

# TEST RTK MERANIA NA NAJBLIŽŠIU REFERENČNÚ STANICU V SLUŽBE SKPOS

## RTK MEASUREMENT TO THE NEAREST REFERENCE STATION IN SKPOS SERVICE

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

\*karol.smolik@skgeodesy.sk

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

### Abstrakt

Slovenská priestorová observačná služba od svojho vzniku poskytuje služby v reálnom čase výhradne metódou sieťového RTK v koncepte virtuálnej referenčnej stanice. Metóda sieťového RTK kompenzuje nedostatok klasického RTK merania priamo na referenčnú stanicu, kde s narastajúcou sa vzdialenosťou od referenčnej stanice klesá presnosť. S väčším počtom družíc Galileo a BeiDou sa stáva generovanie sieťového riešenia čoraz komplikovanejšie a nie je možné generovať sieťové riešenie so všetkých prijímaných družíc. Preto môže byť vhodnejšie v blízkosti referenčných staníc a v zložitejších podmienkach ako sú zákryty a pod., využiť údaje priamo z najbližšej referenčnej stanice s plným počtom observovaných družíc. Príspevok je venovaný výsledkom testov na porovnanie sieťového RTK merania s RTK meraním na najbližšiu referenčnú stanicu z pohľadu kvalitatívnych parametrov ako presnosť, dĺžka inicializačného času, počet družíc, parameter PDOP.

### Abstract

Since 2006 SKPOS provides its real-time positioning services based on the RTK method using a virtual reference station. The network RTK method compensates the lack of a classic RTK measurements directly at the reference station, where the accuracy decreases with the increased distance from the reference station. With more Galileo and BeiDou satellites, generating a network solution becomes more complicated and it is not possible to generate a network solution from all received satellites. Therefore, it may be more appropriate in the vicinity of reference stations and in worse observing conditions such as urban canyons, etc., to use data directly from the nearest reference station with the full number of observed satellites. This article represents the results of several RTK tests comparing network RTK measurement with RTK measurement at the nearest reference station by the quality parameters such as accuracy, length of initialization time, number of satellites and PDOP parameter.

### Kľúčové slová

SKPOS, GNSS, RTK meranie

### Keywords

SKPOS, GNSS, RTK measurement

## 1 Úvod

Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS) je v prevádzke od konca roku 2006 a od spustenia poskytuje služby výhradne metódou sieťového RTK v koncepte virtuálnej referenčnej stanice (VRS). Tento koncept kompenzuje nedostatok klasickej RTK metódy, kde presnosť klesá s narastajúcou sa vzdialenosťou od referenčnej stanice. V čase uvedenia služby do prevádzky tvorilo infraštruktúru SKPOS iba 21 referenčných staníc, ktoré prijímali údaje z družicových systémov GPS a GLONASS, preto bolo vhodným rozhodnutím poskytovať služby iba v koncepte VRS. S pribúdajúcim počtom referenčných staníc a príchodom družicových systémov Galileo a BeiDou sa stáva generovanie

sieťového riešenia v koncepte VRS čoraz komplikovanejšie a nie je možné generovať sieťové riešenie zo všetkých prijímaných družíc. Preto môže byť v súčasnosti vhodnejšie v blízkosti referenčných staníc využívať údaje priamo z referenčnej stanice s plným počtom družíc. Autori príspevku sa preto rozhodli overiť možnosti využitia údajov priamo z referenčnej stanice v službe SKPOS a porovnať výsledky voči používanej metóde sieťového RTK v koncepte VRS.

## 2 Kinematická metóda v reálnom čase

Kinematická metóda v reálnom čase (RTK) vyžaduje prístrojové vybavenie pozostávajúce z jedného referenčného nepohybujúceho sa prijímača označovaného aj ako báza a druhého pohybujúceho sa prijímača označovaného aj ako rover. Oba prijímače musia simultánne uskutočňovať fázové merania na družice GNSS. Medzi prijímačmi musí fungovať neustále rádiové alebo internetové spojenie, pomocou ktorého je zabezpečovaný prenos meraných dát z referenčného prijímača do pohybujúceho sa prijímača. Pohybujúci sa prijímač musí mať v sebe zabudovaný softvér na spracovanie fázových meraní, na základe ktorých je hneď po inicializácii schopný z prijatých a z vlastných meraní vytvárať diferencie a počítať relatívnu polohu vzhľadom na polohu referenčného prijímača. Presnosť RTK metódy klesá s narastajúcou vzdialenosťou pohybujúceho sa prijímača od referenčného. Metóda je tak spoľahlivá pri dĺžkach základnice do cca 20 kilometrov, vzhľadom na rozdielne rozloženie hmôt v atmosfére a odlišné podmienky medzi miestom referenčného a pohybujúceho sa prijímača. [1]

## 3 Sieťové riešenie v reálnom čase

Sieťové riešenie v reálnom čase (RTN, z angl. Real-Time Network), označované tiež ako metóda sieťového RTK kompenzuje nedostatok klasickej RTK metódy, kde presnosť klesá s narastajúcou vzdialenosťou pohybujúceho sa prijímača od referenčného. Metóda RTN využíva sieť referenčných staníc rozmiestnených po záujmovom území v odporúčanej vzdialenosti, ktoré v reálnom čase odosiľajú svoje observácie do riadiaceho centra, kde sú spracovávané. Softvér v riadiacom centre zo spracovaných údajov pomocou pokročilých algoritmov generuje sieťové riešenie, ktoré je vysielané používateľom prostredníctvom internetu a to slúži na výpočet diferencií, čiže relatívne určenie polohy rovera používateľa. Existuje niekoľko RTN konceptov ako napríklad MAX, FKP, VRS, a i. Služba SKPOS poskytuje svojim používateľom korekcie výlučne v koncepte virtuálnej referenčnej stanice (ďalej VRS). [2]

### 3.1 Koncept virtuálnej referenčnej stanice

Tento koncept je založený na generovaní korekcií pre VRS, nachádzajúcu sa v blízkosti miesta pohybujúceho sa prijímača (len niekoľko metrov). Pohybujúci sa prijímač používa a interpretuje dáta z VRS rovnako, ako keby pochádzali z reálnej referenčnej stanice nachádzajúcej sa v jeho blízkosti. V praxi to prebieha tak, že rover používateľa po úspešnej autorizácii pošle svoju približnú polohu vo forme NMEA GGA správy do riadiaceho centra SKPOS prostredníctvom internetu. Softvér v riadiacom centre SKPOS akceptuje túto polohu ako lokalitu pre novú VRS, vypočíta korekcie pre túto VRS a odošle ich späť do rovera v štandarde RTCM alebo inom proprietárnom formáte. Akonáhle ich rover prijme, považuje ich za údaje z referenčnej stanice a spracovaním ako pri metóde RTK určí relatívnu polohu. Súradnicový systém, rámec a epochu merania preberá z VRS, teda z nastavenia služby SKPOS. [2]

## 4 Koncept najbližšej referenčnej stanice

Koncept je založený na automatickom výbere najbližšej referenčnej stanice podľa polohy pohybujúceho sa rovera. Rover posíla svoju približnú polohu vo forme NMEA GGA správy do riadiaceho centra SKPOS prostredníctvom internetu rovnako ako pri koncepte VRS. Softvér v riadiacom centre SKPOS automaticky na základe tejto polohy identifikuje najbližšiu referenčnú stanicu SKPOS a odosiela korekcie priamo z tejto stanice späť do rovera v štandarde RTCM alebo v inom proprietárnom formáte. Výhody konceptu najbližšej referenčnej stanice:

- údaje sa odosiľajú zo všetkých družíc, ktoré prijíma najbližšia referenčná stanica,
- menšia náročnosť na výpočtový výkon riadiaceho softvéru nakoľko odpadá nutnosť generovať VRS zložitými algoritmami,
- používateľ nemusí zo zoznamu vyberať konkrétnu referenčnú stanicu ale riadiaci softvér najbližšiu referenčnú stanicu identifikuje automaticky na základe približnej polohy,

- ako správca SKPOS nestrácame informáciu o polohe používateľov a kvalite ich meraní, nakoľko nutnosťou je odosielanie týchto informácií vo forme NMEA GGA správy rovnako ako pri koncepte VRS.

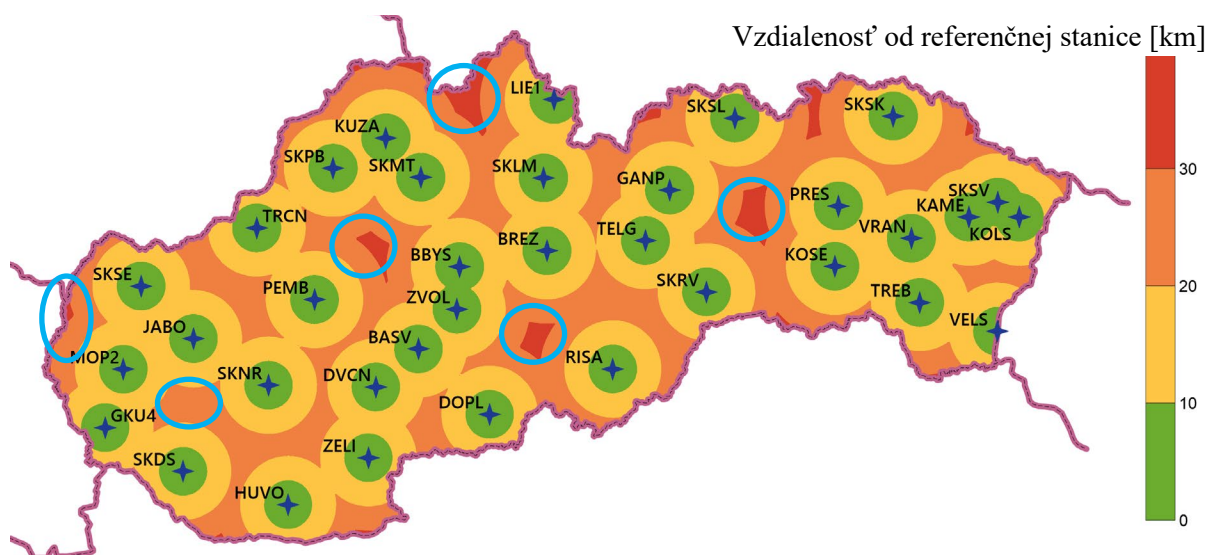
Nevýhody konceptu najbližšej referenčnej stanice:

- používateľ musí pozorne sledovať vzdialenosť rovera od najbližšej referenčnej stanice z ktorej prijíma korekcie, nakoľko presnosť jeho merania klesá s narastajúcou vzdialenosťou od tejto stanice,
- okrem vzdialenosti musí používateľ sledovať aj stav referenčných staníc, nakoľko v prípade výpadku najbližšej referenčnej stanice sa odosielajú údaje zo vzdialenejšej čo môže viesť k zhoršeniu presnosti práve z dôvodu väčšej vzdialenosti a odlišnosti podmienok.

## 5 Test konceptu najbližšej referenčnej stanice

Test bol zameraný na porovnanie kvalitatívnych parametrov merania doposiaľ používaného konceptu VRS s konceptom najbližšej referenčnej stanice. Meranie bolo vykonané na bodoch C triedy Štátnej priestorovej siete (ŠPS) v rôznych častiach Slovenska. C triedu ŠPS tvoria geodetické body zriadené ako podbetónované hranoly s geodetickou značkou s jednoznačnou centráciou. Tieto body boli prevzaté najmä z bodov pôvodnej trigonometrickej alebo nivelačnej siete a boli následne upravené tak, aby spĺňali požadované charakteristiky stability. Referenčné súradnice bodov C triedy ŠPS boli určené GNSS statickou metódou s dĺžkou observácie minimálne 6 hodín. Presnosť referenčných súradníc je na úrovni 1-2cm. [3] Viac o presnosti C triedy ŠPS bodov a analýze meraní bodov C triedy ŠPS metódou RTK je možné sa dočítať v technickej správe [4].

Predpokladom testu konceptu najbližšej referenčnej stanice bolo, že s narastajúcou sa vzdialenosťou od referenčnej stanice bude pri koncepte najbližšej referenčnej stanice klesať presnosť merania. Testovacie merania boli preto situované hlavne v oblastiach s najväčšou vzdialenosťou od referenčných staníc. Testovacie meranie bolo vykonané v šiestich lokalitách a na 33 bodoch ŠPS. Vzdialenosť od referenčných staníc a lokality, v ktorých bolo testovanie vykonané sú znázornené na Obr. 1.



Obr. 8 Vzdialenosť od referenčných staníc a lokality, kde bol vykonaný test (modrá farba).

Testovacie merania boli vykonané roverom Trimble R10 model 2 alebo roverom Trimble R12. Dĺžka observácie bola 2 minúty, čo je podľa [1] odporúčaná dĺžka observácie pre vykonávanie kinematických meraní prostredníctvom SKPOS. Na každom bode ŠPS boli vykonané 2 merania v koncepte VRS a 2 merania v koncepte najbližšej referenčnej stanice. V oboch prípadoch sa prijímali korekcie vo formáte RTCM 3.2 MSM 5, ktoré obsahovali družicové systémy GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Meranie bolo vykonávané za ideálnych ale aj za veľmi náročných podmienok (zákruty spôsobené vyššou vegetáciou), vid'. Obr. 2.



Obr. 9 Meranie v ideálnych (vľavo) a náročných podmienkach (vpravo).

Porovnanie výsledkov všetkých vykonaných testovacích meraní (33 bodov ŠPS) získaných s využitím konceptu VRS a konceptu najbližšej referenčnej stanice sa nachádza v Tab. 1. V tabuľke je porovnanie priemerného inicializačného času, počtu družíc, parametra PDOP, odchýlok oproti referenčnej polohe a maximálne odchýlky pre všetky vykonané merania, t. j. merania, ktoré sa nachádzali len niekoľko málo kilometrov od najbližšej referenčnej stanice až po merania, ktoré sa nachádzali 20 a viac kilometrov od referenčnej stanice.

Tab. 3 Porovnanie hodnôt vybraných kvalitatívnych parametrov pre všetky vykonané testovacie merania.

	<b>Koncept Virtuálna referenčná stanica</b>	<b>Koncept Najbližšia referenčná stanica</b>
<b>Inicializačný čas</b>	12 s	11 s
<b>Počet družíc</b>	19	23
<b>PDOP</b>	1.3	1.2
<b>Horizontálna odchýlka</b>	18 mm	21 mm
<b>Vertikálna odchýlka</b>	24 mm	29 mm
<b>Max. horizontálna odchýlka</b>	70 mm	110 mm
<b>Max. vertikálna odchýlka</b>	85 mm	166 mm

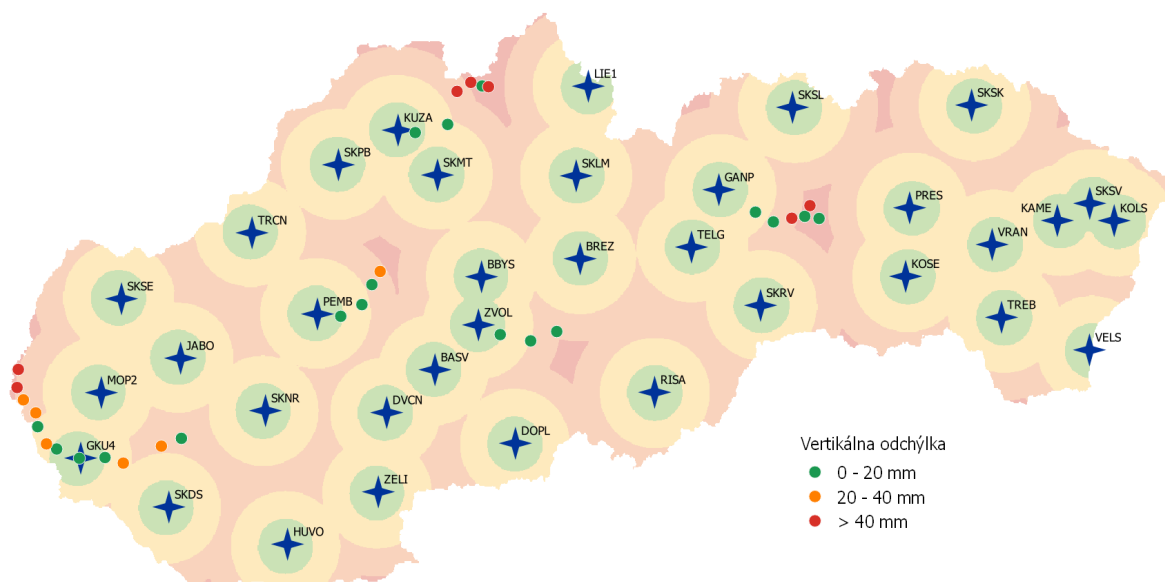
Okrem porovnania kvalitatívnych parametrov získaných z meraní využitím konceptu VRS a konceptu najbližšej referenčnej stanice bola pre koncept najbližšej referenčnej stanice vyhotovená aj analýza vplyvu vzdialenosti od najbližšej referenčnej stanice na presnosť merania. Maximálna možná vzdialenosť polohy rovera na území Slovenska od referenčnej stanice je v sieti SKPOS 37 km. Pre tento účel bol simulovaný výpadok niekoľkých staníc, aby sa maximálna možná vzdialenosť zväčšila až na

60 km a bol testovaný aj takýto extrémny prípad. V Tab. 2 sú zobrazené horizontálne a vertikálne odchýlky pri využití konceptu najbližšej referenčnej stanice zoskupené podľa vzdialenosti od referenčnej stanice.

Tab. 4 Priemerné a maximálne hodnoty odchýlok od referenčnej polohy v závislosti od vzdialenosti od stanice.

Vzdialenosť od ref. stanice	Horizontálna odchýlka		Vertikálna odchýlka	
	Priemer	Max	Priemer	Max
0 – 10 km	19 mm	33 mm	7 mm	11 mm
10 – 20 km	23 mm	59 mm	15 mm	40 mm
20 a viac km	18 mm	110 mm	29 mm	166 mm

Nárast odchýlok s narastajúcou vzdialenosťou od ref. stanice je významný hlavne vo vertikálnom komponente, vid'. Obr. 3.



Obr. 10 Vertikálne odchýlky od referenčných súradníc.

## 6 Záver

Hlavným cieľom príspevku bolo overiť presnosť konceptu najbližšej referenčnej stanice porovnaním s doposiaľ jediným používaným konceptom virtuálnej referenčnej stanice v sieti SKPOS. Na základe vykonaných testov môžeme tvrdiť, že koncept najbližšej referenčnej stanice je pre službu SKPOS použiteľný, čo potvrdili aj dosiahnuté výsledky. Testovanie preukázalo priemerné zvýšenie počtu použitých družíc o 4 družice, zníženie inicializačného času o 1 sekundu a zníženie hodnoty PDOP o hodnotu 0.1. Ak je meranie vykonané vo vzdialenosti menšej ako 20 km od najbližšej referenčnej stanice, výsledky sú prakticky identické s výsledkami dosiahnutými s využitím konceptu VRS. Pri väčšej vzdialenosti ako 20 km dosahujú výsledky pri použití konceptu najbližšej referenčnej stanice v priemere uspokojivé hodnoty, avšak vo väčšej miere sa v nich vyskytujú odľahlé hodnoty, vid'. maximálne hodnoty v Tab. 2. Z vykonaného testovania preto vyplýva, že koncept najbližšej referenčnej stanice je vhodné používať ako doplnok k používanému konceptu VRS pre merania, ktoré sa nachádzajú do 20 km od referenčnej stanice. Meraním v koncepte najbližšej referenčnej stanice získame viac družíc a preto môže byť výhodné využívať tento koncept práve na merania v ťažších podmienkach s výrazným

zákrytom horizontu. V testovaní konceptu najbližšej referenčnej stanice preto plánujeme naďalej pokračovať a zamerať sa práve na overenie jeho prínosu v zložitejších podmienkach. Na základe toho sa rozhodneme, či o tento koncept nakoniec rozšírime portfólio služieb SKPOS.

### **Literatúra**

- [1] *Smernica na vykonávanie geodetických meraní prostredníctvom Slovenskej priestorovej observačnej služby. 2016. Bratislava. Úrad geodézie kartografie a katastra Slovenskej republiky. ISBN 978-80-89831-03-6.*
- [2] *Webová stránka Slovenskej priestorovej observačnej služby [online]. [cit. 5. január 2023]. Geodetický a kartografický ústav Bratislava. Dostupné na: <<https://skpos.gku.sk/o-skpos.php>>*
- [3] *Technická správa: Štátna priestorová sieť – výpočet súradníc a charakteristík presností bodov Štátnej priestorovej siete v systéme ETRS89 a referenčnom rámci ETRF2000, 2011, Geodetický a kartografický ústav Bratislava.*
- [4] *Technická správa: Analýza meraní bodov ŠPS triedy „C“ metódou RTK, 2012, Geodetický a kartografický ústav Bratislava.*

*Recenzováno: 11. 1. 2023*