

# AKO POČÍTAME SÚRADNICE REFERENČNÝCH STANÍC V RÁMCI SKPOS?

## HOW DO WE CALCULATE COORDINATES OF THE REFERENCE STATIONS WITHIN SKPOS?

Martin Ferianc\*<sup>1</sup>, Karol Smolík<sup>1</sup>

\*martin.ferianc@skgeodesy.sk

<sup>1</sup> Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, SR

### Abstrakt

GKÚ Bratislava je prevádzkovateľom Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS). Národné servisné centrum SKPOS sa okrem obsluhy riadiaceho softvéru, správy používateľov, monitoringu kvality a ďalších zaujímavých aktivít venuje aj správe referenčných staníc GNSS, vrátane výpočtu ich súradníc. Množina referenčných staníc SKPOS s vypočítanými priestorovými súradnicami, resp. ich rýchlosťami priamo reprezentuje národnú realizáciu systému ETRS89 na Slovensku. Z tohto dôvodu má spoľahlivosť vypočítaných súradníc priamy vplyv aj na presnosť referenčného rámca a spoľahlivosť určovania polohy v platnej národnej realizácii v rámci SKPOS. Príspevok podrobnejšie opisuje postup výpočtu oficiálnych súradníc referenčných staníc SKPOS v systéme ETRS89 pomocou softvéru Bernese, cez ich verifikáciu až po akceptáciu výkonným výborom EUREF. Okrem toho príspevok opisuje, akým spôsobom národné servisné centrum SKPOS pristupuje k výpočtu súradníc nových staníc SKPOS krátko po ich zriadení, resp. po výmene antén GNSS.

### Abstract

GKÚ Bratislava is the operator of the Slovak real-time positioning service (SKPOS). In addition to the operation of the control software, user management, quality monitoring and other interesting activities, the National Service Centre of SKPOS is also dedicated to the management of GNSS reference stations, including the calculation of their coordinates. The number of SKPOS reference stations with calculated spatial coordinates and velocities directly represents the national ETRS89 realization in Slovakia. Therefore, the reliability of the calculated coordinates also has a direct impact on the accuracy of the national reference frame and the reliability of positioning in the ETRF2000 within SKPOS. The paper describes in detail the procedure of calculating the official coordinates of SKPOS reference stations using Bernese GNSS software, through their verification up to their acceptance by the EUREF Executive Committee. It also describes how the SKPOS National Service Center calculates the coordinates of new SKPOS stations after their establishment or after GNSS antenna replacement.

### Klíčová slova

SKPOS, referenčná stanica GNSS, súradnice, spracovanie, Bernese

### Keywords

SKPOS, GNSS reference station, coordinates, processing, Bernese

## 1 Úvod

Príchodom globálnych navigačných družicových systémov (GNSS) nastala revolúcia v oblasti priestorového (3D) určovania polohy, čo viedlo k postupnej implementácii 3D súradnicových systémov popri dovtedy zaužívaným rovinným (2D) systémom v krajinách po celom svete. V roku 1990 bol definovaný Európsky terestrický referenčný systém 1989 (ETRS89) ako oficiálny 3D súradnicový systém pre Európu. Na Slovensku bol ETRS89 oficiálne zavedený ako záväzný geodetický referenčný systém až v roku 2009, a to Vyhláškou ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z.. ETRS89 je na území Slovenska

realizovaný prostredníctvom slovenského terestrického referenčného rámca (SKTRFxxxx), ktorý zodpovedá a reprezentuje národné zhustenie Európskeho terestrického referenčného rámca ETRF2000 v konkrétne zvolenej epoche. Až do 31.03.2024 bol platnou národnou realizáciou tzv. SKTRF2009, definovaný súborom geocentrických priestorových súradníc a charakteristík presnosti vybraných bodov A a B triedy Štátnej priestorovej siete (ŠPS). SKTRF2009 vznikol na základe tzv. prvého multi-ročného spracovania permanentných observácií na bodoch A triedy ŠPS, t.j. referenčných staníc SKPOS z obdobia rokov 2007 - 2009 a predchádzajúcich epochových meraní z rokov 1995 – 2009 na bodoch B triedy ŠPS, t.j. bodov Slovenskej geodynamickej referenčnej siete (SGRN). Spracovanie bolo vykonané podľa vtedy platných postupov definovaných v smerniciach EUREF vyrovnaním na množinu spoľahlivých referenčných staníc permanentnej siete EUREF. Referenčná epocha SKTRF2009 bola definovaná ako stredná epocha z obdobia spracovania údajov referenčných staníc SKPOS (2007 - 2009), t.j. 2008.5. SKTRF2009 nebol oficiálne validovaný výkonným výborom EUREF.

Za uplynulých viac ako 10 rokov došlo k významnému rozvoju družicových systémov. K americkému GPS a ruskému GLONASS pribudol európsky Galileo, resp. čínsky BeiDou, čím sa zdvojnásobil počet observovaných družíc. Zároveň došlo k aktualizácii referenčných rámcov, produktov GNSS, smerníc EUREF a spracovateľských softvérov. Okrem toho prešla sieť staníc SKPOS značnou modernizáciou. Staršie prijímače a antény schopné prijímať signály len z družíc GPS a GLONASS boli nahradené novým multi-GNSS. Viaceré pôvodné stanice SKPOS na strechách budov boli zrušené a nahradené novými stanicami s hĺbkovou stabilizáciou priamo do zemského podlažia v nových lokalitách s rovnomernejším rozložením po Slovensku. Epochové merania na bodoch B triedy ŠPS stratili popri permanentných meraniach svoj význam, a preto boli v roku 2009 ukončené. SKTRF2009 sa tak začal udržiavať výhradne prostredníctvom permanentných referenčných staníc SKPOS. Navyše, od zavedenia SKTRF2009 pribudlo ďalších viac ako 10 rokov permanentných observácií a došlo aj k vzdialeniu referenčnej epochy 2008.5 od nových epoch merania. Zároveň, pri pôvodnom SKTRF2009 absentovali informácie o ročných zmenách súradníc (tzv. rýchlostiach), ktoré sa používajú na extrapoláciu súradníc.

To všetko vyvrcholilo v roku 2019 do rozhodnutia GKÚ Bratislava ako správcu geodetických základov (GZ) Slovenska vypracovať novú koncepciu výpočtu súradníc a rýchlostí staníc SKPOS, ktorá by zahŕňala nový homogénny prepočet celej siete SKPOS podľa najnovších odporúčení a štandardov EUREF, aktualizáciu národnej realizácie ETRS89 a návrh koncepcie výpočtu súradníc nových staníc SKPOS, resp. aktualizácie súradníc po výmene antény. Predkladaná koncepcia zavádza pojmy ako približné súradnice, operatívne súradnice a oficiálne súradnice staníc, a je súčasťou pripravovanej smernice na správu GZ Slovenska [1]. Cieľom príspevku je priblížiť geodetickej komunite koncepciu výpočtu súradníc referenčných staníc GNSS na Slovensku.

## 2 Rozdelenie súradníc staníc SKPOS

Súradnice staníc SKPOS sú určované v referenčnom systéme ETRS89, v realizácii ETRF2000 (epocha 2008.5). V rámci SKPOS sa rozlišujú tri typy súradníc podľa dĺžky observácie stanice [1]:

**Približné súradnice** sú počítané ihneď po zriadení každej novej stanice SKPOS na základe spracovania 24-hodinovej observácie RINEX s pripojením na okolité stanice SKPOS, prostredníctvom post-procesného softvéru, resp. služby SKPOS Online Postprocessing. Približné súradnice slúžia len ako apriórne súradnice na prvotné testovacie, monitorovacie a výpočtové účely pred začlenením stanice do siete SKPOS a služby RTN. Po dodatočnom spracovaní sú nahradené operatívnymi, resp. oficiálnymi súradnicami. Približné súradnice sa neevídujú v oficiálnej dokumentácii staníc SKPOS.

**Operatívne súradnice** sú počítané vo vedeckom softvéri Bernese na základe spracovania denných, riešení celej siete SKPOS z obdobia minimálne štyroch týždňov. Na základe výpočtu operatívnych súradníc sa stanica implementuje do siete SKPOS a služby RTN. O výpočte operatívnych súradníc stanice SKPOS sa vyhotovuje technická správa, ktorá podlieha autorizácii správcom GZ Slovenska.

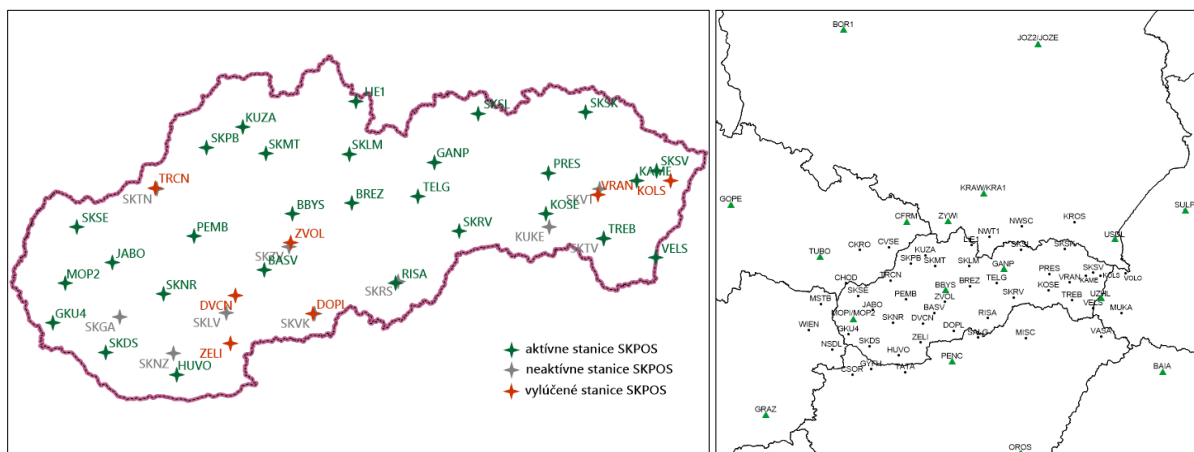
**Oficiálne súradnice a rýchlosti** sú počítané vo vedeckom softvéri Bernese na základe kombinácie normálnych rovníc denných, resp. týždenných riešení z obdobia minimálne troch rokov, čo zabezpečuje spoľahlivý odhad rýchlostí stanice. Oficiálne súradnice a rýchlosti sa zväčša počítajú pre celú sieť raz za niekoľko rokov, pri aktualizácii referenčného rámca IGS. O výpočte oficiálnych súradníc sa vyhotovuje report, ktorý sa predkladá na validáciu výkonnému výboru EUREF.

### 3 Výpočet oficiálnych súradníc staníc SKPOS

Inšpiráciou pre výpočet nových oficiálnych súradníc staníc SKPOS, a teda novej národnej realizácie ETRS89 na Slovensku bol príspevok estónskej mapovacej agentúry MAA-AMET o spracovaní, výpočte a validácii novej národnej realizácii ETRS89 v Estónsku na výročnom sympóziu EUREF 2019. Hneď po návrate z výročného sympózia bol vedeniu GKÚ Bratislava prezentovaný zámer nového spracovania siete SKPOS po vzore Estónska a príprava komplexnej koncepcie výpočtu súradníc. V rámci prípravných prác sa v rokoch 2019 a 2020 zúčastnil zástupca GKÚ Bratislava na workshope pre analytické centrá EPN, kde boli prezentované najnovšie odporúčenia a štandardy spracovania údajov v rámci EPN, ako aj kurzu na prácu so softvérom Bernese, kde sa rozšírili znalosti o jednotlivých programoch v softvéri a prediskutovalo sa správne nastavenie spracovateľskej kampane. Práce na druhom multi-ročnom spracovaní siete SKPOS začali na jar 2020 postupným spätným reprocessingom denných a týždenných riešení SKPOS a boli dokončené koncom roka 2021. Počas reprocessingu údajov bola navyše publikovaná nová smernica pre EUREF Densifications [2], ktorá opisuje postup spracovania národných realizácii ETRS89 a validáciu výsledkov.

#### 3.1 Výber staníc vstupujúcich do spracovania

Do spracovania druhého multi-ročného riešenia SKPOS vstupovalo 38 staníc SKPOS (Obr. 1), z toho 28 aktívnych a 10 už neaktívnych staníc. Zo spracovania bolo vylúčených päť vtedy najnovších staníc (DVCN, TRCN, VRAN, ZELI a ZVOL), ktoré boli v prevádzke menej ak tri roky, a dve stanice (DOPL a KOLS) z dôvodu anomálneho správania a nestabilného časového radu súradníc. Do spracovania vstupovali aj zahraničné stanice SKPOS (Obr. 1) a vybrané stanice EPN z okolia Slovenska. Spoľahlivé referenčné stanice EPN (Tab. 1), na ktoré bolo spracovanie naviazané, boli vyberané podľa online selektívneho nástroja dostupného na web stránke EPN [3].



Obr. 1, 2 Mapa staníc vstupujúcich do druhého multi-ročného spracovania SKPOS.

Tab. 1 Zoznam spoľahlivých referenčných staníc EPN selektovaných pomocou online nástroja EPN.

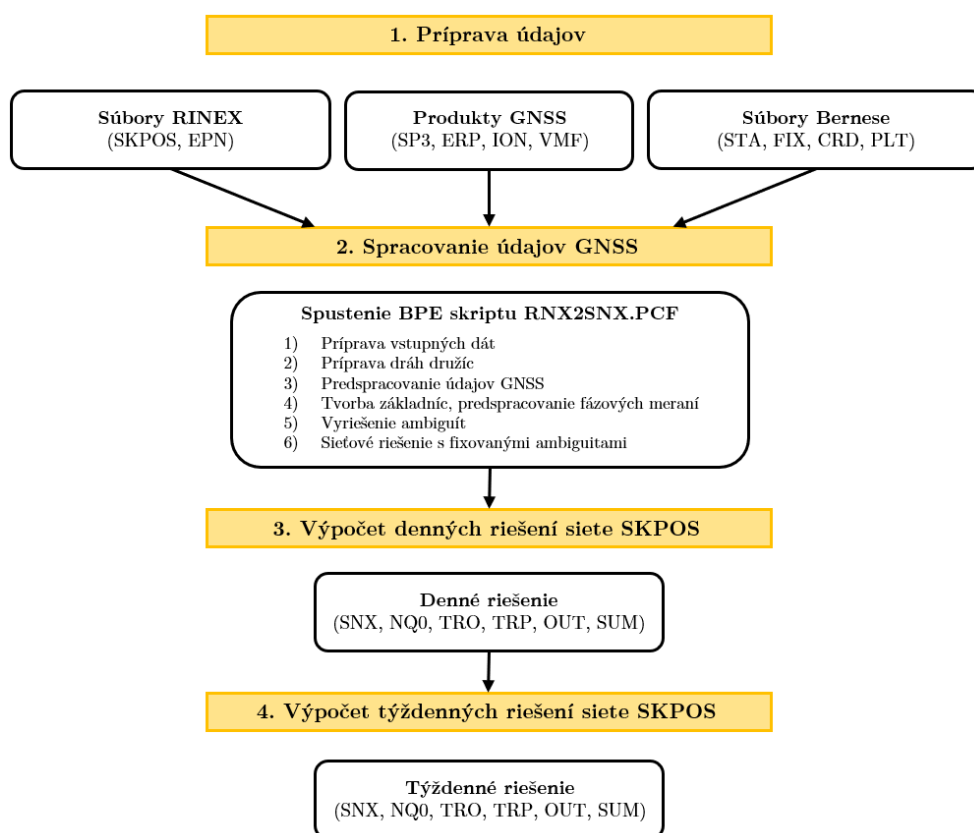
Stanica	Lokalita	9-char ID	DOMES #	Klasifikácia EPN
BAIA	Baia Mare	BAIA00ROU	11406M001	C0
BBYS	Banská Bystrica	BBYS00SVK	11514M001	C3
BOR1	Borowiec	BOR100POL	12205M002	C0
GOPE	Pecný	GOPE00CZE	11502M002	C0
GRAZ	Graz	GRAZ00AUT	11001M002	C0
JOZ2	Jozefoslaw	JOZ200POL	12204M002	C0
OROS	Orosháza	OROS00HUN	11207M001	C2
PENC	Penc	PENC00HUN	11206M006	C0
TUBO	Brno	TUBO00CZE	11503M001	C1
USDL	Ustrzyki Dolne	USDL00POL	12229M001	C0

### 3.2 Spracovanie

Výpočet prebiehal v softvéri Bernese 5.2 v realizáciách IGb08, IGS14 a IGb14, pričom boli spracované observácie zo systémov GPS, GLONASS a neskôr aj Galileo. Do výpočtu vstupovali observácie od 01.01.2007 do 31.12.2020 (týždne GPS 1408 - 2138), produkty GNSS od analyzačného centra CODE a ďalšie súbory napr. oceánske slapy, atmosférické slapy, ionosférické mapy a troposférické modely. Celé spracovanie bolo rozdelené do troch spracovateľských kampaní (Tab. 2) naviazané na referenčné produkty EPN obsahujúce oficiálne súradnice a rýchlosti staníc EPN. Schéma spracovania je zobrazená na Obr. 3. Podrobný postup spracovania je popísaný v reporte z druhého multi-ročného spracovania siete SKPOS [4].

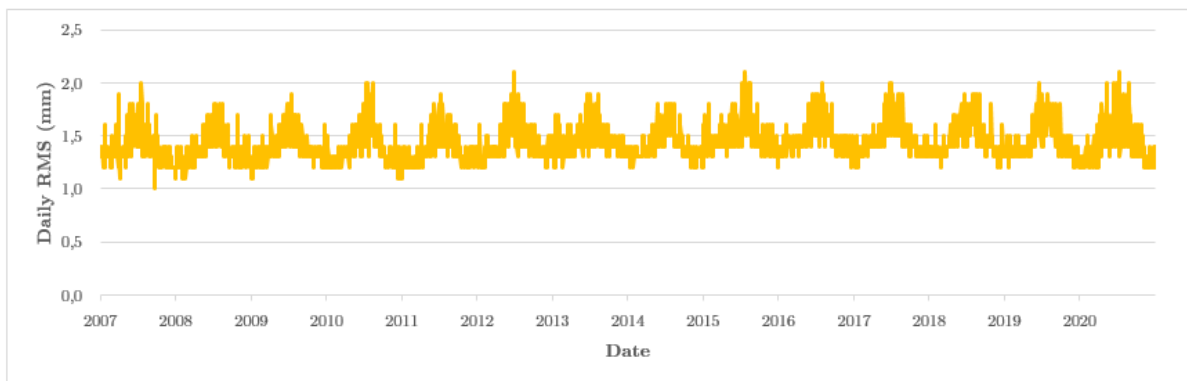
Tab. 2 Základné informácie o spracovateľských kampaniach siete SKPOS.

Parameter/Kampan	REPRO (týždne GPS 1408 - 1933)	OPERATIONAL (týždne GPS 1934 - 2085)	OPERATIONAL (týždne GPS 2086 - 2138)
Referenčný rámec	IGb08	IGS14	IGS14 (od 2106 IGb14)
Kalib. model antény	e pn_08.atx	e pn_14.atx	e pn_14.atx
Produkty GNSS	CODE REPRO_2015	CODE final	CODE rapid
Sprac. observácie	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO+GAL
Model dráh družíc	DYX sun-oriented (old)	D2X sun-oriented (new)	D2X sun-oriented (new)
RINEX súbory	RINEX v2	RINEX v2	RINEX v2 + RINEX v3
Produkt EPN	EPN_A_IGb08_C1934.SNX	EPN_A_IGb14_C2130.SNX	EPN_A_IGb14_C2130.SNX
Sprac. základníc	OBS-MAX		
Model troposféry	VMF1		
Model ionosféry	CODE		
Oceánske slapy	FES2004		
Atmosférické slapy	generované pomocou Bernese 5.2		



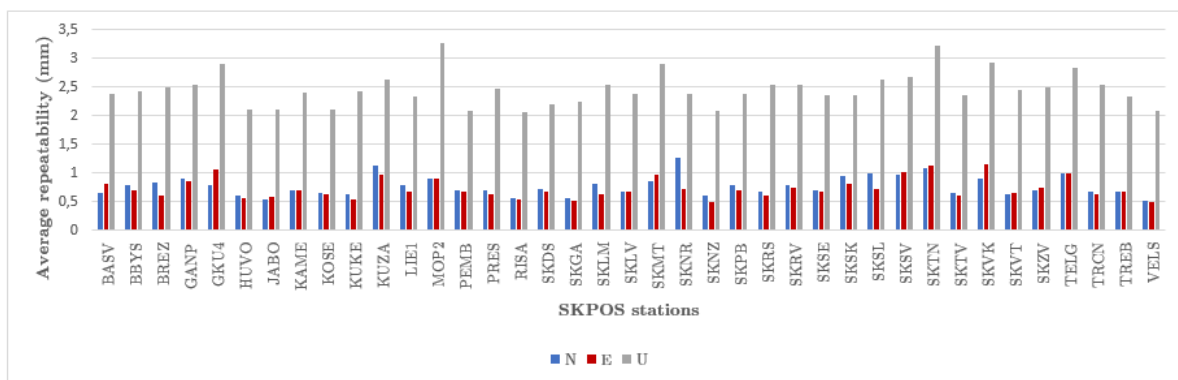
Obr. 3 Postup spracovania siete SKPOS.

Najprv boli vypočítané denné súradnicové riešenia siete staníc SKPOS. Pri naviazaní siete SKPOS na spoľahlivé stanice EPN sa využívala podmienka tzv. Minimum Constraints. Stredné chyby denných riešení z obdobia rokov 2007 - 2020 sú znázornené na Obr. 4. Priemerná stredná chyba dosiahla hodnotu 1.40 mm (Obr. 4).



Obr. 4 Stredné chyby denných riešení SKPOS (2007 - 2020).

Následne sa denné riešenia kombinovali do týždenných riešení pomocou programu ADDNEQ2 v softvéri Bernese. Priemerná opakovateľnosť súradníc dosiahnutá z týždenných riešení bola na úrovni do 1 mm v polohe a do 2.5 mm vo výške (Obr. 5).



Obr. 5 Priemerná opakovateľnosť súradníc všetkých počítaných staníc SKPOS.

Všetky týždenné riešenia z obdobia rokov 2007 až 2020 boli následne použité na výpočet druhého multi-ročného riešenia SKPOS. Samotnému výpočtu predchádzalo ešte niekoľko prípravných úkonov. V záujme dosiahnutia konzistentného multi-ročného riešenia bolo potrebné transformovať týždenné riešenia z obdobia týždňov GPS 1408 až 1933 z realizácie IGB08 do IGS14 pomocou tzv. latitude-dependent modelov a skriptov IGS. Následne boli transformované týždenné riešenia vo formáte SINEX konvertované na súbory normálnych rovníc (NQ0) a súradníc (CRD) pomocou softvéru Bernese. Nasledovala analýza časových radov súradníc staníc programom FODITS v softvéri Bernese. Po odhalení všetkých diskontinuit v časových radoch, spôsobených najmä výmenou antény, a po odstránení odľahlých hodnôt a sezónnej variácie sa pristúpilo k finálnemu výpočtu multi-ročného riešenia v programe ADDNEQ2 a generovaniu tzv. reziduálnych časových radov s eliminovaným trendom. Súradnice a rýchlosti staníc SKPOS boli naviazané na kumulatívne riešenie EPN EPN\_A\_IGb14\_C2130 na základe splnenia podmienky Minimum Constraints. Výsledkom boli novo odhadnuté súradnice a rýchlosti staníc SKPOS v realizácii IGB14. Následne sa súradnice transformovali z realizácie IGB14 do realizácie ETRF2000 pomocou transformačnej služby EPN [3]. Z dôvodu nadväznosti na pôvodnú realizáciu SKTRF2009 ostala zachovaná referenčná epocha 2008.5.

### 3.3 Verifikácia výsledkov

Správnosť výsledkov bola overená porovnaním súradníc a rýchlostí staníc EPN, resp. SKPOS v realizácii IGB14 v epoche 2008.5 s tromi kumulatívnymi riešeniami EPN, resp. EPN Densification. Porovnávacím kritériom bol rozdiel v súradniciach do 5 mm a rozdiel v rýchlosti do 0.5 mm/rok. Najprv sa porovnali odhadnuté súradnice a rýchlosti staníc EPN s kumulatívnym riešením EPN z týždňa GPS 2130 (EPN C2130). V rámci porovnania neboli zaznamenané žiadne rozdiely v polohe väčšie ako 5 mm ani rozdiely v rýchlosti väčšie ako 0.5 mm/rok. Následne sa porovnali súradnice a rýchlosti staníc SKPOS s tzv. AC-wise GKU kumulatívnym riešením z týždňa GPS 2145 (C2145), ktoré spracoval J. Zurutuza z výkonného výboru EUREF, a tiež kumulatívnym riešením EPN Densification z týždňa GPS 2100 (D2100), ktorý spracoval A. Kenyeres, t.j. predsedu pracovnej skupiny pre EUREF Densifications. V oboch prípadoch bola dosiahnutá veľmi dobrá konzistentnosť dosiahnutých výsledkov s ojedinelými prípadmi prekračujúcimi stanovené kritéria (Tab. 3), ktoré boli zväčša zapríčinené rozdielnou dĺžkou spracovaného obdobia [4]. Z porovnania výsledkov je možné konštatovať, že výsledne spracovanie bolo vykonané korektne.

Tab. 3 Porovnanie výsledkov spracovania SKPOS a kumulatívnymi riešeniami EPN, resp. EPN Densification.

Kumul. riešenie	Autor	Porovnávané stanice (#)	Rozdiely v polohe > 5 mm	Rozdiely v rýchlosti > 0.5 mm/rok
EPN (C2130)	J. Legrand	EPN (18)	0×	0×
EPN Densification (C2145)	J. Zurutuza	SKPOS (38)	1×	2×
EPN Densification (D2100)	A. Kenyeres	SKPOS (38)	2×	4×

### 3.4 Validácia výsledkov a nová národná realizácia ETRS89 na Slovensku

Druhé multi-ročné riešenie SKPOS zahŕňajúce novo odhadnuté súradnice staníc SKPOS v realizácii ETRF2000 (epocha 2008.5), ročné zmeny súradníc a ich charakteristiky presnosti bolo v novembri 2021 predložené na validáciu do EUREF, následne v marci 2022 obhájené pred výkonným výborom EUREF a v júni 2022 na sympóziu EUREF aj rezolúciou schválené ako najvyššia A trieda národného zhustenia EUREF pre Slovensko. Po schválení EUREF-om sa druhé multi-ročné riešenie SKPOS stalo základom nového Slovenského terestrického referenčného rámca, tzv. SKTRF2022 [5], ktorý novelizáciou vyhlášky ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z. dňa 01.04.2024 nahradil pôvodný SKTRF2009.

### 3.5 Tretie multi-ročné spracovanie SKPOS

Medzičasom, 27.11.2022 vstúpil do platnosti nová realizácia IGS (tzv. IGS20), v ktorej sú publikované produkty GNSS, a ktorá nahradila pôvodnú realizáciu IGB14. Vzniku novej realizácie IGS20 predchádzal tzv. tretí IGS reprocessing údajov GNSS (IGS repro3), ktorý zahŕňal aj adaptáciu nových štandardov v rámci spracovania. Nové štandardy IGS automaticky prevzal a adaptoval aj EUREF v rámci EPN. Medzi najvýznamnejšie zmeny v štandardoch patrí spracovanie družíc Galileo (popri GPS a GLONASS) v rámci oficiálnych produktov IGS, nové označenie produktov, použitie najnovšieho modelu oceánskych slapov (FES2014b), ukončenie používania atmosférických slapov, nové produkty troposféry (VMF3), adopcia nových modelov pólu, upustenie od individuálnych kalibrácií antén a korekcia antén, ktoré nie sú nasmerované na sever. V rámci IGS repro3 boli všetky pôvodné produkty GNSS prepočítané do najnovšej realizácie IGS20, čím sú všetky produkty homogénne a nie je treba používať tzv. latitude-dependent modely na transformáciu medzi jednotlivými realizáciami. Okrem toho bola v októbri 2022 zverejnená aktualizácia softvéru Bernese – verzia 5.4.

V decembri 2023 GKÚ vykonalo upgrade softvéru Bernese na verziu 5.4 a adaptovalo všetky najnovšie štandardy IGS pre spracovanie údajov GNSS. V priebehu roku 2024 bol vykonaný nový komplexný a homogénny reprocessing údajov siete SKPOS podľa aktuálnych odporúčaní a štandardov v realizácii IGS20. Aktuálne prebieha analýza časových radov súradníc staníc. V najbližšom období je v pláne výpočet tzv. tretieho multi-ročného riešenia SKPOS, po ktorom bude nasledovať porovnanie, verifikácia a validácia výsledkov, ktoré by mohli byť podkladom pre budúcu novú národnú realizáciu ETRS89.

## 4 Výpočet operatívnych súradníc nových staníc SKPOS

SKPOS pri svojom vzniku na prelome rokov 2006/2007 tvorilo 21 referenčných staníc, z ktorých väčšina bola umiestnená na strechách budov bývalých správ katastra. Medzičasom došlo a stále dochádza k relokácii niektorých pracovísk katastrov do nových budov, čo má vplyv aj na presun staníc SKPOS. GKÚ Bratislava, ako správca SKPOS má za cieľ postupne premiestniť všetky stanice SKPOS na strechách budov, a to do nových lokalít mimo katastrov, s kvalitnejšou geodynamickou stabilizáciou formou železo-betónového piliera alebo vrátných tyčí priamo do zemského podlažia. Každoročne sa podarí premiestniť a zriadiť v priemere jednu až dve nové stanice SKPOS. Pri zriaďovaní nových staníc a ich implementácii do služby RTN je najväčšou výzvou výpočet spoľahlivých súradníc v platnej národnej realizácii ETRS89, t.j. ETRF2000 epocha 2008.5. Zatiaľ čo pri stanicach, ktoré sú v prevádzke dlhšie ako 3 roky vieme spoľahlivo odhadnúť súradnice a rýchlosti, v prípade nových staníc je problematické spoľahlivo odhadnúť najmä rýchlosti, pomocou ktorých je potrebné extrapolovať súradnice z aktuálnej epochy (t.j. po spustení prevádzky stanice) do referenčnej epochy 2008.5. Najkorektnjší prístup by bol ponechať stanicu mimo sieťového riešenia po dobu aspoň troch rokov, spracovávať jej údaje, následne vypočítať spoľahlivé súradnice a rýchlosti, a až potom oficiálne zaradiť stanicu do prevádzky. To by však bolo zdĺhavé a prakticky neefektívne. Preto bolo potrebné v rámci GKÚ navrhnuť koncepciu, ako čo najspoľahlivejšie určiť súradnice nových staníc SKPOS v národnej realizácii ETRS89 bez použitia rýchlostí. Táto otázka bola konzultovaná aj s prevádzkovateľmi okolitých národných polohových služieb, avšak každá krajina pristupuje k výpočtu súradníc iným spôsobom a oficiálne odporúčenia neexistujú. Až v roku 2022, po konzultácii z Dr. Elmarom Brockmannom z Astronomického ústavu Bernskej univerzity (AIUB), GKÚ navrhlo 2-etapový postup výpočtu operatívnych súradníc nových staníc SKPOS v softvéri Bernese. Postup výpočtu súradníc bude ilustrovaný na príklade novej referenčnej stanice SPVL (Obr. 6), ktorá bola zriadená dňa 01.03.2023.



Obr. 6 Nová referenčná stanica SKPOS v Spišských Vlachoch (SPVL).

Princíp výpočtu spočíva vo výpočte súradníc novej stanice z obdobia minimálne štyroch týždňov v strednej epoche observačného intervalu v realizácii IGS20 a následnej Helmertovej transformácie súradníc zo strednej epochy merania do referenčnej epochy 2008.5 [6]. Do spracovania vstupujú:

- súbory RED\*.NQ0 (redukované denné normálne rovnice z obdobia min. štyroch týždňov),
- súbor SKPOS.STA (metaúdaje o stanicach spracovávaných v rámci siete SKPOS)
- súbor SKPOS.FIX (zoznam referenčných staníc EPN, na ktorých sa uplatňuje podmienka Minimum Constraints),
- súbor SKPOS.CRD (súradnice staníc spracovávaných v rámci siete SKPOS),
- súbor SKPOS.VEL (rýchlosti staníc spracovávaných v rámci siete SKPOS).

Súbory SKPOS.CRD a SKPOS.VEL obsahujú oficiálne súradnice a rýchlosti staníc z druhého multi-ročného riešenia SKPOS transformované z ETRF2000 do IGS20, súradnice a rýchlosti staníc EPN z posledného dostupného kumulatívneho riešenia EPN C2235. (Pozn.: Oficiálne súradnice a rýchlosti staníc EPN aj SKPOS sú publikované v realizácii IGB14 a do IGS20 boli transformované pomocou [3] a približné súradnice stanice SPVL vypočítané z 24-hodinovej observácie cez nástroj SKPOS Online Postprocessing v ETRF2000, a následne transformované do IGS20.)

Prvá časť výpočtu prebieha v programe ADDNEQ2. Kombináciou normálnych rovníc pri súčasnom uplatnení podmienky tzv. „Minimum Constraints“ sa vykoná vyrovnanie celej siete staníc na jej ťažisko, ktoré tvoria spoľahlivé referenčné stanice EPN (súbor SKPOS.FIX) vybrané pomocou nástroja EPN Reference Station Selection Tool [7] (Tab. 1). Výsledkom sú odhadnuté súradnice všetkých spracovávaných staníc v realizácii IGS20 v strednej epoche observácie z programu ADDNEQ2 (súbor ADDNEQ2.CRD). Následne sa vykoná kontrola opakovateľnosti súradníc jednotlivých referenčných staníc EPN a novej stanice SPVL vo výstupnom reporte z programu ADDNEQ2 (súbor ADDNEQ2.OUT). Opakovateľnosť súradníc de facto vyjadruje samotnú presnosť odhadnutých súradníc. Nakoľko opakovateľnosť súradníc neprekročila 1 mm v polohe a 3 mm vo výške (Tab. 4), čo je pod stanovenou krajnou odchýlkou 5 mm pre jednotlivé osi NEU, odhadnuté súradnice môžeme považovať za hodnoverné.

Tab. 4 Opakovateľnosť vypočítaných súradníc novej stanice PRSV a referenčných staníc EPN.

Stanica	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
SPVL	0.68	0.56	1.96
BAIA	0.55	0.69	2.69
BORI	0.85	0.47	1.46
CFRM	0.52	0.50	1.71
GOPE	0.39	0.52	1.50
GRAZ	0.52	0.67	2.20
JOZ2	0.48	0.49	1.38
JOZE	0.57	0.49	1.80
PENC	0.52	0.58	2.19
TUBO	0.39	0.57	2.02
USDL	0.90	0.98	1.97

Druhá časť výpočtu prebieha v programe HELMR1. Program umožňuje odhadnúť Helmertove transformačné parametre medzi dvomi súbormi súradníc v rozdielnej epoche (odhadujú sa tri parametre translácie). Do programu vstupuje súbor SKPOS.CRD obsahujúci oficiálne súradnice staníc SKPOS a EPN v realizácii IGS20 v referenčnej epoche 2008.5, súbor ADDNEQ2.CRD obsahujúci odhadnuté súradnice staníc v realizácii IGS20 v strednej epoche observácie, súbor SKPOS.FIX a súbor SKPOS.VEL, z ktorého sú použité iba rýchlosti referenčných staníc EPN tvoriacich ťažisko siete, a to na extrapoláciu súradníc zo strednej epochy observácie do referenčnej epochy. V prípade, že niektorá z referenčných staníc EPN pri transformácii vykazuje odľahlé hodnoty, pričom prekračuje stanovenú krajnú odchýlku 10 mm v jednej z osí NEU, stanica je z Helmertovej transformácie vylúčená. Na základe odhadnutých Helmertových transformačných parametrov na spoľahlivých referenčných staniach EPN sa súradnice celej siete SKPOS transformujú zo strednej epochy observácie do referenčnej epochy 2008.5, čím sa získajú tzv. operatívne súradnice novej stanice SKPOS bez použitia jej rýchlostí (súbor HELMERT.CRD). Spoľahlivosť výsledkov je možné overiť na základe strednej chyby Helmertovej transformácie vo výstupnom reporte z programu HELMR1 (súbor HELMERT.OUT). V prípade výpočtu súradníc stanice SPVL bola stredná chyba transformácie 2.25 mm. Dosiahnuté reziduá na jednotlivých referenčných staniach EPN sú uvedené v Tab. 5. Zo súboru HELMERT.CRD sú prevzaté len odhadnuté operatívne súradnice novej stanice SKPOS, ktoré sa následne transformujú z realizácie IGS20 do platnej národnej realizácie ETRS89, t.j. ETRF2000 prostredníctvom transformačnej služby EPN [3].

Tab. 5 Opakovateľnosť vypočítaných súradníc novej stanice PRSV a referenčných staníc EPN.

Stanica	Reziduá		
	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
BAIA	-0.59	-0.21	-2.27
BOR1	0.63	-0.58	1.18
CFRM	0.29	-0.93	1.31
GOPE	0.91	0.08	-6.36
GRAZ	1.18	-0.26	4.46
JOZ2	1.53	2.62	-3.89
PENC	-2.01	1.26	1.76
TUBO	0.19	-1.60	1.49
USDL	-1.90	-0.55	2.54

Následne sa vykoná kontrolné porovnanie odhadnutých operatívnych súradníc novej stanice s približnými súradnicami z 24-hodinovej observácie vypočítanými post-processným softvérom, resp. službou SKPOS Online Postprocessing v realizácii ETRF2000 (epocha 2008.5). Rozdiely súradníc vo väčšine prípadov dosahujú hodnoty na úrovni niekoľkých milimetrov. Na záver sa nová stanica SKPOS s novými operatívnymi súradnicami pridá do riadiaceho softvéru služby SKPOS mimo sieťového riešenia, pričom súradnice stanice sú ešte niekoľko dní monitorované funkciou Integrity Monitor. Až po kontrole stability súradníc administrátorom SKPOS v riadiacom softvéri sa nová stanica oficiálne začlení do siete SKPOS a pridá do služby RTN. Proces začlenenia novej stanice SKPOS od spustenia jej prevádzky až po zaradenie do siete trvá približne dva mesiace. O výpočte operatívnych súradníc novej stanice SKPOS sa vyhotovuje technická správa, ktorá podlieha autorizácii správcom GZ Slovenska. Po minimálne trojročnej bezproblémovej prevádzke stanice je možné pristúpiť k vypočítaniu oficiálnych súradníc a rýchlostí stanice, ktoré nahradia operatívne súradnice. Výpočet môže prebehnúť buď individuálne pre konkrétnu stanicu alebo komplexne pre celú sieť pri najbližšej aktualizácii referenčného rámca IGS a ďalšom multi-ročnom spracovaní siete SKPOS.

## 5 Aktualizácia súradníc staníc SKPOS po výmene antény

V rámci SKPOS sa počítajú nové súradnice stanice aj po výmene antény GNSS, nakoľko výmenou antény môže dochádzať k zmene polohy fázového centra antény, a teda aj k zmene súradníc referenčnej stanice. Výmena antény sa často prejaví diskontinuitou v časovom rade súradníc. V prípade multi-ročného spracovania siete SKPOS sú súradnice staníc počítané samostatne pre jednotlivé obdobia s rôznym typom antén GNSS. Diskontinuity spôsobené výmenou antény sa dátumovo zadefinujú v prvej sekcii súboru STA, ktorý využíva softvér Bernese. V prípade výmeny antény na stanici v období mimo aktualizácie referenčného rámca, t.j. mimo multi-ročného spracovania siete SKPOS, sa uplatňuje rovnaký postup ako v prípade výpočtu operatívnych súradníc stanice SKPOS (Kap. 4). O aktualizácii súradníc stanice SKPOS po výmene antény sa vyhotovuje technická správa, ktorá podlieha autorizácii povereným správcom GZ Slovenska.

## 6 Záver

Cieľom príspevku boli priblížiť geodetickej komunite, akým spôsobom sú počítané súradnice referenčných staníc v rámci SKPOS. Nakoľko množina referenčných staníc SKPOS s vypočítanými priestorovými súradnicami reprezentuje národnú realizáciu systému ETRS89 na Slovensku, spoľahlivosť vypočítaných súradníc má priamy vplyv aj na presnosť referenčného rámca a spoľahlivosť určovania polohy v platnej národnej realizácii v rámci RTN služby SKPOS. V rámci pripravovanej smernice na správu geodetických základov Slovenska boli zadefinované pojmy približné, operatívne a oficiálne súradnice staníc SKPOS. Oficiálne súradnice a rýchlosti sú spoločne počítané v rámci multi-ročného spracovania celej siete SKPOS v softvéri Bernese, pričom výsledky podliehajú validácii výkonným výborom EUREF. V prípade zriadenia novej stanice SKPOS sa pre testovacie účely dočasne vypočítajú približné súradnice stanice z 24-hodinovej observácie, ktoré sú neskôr nahradené operatívnymi súradnicami vypočítanými 2-etapovým spracovaním z obdobia minimálne štyroch

týždňov v softvéri Bernese. V dôsledku absencie oficiálnych štandardizovaných postupov na výpočet súradníc nových referenčných staníc GNSS sa postupy uvedené vyššie aplikujú iba v rámci Slovenska. Do budúca by bolo určite zaujímavé, keby vlastný postup výpočtu súradníc referenčných staníc GNSS prezentovali aj ďalšie krajiny.

### **Literatúra**

- [1] FERIANC, M.: *Návrh smernice na správu geodetických základov SR – sekcia Správa siete permanentných staníc Slovenskej priestorovej observačnej služby (Interný dokument)*. Bratislava. 2022.
- [2] LEGRAND, J. et al.: *Guidelines for EUREF Densifications*. Brussels: Royal Observatory of Belgium. 2021.
- [3] [https://epncb.oma.be/\\_productsservices/coord\\_trans/](https://epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/)
- [4] FERIANC, M. et al.: *REPORT OF COMPUTATION OF THE SKPOS MULTI-YEAR SOLUTION AS EUREF DENSIFICATION FOR SLOVAKIA*. Bratislava: GKÚ Bratislava. 2021. [https://skpos.gku.sk/files/GKU\\_report.zip](https://skpos.gku.sk/files/GKU_report.zip)
- [5] FERIANC, M.: *SKTRF2022 – NOVÁ NÁRODNÁ REALIZÁCIA EURÓPSKEHO TERESTRICKÉHO REFERENČNÉHO SYSTEMU 1989 (Technická správa)*. Bratislava: GKÚ Bratislava. 2002.
- [6] FERIANC, M.: *Výpočet operatívnych súradníc referenčnej stanice SKPOS Spišské Vlachy (SPVL) v systéme ETRS89 (Technická správa)*
- [7] [https://epncb.oma.be/\\_productsservices/ReferenceFrame/](https://epncb.oma.be/_productsservices/ReferenceFrame/)

Recenzováno: 13. 1. 2025