

## Revolúcia v geodézii

Ing. Dušan Ferienc EUR ING, Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov

### Globálne navigačné družicové systémy

Nové milénium nám do bežného života uviedol nový fenomén - Globálny polohový systém (GPS). Slúži k určovaniu priestorovej polohy na zemskom povrchu a jeho okolí. Dnes hovoríme o GNSS – globálne navigačné satelitné systémy, pretože oproti pôvodnému americkému systému GPS NAVSTAR, tu dnes máme k dispozícii ruský GLONASS a už i európsky GALILEO. Môžeme prijímať signál z čínskych družíc BeiDou. Skoro každý má vo svojom smartfóne čip, ktorý mu umožňuje určiť svoju polohu z GPS NAVSTAR na niekoľko metrov v svetovom referenčnom systéme WGS84. Výkonnejšie umožňujú pracovať už s viacerými GNSS, čím sa samozrejme zvyšuje presnosť určenia.

Princíp technológie GNSS je, že aparátúra (prijímač) prijíma kódovaný signál z družíc navigačných systémov na určenie priestorovej polohy a zisťuje časové oneskorenie prijatých signálov voči signálu generovanému z hodín prijímača GNSS. Zo známeho časového oneskorenia a z rýchlosti šírenia vln je možné vypočítať vzdialenosť medzi anténou prijímača a družicami. Tato vzdialenosť je veľmi ovplyvnená chybou v nastavení hodín prijímača a fyzikálnym stavom atmosféry, ktorou signál prechádza. Nie je to vzdialenosť v geometrickom zmysle, označuje sa ako pseudovzdialenosť. Pokiaľ prijímač určí pseudovzdialenosti najmenej k štyrom družiciam systému, je schopný určiť polohu a opravu vlastných hodín. Polohu určenou z pseudovzdialeností nazývame aj navigačná poloha. Presnosť určenej polohy závisí na vplyve atmosféry, presnosti určenia polôh družíc a presnosti určenia časového oneskorenia, ktoré je závislé na štruktúre vysielaného kódu. Presnosť určení časového oneskorenia ovplyvňuje určení polohy v ráde niekoľkých decimetrov. Výsledná poloha je podstatne viac ovplyvnená prvými dvoma zdrojmi nepresností, ktoré môžu spôsobiť chybu v polohe až niekoľko desiatok metrov.

Na zvýšenie presnosti určenia polohy (cm – presnosť) je využívaná metóda **diferenčného GNSS**, ktorú využívajú najmä geodeti. Základom je dvojica prijímačov GNSS.



Prvý prijímač GNSS je stabilizovaný na bode (stanici), ktorého súradnice sú určené. Merané pseudovzdialenosti porovnávame s vzdialenosťami stanice – družice a výsledné opravy odovzdáva v podobe korekcií druhému prijímaču. Druhý prijímač je umiestnený na bode, ktorého polohu potrebujeme určiť. Pseudovzdialenosti merané druhým prijímačom sú opravené o získané korekcie a z opravených pseudovzdialeností je vypočítaná korigovaná navigačná poloha.

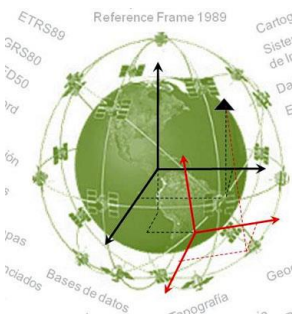
Za účelom, aby používatelia GNSS nemuseli zriaďovať „druhú“ stanicu, tak rezort Úradu geodézie, kartografie a katastra v Slovenskej republike (UGKK SR) na základe zákona NR SR č. 215/1995 a novely č.423/2003 o geodézii a kartografii zabezpečil zriadenie a permanentné prevádzkovanie **Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS®)** využívajúcej (GNSS). Táto služba umožňuje pomocou najnovších technológií využívajúcich GNSS riešiť úlohy zabezpečujúce jednoznačnosť výkonu geodetických prác pre oblasti katastra, mapovania, základnej bázy geografických informácií, realizácie všetkých stavebných prác ale aj možnosti monitoringu pohybových aktivít územia v referenčnom geodetickom systéme ETRS89.

Využívanie technológie GNSS od počiatku koordinuje a riadi subkomisia EUREF (Európskeho referenčného rámca (frame)) Medzinárodnej asociácie pre geodéziu - IAG (International Association of Geodesy). Tak mohla vzniknúť Európska permanentná sieť GNSS (EPN). Všetky príspevky, údaje do EPN sa poskytujú na dobrovoľnom základe, pričom na práci sa zúčastňuje viac ako 100 európskych univerzít a inštitúcií). Za Slovensko je to Katedra geodetických základov STU v Bratislave a Geodetický a kartografický ústav Bratislava.



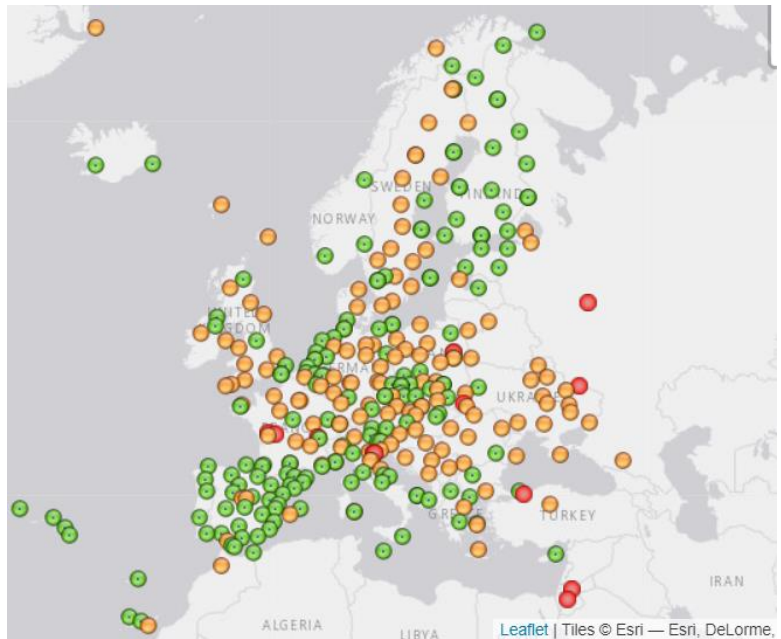
Hlavným účelom EPN je poskytnúť prístup k Európskemu terestrickému referenčnému systému 89 (ETRS89), ktorý je štandardným, presným, koordinovaným systémom GNSS v celej Európe. S podporou EuroGeographics a schválenej smernicou INSPIRE 2007/2/ ES je ETRS89 pilierom geolokačných údajov na európskom území, a to na národnej i medzinárodnej úrovni.

**ETRS89** je referenčný systém definovaný na základe rezolúcie č. 1 Technicko-riadiacej skupiny subkomisie Európskeho referenčného rámca (EUREF TWG) prijatej na mítingu konanom v roku 1990 vo Florencii, ktorá definuje ETRS89 ako systém, ktorý je stotožnený s Medzinárodným terestrickým referenčným systémom (ITRS) v epoche 1989.0 a ktorý je fixovaný na stabilnú časť Eurázijskej tektonickej platne.



Projekt EUREF-IP je projektom európskej siete vybraných permanentných staníc,

ktorý má za cieľ určenia a overenia poskytovaných korekcií pre diferenčné GNSS zo staníc EPN v reálnom čase pomocou IP (Internet Protocol) cez Internetu. Korekcie sú ukladané do úložiska (broadcasteru) z ktorého sú distribuované prihláseným používateľom. Dnes sieť tvorí cca 309 národných permanentných staníc GNSS, ktoré v reálnom čase permanentne zasielajú údaje do vybraných spracovateľských centier, kde medzi hlavné centra patrí BKG (Bundesamt fuer Kartographie und Geodaesie) a ROB (Royal Observatory of Belgium). Zo Slovenska sú do EPN zapojené tri stanice siete SKPOS® a to Gánovce, Banská Bystrica a Modra-Piesok.



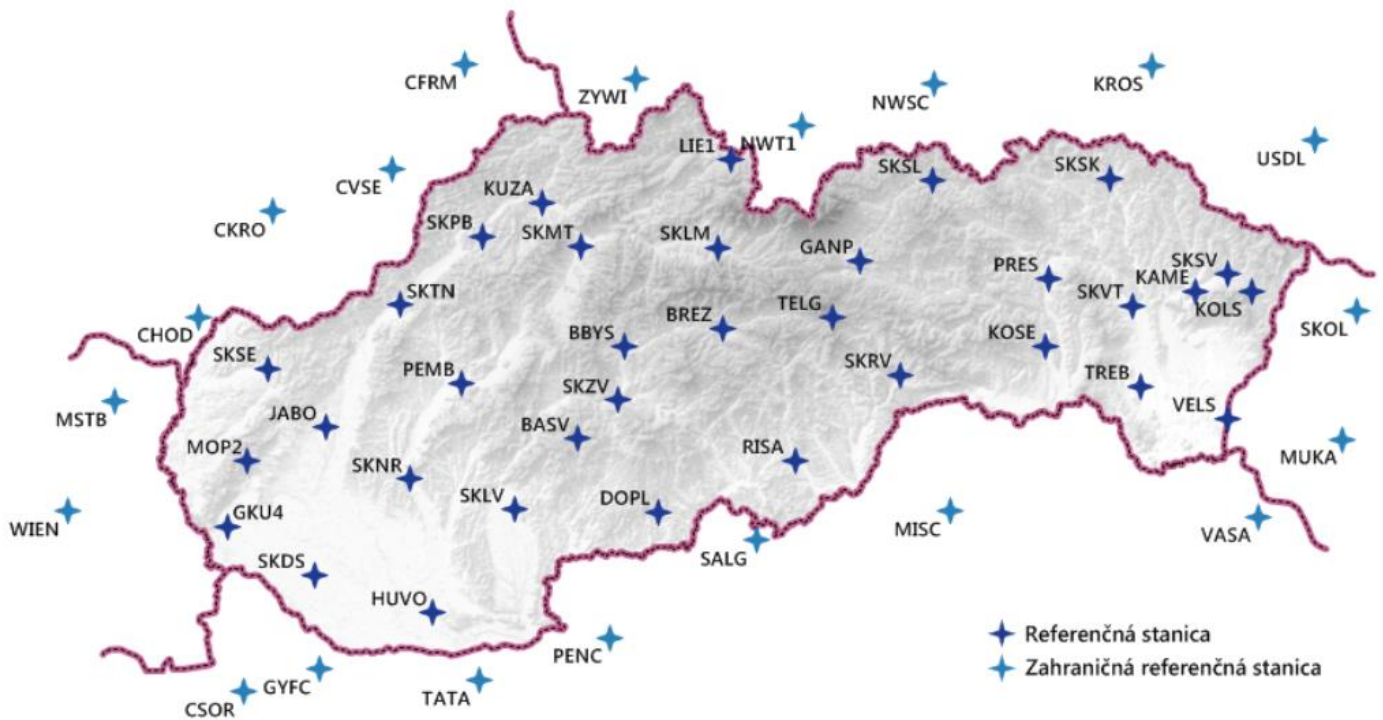
Sieť staníc EPN

## SKPOS®

Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS®) je multifunkčný nástroj na presné určovanie polohy objektov a javov pomocou GNSS. Služby SKPOS® umožňuje používateľom pracovať on-line alebo dodatočne v geodetických referenčných systémoch ETRS89 a S-JTSK (v realizácii JTSK03). SKPOS® pozostáva zo siete permanentných referenčných staníc GNSS pripojených pomocou privátnej virtuálnej siete do Národného servisného centra nachádzajúceho sa na Geodetickom a kartografickom ústave v Bratislave. Národné servisné centrum je vybavené riadiacim softvérom služby, ktorý spravuje namerané družicové observácie zo siete permanentných referenčných staníc a zároveň generuje tzv. sieťové korekcie pre používateľov využívajúcich službu v reálnom čase a údaje slúžiace na dodatočné spracovanie pre používateľov vybavených postprocessingovým softvérom.

SKPOS® bola spustená do prevádzky v roku 2016 a začínala s 21 stanicami GNSS (GPS NAVSTAR a GLONASS). Dnes je v SKPOS® pripojených 34 národných permanentných staníc GNSS a ďalších 20 staníc partnerských sietí GNSS okolitých štátov. Referenčné stanice GNSS, sú zaradené do množiny bodov štátnej priestorovej siete triedy „A“ (permanentné a referenčné stanice GNSS). Rozmiestnenie staníc sme zvolili s ohľadom na dosiahnutie požadovanej geodetickej presnosti (2 – 3 cm v polohe) pri používaní SKPOS®. Sieť staníc je zriadená najmä na objektoch OÚ (Odbory katastra nehnuteľností), čo umožňuje jednoducho využívať rezortnú počítačovú sieť VPS-WAN. Do siete sú pripojené aj špecializované geodetické body. Tieto špeciálne body sú stabilizované na zámer služby permanentne monitorovať geodynamické vlastnosti územia Slovenska v predmetných geodynamických bodoch. Sú to hĺbkové stabilizácie ukotvené až na relevantný geologický podklad so stabilizovanou geodetickou značkou. Vzhľadom na vyššie náklady budovania takýchto bodov bolo obmedzené. A máme ich celkom 16 z 34 staníc.

Sieť referenčných staníc SKPOS® (19.12.2017)



Tieto body – stanice sú vybudované napríklad v Partizánskom, Lieseku, Banskej Štiavnici, Košiciach, Rimavskej Sobote. Údaje z geodynamických bodov, staníc GNSS v Gánovciach (GANP), Banskej Bystrici (BBYS) a stanica MOPI, ktorú prevádzkuje STU Bratislava, sú preposielané aj do EPN.

Referenčné stanice umiestnené na území Slovenska sú vybavené aparatúrami značky Trimble. 16 antén má určené presné parametre polohy a variácie fázového centra individuálnou absolútnou robotickou kalibráciou. Na ostatných anténach sú pri výpočtoch používané hodnoty z tzv. typových absolútnych kalibrácií. Všetky referenčné stanice situované na území Slovenska prijímajú signály z družicových systémov GPS NAVSTAR a GLONASS a viaceré aj signály z štartujúceho GALILEA a čínskeho BeiDou. Národné servisné centrum SKPOS® zabezpečuje, riadi, spracováva údaje z GNSS pomocou softvéru Trimble a ďalších programov. Programy obsahujú rad modulov, ktoré zabezpečujú komunikáciu so stanicami SKPOS®, kontrolujú kvalitu prijímaných prvotných údajov, zabezpečujú ich archiváciu, spracovávajú údaje, poskytujú korekcie

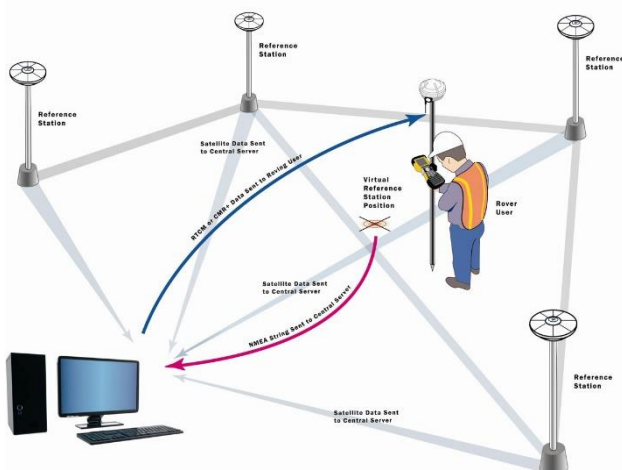


Image courtesy of Trimble

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.

užívateľom prostredníctvom internetového rozhrania. Existuje niekoľko RTN konceptov ako napríklad MAX, FKP, VRS, a iné. Služba SKPOS® poskytuje svojim používateľom korekcie výlučne v koncepte **virtuálnej referenčnej stanice** (ďalej VRS). 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 ide 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



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®.

GKÚ Bratislava na infraštruktúre SKPOS® prevádzkuje dve služby pre reálny čas a tretiu pre post reálny čas :

- SKPOS-dm – diferenciálne korekcie pre kódové merania s využitím pre navigáciu a určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou 1 m – 0,2 m.
- SKPOS-cm – diferenciálne korekcie pre fázové merania na presné určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou 2 - 4 cm. Táto služba je dominantná predovšetkým pre geodetické práce.
- SKPOS-mm – kódové a fázové merania na veľmi presné určovanie polohy po ukončení merania (post-processing), resp. v blízkom reálnom čase s presnosťou 20 – 0,5 mm. Tieto údaje budú využiteľné najmä pre geodynamický monitoring aktívnych zosuvných oblastí resp. stabilitu objektov, geodetické práce.

Najväčším problémom pri využívaní služieb SKPOS® je slabá kvalita datových služieb našich mobilných operátorov, ktoré vo viacerých oblastiach sú slabo pokryté a často potom nedokážu zabezpečiť komunikáciu medzi používateľom rovera a centrom SKPOS®.

### GPS NAVSTAR – GLONASS - GALILEO



Americký systém **GPS NAVSTAR** je dnes tvorený 32 družicami, ktoré sú umiestnené na šiestich obežných dráhach s sklonom 55°. Na každej dráhe sú za sebou minimálne 4 aktívne družice. Družice obiehajú vo výške 20 200 km nad povrchom a rovnakú vzájomnú polohu nad daným bodom zopakujú za 11 h 58 min. Každá družica je vybavená prijímacou a vysielačou anténou, atómovými hodinami, palivom pre dýzy pohonu,

akumulátormi, ktoré majú k dispozícii solárne panely. Ostatná družica typu II-F bola uvedená do prevádzky 5.2.2016 a najstaršia pracujúca je ešte typu II-A a to už od 22.11.1993! Plný operačný stav GPS bol od marca 1994.



#### GPS

- 6 Orbital planes
- 24 Satellites + Spare
- 55° Inclination Angle
- Altitude 20,200km



#### Galileo

- 3 Orbital planes
- 27 Satellites + 3 Spares
- 56° Inclination Angle
- Altitude 23,616km



#### GLONASS

- 3 Orbital planes
- 21 Satellites + 3 Spares
- 64.8° Inclination Angle
- Altitude 19,100km



Ruský systém **GLONASS** má v činnosti 26 družíc, ktoré sú umiestnené na troch obežných dráhach s sklonom 64,8°. Na každej dráhe je za sebou minimálne 8 aktívnych družíc. Družice obiehajú vo výške 19 100 km. Posledná bola vynesená a uvedená do prevádzky 29.8.2018. Najstaršia pracuje od 3.4.2007. Pre vojenské účely systém pracoval od roku 1982, ale v plnom nasadení pre civilný sektor je prakticky od roku 2011.



Európska únia mala dlhé roky snahu vybudovať vlastný nezávislý GNSS ale vzhľadom na vysoké finančné nároky sa tento projekt nedokázal realizovať. Projekt je dnes realizovaný prostredníctvom Európskej kozmickej agentúry (ESA) a ďalších inštitúcií. Administratívne sídlo agentúry prevádzkujúci systém Galileo získala Praha.( <https://www.gsc-europa.eu/galileo-gsc-overview/system> ).

Galileo bude mať 30 operačných družíc (27+3), pracujúcich vo výške 23 222 km nad povrchom Zeme po dráhach s sklonom 56° k zemskému rovníku v troch rovinách, vzájomne voči sebe posunutých o 120°. Každá má 9 pozícií pre družice a 1 pozíciu ako zálohu, aby systém mohol byť pri poruche družici rýchlo doplnený na plný počet. To umožní tiež využívať Galileo až na 75° zemepisné šírky. Pokrytie Galilea je väčšie než u GPS, a to predovšetkým v severských krajinách kde navigácia bola problematická. V júly 2018 boli na dráhu vynesené ďalšie 3 družice, čím sa dosiahol počet 26 a začiatkom roka 2019 sa očakáva plné nasadenie. Aj SKPOS® už prijíma signály z týchto družíc a po oficiálnom spustení pridá i tieto korekcie do MNEA správ pre používateľov. Tým, že sa nejedná o vojenský (GPS, GLONASS...) ale civilný projekt prináša to výhodu, že nehrozí výpadok služby ani pri vyhrotených medzinárodných situáciách. Najväčšie uplatnenie nájde Galileo predovšetkým v doprave ale i v oblasti bezpečnosti. Ďalšie služby, ktoré bude Galileo poskytovať sú:

- Open Service (OS) bude voľne dostupná. Signály budú využívať 2 pásma: 1164–1214 MHz a 1563–1591MHz. Prijímače majú polohovú presnosť lepšiu ako 4 m a vertikálnu lepšiu ako 8 m. Bola dosiahnutá dohoda o kompatibilite s americkým systémom GPS.
- Commercial Service (CS), šifrovaný servis, má byť spoplatnený a má poskytnúť presnosť lepšiu než OS.
- Safety of Life Service (SOL), ktorá bude tiež kódovaná s dôrazom na integritu a bezpečnosť.
- Public Regulated Service (PRS), bude zašifrovaná, s kontrolovaným prístupom a dlhodobou podporou, určená pre armády a bezpečnostné zložky štátov.

## Záver

Presné určovanie priestorovej polohy v referenčnom systéme ETRS89 urobilo prakticky revolúciu pri meračských prácach v geodézii. Podstatne zvyšuje kvalitu meraných údajov a rýchlosť meračských prác. Tým samozrejme aj tvorbu výstupov v podobe mapových podkladov. Dnes v reálnom čase s využitím SKPOS® je bežne dosahovaná presnosť na úrovni 3 cm. Táto presnosť pri technológiách a postupoch na meračských prácach v predchádzajúcich storočiach, bola dosahovaná iba pri špeciálnych meračských prácach a postupoch.

Dnes služby SKPOS®, teda diferenčného merania si nachádzajú používateľom i v poľnohospodárstve pri riadení poľnohospodárskych strojov (napr. presná sejba), riadení stavebných mechanizmov. Svoje miesto má pri zbere údajov pre GIS, či pri pozemkových úpravách. Dobudovanie GNSS zároveň umožní podstatne zvýšiť bezpečnosť v cestnej doprave pri inteligentných autách.