20 rokov prevádzky Slovenskej priestorovej observačnej služby

Ing. Karol Smolík,
Ing. Branislav Droščák, PhD.,
Geodetický a kartografický ústav Bratislava

Abstrakt

Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS) dovŕši v decembri 2026 dvadsať rokov svojej úspešnej prevádzky. Príspevok rekapituluje vznik služby, budovanie a technologický vývoj od jej uvedenia do prevádzky v roku 2006 s pôvodnou sieťou pozostávajúcou z 21 permanentných referenčných staníc až po súčasný stav, keď sieť tvorí 64 staníc, z toho 38 z územia Slovenska a 26 zo zahraničia. Vývoj služby je rozdelený do štyroch etáp, pričom pri každej z nich je hodnotený stav referenčnej siete, národného servisného centra, poskytovaných služieb a používateľskej základne. Pozornosť je venovaná najmä prechodu od pôvodného riešenia založeného na družicových systémoch GPS a GLONASS k súčasnej multi-GNSS infraštruktúre využívajúcej aj družicové systémy Galileo a BeiDou, zavedeniu konceptu najbližšej referenčnej stanice popri sieťovom riešení VRS, integrácii staníc do kolokačnej siete GNSS/InSAR a modernizácii technického vybavenia.

20 Years of Operation of the Slovak Real-Time Positioning Service

Abstract

The Slovak Real-Time Positioning Service (SKPOS) will achieve twenty years of its successful operation in December 2026. This paper summarizes its establishment, development and technological evolution from its launch into test operation in 2006 with an initial network of 21 permanent reference stations to its current state comprising 64 stations (38 from Slovakia and 26 from abroad). The development of the service is divided into four five-year stages, with each stage evaluating the status of the reference network, the national service center, describing provided services, and the users. Particular attention is paid to the transition from the original solution based on GPS and GLONASS satellite systems to the current multi-GNSS infrastructure incorporating Galileo and BeiDou; the introduction of the nearest reference station concept alongside the VRS network solution; the integration of stations into the GNSS/InSAR collocation network, and the modernization of technical equipment.

Keywords: *SKPOS, global navigation satellite systems (GNSS), geodetic control*

1. Úvod

Rozvoj globálnych navigačných družicových systémov (GNSS) od konca 20. storočia zásadným spôsobom ovplyvnil metódy presného určovania polohy a postupne začal meniť aj spôsob budovania a využívania geodetických základov. Dostupnosť družicového systému NAVSTAR GPS, neskôr doplneného o ďalšie globálne navigačné družicové systémy ako GLONASS, Galileo a BeiDou, umožnilo určovať polohu v jednotnom geodetickom referenčnom systéme s presnosťou, ktorá bola dovtedy dosahovaná iba klasickými geodetickými metódami s naviazaním na body geodetických základov. S rozvojom GNSS prebiehal súčasne aj rozvoj technológií umožňujúcich spracovanie družicových meraní v reálnom čase a zabezpečujúcich prenos korekčných údajov prostredníctvom internetu.

Na Slovensku sa potreba vybudovania infraštruktúry využívajúcej GNSS začala intenzívnejšie diskutovať na začiatku 21. storočia. Vývoj v tejto sfére smeroval k širšiemu využívaniu GNSS nielen pri geodetických a kartografických činnostiach, ale aj pri zbere údajov pre geografické informačné systémy (GIS) a pri ďalších aplikáciách vyžadujúcich presné určovanie polohy. Dôležitým impulzom boli odborné podujatia a pracovné kontakty so zahraničnými pracoviskami, ktoré siete permanentných referenčných staníc GNSS už využívali. Významným momentom bola najmä účasť zástupcov rezortu geodézie na regionálnom workshope o využívaní GNSS vo Viedni v roku 2001, na ktorom boli prezentované možnosti referenčných sietí a ich využitie v reálnom čase pre široké spektrum aplikácií. Práve tieto poznatky významne ovplyvnili úvahy o potrebe zriadenia permanentnej GNSS služby na území Slovenska [1].

Pôvodné predstavy o využití permanentných staníc GNSS na Slovensku pred návštevou workshopu vo Viedni vychádzali iba z konceptu permanentných staníc s väčšími vzájomnými vzdialenosťami a ich využitím na postprocesné spracovania. Postupne sa však začal presadzovať odlišný prístup založený na hustejšej sieti permanentných referenčných staníc, ktorá by umožnila poskytovať korekčné údaje v reálnom čase. Cieľom bolo vytvoriť systém, ktorý by používateľovi umožnil dosiahnuť centimetrovú presnosť bez potreby budovania vlastnej referenčnej stanice alebo umiestňovania vlastného prijímača na body geodetických základov.

Významným aspektom návrhu takejto služby bola aj potreba národnej realizácie Európskeho terestrického referenčného systému 1989 (ETRS89) na území Slovenskej republiky. Rozvoj GNSS totiž postupne vytváral predpoklady na to, aby geodetické základy neboli vnímané iba ako súbory stabilizovaných geodetických bodov s presne určenými parametrami, ale ako infraštruktúra umožňujúca realizáciu a prácu v referenčných systémoch prostredníctvom služieb využívajúcich družicové observácie.

Budovanie permanentnej GNSS služby zároveň súviselo s postupnou modernizáciou Štátnej priestorovej siete a so zmenou spôsobu realizácie geodetických základov. Klasická koncepcia založená na sústave stabilizovaných bodov poskytovala odbornej verejnosti fyzicky dostupné referenčné body, avšak ich praktické využitie pri GNSS meraniach vyžadovalo dodatočné prístrojové vybavenie. Sieť

permanentných staníc umožnila tento princíp výrazne zmeniť.

Rozhodovanie o budúcej podobe permanentnej GNSS služby na Slovensku bolo ovplyvnené aj vývojom v ostatných európskych krajinách. V tom čase už existovali alebo sa pripravovali obdobné systémy, ktoré využívali sieť permanentných referenčných staníc ako multifunkčnú infraštruktúru na presné určovanie polohy. Typickým príkladom bola nemecká služba SAPOS, ktorej princípy a praktické možnosti boli slovenským odborníkom predstavené počas pracovného workshopu v Berlíne, v roku 2002. Na základe získaných poznatkov sa začal presadzovať koncept multifunkčnej referenčnej služby, ktorá by bola využiteľná nielen v geodézii a kartografii, ale aj v ďalších oblastiach. Súbežne začali vznikať obdobné národné služby v ďalších európskych krajinách, napríklad v Rakúsku alebo v Českej republike [2].

Významnú úlohu pri koordinácii tohto vývoja zohrala iniciatíva EUPOS (European Position Determination System). Jej vznik bol priamym výsledkom spolupráce odborníkov z krajín strednej a východnej Európy, ktorí začiatkom roka 2002 hľadali spoločný postup pri budovaní národných GNSS referenčných sietí. Koncepcia tvorby permanentnej GNSS služby na Slovensku preto nebola izolovanou technologickou iniciatívou, ale súčasťou širšej transformácie európskej infraštruktúry geodetických základov. Kombinovali sa v nej požiadavky vyplývajúce z rozvoja GNSS, modernizácie geodetických základov formou budovania Štátnej priestorovej siete a potreby vytvorenia národnej realizácie ETRS89. Narastali požiadavky na efektívne sprístupnenie presnej priestorovej polohy používateľom v reálnom čase a začlenenie slovenskej infraštruktúry do európskeho systému permanentných referenčných staníc. Práve spojenie týchto odborných, technologických a medzinárodných impulzov vytvorilo základ pre rozhodnutie vybudovať na území Slovenska národnú sieť permanentných referenčných staníc GNSS a poskytovať prostredníctvom nej modernú polohovú službu.

Na tomto základe sa v nasledujúcich rokoch začal formovať systém, ktorý neskôr dostal názov Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS). Jej uvedenie do prevádzky v roku 2006 predstavovalo významný míľnik v modernizácii geodetických základov a zároveň začiatok novej éry využívania GNSS na Slovensku.

2. Uvedenie SKPOS do prevádzky

Príprava projektu budovania permanentnej GNSS služby prebiehala postupne od roku 2001. Po naformulovaní základnej koncepcie Slovenskej permanentnej GNSS služby (SPGS) bolo potrebné navrhnúť vlastnú sieť referenčných staníc, spôsob prenosu údajov, technické vybavenie a riadiacu infraštruktúru. V roku 2003 bol pôvodný zámer prepracovaný do realizovateľnejšej podoby v rámci projektu *„1. fáza realizácie Slovenskej permanentnej služby na využívanie GNSS – Slovenská permanentná GNSS služba – geodetické základy novej generácie“.* Následne sa prípravné práce sústredili najmä na návrh konfigurácie siete, výber vhodných lokalít, stabilizáciu referenčných bodov a prípravu komunikačného a výpočtového zázemia [3].

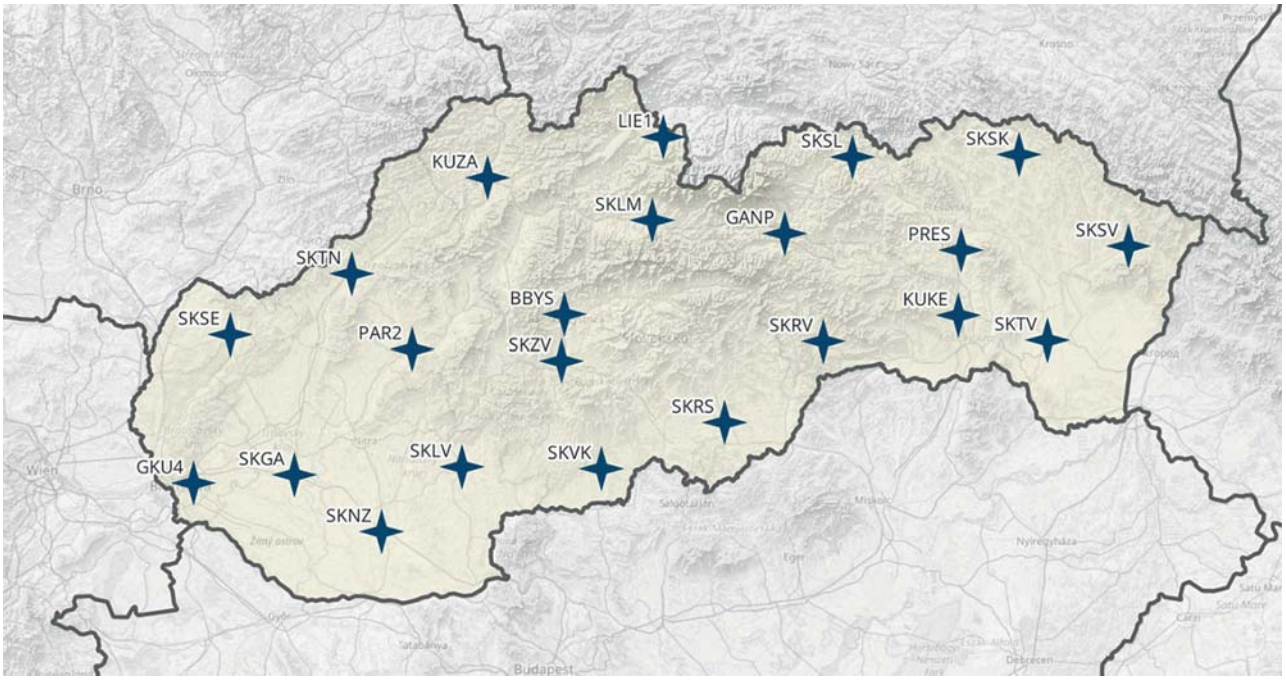
V priebehu marca 2004 bola vykonaná rekognoskácia potenciálnych lokalít pre umiestnenie permanentných referenčných staníc. Pri výbere lokalít sa zohľadňovala predovšetkým ich rovnomerné priestorové rozmiestnenie a ich

Obr. 1 Anténa referenčnej stanice SKSE v Senici

vhodnosť z hľadiska dostupnosti, možnosti stabilizácie antén a kvality príjmu GNSS signálov. Väčšina modulov na uchytenie antén bola osadená v apríli až máji 2005, pričom prvý bol stabilizovaný už 26. januára 2005 na streche Správy katastra v Senici (**obr. 1**). Na strechách budov boli antény upevňované na špeciálne stabilizačné moduly pre centračné tyče, zatiaľ čo na 3 vytypovaných lokalitách boli vybudované samostatné betónové piliere.

K zásadnému posunu v realizácii projektu došlo začiatkom roka 2006. Po neúspešnom verejnom obstarávaní z konca roka 2005, bolo potrebné nájsť alternatívny spôsob financovania a organizačného zabezpečenia projektu. Na základe rokovaní Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR) s Ministerstvom financií SR a následného rozšírenia zmluvy so spoločnosťou Slovanet, a. s., sa podarilo vytvoriť podmienky na realizáciu technickej infraštruktúry SKPOS. V apríli 2006 bol pripravený podrobný projekt vybudovania národnej infraštruktúry SKPOS, ktorý definoval postup inštalácie referenčných staníc, ich pripojenia do riadiaceho centra a vytvorenia serverovej infraštruktúry. Riadiace centrum bolo navrhnuté ako sústava troch serverov (aplikačného, databázového a webového) s oddeleným dátovým úložiskom určeným na priebežnú archiváciu údajov z referenčných staníc [4], [5].

Technické vybavenie pre referenčné stanice bolo dodané v období od mája do augusta 2006. Pôvodnú sieť tvorilo 21 permanentných referenčných staníc (**obr. 2**) vybavených prijímačmi Trimble NetR5 a geodetickými anténami Trimble Zephyr Geodetic 2. Prvá stanica bola do riadiaceho systému pripojená 10. mája 2006. Išlo o stanicu s označením GKU1 umiestnenú na streche budovy Geode-



Obr. 2 Sieť referenčných staníc SKPOS v roku 2006

tického a kartografického ústavu v Bratislave (GKÚ). Jednotlivé stanice boli následne pripájané postupne podľa pripravenosti lokalít. Ako posledná bola 27. októbra 2006 pripojená stanica LIE1 v Liesku. Geografické rozmiestnenie referenčných staníc bolo navrhnuté tak, aby zabezpečilo čo najrovnomernejšie pokrytie územia Slovenska. Súčasťou budovania siete bolo aj výškové pripojenie modulov na Štátnu nivelačnú sieť pomocou presnej nivelácie, pričom na strešných bodoch boli podľa potreby využívané optické prevažovače. Tým bola vytvorená väzba medzi novou GNSS infraštruktúrou a existujúcimi výškovými geodetickými základmi [1].

Súčasne s budovaním staníc prebiehala inštalácia riadiaceho softvéru. V máji 2006 bol na GKÚ nainštalovaný riadiaci softvér Trimble GPSNet, pozostávajúci z viacerých vzájomne prepojených komponentov. Trimble GPSBase a GPSNet zabezpečovali príjem a spracovanie dátových tokov z referenčných staníc, GPSWeb zabezpečoval webové rozhranie služby vrátane registrácie a evidencie používateľov a GPServer poskytoval spracované dátové toky používateľom prostredníctvom protokolu NTRIP. Takto navrhnutá architektúra umožňovala súčasné spracovanie údajov z celej siete a poskytovanie korekčných údajov používateľom v reálnom čase.

Dôležitou súčasťou technickej infraštruktúry boli komunikačné linky medzi referenčnými stanicami a operačným centrom v Bratislave. Na tento účel bola využívaná sieť VPS-WAN ÚGKK SR. Pri jej prevádzke bolo potrebné venovať osobitnú pozornosť oneskoreniu prenosu dát, keďže pre korekčné služby pracujúce v reálnom čase je časová latencia dát z referenčných staníc významným parametrom. V priebehu inštalácie staníc bola preto kvalita komunikačných trás priebežne kontrolovaná a optimalizovaná. Keď sa ukázalo, že spoločné využívanie komunikačných liniek pre katastrálne dáta a dáta SKPOS spôsobuje v určitých obdobiach neprípustné oneskorenia, bola časť kapacity liniek vyhradená výlučne na prenos údajov pre SKPOS [1].

Pred uvedením služby do rutinnej prevádzky prebehla séria testovacích a overovacích meraní. Od júna 2006 sa overovali rôzne koncepty určovania polohy v reálnom čase vrátane klasického RTK (Real-Time Kinematic), sieťového RTK s využitím virtuálnej referenčnej stanice (VRS), ale aj koncept s označením FKP. Na bodoch so známymi súradnicami sa sledovala opakovateľnosť a presnosť určovania polohy, dĺžka inicializácie a vplyv geografického rozmiestnenia referenčných staníc. Súčasťou testov bolo aj overenie transformácie medzi ETRS89 a S-JTSK (Súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej) a plošné preverenie dostupnosti služby v závislosti od geografickej polohy a dostupnosti mobilnej dátovej komunikácie. Výsledky testov potvrdili požadovanú kvalitu služby, pričom z testovaných sieťových konceptov dosahoval najlepšie výsledky koncept VRS.

Riadiaci softvér umožňoval poskytovanie korekcií pre jednotlivé typy meraní v reálnom čase a podporoval viacero dátových formátov, medzi ktoré patrili RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, FKP a CMR. Súčasťou ponuky pre používateľov boli služby SKPOS_dm, SKPOS_cm a SKPOS_mm, ktoré zodpovedali rozdielnym úrovniam presnosti a spôsobom využitia služby (**obr. 3**).

Ešte pred úplným dokončením siete bola v auguste 2006 služba sprístupnená na testovanie vybraným mimorezortným používateľom, najmä dodávateľom GNSS techniky. Po pripojení poslednej, 21. referenčnej stanice v októbri 2006, bola dokončená aj konfigurácia riadiaceho softvéru a po finálnom zaškolení administrátorov bola služba odovzdaná do prevádzky.

Od začiatku sa počítalo aj s využitím referenčných staníc z pohraničných oblastí susedných krajín. Dôvodom bolo najmä zlepšenie homogenity sieťového riešenia v okrajových oblastiach Slovenska, kde by samotné slovenské stanice vytvárali menej priaznivú geometriu siete. Prvé testovacie pripojenia zahraničných staníc boli realizované už v období budovania SKPOS, pričom skúsenosti s pripojením staníc susedných služieb potvrdili význam cezhra-

Obr. 3 Poskytované služby

ničnej výmeny údajov. Na základe týchto skúseností sa začali pripravovať bilaterálne dohody medzi GKÚ a správcami okolitých národných služieb. Prvou bola slovensko-maďarská dohoda o spolupráci medzi GKÚ a maďarským FÖMI, podpísaná 17. októbra 2006.

3. Vývoj SKPOS počas dvadsiatich rokov prevádzky

Po uvedení služby SKPOS do prevádzky v decembri 2006 začal kontinuálne prebiehať aj jej ďalší rozvoj. Ten pozostával z postupného rozširovania siete permanentných referenčných staníc, z rozširovania družicových systémov, z priebežnej modernizácie softvérového a hardvérového vybavenia a z postupného rozširovania spôsobov poskytovania korekčných údajov. Postupne dochádzalo aj k rôznym technologickým zmenám, rozširovali sa možnosti spracovania údajov, menili sa používané formáty korekcií a vznikali nové služby. Pre potreby hodnotenia vývoja možno obdobie prevádzky SKPOS rozdeliť na štyri päťročné etapy: roky 2006–2010, 2011–2015, 2016–2020 a 2021–2026. Takéto členenie umožňuje sledovať nielen postupné zmeny v konfigurácii referenčnej siete, ale aj technologické a funkčné zmeny, ktoré charakterizovali jednotlivé etapy vývoja.

3.1 Obdobie rokov 2006–2010

Toto obdobie predstavovalo etapu stabilizácie technickej infraštruktúry. SKPOS bola v roku 2006 uvedená do testovacej prevádzky s počtom 21 permanentných referenčných staníc. Už počas prvých rokov však bolo zrejmé, že kvalita sieťového riešenia bude úzko súvisieť s hustotou referenčných staníc, ich priestorovým rozložením a technickou úrovňou ich vybavenia. Súčasne sa začali vytvárať podmienky na využívanie referenčných staníc zo susedných krajín, čo neskôr predstavovalo významnú súčasť infraštruktúry služby a ovplyvňovalo kvalitu poskytovaného sieťového riešenia SKPOS.

3.1.1 Sieť referenčných staníc

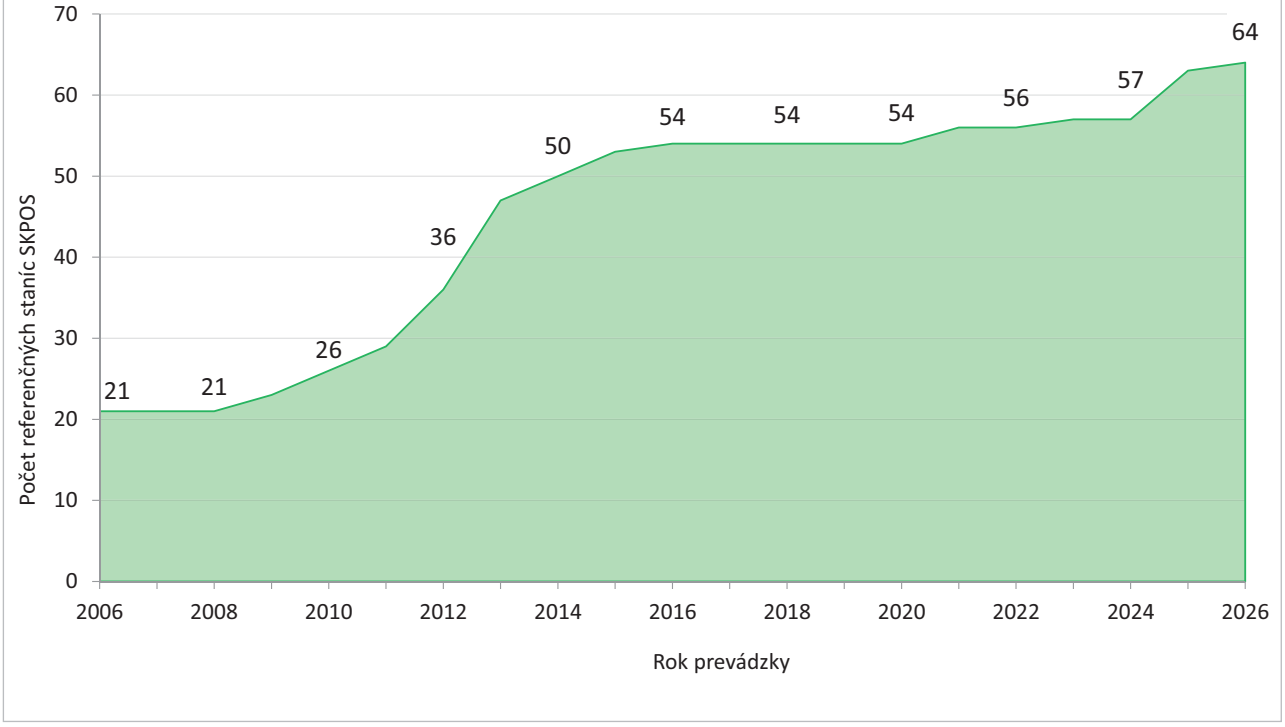
Sieť SKPOS tvorilo v roku 2006 celkovo 21 referenčných staníc, pričom všetky referenčné stanice sa nachádzali na území Slovenska. Do siete boli od roku 2009 postupne pripojené ďalšie referenčné stanice. Ku koncu roka 2010 bolo na území Slovenska prevádzkovaných 26 referenčných staníc (**obr. 4**). Zahusťovaním siete sa priemernú vzdialenosť medzi referenčnými stanicami podarilo znížiť zo 65,0 km (rok 2006) na 57,5 km (rok 2010). V rokoch 2006 až 2010 boli postupne uzatvorené dohody o výmene údajov s národnými polohovými službami Maďarska, Českej republiky, Rakúska, Poľska a Ukrajiny. Napriek uzatvoreniu týchto dohôd sa technicky v tomto období nepodarilo do siete SKPOS pripojiť žiadnu zahraničnú referenčnú stanicu. Dôvodom bolo vysoké oneskorenie prenosu údajov zo zahraničných staníc do riadiaceho centra SKPOS, ktoré neumožňovalo ich spoľahlivé využitie na poskytovanie služieb v reálnom čase. Referenčné stanice boli v úvodnej etape vybavené prijímačmi Trimble NetR5 a anténami Trimble Zephyr Geodetic 2. V rokoch 2009 až 2010 nastala prvá modernizácia prijímačov. Na štyroch referenčných staniciach boli vymenené prijímače Trimble NetR5 za novšie Trimble NetR8 [1].

3.1.2 Národné servisné centrum

Národné servisné centrum SKPOS bolo od začiatku prevádzky umiestnené na GKÚ v Bratislave. Hlavným nástrojom na správu infraštruktúry bol riadiaci softvér Trimble GPSNet, ktorý spravoval namerané družicové observácie zo siete permanentných referenčných staníc SKPOS. Riadiacim softvérom boli generované korekcie v presne špecifikovaných formátoch pre používateľov využívajúcich službu v reálnom čase a údaje obsahujúce družicové observácie slúžiace na spracovanie meraní pre používateľov využívajúcich službu v režime postprocesingu. Riadiaci softvér tiež zabezpečoval príjem a správu údajov z referenčných staníc, ich spracovanie a generovanie korekčných údajov. Komunikácia medzi systémom a používateľskými zariadeniami bola založená na protokole NTRIP. Základným princípom poskytovania sieťových korekcií pre presné určovanie polohy sa stal koncept VRS. Používateľ pri meraní v reálnom čase nevyužíval iba údaje jednej fyzickej referenčnej stanice, ale korekcie vytvorené na základe sieťového riešenia referenčných staníc [1].

3.1.3 Poskytované služby

V decembri 2006 bola služba sprístupnená používateľom v testovacej prevádzke, ktorá od februára 2009 prešla na



Obr. 4 Vývoj počtu referenčných staníc SKPOS

riadnu platenú prevádzku. Poskytované boli tri služby:
- diferenciálne korekcie pre kódové merania (služba SKPOS_dm),
- diferenciálne korekcie pre fázové merania (služba SKPOS_cm),
- údaje určené na postprocesné spracovanie (služba SKPOS_mm).

Služby v reálnom čase boli poskytované v koncepte VRS a boli použité formáty korekcií RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0 a CMR. Pre postprocesné spracovanie nameraných údajov sa používal formát RINEX 2.x [1].

3.1.4 Používatelia

Spustenie permanentnej služby znamenalo pre odbornú geodetickú verejnosť zásadný prevrat. Možnosť merať s jedným prístrojom (roverom) bez nutnosti budovania vlastnej bázy viedla k rýchlemu nárastu záujmu. Kým na začiatku prevádzky v roku 2006 bolo v systéme registrovaných len 116 používateľov, do konca roka 2010 ich počet vzrástol na 571. Vzhľadom na geodetickú orientáciu a legislatívne nastavenie tvorili v tomto období takmer 100 % používateľskej základne výlučne komerční geodeti a rezortní zamestnanci.

3.2 Obdobie rokov 2011–2015

Obdobie 2011–2015 bolo charakteristické výrazným rozšírením počtu referenčných staníc, pripojením zahraničných staníc a modernizáciou prijímačov a riadiaceho softvéru. Súčasne sa začali vo väčšej miere využívať vlastné aplikácie na monitoring kvality a správu služby.

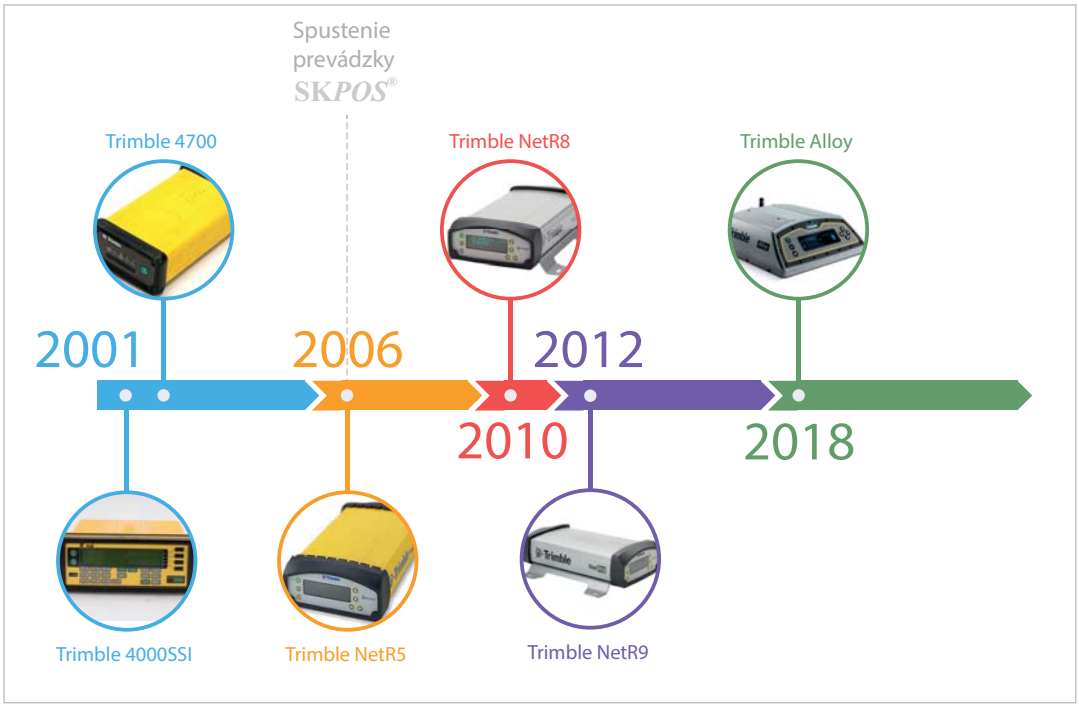
3.2.1 Sieť referenčných staníc

Počet referenčných staníc na území Slovenska vzrástol z 26 z roku 2010 na 34 v roku 2015. Zásadnou zmenou bolo pripojenie zahraničných referenčných staníc. V roku 2011 boli pripojené prvé štyri zahraničné referenčné stanice a do roku 2015 sa ich počet zvýšil na 19. Pripojenie zahraničných staníc predstavovalo významný kvalitatívny prvok rozvoja kvality služby, keďže umožnilo zlepšiť priestorovú konfiguráciu siete najmä v pohraničných oblastiach. Ku koncu roka 2015 sieť referenčných staníc pozostávala z 53 staníc, pričom 34 staníc bolo umiestnených na území Slovenska a 19 v zahraničí. Priemerná vzdialenosť medzi stanicami klesla na 44,6 km.

V roku 2012 došlo k rozsiahlej modernizácii hardvéru na referenčných staniciach. Prostredníctvom úspešného verejného obstarávania boli staršie prijímače Trimble NetR5 nahradené prijímačmi Trimble NetR9 (**obr. 5**). Táto zásadná obnova hardvéru technicky pripravila sieť na príjem signálov z novovznikajúcich družicových konštelácií – európskeho systému Galileo a čínskeho systému BeiDou, ktorých údaje začali byť od roku 2012 systematicky ukladané a sprístupnené v režime postprocesing. V oblasti antén pokračovalo používanie geodetických antén Trimble Zephyr Geodetic 2 a Trimble Choke Ring. Dôležitou súčasťou modernizácie bolo aj pokračovanie individuálnej kalibrácie nových antén pred ich osadením do prevádzky [6].

3.2.2 Národné servisné centrum

V novembri 2011 bol pôvodný riadiaci softvér Trimble GPSNet nahradený novším softvérom Trimble VRS3Net. Následne, v januári 2013, došlo k prechodu na Trimble Pivot Platform.



Obr. 5 Vývoj prijímačov na referenčných staniciach

Modernizácia umožnila zvýšiť kapacitu služby, zjednodušiť administráciu a rozšíriť možnosti monitorovania. Softvér Trimble Pivot Platform prešiel v nasledujúcich rokoch viacerými upgradmi.

Národné servisné centrum začalo systematickejšie využívať vlastné aplikácie na kontrolu kvality a prevádzky služby. V rokoch 2012 až 2015 vznikli nástroje na monitorovanie inicializačných časov používateľov, časových radov staníc, kvality sieťového riešenia, počtu on-line pripojených používateľov a oneskorenia toku údajov z referenčných staníc [7], [8]. V roku 2013 bol do dátového centra GKÚ doplnený motor generátor a v roku 2015 bol zavedený load-balancer umožňujúci v prípade nedostupnosti produkčného prostredia automatické presmerovanie používateľov na záložné prostredie.

3.2.3 Poskytované služby

Prechod na nový riadiaci softvér Trimble VRS3Net umožnil rozšírenie ponuky korekčných údajov o formáty CMR+, CMRx, RTCM 2.3 a RTCM 3.1. Po prechode na Trimble Pivot Platform v roku 2016 bol zavedený aj formát RTCM 3.2. Od 11. novembra 2011 bolo v riadiacom softvéri spustené poskytovanie RTCM správ 1021 a 1027, ktoré umožňovali transformáciu súradníc do S-JTSK (JTSK03) bez nutnosti vykonávať manuálne transformácie v kontroléri prijímača [1].

3.2.4 Používatelia

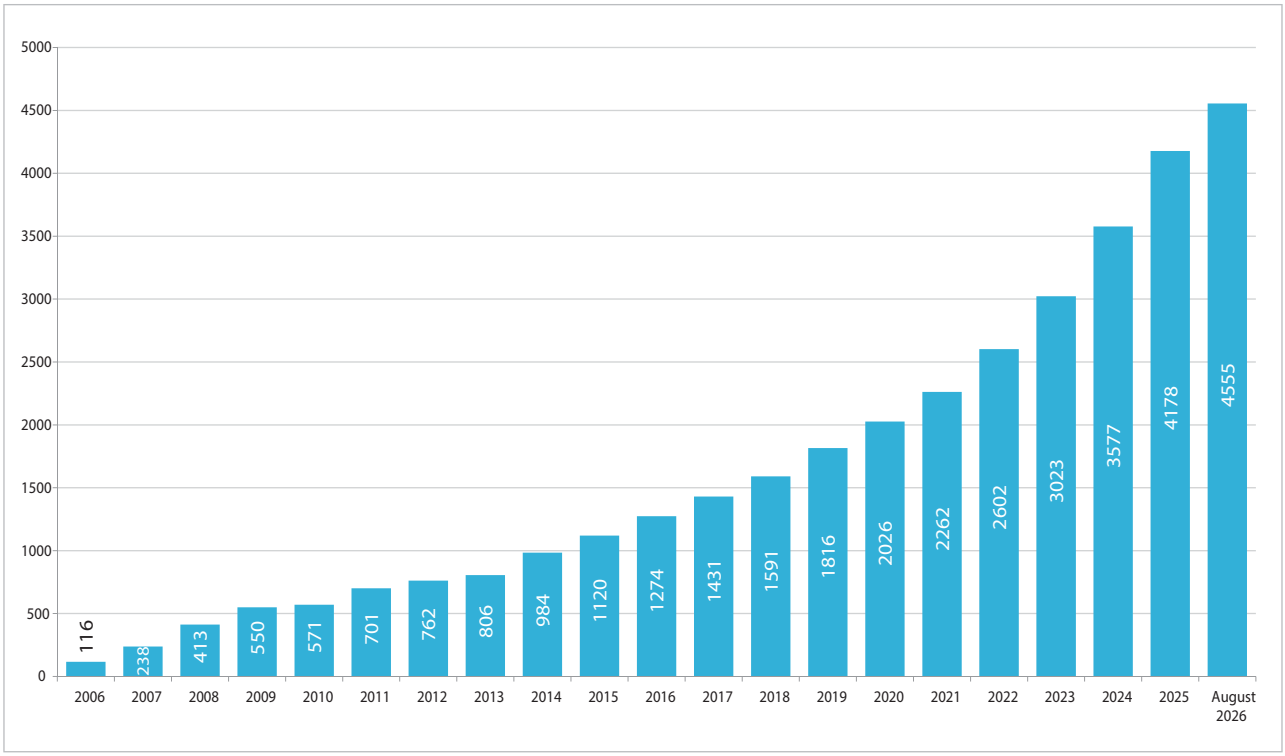
Počet používateľov v tomto období výrazne narástol. Zatiaľ čo v prvých rokoch prevádzky SKPOS prevládali používatelia z oblasti geodézie, začali približne od roku 2013 výraznejšie pribúdať aj používatelia z mimo geodetickej sféry. V roku 2014 prieskum medzi registrovanými používateľmi ukázal, že približne 8 % registrovaných používateľov využíva SKPOS na iné ako geodetické účely. Nárast počtu používateľov v tomto období určite podporilo aj zníženie poplatku za službu SKPOS_cm. Na konci roka 2015 sa počet registrovaných používateľov pohyboval na úrovni 1 120, pričom trend rastu pokračoval aj v ďalšom období (**obr. 6**). Významným krokom bola elektronizácia registrácie používateľov spustením novej webovej stránky a nového registračného systému v októbri 2015 [9]. Dovtedajší proces založený na papierovej zmluve bol nahradený elektronickým registračným systémom a ukladaním údajov do databázy.

3.3 Obdobie rokov 2016–2020

Obdobie rokov 2016 až 2020 predstavovalo ďalšiu významnú etapu technologického rozvoja služby SKPOS, charakterizovanú postupnou modernizáciou referenčnej siete a rozšírením spracovania údajov o nové globálne navigačné družicové systémy. Súčasne dochádzalo k ďalšiemu rozširovaniu využitia služby mimo tradičných geodetických aplikácií.

3.3.1 Sieť referenčných staníc

V priebehu rokov 2017 a 2018 boli na viacerých staniciach staršie antény nahradené najnovším modelom Trimble Zephyr Geodetic 3. Zároveň sa v auguste 2018 začalo s nasadzovaním novej generácie prijímačov Trimble Alloy. V oblasti konfigurácie siete došlo k viacerým premiestneniam referenčných staníc hlavne z dôvodu sťahovania sa katastrálnych odborov okresných úradov do nových priestorov. Na jar 2017 bola stanica v Nových Zámkoch (SKNZ) nahradená stanicou v Hurbanove (HUVO). Touto zmenou sa začala sieť referenčných staníc postupne premiestňovať z prevažne strešnej stabilizácie na pilierové stabilizá-



Obr. 6 Vývoj počtu používateľov

cie. Naďalej pokračovalo aj rozširovanie zahraničných referenčných staníc. Na konci roka 2020 sieť referenčných staníc pozostávala z 55 staníc, pričom 34 staníc bolo z územia Slovenska a 21 staníc sa nachádzalo v zahraničí. V roku 2020 boli na vybraných staniciach zavedené individuálne absolútne kalibrácie antén pre všetky družicové systémy, vrátane Galileo a BeiDou. Na staniciach vo Zvolene (ZVOL) a Devičanoch (DVCN) boli zároveň vybudované prvé kolokačné stanice s pasívnymi kútovými odrážačmi pre technológiu InSAR.

3.3.2 Národné servisné centrum

S rozvojom multi-GNSS technológií rástol objem prenášaných a spracovávaných dát, čo kládlo enormné nároky na databázové systémy riadiaceho centra. V rokoch 2017 až 2018 bol zrealizovaný prechod z databázovej licencie Microsoft SQL Server z verzie Express na verziu Standard. Riadiaci softvér Trimble Pivot Platform bol v roku 2019 aktualizovaný na verziu 4.3 a bol zakúpený modul na výpočet statických meraní SKPOS Online Postprocesing.

V oblasti spracovania súradníc referenčných staníc bola od 1. januára 2020 zavedená nová výpočtová stratégia, ktorá bola plne zosúladená s najnovšími medzinárodnými smernicami EUREF Permanentnej siete.

3.3.3 Poskytované služby

Najvýznamnejším technologickým posunom bolo rozšírenie poskytovaných korekcií v reálnom čase o systémy Galileo a BeiDou. Od konca roka 2018 boli na mountpointe SKPOS_CM_32 poskytované korekčné údaje vo formáte RTCM 3.2 pre všetky globálne družicové systémy GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Týmto krokom sa dramaticky zvýšil počet observovaných družíc, čo skrátilo čas inicializácie a výrazne zlepšilo dostupnosť služby v reálnom čase v sťažených podmienkach ako lesné porasty a mestská zástavba.

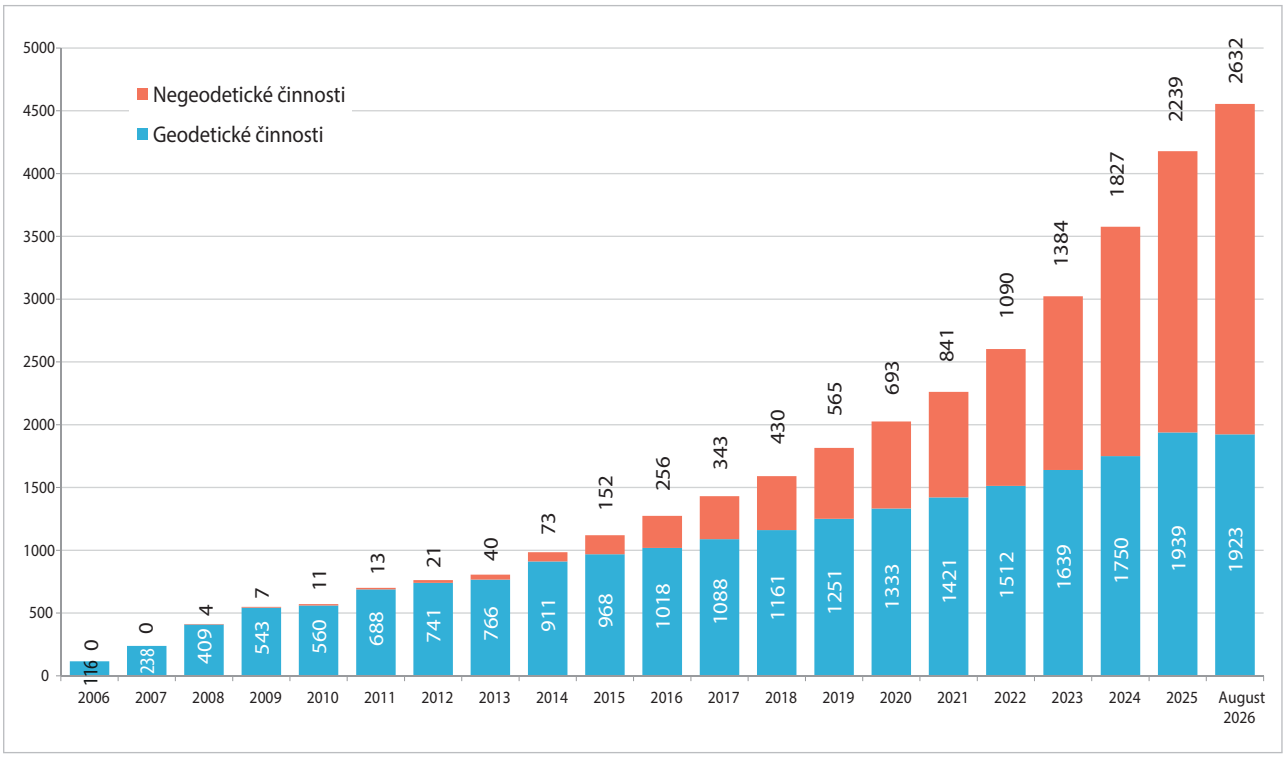
Ďalším technologickým pokrokom bolo spustenie webovej aplikácie SKPOS Online Postprocesing dňa 1. júna 2020. Táto aplikácia umožňuje používateľom prostredníctvom jednoduchého webového rozhrania nahrať statické meranie a automatizovane vypočítať súradnice určovaného bodu voči najbližším referenčným staniciam SKPOS. Výsledný report s presnými súradnicami v systéme ETRS89 je používateľovi doručený e-mailom [10].

3.3.4 Používatelia

V období týchto rokov sa zreteľne menila štruktúra používateľov. Popri tradičných geodetických činnostiach pribúdali používatelia z oblasti presného poľnohospodárstva, navigácie stavebných mechanizmov a ďalších oblastí mimo geodézie. Na konci roka 2020 mala služba 2 026 registrovaných používateľov. Viac ako 34 % z nich využívalo službu na negeodetické účely (**obr. 7**). Rastúci počet používateľov sa začal priamo premietať aj do požiadaviek na kapacitu a dostupnosť služby.

3.4 Obdobie rokov 2021–2026

Vývoj SKPOS za roky 2021 až 2026 je charakterizovaný predovšetkým komplexnou modernizáciou hardvéru na referenčných staniciach, zavedením podpory signálov družíc BeiDou-3 a doplnením spôsobu poskytovania korekcií o koncept najbližšej referenčnej stanice. Súčasne pokra-



Obr. 7 Vývoj počtu geodetických a negeodetických používateľov služby SKPOS

čovalo rozširovanie siete staníc, modernizácia komunikačnej a serverovej infraštruktúry. Pokračovalo sa v integrácii GNSS s technológiou InSAR, adaptácie na extrémny nárast používateľov z negeodetickej oblasti a kybernetický útok z roku 2025 prinútil správcu zvládať aj kritické bezpečnostné výzvy.

3.4.1 Sieť referenčných staníc

Jednou z najvýznamnejších technologických zmien bolo postupné nahrádzanie starších prijímačov zariadeniami Trimble Alloy. Prvé výmeny sa uskutočnili v rokoch 2021 a 2022 následne sa pokračovalo v rokoch 2023 a 2024 a posledné dva prijímače Trimble NetR9 boli vymenené v priebehu roka 2025. Od tohto momentu boli všetky referenčné stanice SKPOS z územia Slovenska vybavené prijímačmi Trimble Alloy.

Stanica Devičany (DVCN) bola v roku 2022 zaradená do EUREF permanentnej siete staníc ako štvrtá stanica zo Slovenska. Rozvoj siete v tomto období nebol orientovaný iba na poskytovanie korekcií, ale aj na zapojenie slovenskej referenčnej infraštruktúry do európskych geodetických aktivít.

V priebehu obdobia boli viaceré referenčné stanice premiestnené zo striech budov na piliere. Na začiatku septembra 2026 tvorilo sieť 64 referenčných staníc, pričom 38 staníc bolo z územia Slovenska a 26 zo zahraničia. Najnovšou stanicou, ktorá bola pripojená do sieťového riešenia SKPOS, bola stanica s označením MILH v Milhostove (**obr. 8**), ktorá nahradila stanicu TREB pôvodne zriadenú na budove katastrálneho odboru Okresného úradu v Trebišove.

Unikátnym technologickým krokom bolo budovanie štátnej siete kombinujúcej technológie GNSS a InSAR. Od roku 2020 sa na vybraných referenčných staniciach SKPOS začali inštalovať pasívne kútové odrážače pre technológiu InSAR. Tieto odrážače umožňujú referencovanie snímok z radarových meraní z družíc Sentinel-1 pomocou presných súradníc permanentných staníc SKPOS.

3.4.2 Národné servisné centrum

Z pohľadu komunikačnej infraštruktúry zabezpečujúcej prenos údajov z referenčných staníc do národného servisného centra došlo v roku 2023 k zásadnej zmene, kedy bol dovtedajší poskytovateľ týchto služieb spoločnosť Slovanet, a. s. po vykonaní verejného obstarania zmenený na spoločnosť O2 Business Services, a. s. Táto zmena priniesla zvýšenie prenosových kapacít, vyššiu stabilitu a minimalizáciu oneskorenia družicových údajov pod hranicu 150 milisekúnd.

Najvážnejšia výzva v celej histórii prevádzky služby nastala 5. januára 2026, kedy bol na celú infraštruktúru rezortu geodézie a kartografie spáchaný kybernetický útok. Útok spôsobil dočasné vyradenie celej serverovej a komunikačnej infraštruktúry, vrátane všetkých serverov SKPOS. Obnova SKPOS do použiteľnej prevádzky trvala správcovi 8 dní a do sfunkčnenia všetkých detailov až 8 mesiacov.

3.4.3 Poskytované služby

V roku 2021 boli korekcie pre GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou sprístupnené aj na ďalších mountpointoch SKPOS_CM_CMRx a SKPOS_CM_32_MSM7. Po aktualizácii riadiaceho softvéru v roku 2023 začal mountpoint SKPOS_CM_32 poskytovať korekcie vo formáte RTCM 3.4 MSM5 a SKPOS_CM_32_MSM7 vo formáte RTCM 3.4 MSM7.

Obr. 8 Referenčná stanica MILH v Milhostove

Významným míľnikom obdobia bolo začatie poskytovania korekčných údajov pre systém BeiDou-3. Testovanie na bodoch Štátnej priestorovej siete preukázalo zvýšenie priemerného počtu použitých družíc z 23 na 30 a zlepšenie geometrie družíc vyjadrenej hodnotou PDOP z 1,2 na 1,0.

Od 1. januára 2024 bol dovtedy jediný využívaný koncept VRS doplnený konceptom *Najbližšia referenčná stanica*. Princíp konceptu spočíva v tom, že riadiaci softvér služby podľa približnej polohy rovera automaticky vyberie najbližšiu fyzickú referenčnú stanicu a poskytuje používateľovi korekcie priamo z nej.

3.4.4 Používatelia

Rast používateľskej základne pokračoval aj po roku 2020 a zároveň sa rozširovalo aj spektrum oblastí, v ktorých bol SKPOS využívaný. Popri geodézii išlo najmä o presné poľnohospodárstvo, navigáciu stavebných mechanizmov, UAV (bezpilotné lietadlo), GIS a ďalšie aplikácie založené na presnom určovaní polohy. Od októbra 2024 má SKPOS viac negeodetických používateľov ako geodetických. Pomer negeodetických používateľov ku geodetickým bol na začiatku septembra 2026 58 % ku 42 %. Celkový počet registrovaných používateľov prekročil hodnotu 4 500.

4. Najvýznamnejšie míľniky služby SKPOS

Počas dvoch desaťročí prevádzky služby prešla celá infraštruktúra komplexnými zmenami. Súhrnný prehľad týchto zásadných historických, technologických a organizačných míľnikov, ktoré formovali službu SKPOS do jej súčasnej podoby, je systematicky usporiadaný v **tab. 1**.

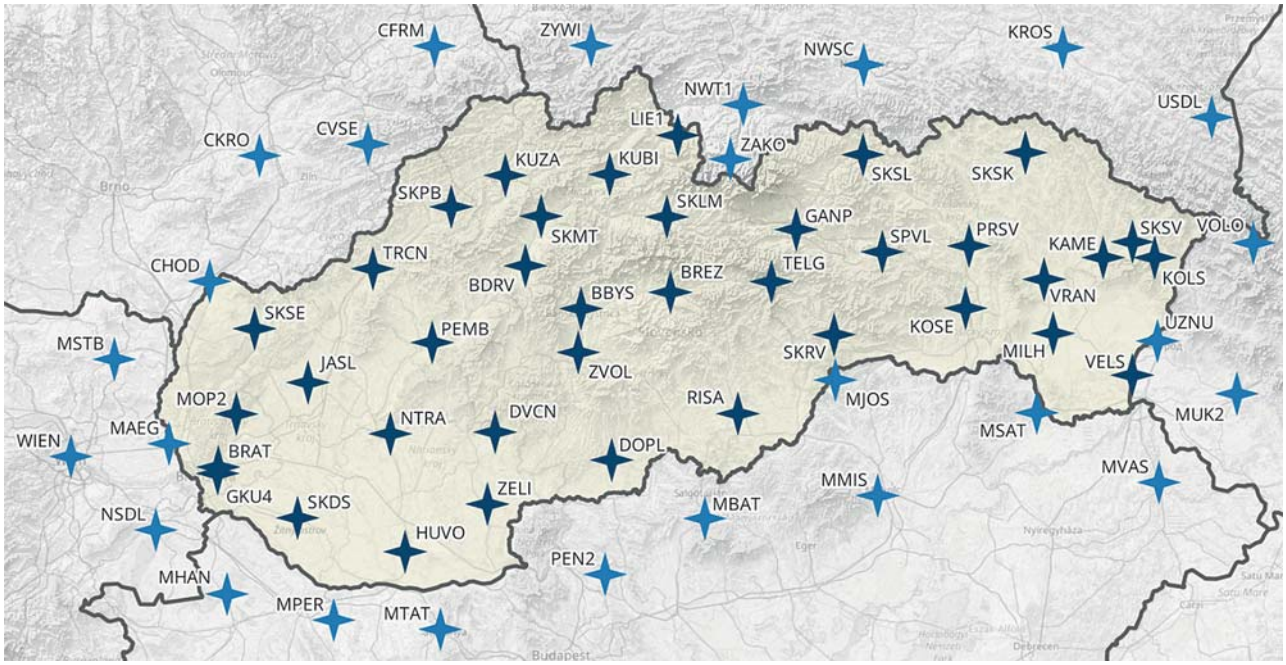
5. Aktuálny stav služby SKPOS

V roku 2026, po dvadsiatich rokoch prevádzky, predstavuje služba SKPOS najdôležitejšiu súčasť geodetických základov Slovenska a zároveň najvyužívanejšiu službu odboru geodetických základov. Od uvedenia do prevádzky v decembri 2006 prešla infraštruktúra SKPOS postupným technologickým vývojom. Pôvodná sieť, pozostávajúca z 21 referenčných staníc, bola kontinuálne rozširovaná a modernizovaná. V súčasnosti (september 2026) ju tvorí 64 referenčných staníc, z ktorých 38 je situovaných na území Slovenska a ďalších 26 v pohraničných oblastiach okolitých štátov (**obr. 9**). Zahraničné referenčné stanice sú do siete začlenené na základe bilaterálnej výmeny údajov s partnerskými národnými službami. Ich integrácia umožňuje zachovať homogenitu a dostupnosť sieťového riešenia v pohraničných oblastiach. Rozšírenie využitia permanentných GNSS staníc predstavuje ich kolokácia s technológiou InSAR. Na vybraných referenčných staniciach SKPOS sú preto osadené pasívne kútové odrážače alebo aktívne transpondéry. Na území Slovenskej republiky je v súčasnosti prevádzkovaných 24 kolokovaných staníc GNSS/InSAR. Takto vybavené lokality umožňujú vytvoriť priestorovú väzbu medzi radarovými snímkami a presnými geodetickými meraniami GNSS. Výsledkom je možnosť transformácie a interpretácie radarových snímok v záväznom geodetickom referenčnom systéme ETRS89.

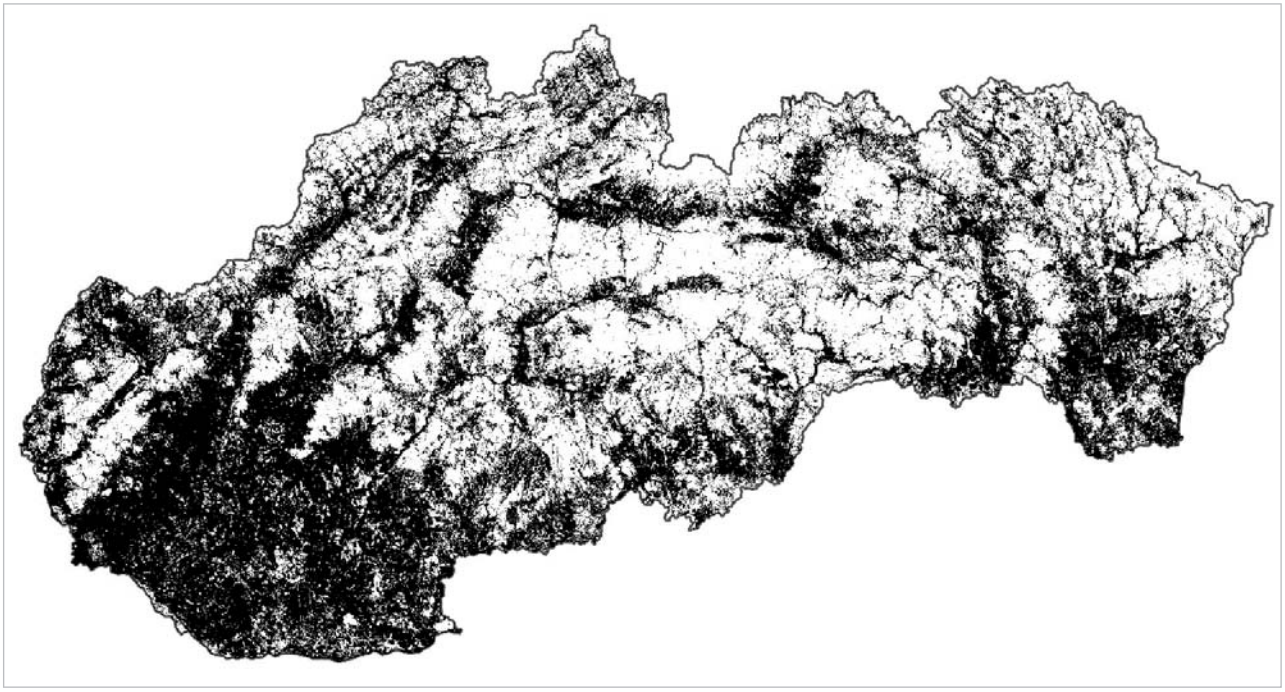
Služby v reálnom čase sú poskytované v dvoch konceptoch. Prvým je koncept VRS, ktorý je poskytovaný od

Tab. 1 Najvýznamnejšie míľniky služby SKPOS

Dátum	Míľnik
Máj 2006	Inštalácia riadiaceho softvéru služby Trimble GPSNet
10.05.2006	Inštalácia prvej referenčnej stanice v Bratislave (GKU1)
01.12.2006	Oficiálne spustenie testovacej prevádzky služby SKPOS
Február 2007	Inštalácia záložného prostredia riadiaceho softvéru služby
01.02.2009	Prechod na riadnu a platenú prevádzku služby
31.03.2009	Ukončenie testovacej prevádzky služby
11.11.2011	Prechod na riadiaci softvér VRS3Net
11.11.2011	Pripojenie prvých zahraničných referenčných staníc
02.04.2012	Spustenie nových typov formátov korekcií CMR+, CMRx, RTCM 2.3 a RTCM 3.1
Apríl 2012	Výmena prijímačov referenčných staníc SKPOS z Trimble NetR5 za Trimble NetR9
09.01.2013	Prechod na riadiaci softvér Trimble Pivot Platform
01.10.2013	Spustenie aplikácie Monitoring kvality sieťového riešenia
13.10.2015	Spustenie novej webovej stránky a nového spôsobu registrácie bez nutnosti uzatvárania papierovej verzie zmluvy
21.06.2016	Sprístupnenie korekcií vo formáte RTCM 3.2
25.10.2016	Publikácia Smernice na vykonávanie geodetických meraní prostredníctvom SKPOS
16.10.2018	Spustenie korekčných údajov pre družicové systémy Galileo a BeiDou
01.06.2020	Spustenie služby SKPOS Online Postprocesing
08.03.2021	Založenie Facebook stránky služby
01.11.2023	Zmena poskytovateľa virtuálnej privátne siete
01.01.2024	Spustenie konceptu Najbližšia referenčná stanica
13.05.2024	Spustenie korekcií z družicového systému BeiDou-3
11.11.2025	Výmena posledného prijímača Trimble NetR9 za Trimble Alloy
05.01.2026	Kybernetický útok na rezort, nedostupnosť SKPOS na 8 dní
01.12.2026	20 rokov od spustenia služby SKPOS



Obr. 9 Sieť referenčných staníc SKPOS v roku 2026



Obr. 10 Polohy používateľov pripojených do služby SKPOS počas 20. rokov jej prevádzky

začiatku spustenia služby do prevádzky. Druhým konceptom je poskytovanie údajov v koncepte najbližšia referenčná stanica. Tento koncept bol uvedený do prevádzky 1. januára 2024. Koncept oproti sieťovému riešeniu VRS nevyžaduje generovanie virtuálnej stanice a umožňuje priame využitie dostupných observácií z najbližšej referenčnej stanice. Výhodou je vyšší počet družíc bez obmedzení vyplývajúcich z generovania sieťového riešenia. Optimálne využitie konceptu je vzhľadom na priestorovú vzdialenosť od referenčnej stanice odporúčané do maximálnej vzdialenosti 20 km. Pre potreby postprocesného spracovania sú v rámci služby SKPOS_mm sprístupnené observácie GNSS pre statické spracovanie. Okrem priameho sťahovania observačných údajov je používateľom k dispozícii aj webová aplikácia SKPOS Online Postprocessing. Aplikácia umožňuje používateľovi nahrať vlastné statické observácie a spracovať ich bez nutnosti vlastnenia postprocesného softvéru.

Vývoj technickej infraštruktúry SKPOS je sprevádzaný výraznou zmenou používateľskej základne. V prvých rokoch prevádzky, najmä v období rokov 2006 až 2010, boli služby využívané prevažne používateľmi z oblasti geodézie. V súčasnosti služba eviduje viac ako 4 500 aktívnych používateľov. Súčasná štruktúra používateľov zároveň dokumentuje postupné rozširovanie využitia permanentnej GNSS infraštruktúry mimo tradičných geodetických aplikácií. Podiel používateľov využívajúcich SKPOS na negeodetické účely v súčasnosti (september 2026) dosahuje 58 %. Do prvej skupiny patria najmä používatelia využívajúci SKPOS na účely presného poľnohospodárstvo, riadenia stavebných mechanizmov, dopravných systémov, správy inžinierskych sietí a ďalších aplikácií využívajúcich presnú priestorovú polohu. Geodetické využitie zahŕňa predovšetkým používateľov využívajúcich službu na činnosti súvisiace s katastrom nehnuteľností, mapovaním a inžinierskou geodéziou (**obr. 10**). Vývoj používateľskej štruktúry poukazuje na postupný prechod využívania SKPOS od pôvodne špecializovanej geodetickej služby k všeobecnejšej priestorovej infraštruktúre poskytujúcej korekčné údaje pre široké spektrum aplikácií založených na presnom určovaní polohy.

6. Záver

Dvadsaťročné obdobie prevádzky SKPOS preukázalo strategický význam vybudovania národnej siete permanentných referenčných staníc GNSS pre potreby štátu i komerčnej sféry. Technologický vývoj služby od poskytovania korekčných údajov pre systémy GPS a GLONASS k plne podporovanej multi-GNSS infraštruktúre GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou-3, zavedenie alternatívneho konceptu najbližšej referenčné stanice či spustenie SKPOS Online Postprocesingu, predstavujú technologické míľniky, ktoré udržiavajú službu na úrovni najmodernejších európskych štandardov. Významným kvalitatívnym posunom je tiež prechod od strešných stabilizácií k stabilizáciám na pilieroch a rozšírenie staníc o pasívne odrážače umožňujúce využívať technológiu InSAR, čím sa vytvoril základ pre sledovanie geokinematických javov a vyhodnocovanie deformácií územia Slovenska v nadväznosti na Európsky terestrický referenčný systém ETRS89. Vývoj štruktúry používateľskej základne, kde negeodetické aplikácie (najmä presné poľnohospodárstvo a navigácia stavebných strojov) dosiahli nadpolovičný podiel, potvrdzuje prierezový charakter poskytovaných korekčných služieb. Tieto skutočnosti zároveň kladú zvýšené nároky na vysokú dostupnosť, nízke oneskorenie dátových tokov a kybernetickú bezpečnosť celého národného servisného centra. Skúsenosti z dvoch desaťročí prevádzky predpokladajú ďalší rozvoj služby aj do budúcna. Služba SKPOS zostáva otvoreným, technologicky sa vyvíjajúcim systémom, ktorého ďalšie smerovanie bude určované tak potrebami tradičnej geodetickej praxe, ako aj rastúcimi nárokmi širokého spektra negeodetických aplikácií.

LITERATÚRA:

[1] DROŠČÁK, B.: 10 rokov Slovenskej priestorovej observačnej služby (2006 až 2016). Bratislava, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2016, 129 s.
[2] Zahraničná pracovná cesta: 2. zasadnutie riadiaceho výboru EUPOS. Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2002.
[3] Výročná správa GKÚ: Výročná správa GKÚ za rok 2002. Bratislava, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2003.
[4] Rezortný projekt SPGS: Vybudovanie Slovenskej permanentnej služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov. Slovenská permanentná GNSS služba - geodetické základy novej generácie. [Návrh rezortného projektu]. Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2002.
[5] Rezortný projekt SKPOS: Projekt budovania národnej infraštruktúry Slovenského priestorového observačného systému SKPOS na prevádzkovanie Slovenskej permanentnej služby využitia signálov GNSS. Geodetické základy novej generácie. Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2006.
[6] Výročná správa GKÚ: Výročná správa GKÚ za rok 2012. Bratislava, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2012.
[7] SMOLÍK, K.-DROŠČÁK, B.: Nástroje na správu a analýzu údajov GNSS vyvinuté na GKÚ Bratislava. Medzinárodný seminár Družicové metody v geodézii a katastru, Brno, 2015.
[8] SMOLÍK, K.: Monitoring kvality sieťového riešenia SKPOS v reálnom čase. Bratislava, Diplomová práca KGZA SvF STU, 2013, 53 s.
[9] SMOLÍK, K.: SKPOS registration system. 4th EUPOS Technical Meeting. Bratislava, 2017.
[10] Webová stránka služby SKPOS: dostupné online https://skpos.gku.sk. Bratislava, 2026.

Do redakcie došlo: 18. 9. 2026

Lektoroval:
Ing. Jan Řezníček, Ph.D.,
Zeměměřický úřad