotnom rámci, ale vzhľadom na náročnosť a zdĺhavosť tohto procesu neboli tieto práce doposiaľ ukončené. Skoky v súradniciach spôsobené rozdielnym referenčným rámcom je mož-

né na účely ďalších analýz vhodným postupom spracovania odhadnúť a odstrániť, a preto by nemali významne ovplyvniť výsledky ďalej prezentovaných analýz.

3 DEKOMPOZÍCIA ČASOVÝCH RADOV SÚRADNÍC STANÍC SKPOS

3.1 Odhad rýchlostí referenčných staníc SKPOS

Odhad rýchlostí referenčných staníc SKPOS spočíva v odhade trendu časového radu súradníc staníc v systéme ETRS89. Pri analýze sa vychádza z predpokladu, že rýchlosť staníc, teda trend, je lineárny v čase. Trend je odhadovaný pomocou lineárnej regresie metódou najmenších štvorcov. Smernica odhadnutej priamky reprezentuje trend t.j. predstavuje rýchlosť stanice alebo zmeny jej súradníc v čase. Súčasne s odhadom trendu sa odhadujú aj skoky v jednotlivých súradnicových zložkách v rovnakých okamihoch a ich veľkosti. Ku tým dochádza najmä po výmene hardvéru staníc. Súčasne s odhadom skokov sa odhadujú aj sezónne zložky časových radov s ročnou periódou.

Rýchlosť staníc je určená zo súradníc v systéme ETRS89, preto sú výsledné rýchlosti v skutočnosti len reziduálne rýchlosti voči rýchlostnému modelu platnému pre ETRS89 a euroázijskú platňu pohybujúcu sa rýchlosťou cca 2,5 cm za rok smerom na severovýchod.

3.2 Eliminácia skokov v časových radoch

Časové rady súradníc staníc SKPOS obsahujú skoky, ktoré sú väčšinou spôsobené výmenou antény alebo prijímača na stanici. Príklady takýchto skokov je možné pozorovať na obr. 3.

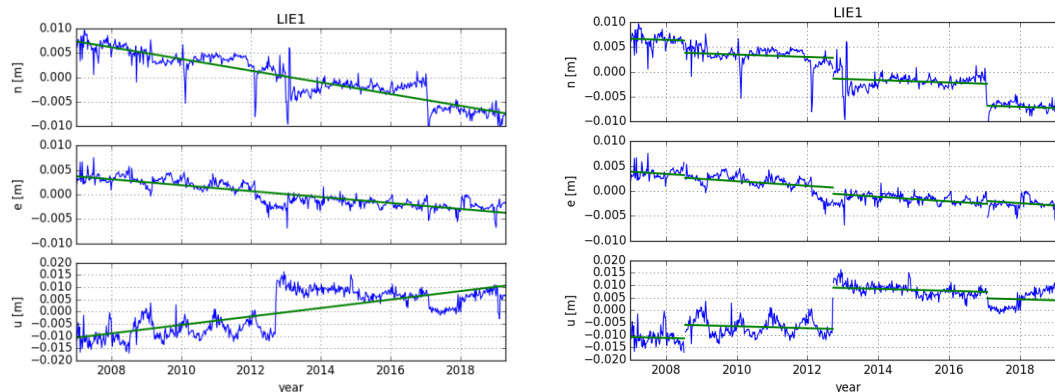


Obr 3. Ukážka skokov v súradniciach časových radov spôsobených výmenou antény referenčnej stanice.

Eliminácia skokov časových radov je najdôležitejší krok spracovania, nakoľko ich efekt výrazne znehodnotil odhad výsledných rýchlostí staníc. Pre spoľahlivý odhad veľkosti skokov v časových radoch je potrebné poznať dátumy, kedy ku skokom došlo. Pri veľkom množstve staníc a vzhľadom na skutočnosť, že nie všetky dátumy skokov zodpovedajú dátumom výmeny hardvéru na staniciach, by tento proces vyžadoval veľké množstvo času pri manuálnom určovaní dátumov diskontinuit. Na vyhľadanie dátumov skokov v časových radoch je možné využiť program FODITS, ktorý je súčasťou softvéru Bernese 5.2. Program na základe množiny štatis-

tických testov určuje signifikantnosť okamihov v ktorých potenciálne nastal skok s relatívne vysokou úspešnosťou (Ostini, 2012).

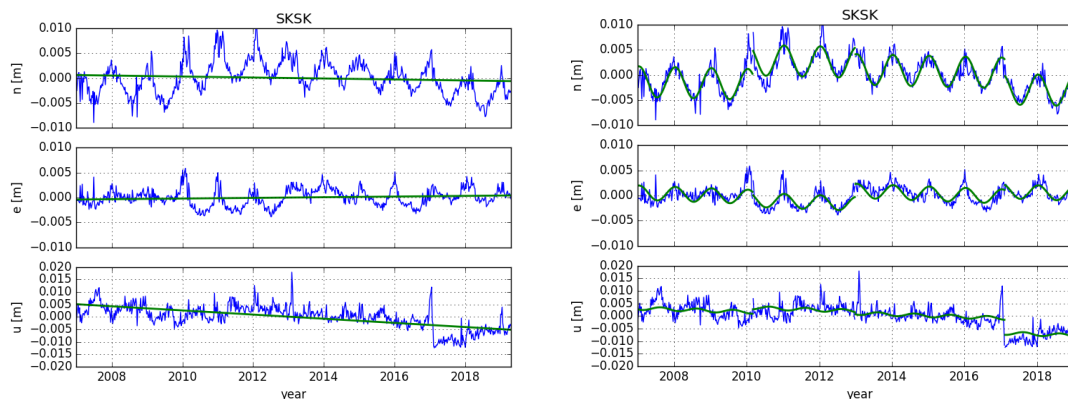
Odhad skokov za predpokladu konštantnej (lineárnej) rýchlosti stanice počas celej doby observácie je uvážený napr. na obr. 4. Princíp odhadov skokov je rovnaký ako je uvedené v práci (Rapinski et al., 2016).



Obr 4. Odhad lineárneho trendu bez skokov (vľavo) a spoločne so skokmi časových radov (vpravo) topocentrických súradníc stanice LIE1 (Liesek) v systéme ETRS89.

3.3 Odhad sezónnej zložky časových radov

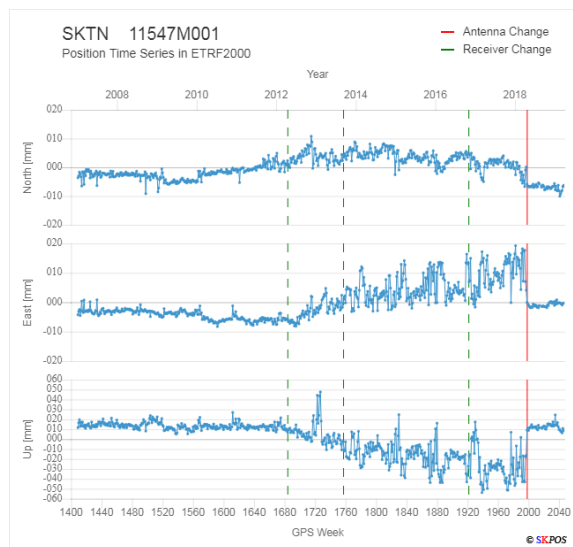
Pri niektorých stanicach SKPOS sa prejavuje sezónna variácia súradníc časového radu s ročnou periódou. Dôvodov na existenciu sezónnej variácie môže byť viacero, napríklad môže ísť o problém so stabilizáciou, hydrologiou, prípadne môžu na stanicu vplývať systematické lokálne geodynamické procesy z jej okolia. Príklad odhadu ročnej periódy súradníc staníc odhadnutej súčasne s trendom je na obr.5.



Obr 5. Odhad lineárneho trendu zo „surových“ dát (vľavo) a s uvážením skokov a ročnej periódy časových radov (vpravo) topocentrických súradníc stanice SKSK (Svidník) v systéme ETRS89.

3.4 Anomálne správanie staníc SKPOS

Na niektorých referenčných stanicach SKPOS sme po vykreslení ich časových radov súradníc zaznamenali anomálne správanie. Po vykonaní komplikovaných analýz sa zistilo, že sa jedná najmä o stanice s problémovým hardvérom, najmä chybnou anténou (Ceizel et al., 2017). Príklad stanice s problematickou anténou, ktorý sa prejavil formou anomálneho správania časových radov jej súradníc sa nachádza na obr. 6.



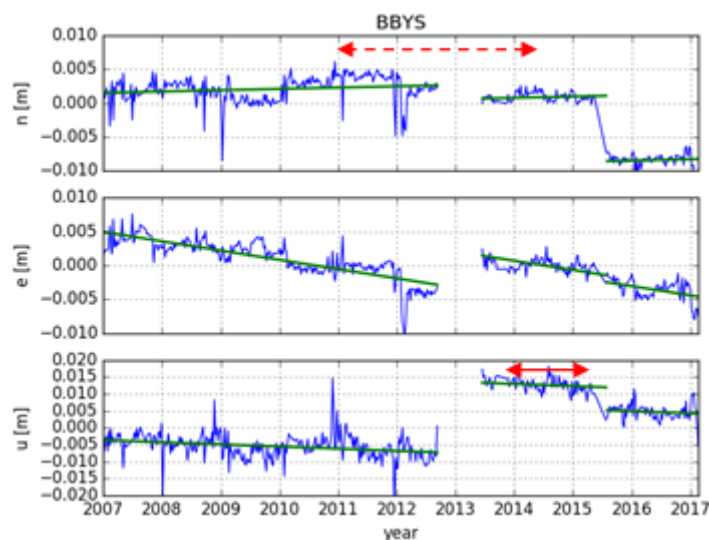
Obr 6. Stanica SKTN (Trenčín) s anomálnym časovým radom.

Konkrétny problém na vyššie uvedenej stanici SKTN bol vyriešený výmenou chybnéj antény stanice. Pri odhade rýchlostí boli všetky časové úseky z obdobia anomálneho správania zo spracovania vylúčené.

3.5 Vylúčenie odľahlých hodnôt

Pri samotnom výpočte súradníc staníc SKPOS v programe Bernese dochádza k automatickému vylučovaniu odľahlých hodnôt podľa štandardne nastavených kritérií. Napriek tomu sa odľahlé hodnoty vyskytujú prakticky v každom časovom rade aj po základnej eliminácii, a bolo ich potrebné pri odhade rýchlostí staníc vylúčiť.

Nie všetky stanice SKPOS sú v kontinuálnej prevádzke celých 10 rokov, aj preto bola pre spoľahlivý odhad rýchlostí staníc zvolená podmienka minimálnej dĺžky časového radu 3 roky. Stanice s kratším časovými radmi boli zo spracovania vylúčené. Druhou podmienkou bolo vylúčenie úsekov časového radu ohraničených detegovaným skokom kratších ako 1.25 roka. Tieto podmienky akceptácie časového radu sú schematicky zobrazené na obr. 7.



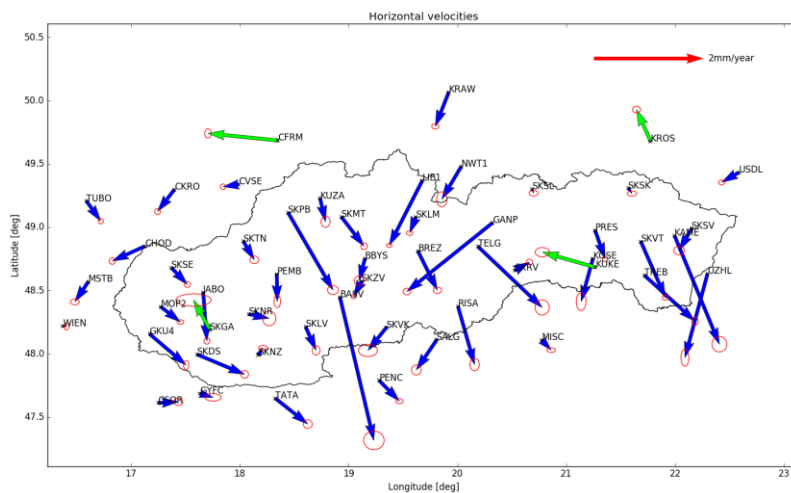
Obr 7. Podmienky minimálnej dĺžky časového radu pre zahrnutie do spracovania. Neprerušovaná šípka reprezentuje minimálnu dĺžku čiastkového časového radu oddeleného skokmi v súradniciach. Prerušovaná šípka je minimálna dĺžka celého časového radu (suma dĺžok čiastkových akceptovaných časových radov)

4 REPREZENTÁCIA GEOKINEMATIKY SLOVENSKA

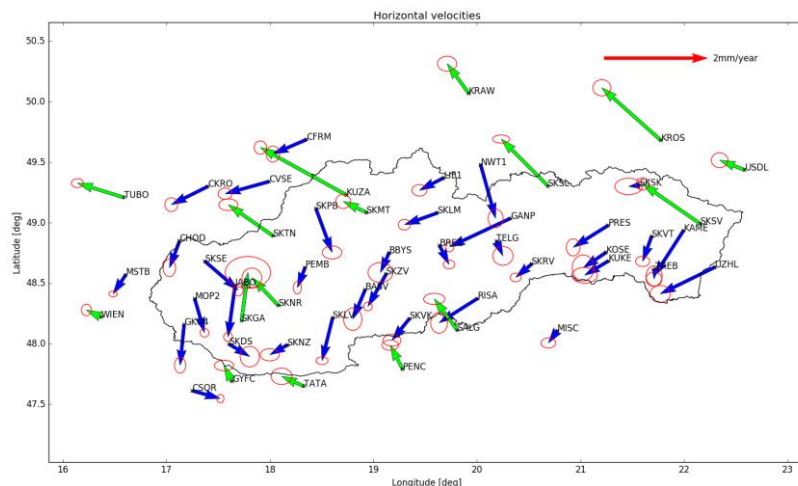
V texte nižšie sú postupne graficky zobrazené horizontálne rýchlosti staníc SKPOS odhadnuté z topocentrických súradníc v systéme ETRS89 formou vektorového poľa. Ich porovnaním je možné pozorovať vplyv jednotlivých krokov spracovania na výsledný odhad rýchlostí.

Ako prvé sú na obr. 8 zobrazené horizontálne rýchlosti odhadnuté z tzv. „surových“ časových radov v ktorých nie sú eliminované skoky, ktoré ako vidíme v porovnaní s ďalšími riešeniami znehodnocujú grafickú reprezentáciu výsledných rýchlostí. Na obr. 9 je zobrazené vektorové pole horizontálnych rýchlostí z časových radov v ktorých boli skoky eliminované. Na obr. 10 je vektorové pole rýchlostí z obr. 9 upravené o vylúčené odľahlé hodnoty súradníc ku ktorému došlo ešte pred odhadom výsledných rýchlostí. Na obr. 11 je zobrazené vektorové pole rýchlostí z obr. 10 po eliminovaní sezónnej zložky s ročnou periódou. Nakoniec na obr. 12 je zobrazené vektorové pole rýchlostí, do odhadu ktorých oproti predchádzajúcim riešeniam vstupovali aj presnosti súradníc pre každé týždenné riešenie. Tieto presnosti boli získané zo súborov formátu SINEX a v modeli vystupujú vo forme matice váh.

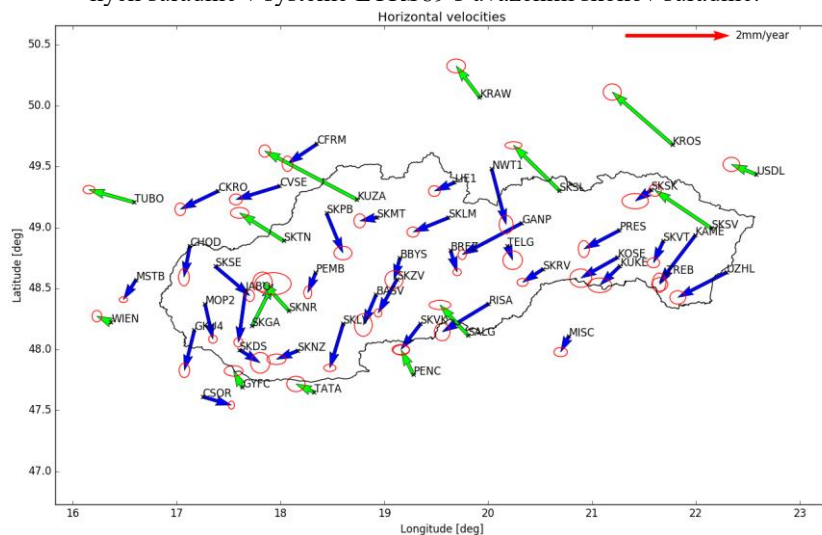
Charakteristiky presnosti odhadnutých rýchlostí sú na obrázkoch nižšie zobrazené formou elíps stredných chýb v rovnakej mierke ako sú zobrazené samotné rýchlosti a reprezentujú 95% konfidenčný interval. Použitá farba odhadnutých vektorov rýchlostí reprezentuje jeho prevládajúci smer. Zelená farba reprezentuje vektory smerujúce na sever, modrá farba vektory smerujúce na juh.



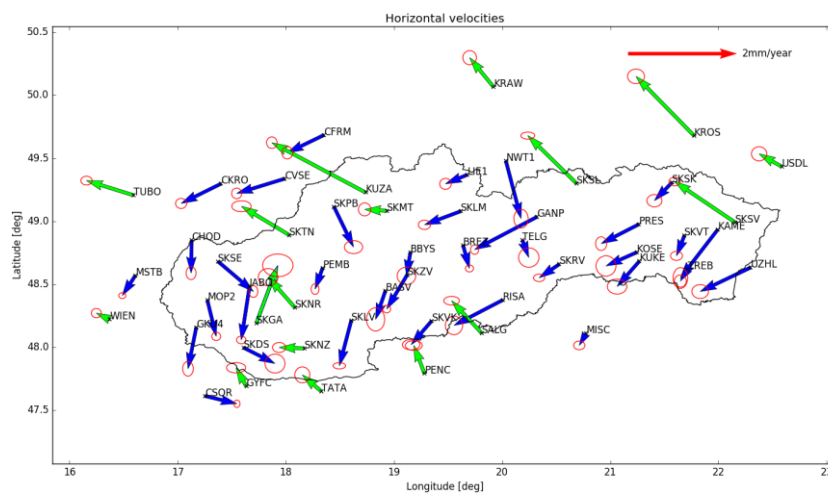
Obr 8. Horizontálne rýchlosti staníc zaradených do spracovania GKÚ na základe odhadu zo „surových“ topocentrických súradníc v systéme ETRS89.



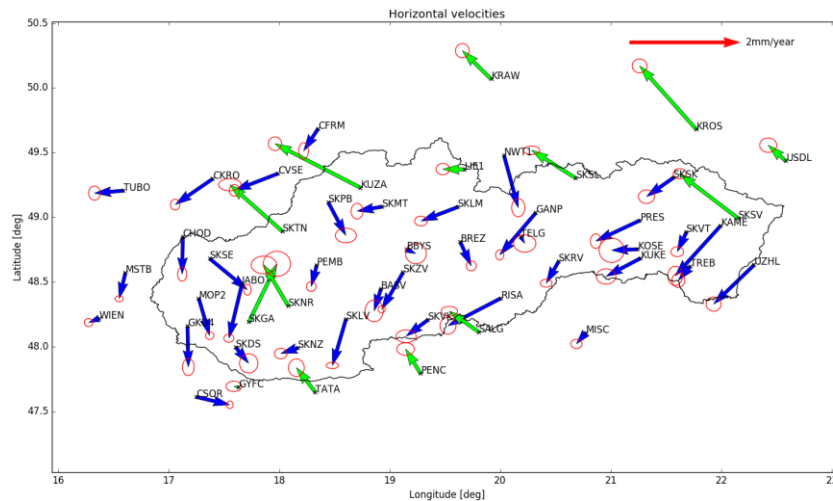
Obr 9. Horizontálne rýchlosti staníc zaradených do spracovania GKÚ na základe odhadu z topocentrických súradníc v systéme ETRS89 s uvažovaním skokov súradníc.



Obr 10. Horizontálne rýchlosti staníc zaradených do spracovania GKÚ na základe odhadu z topocentrických súradníc v systéme ETRS89 s uvažovaním skokov súradníc a odstránením odľahlých hodnôt.



Obr 11. Horizontálne rýchlosti staníc zaradených do spracovania GKÚ na základe odhadu z topocentrických súradníc v systéme ETRS89 s uvažovaním skokov súradníc, odstránením odľahlých hodnôt a sezónnej zložky s ročnou periódou.

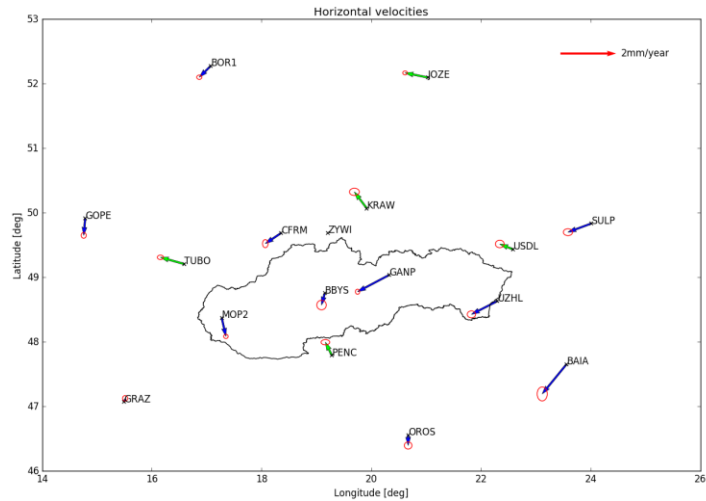


Obr 12. Horizontálne rýchlosti staníc zaradených do spracovania GKÚ na základe odhadu z topocentrických súradníc v systéme ETRS89 s uvážením skokov súradníc, odstránením odľahlých hodnôt, sezónnej zložky s ročnou periódou a s uvážením presností určenia súradníc vo forme matice váh.

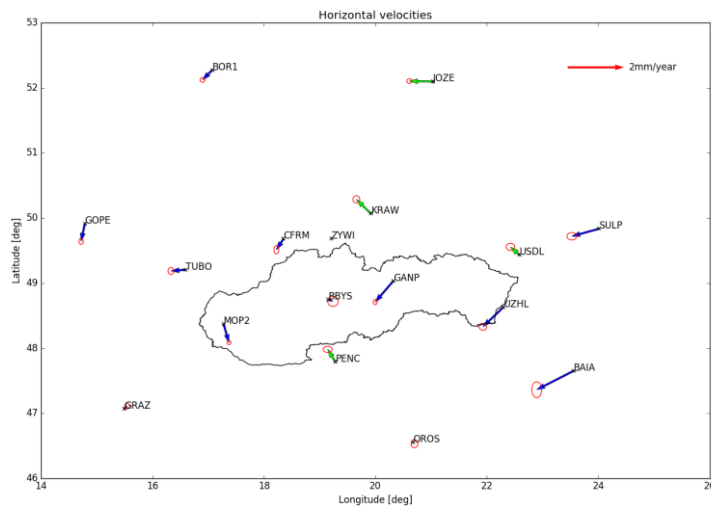
Z obr. 8 až 12 je zrejmé, že s výnimkou prvého grafu neuvažujúceho elimináciu skokov v časových radoch (obr. 8), dochádza pri ostatných krokoch spracovania len k nepatrnej zmene odhadu horizontálnych rýchlostí permanentných staníc. Ani vplyv sezónnej zložky s ročnou periódou sa výrazne neprejavil na odhadnutých rýchlostiach. Taktiež platí, že čím je časový rad dlhší, tým viac klesá citlivosť odhadnutých rýchlostí na uváženie periodickej zložky. Pri jej uvážení, dochádza nanajvýš k zníženiu štandardných odchýlok odhadnutých rýchlostí staníc, čo je pozorovateľné napr. na obr. 11 v podobe zmenšenia elíps stredných chýb.

5 POROVNANIE RÝCHLOSTÍ PERMANENTNÝCH STANÍC ZÍSKANÝCH Z RIEŠENÍ GKÚ A EPN

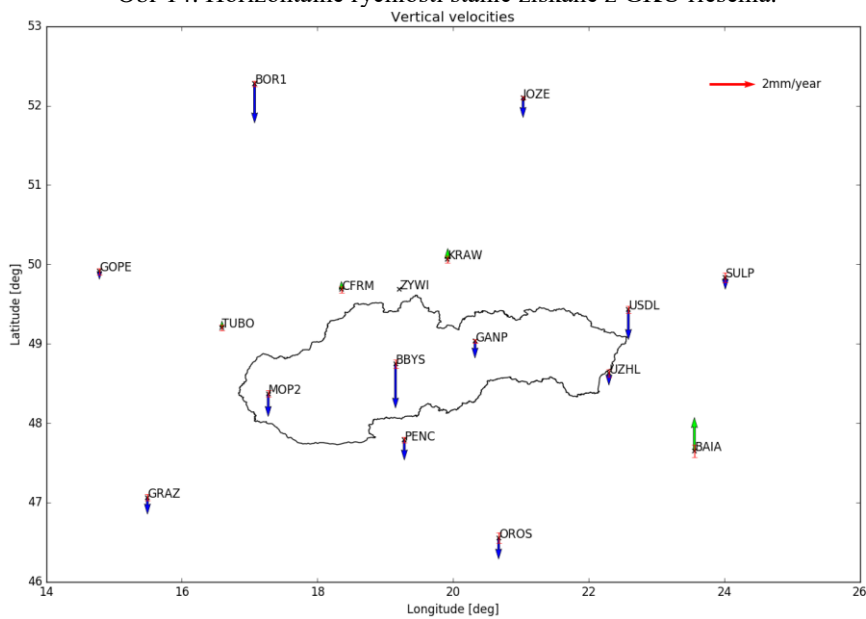
Odhad rýchlostí permanentných staníc GNSS sa okrem GKÚ vykonáva napr. aj pre celú sieť EPN v rámci tzv. EPN riešenia, ktoré je výsledkom kombinovaného spracovania súradníc EPN staníc viacerými analyzačnými centrami EPN. Výsledné súradnice a rýchlosti sú publikované vo forme SSC súboru dostupného na web stránke EPN. Porovnaním odhadu rýchlostí staníc riešenia GKÚ s riešením EPN je možné čiastočne overiť korektnosť a spoľahlivosť nášho riešenia a tým aj celého spracovania. Porovnanie je vykonané graficky na obr. 13 až 16. Zobrazené odhady rýchlostí z EPN riešenia uvažujú iba s lineárnym trendom bez odstránenia sezónnej zložky. V odhade rýchlostí GKÚ riešenia je uvažovaný okrem lineárneho trendu aj odhad sezónnej zložky s ročnou periódou.



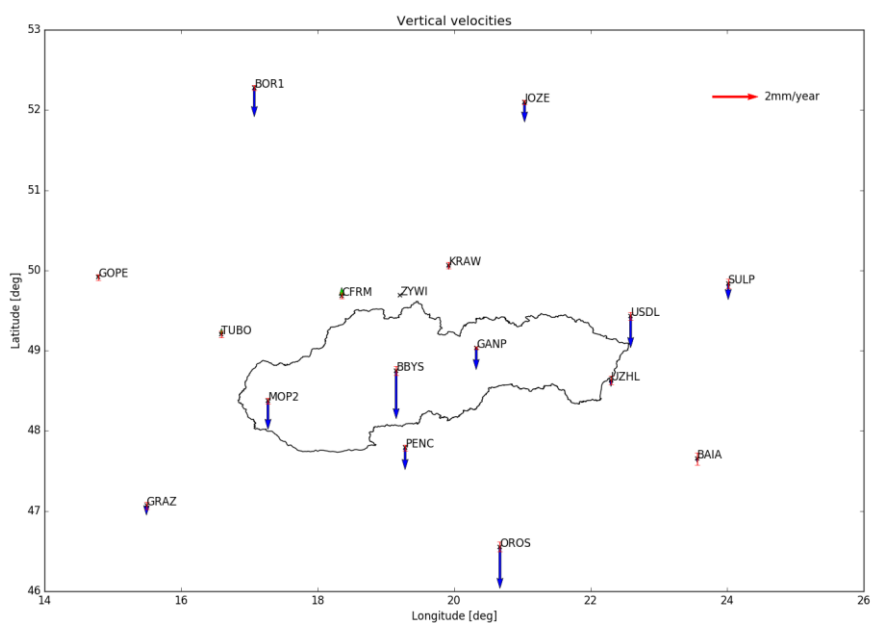
Obr 13. Horizontálne rýchlosti staníc získané z EPN riešenia.



Obr 14. Horizontálne rýchlosti staníc získané z GKÚ riešenia.



Obr 15. Vertikálne rýchlosti staníc získané z EPN riešenia.



Obr 16. Vertikálne rýchlosti staníc získané z GKÚ riešenia.

Z tab. 1 a z grafického porovnania odhadnutých horizontálnych a vertikálnych rýchlostí GKÚ a EPN riešenia je zrejmé, že obidve riešenia sú si podobné. Ako je možné vidieť, charakteristiky presnosti sú o rad nižšie ako samotné odhadnuté rýchlosti. Najvýznamnejšie rozdiely v horizontálnych rýchlostiach sú na stanicích BBYS a OROS a vo vertikálnych rýchlostiach na stanicích BAIA a OROS. Pravdepodobnou príčinou rozdielnych rýchlostí je rozdielna dĺžka časových radov súradníc vstupujúcich do spracovania. Vo všeobecnosti sú stanice v rámci siete EPN spracovávané dlhšie ako na GKÚ, ktoré sa začalo v roku 2007. Dĺžky všetkých časových radov permanentných staníc pre ktoré boli odhadované rýchlosti (riešenie GKÚ) sa nachádzajú v tab. 2. Dĺžky sú uvedené po odstránení odľahlých hodnôt a období (viď. kapitolu 3.5). Zároveň, rýchlosti publikované na EPN sú výsledkom kombinovaného spracovania a výpočtu viacerými analyzačnými centrami EPN.

Tab. 1. Porovnanie rýchlostí staníc z EPN a GKÚ riešenia.

Stanica	EPN riešenie (mm/rok)			GKÚ riešenie (mm/rok)			Rozdiely (mm/rok)		
	v_n	v_e	v_u	v_n	v_e	v_u	Δv_n	Δv_e	Δv_u
BAIA	-1,1	-0,9	1,5	-0,7	-1,3	-0,2	-0,4	0,4	1,7
BBYS	-0,4	-0,1	-2,0	-0,1	0,2	-2,1	-0,3	-0,3	0,1
BOR1	-0,4	-0,4	-1,7	-0,4	-0,4	-1,3	0,0	0,0	-0,4
CFRM	-0,4	-0,6	0,4	-0,4	-0,3	0,4	0,0	-0,3	0,0
GANP	-0,6	-1,1	-0,7	-0,8	-0,7	-1,0	0,2	-0,4	0,3
GOPE	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,1	0,1	0,0	0,0	-0,4
GRAZ	0,1	0,0	-0,7	0,1	0,1	-0,4	0,0	-0,1	-0,3
JOZE	0,2	-0,8	-0,9	0,0	-0,8	-0,9	0,2	0,0	0,0
KRAW	0,6	-0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,2	0,1	0,0	0,7
MOP2	-0,7	0,2	-1,0	-0,7	0,2	-1,3	0,0	0,0	0,3
OROS	-0,4	0,0	-0,9	-0,1	0,1	-1,8	-0,3	-0,1	0,9
PENC	0,5	-0,2	-0,9	0,4	-0,3	-1,0	0,1	0,1	0,1
SULP	-0,3	-0,9	-0,5	-0,3	-1,0	-0,7	0,0	0,1	0,2

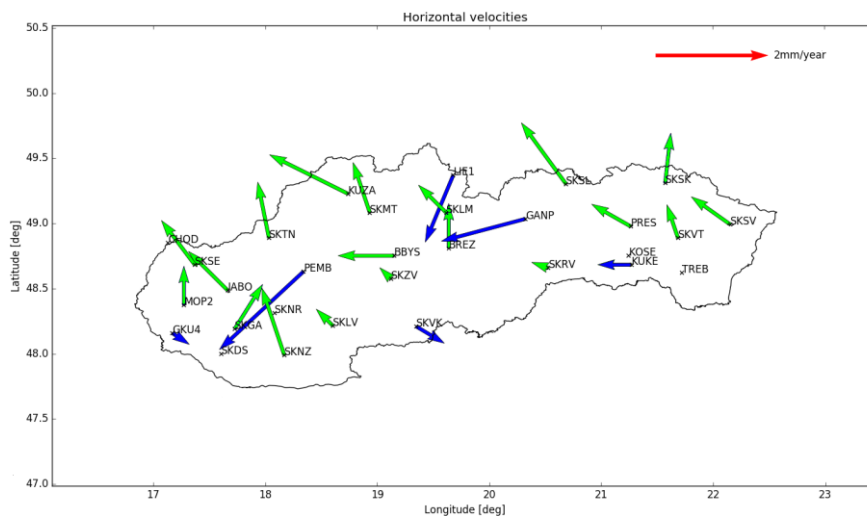
TUBO	0,2	-0,9	0,3	0,0	-0,5	0,2	0,2	-0,4	0,1
USDL	0,2	-0,5	-1,3	0,3	-0,3	-1,4	-0,1	-0,2	0,1
UZHL	-0,5	-0,9	-0,5	-0,7	-0,7	-0,3	0,2	-0,2	-0,2

Tab. 2. Dĺžky časových radov pri odhade rýchlostí permanentných GNSS staníc.

Stanica	Dĺžka (rokov)	Stanica	Dĺžka (rok)	Stanica	Dĺžka (rok)	Stanica	Dĺžka (rok)
BAIA	8,0	JABO	8,6	PENC	12,3	SKSL	12,3
BASV	5,3	JOZE	12,3	PRES	12,3	SKSV	7,3
BBYS	10,5	KAME	5,3	RISA	5,3	SKTN	5,0
BOR1	12,3	KOSE	6,1	SALG	10,5	SKVK	10,3
BREZ	8,5	KRAW	12,3	SKDS	7,4	SKVT	9,0
CFRM	12,3	KROS	10,0	SKGA	4,8	SKZV	12,3
CHOD	12,3	KUKE	5,8	SKLM	12,3	SULP	8,0
CKRO	12,3	KUZA	8,3	SKLV	10,9	TATA	12,2
CSOR	12,2	LIE1	12,3	SKMT	9,6	TELG	5,3
CVSE	12,3	MISC	12,2	SKNR	6,5	TREB	8,6
GANP	10,3	MOP2	11,0	SKNZ	9,3	TUBO	12,3
GKU4	12,3	MSTB	11,4	SKPB	6,3	USDL	11,2
GOPE	12,3	NWT1	5,2	SKRV	12,3	UZHL	10,5
GRAZ	12,3	OROS	8,0	SKSE	12,3	WIEN	12,3
GYFC	10,6	PEMB	5,6	SKSK	12,3		

6 POROVNANIE ODHADU HORIZONTÁLNYCH RÝCHLOSTÍ Z PREDCHÁDZAJÚCIMI RIEŠENIAMÍ

Na obr. 17 sú zobrazené rýchlosti staníc SKPOS prezentované v práci (Droščák, 2013). Ich porovnanie s rýchlosťami získanými v tomto článku je v tab. 3. Rýchlosti staníc z obidvoch riešení nie sú úplne totožné, rozdiely v extrémnych prípadoch dosahujú hodnoty viac ako 2,5mm/rok. Aj tento fakt poukazuje na dôležitosť dĺžky časových radov a správny odhad skokov v časových radoch. V prípade analýzy kratších časových radov môže dôjsť veľmi ľahko k nepresnej interpretácii.



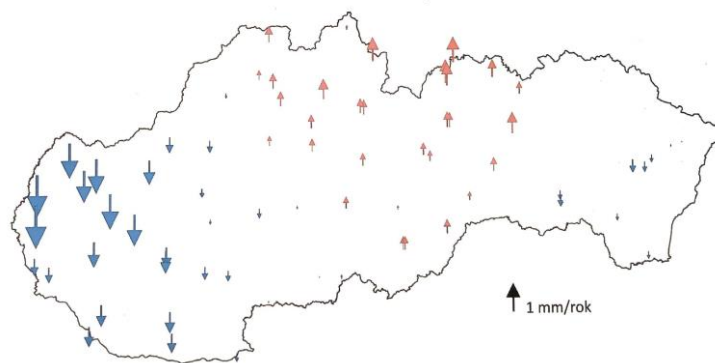
Obr 17. Horizontálne rýchlosti staníc získané z GKÚ riešenia z roku 2013 (Droščák, 2013).

Tab. 3. Porovnanie rýchlostí staníc SKPOS z riešení z rokov 2013 a 2019

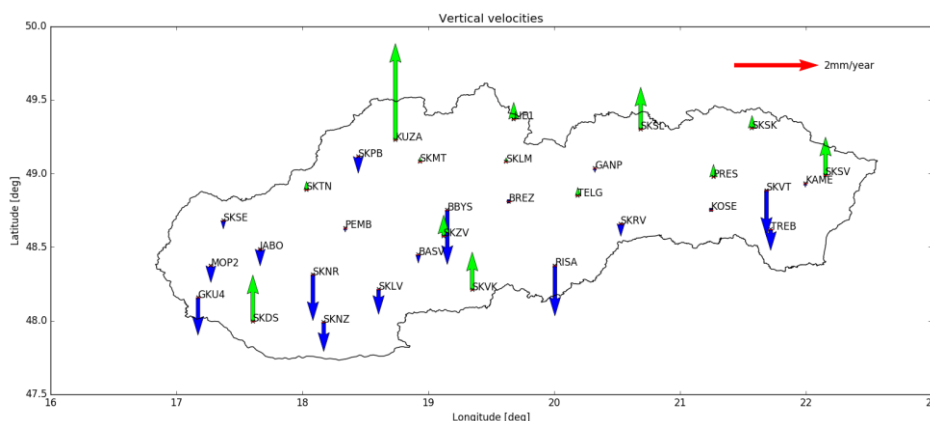
Stanica	GKÚ rýchlosti 2019 (mm/rok)			GKÚ rýchlosti 2013 (mm/rok)			Rozdiel (mm/rok)		
	v_n	v_e	v_u	v_n	v_e	v_u	Δv_n	Δv_e	Δv_u
BBYS	-0,1	0,2	-2,1	0,0	-1,0	-0,1	-0,1	1,2	-2,0
BREZ	-0,4	0,2	-0,8	0,8	0,0	1,9	-1,2	0,2	-2,7
GANP	-0,8	-0,7	-1,0	-0,4	-1,5	-0,1	-0,4	0,8	-0,9
GKU4	-0,7	0,0	-1,7	-0,2	0,3	1,1	-0,5	-0,3	-2,8
JABO	-1,0	-0,2	-1,2	0,7	-0,7	-0,5	-1,7	0,5	-0,7
KUKE	-0,3	-0,6	-2,3	0,0	-0,6	-2,0	-0,3	0,0	-0,3
KUZA	0,8	-1,6	1,6	0,7	-1,4	1,6	0,1	-0,2	0,0
LIE1	0,0	-0,4	-0,4	-1,2	-0,5	-0,1	1,2	0,1	-0,3
MOP2	-0,7	0,2	-1,3	0,7	0,0	0,4	-1,4	0,2	-1,7
PEMB	-0,4	-0,1	-1,0	-1,4	-1,5	-0,3	1,0	1,4	-0,7
PRES	-0,4	-0,8	-0,5	0,4	-0,7	1,2	-0,8	-0,1	-1,7
SKGA	1,1	0,5	0,0	0,8	0,5	-0,1	0,3	0,0	0,1
SKLM	-0,3	-0,7	-0,8	0,5	-0,5	0,8	-0,8	-0,2	-1,6
SKLV	-0,8	-0,2	-1,4	0,3	-0,3	-0,7	-1,1	0,1	-0,7
SKMT	-0,1	-0,5	-0,7	0,9	-0,3	-0,4	-1,0	-0,2	-0,3
SKNZ	-0,1	-0,3	-1,5	1,2	-0,4	-0,4	-1,3	0,1	-1,1
SKRV	-0,4	-0,2	-1,1	0,1	-0,3	-0,1	-0,5	0,1	-1,0
SKSE	-0,6	0,7	-1,0	0,8	-0,6	0,9	-1,4	1,3	-1,9
SKSK	-0,3	-0,5	-0,5	0,9	0,1	0,4	-1,2	-0,6	-0,9
SKSL	0,5	-0,8	0,2	1,1	-0,8	1,3	-0,6	0,0	-1,1
SKSV	0,8	-1,1	0,1	0,5	-0,7	0,3	0,3	-0,4	-0,2
SKTN	0,8	-1,0	-0,6	1,0	-0,2	-0,7	-0,2	-0,8	0,1
SKVK	-0,3	-0,4	0,0	-0,3	0,5	0,7	0,0	-0,9	-0,7
SKVT	-0,4	-0,2	-1,9	0,6	-0,2	-0,2	-1,0	0,0	-1,7
SKZV	-0,7	-0,4	-0,3	0,2	-0,2	0,3	-0,9	-0,2	-0,6

7 POROVNANIE VERTIKÁLNYCH RÝCHLOSTÍ S RÝCHLOSTAMI Z NIVELAČNÝCH MERANÍ

Na obr. 18 sú zobrazené odhadnuté vertikálne rýchlosti určené z veľmi presnej nivelácie z obdobia 1949 až 2016 (Majkráková, 2019). Z obrázku vyplýva, že centrálna časť Slovenska vykazuje mierny zdvih, zatiaľ čo západ a východ Slovenska mierny pokles územia, pričom nulové línie prechádzajú Považskou Bystricou, Prievidzou a Levicami na západe, resp. Svidníkom, Prešovom a Košicami na východe. V záujme overenia skutočného charakteru vertikálnych pohybov na území Slovenska boli v rámci analýzy nafiťované vertikálne rýchlosti získané z GNSS meraní na rýchlosti získané z veľmi presnej nivelácie opravením rýchlostí permanentných staníc SKPOS o priemernú hodnotu rýchlostí na staniciach prechádzajúcich vyššie uvedenými „nulovými“ oblasťami. Výsledkom je približne porovnateľná mapa recentných vertikálnych pohybov na území Slovenska (obr. 19).



Obr 18. Vertikálne rýchlosti z nivelačných meraní 1949 – 2016 (Majkráková, 2019).



Obr 19. Vertikálne rýchlosti odhadnuté z GNSS po naftovaní na rýchlosti z nivelačných meraní.

8 ZÁVER

Výsledky prezentované v príspevku potvrdzujú fakt, že Slovensko sa nachádza z pohľadu Európy a eurázijskej tektonickej platne na jej stabilnej časti, nakoľko odhadnuté vnútroplatinové rýchlosti dosahujú zväčša iba submilimetrové hodnoty. V príspevku je podrobnejšie zobrazený aj vplyv jednotlivých krokov procesu odhadu rýchlostí na ich výslednú veľkosť. Z tohto pohľadu sa ako najdôležitejší faktor spoľahlivého odhadu rýchlosti permanentných staníc javí ich kontinuálna dĺžka observácie. Odhadnuté vertikálne rýchlosti permanentných staníc SKPOS naznačujú klesajúci pohyb južnej časti územia Slovenskej republiky, čo taktiež korešponduje s inými riešeniami.

LITERATÚRA

Ceizel, P., Smolík, K., Droščák, B. (2017). Skúsenosti z analýzy hardvéru referenčných staníc SKPOS. Družicové metódy v geodézii a katastru. Česká republika.

Dach, R. U., Lutz, S., Walser, P., and Fridez, P. (2015). Bernese GNSS Software Version 5.2. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.

Dach, R. U., Hugentobler U., Fridez, P., Meindl M. (2007). Bernese GNSS Software Version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.

Droščák, B. (2013). Časové rady permanentných staníc SKPOS (2007-2013). In zborník referátov z vedecko-odborného seminára s medzinárodnou účasťou *Nové poznatky z realizácie a interpretácie geodetických meraní*. KGZA SvF STU, SSGK, GKÚ. Štrbské pleso. 21.-22.11.2013

Rapinski J., Kowalczyk K. (2016). Detection of discontinuities in the height component of gns time series. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

Ostini, L. (2012). Analysis and Quality Assessment of GNSS-Derived Parameter Time Series. PhD thesis, Astronomical Institute, University of Bern, Bern, Switzerland

Majkráková, M. (2019). Výpočet novej realizácie výškového systému na Slovensku. Prezentácia stavu plnenia koncepcnej úlohy. GKÚ Bratislava. 15.03.2019