

GEODETICKÉ ZÁKLADY A TECHNOLOGIE GNSS

Prof. Ing. Ján Hefty, PhD. – Ing. Ľubomíra Gerhátovej, PhD.
Katedra geodetických základov SvF STU v Bratislave

OBSAH

- Súčasný stav geodetických základov v SR, záväzné geodetické systémy v SR, právne predpisy
- Geodetické základy SR budované klasickými terestrickými technológiami
- Geodetické základy SR budované družicovými technológiami, integrovaná geodetická sieť
- Metódy určovania polohy pomocou GNSS
- SKPOS – koncepcia, poskytované služby
- Transformácie ERTS \leftrightarrow S-JTSK
- JTSK03 – realizácia a implementácia v geodetickej praxi

SÚČASNÝ STAV GEODETICKÝCH ZÁKLADOV SR

Geodetické základy sú podkladom na budovanie geodetických bodových polí pre všetky druhy geodetických činností. Realizáciou geodetických základov sú siete vzťažných bodov, ktoré majú určené a overené predpismi stanovené príslušné parametre a sú použiteľné na ich ďalšie rozširovanie, resp. zhustenie.

Súvisiace právne predpisy

Najdôležitejším právnym predpisom, ktorý definuje geodetické základy a upravuje prácu v nich, je zákon o geodézii a kartografii č. 215/1995 (www.zbierka.sk) v znení neskorších predpisov (novelizácie v r. 2003, 2007, 2008 a 2011). V nasledujúcom texte vyberáme odseky, ktoré sa viažu ku geodetickým základom:

§ 2 Vymedzenie niektorých pojmov

(1) Geodetický systém je súbor konštánt, parametrov a konvencií charakterizujúcich súradnicový, výškový alebo gravimetrický systém.

(2) Realizácia geodetického systému je lokalizačný etalón, ktorý je materializáciou geodetického systému prostredníctvom geodetických základov. K bodom geodetických základov sa určujú parametre popisujúce geometrický a fyzikálny model reality, metódy a postupy spracovania meraných veličín. Realizácia geodetického systému je časovo závislá.

...

(4) Geodetické základy sú geodetické body priestorovej siete, trigonometrickej siete, nivelačnej siete a gravimetrickej siete a systém prostriedkov definujúcich ich parametre v priestore a čase s predpísanou presnosťou, dokumentáciou a s použitím zákonných meracích jednotiek.

...

(18) Permanentná lokalizačná služba, ktorá využíva globálne navigačné satelitné systémy, je sieť kooperujúcich staníc, ktorá spracúva a v reálnom čase poskytuje geocentrické súradnice na presnú lokalizáciu objektov a javov.

§ 4 Štátna správa na úseku geodézie a kartografie

(2) Úrad (geodézie, kartografie a katastra)

...

b) určuje záväzné geodetické systémy, ich realizácie a ich lokalizačné štandardy mimo potrieb obrany štátu a potrieb správy štátnych hraníc

...

d) zabezpečuje zriaďovanie a aktualizáciu geodetických základov a zriaďovanie podrobného bodového poľa pre obnovu katastrálneho operátu novým mapovaním

...

n) zabezpečuje tvorbu a prevádzkovanie permanentnej lokalizačnej služby, ktorá využíva globálne navigačné satelitné systémy

Ďalším dôležitým právnym predpisom je vyhláška ÚGKK SR č 300/2009 (www.zbierka.sk), ktorou sa vykonáva zákon NR SR o geodézii a kartografii (1996), a jej novelizácia č. 75/2011.

Vyhláška podrobnejšie upravuje:

a) záväzné geodetické systémy, ...

ZÁVÄZNÉ GEODETICKÉ REFERENČNÉ SYSTÉMY A ICH PLATNÉ REALIZÁCIE

§ 2

(1) Názvy a kódy záväzných geodetických referenčných systémov sú:

- a) Európsky terestrický referenčný systém 1989 s alfanumerickým kódom ETRS89,
- b) Súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej s alfabetickým kódom S-JTSK,
- c) Baltský výškový systém po vyrovnaní s alfabetickým kódom Bpv,
- d) Európsky vertikálny referenčný systém s alfabetickým kódom EVRS,
- e) Gravimetrický systém s alfabetickým kódom S-Gr.

(2) Definície a parametre záväzných geodetických referenčných systémov sú: (definované sú všetky záväzné referenčné systémy)

(3) Realizácia ľubovoľného geodetického systému predstavuje určenie požadovaných parametrov, ako sú súradnice, výšky alebo tiažové zrýchlenia v zmysle definície systému, ktoré sa vzťahujú na fyzické body stabilizované na zemskom povrchu pre konkrétny (definovaný) okamih. Takáto výsledná množina bodov s určenými parametrami predstavuje referenčný rámec geodetického systému...

(4) Národná realizácia Európskeho terestrického referenčného systému 1989 predstavuje súbor geocentrických priestorových súradníc, ročných zmien súradníc a charakteristík presností vybraných bodov Štátnej priestorovej siete s alfabetickým kódom ŠPS, spracovaných k určitému dátumu pomocou množiny staníc EUREF permanentnej siete postupom definovaným v EUREF smerniciach, na ktoré sú naviazané ostatné body ŠPS. Jej

názov je Slovenský terestrický referenčný rámec... Platnou národnou realizáciou ETRS89 je realizácia SKTRF09.

(5) Realizácia súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej predstavuje súbor rovinných súradníc vybraných bodov Štátnej priestorovej siete spracovaných k určitému dátumu... Platnou realizáciou S-JTSK súradnicového systému je JTSK03.

(6) Národná realizácia Baltského výškového systému po vyrovnaní predstavuje súbor normálnych výšok a charakteristík presností bodov Štátnej nivelačnej siete určených vyrovnaním opakovaných nivelačných meraní vzhľadom na jeden základný alebo množinu viacerých základných nivelačných bodov... Platnou národnou realizáciou Baltského výškového systému po vyrovnaní je Bpv.

(7) Národná realizácia Európskeho výškového referenčného systému predstavuje súbor geopotenciálnych kót, normálnych výšok a charakteristík presností bodov Štátnej nivelačnej siete určených vyrovnaním vzhľadom na jeden základný alebo množinu viacerých základných nivelačných bodov určených v rámci medzinárodného vyrovnania vyšších rádov nivelačných sietí Európskych štátov. Národnú realizáciu EVRS nazývame Slovenský vertikálny referenčný rámec... Platnou národnou realizáciou EVRF je SKVRF05.

(8) Národná realizácia Gravimetrického systému predstavuje súbor tiažových zrýchlení a charakteristík presností vybraných bodov geodetických základov určených z národného vyrovnania absolútnych a relatívnych gravimetrických meraní vykonaných v Štátnej gravimetrickej sieti. ... Platnou národnou realizáciou Gravimetrického systému je S-Gr.

(9) Na transformovanie súradníc bodov medzi národnou realizáciou Európskeho terestrického referenčného systému 1989 a realizáciou súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej sa používa globálny transformačný kľúč vyjadrujúci vzťah medzi elipsoidom Geodetického referenčného systému 1980 a Besselovým elipsoidom 1841 a zobrazovacie rovnice Křovákovo konformného kuželového zobrazenia bodov z Besselovho elipsoidu 1841 do roviny. Globálny transformačný kľúč je platný pre celé územie Slovenska. Na výpočet priestorových súradníc bodov vychádzajúcich z realizácie rovinných súradníc súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej sa používajú aj normálne výšky platnej národnej realizácie Baltského výškového systému po vyrovnaní a digitálny výškový referenčný model. Globálny transformačný kľúč reprezentujúci vzťah medzi národnou realizáciou ETRS89 a JTSK03 predstavuje sedem transformačných parametrov vypočítaných priestorovou podobnostnou transformáciou Burša-Wolfovým modelom. Parametre tohto globálneho transformačného kľúča (verzia 1/2007) sú:

tri translácie: $dX = -485,021\text{m}$, $dY = -169,465\text{m}$, $dZ = -483,839\text{m}$,

tri rotácie: $\omega X = 7,786342''$, $\omega Y = 4,397554''$, $\omega Z = 4,102655''$,

mierka: $ds = 0,000000\text{ ppm}$.

Transformačná služba medzi platnými realizáciami záväzných geodetických systémov ETRS89 a S-JTSK je prístupná na webovom sídle úradu.

(10) Na prevod normálnych výšok určených v národnej realizácii Baltského výškového systému po vyrovnaní a elipsoidických výšok určených v národnej realizácii Európskeho terestrického referenčného systému 1989, definovaných nad elipsoidom Geodetického referenčného systému 1980 sa používa digitálny výškový referenčný model s alfabetickým kódom DVRM.

Geodetické základy

§ 3

(1) Pasívne geodetické základy tvoria geodetické body, ktorých parametre sú určené aspoň v jednom záväznom geodetickom systéme. Parametre geodetických bodov sa určujú v týchto špecializovaných sieťach:

- a) Štátna priestorová sieť pre národnú realizáciu Európskeho terestrického referenčného systému,
- b) Štátna trigonometrická sieť s alfabetickým kódom ŠTS pre národnú realizáciu súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej,
- c) Štátna nivelačná sieť s alfabetickým kódom ŠNS pre národnú realizáciu Baltského výškového systému po vyrovnaní a Európskeho výškového referenčného systému,
- d) Štátna gravimetrická sieť s alfabetickým kódom ŠGS pre národnú realizáciu Gravimetrického systému.

(2) Aktívne geodetické základy tvorí permanentná lokalizačná služba označená ako Slovenská priestorová observačná služba. Stanice Slovenskej priestorovej observačnej služby sú prevádzkované na vybraných bodoch Štátnej priestorovej siete.

GEODETICKÉ ZÁKLADY SR

Klasické geodetické základy tvoria polohové, výškové a gravimetrické siete. Ich body boli navzájom oddelené, čo vyplývalo z rozdielných meračských metód, ktoré sa používali na ich budovanie a ktoré vyžadovali splnenie rozličných podmienok pri meraní aj spracovaní. V súvislosti s rozvojom nových družicových metód, ich presnosťou a prístupnosťou, najmä v oblasti použitia Globálneho systému na určovanie polohy (GPS) a neskôr globálnych navigačných družicových systémov (GNSS), nastal v geodetickej praxi problém, ako tieto merania čo najlepšie využiť, začleniť ich do existujúcich geodetických základov a nestrátiť informáciu o trojrozmernej polohe bodov, ktorú nám poskytujú. Z toho dôvodu čoraz väčší význam začala nadobúdať myšlienka spracovania meraní v geodetickej sieti integrovaným spôsobom a to bol podnet na budovanie integrovaných geodetických základov.

GEODETICKÉ ZÁKLADY SR BUDOVANÉ KLASICKÝMI TERESTRICKÝMI TECHNOLÓGIAMI

Štátna trigonometrická sieť (ŠTS)

Štátna trigonometrická sieť (Abelovič a kol., 1990) definuje polohové geodetické základy (2D) a tvoria ju trigonometrická sieť I. až V. rádu s priemernou hustotou 1 bod na 2,7 km², priemerná dĺžka strán je 2 km. Poloha bodov je definovaná rovinnými súradnicami x , y v Systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej. Ako referenčný elipsoid bol použitý Besselov elipsoid, zobrazenie siete do roviny je definované Křovákovým konformným kuželovým zobrazením vo všeobecnej polohe. Použitý rovinný súradnicový systém je definovaný takto: os x orientovaná na juh, os y na západ. Budovanie siete prebiehalo v rokoch 1920 – 1957, rozmer siete je odvodený len z jednej základnice. Sieť má chybnú orientáciu (9,6") a posunuté umiestnenie na Besselovom elipsoide ($\delta x \approx 15$ m, $\delta y \approx 300$ m). Deklarovaná presnosť bodov siete je charakterizovaná súradnicovou chybou, ktorá je pre I. rád 0,045 m, II. rád 0,035 m, III. rád 0,030 m, IV. rád 0,020 m, V. rád 0,015 m. Reálna presnosť je výrazne

nižšia. JTSK sa vyznačuje výraznými lokálnymi a regionálnymi deformáciami. V súčasnosti sa ŠTS už neudrzuje (www.gku.sk).



Základná trigonometrická sieť – stav v roku 1927 (Provázek, J., 2000)

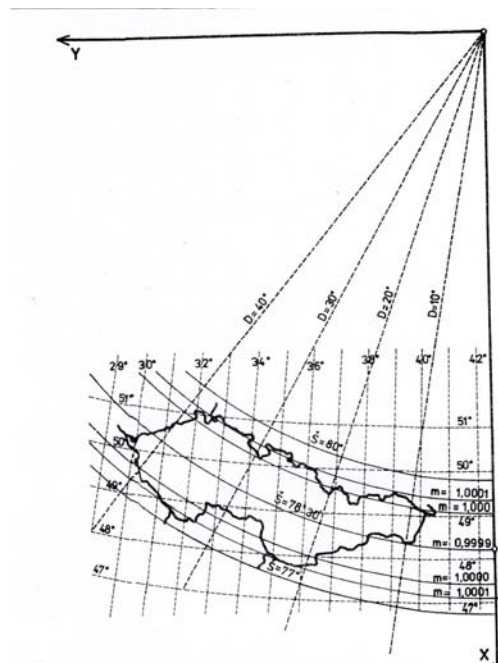
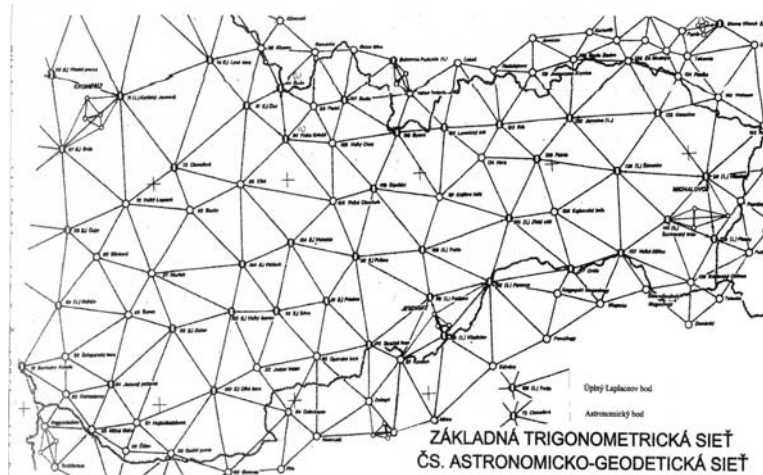


Schéma Křovákovo kuželového zobrazenia (Abelovič, J. a kol., 1990)

Astronomicko-geodetická sieť (AGS)

(bývalá Československá Astronomicko-geodetická sieť,
slovenská časť)

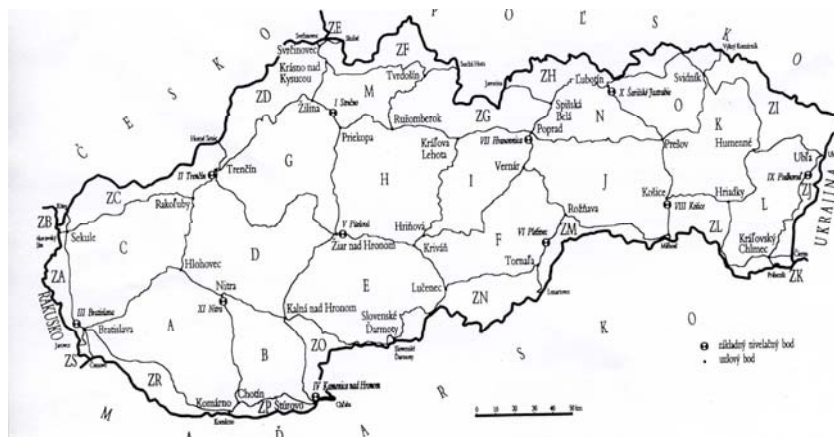
Bývalú Československú Astronomicko-geodetickú sieť (Abelovič, J. a kol., 1990) tvorí trigonometrická sieť, ktorá bola budovaná súčasne s bodmi S-JTSK. Na Slovensku bola budovaná v rokoch 1931 – 1977, v Československu bolo 144 bodov, sieť mala 6 základníc a 53 Laplaceových bodov, boli v nej určené zvislicové odchýlky. Body siete boli použité v systéme S-42, na civilné potreby nebola sprístupnená a nikdy sa nevyužila jej kvalita.



Československá astronomicko-geodetická sieť, slovenská časť (Provázek, J., 2000)

Štátna nivelačná sieť (ŠNS)

Štátna nivelačná sieť (Abelovič, J. a kol., 1990) tvorí výškové geodetické základy (1D). Obsahuje základné nivelačné body, nivelačné siete I., II., III a IV. rádu. Body I. a II rádu určené veľmi presnou niveláciou (stredná kilometrová chyba 0,40 mm/km). Sieť bola vybudovaná v rokoch 1947-1960. V ŠNS je definovaný výškový systém Baltský po vyrovnaní (BpV) s referenčným bodom Kronštadt (Rusko) a používajú sa normálne výšky Molodenského. Nová ŠNS je tvorená sieťou I. a II. rádu, merania v nej boli realizované v rokoch 1997 – 2002, pričom boli použité výlučne digitálne kompenzátorové nivelačné prístroje a kódové laty (www.gku.sk). Je zabezpečené prepojenie do medzinárodných systémov (United European leveling Network UELN).



Nivelačné ťahy 1. rádu ŠNS a základné nivelačné body (Marek, J. a kol., 2006)

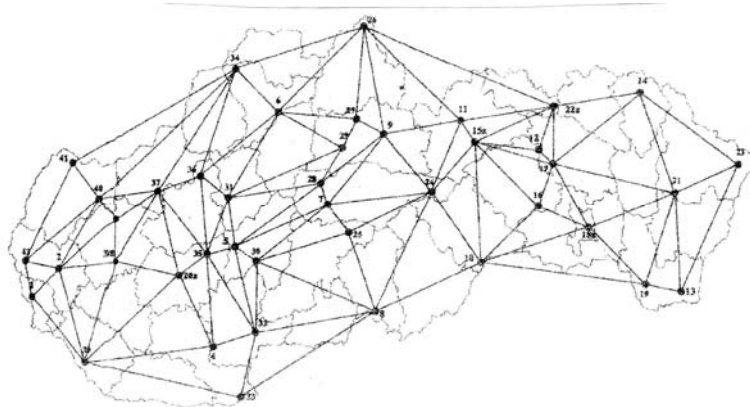
Gravimetrické siete

Gravimetrické základy (Abelovič, J. a kol., 1990) tvorí Štátna gravimetrická sieť I. a II. rádu, v ktorej boli vykonávané merania od r. 1951. Ako referenčný tiažový systém je v sieti definovaný Tiažový systém 1957 a 1971. Merania boli realizované relatívnymi gravimetrami a bolo zabezpečené prepojenie na Postupimský gravimetrický systém. Zásadná modernizácia nastala po r. 1995 (www.gku.sk). Bol definovaný Tiažový systém 1995, ktorý je založený na

bodoch určených absolútnymi gravimetrami. Taktiež je zabezpečené prepojenie do medzinárodných systémov (Unified European Gravimetric Network UEGN).

GEODETICKÉ ZÁKLADY BUDOVANÉ DRUŽICOVÝMI TECHNOLOGIAMI

Začiatok budovania geodetických základov pomocou GPS možno datovať od r. 1991 (Hefty, J. a Husár, L., 2008). Prvým krokom bolo pripojenie ČSFR do Európskeho referenčného rámca v roku 1991, kampaň EUREF CS/H. V rámci tejto kampane boli na Slovensku určené 3 body AGS: Kvetoslavov, Veľká Rača, Šankovský grúň. Prvá komplexná sieť GPS na území Slovenska bola SLOVGERENET (Hefty, J. a kol., 1996), stabilizovaná a zameraná v roku 1993 a tvorilo ju 17 bodov. V tejto sieti boli realizované epochové opakované merania každé dva roky, postupne dochádzalo k rozšíreniu siete až na 60 bodov. Nové označenie siete v súčasnosti je SGRN. Je budovaná a spracovávaná ako geodynamická sieť: je zabezpečená centrácia antén GNSS pomocou centračných modulov a centračných tyčí, merania trvajú 36 a viac hodín, body SGRN majú určené súradnice a rýchlosti. Súčasťou a kostrou moderných geodetických základov je sieť permanentných staníc GPS, neskôr GNSS. Body boli postupne budované od 1996 – Modra-Piesok, neskôr Banská Bystrica a Gánovce (sú začlenené do Európskej permanentnej siete EUREF). Od r. 2006 začalo skúšobnú prevádzku 21 staníc Slovenskej priestorovej observačnej služby SKPOS (február 2013: 36 staníc vrátane bodov IGS a EUREF).



SLOVGERENET v roku 1995 (Hefty, J. a kol., 1996)

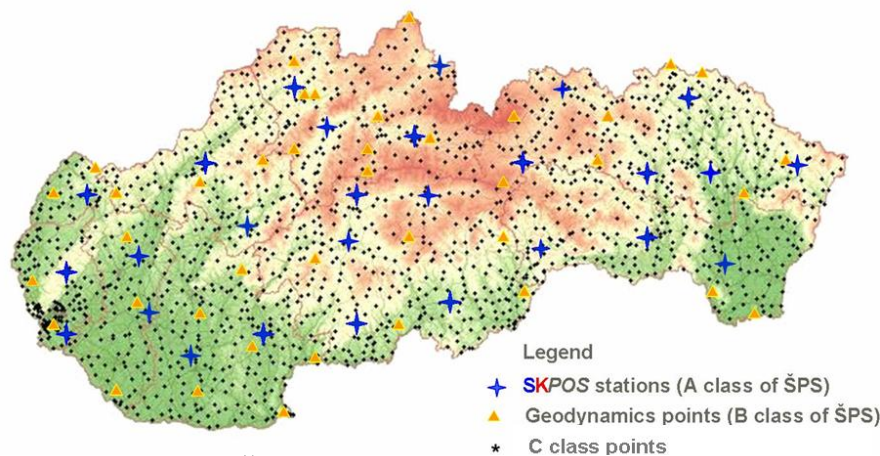
INTEGROVANÉ GEODETICKÉ ZÁKLADY

Integrované geodetické základy (www.gku.sk) tvoria novú etapu 3D geodetických základov a tvorí ich Štátna priestorová sieť (ŠPS). Nové bodové pole definujú geodetické body, ktoré majú určené geocentrické súradnice X, Y, Z , resp. elipsoidické φ, λ, H , vztiahnuté k ETRS, rovinné súradnice x, y (S-JTSK), normálnu výšku h (Bpv) a tiažové zrýchlenie g . Presnosť polohy je definovaná: $\sigma_\varphi \sigma_\lambda = 0.009$ m, $\sigma_H = 0.025$ m.

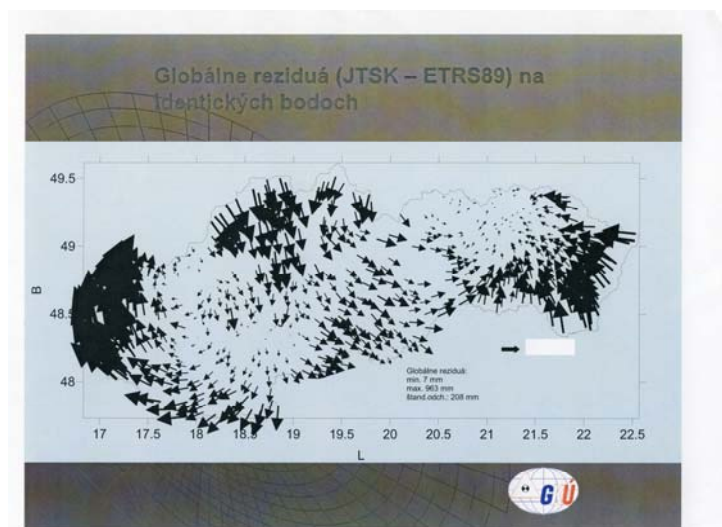
Hierarchické členenie ŠPS:

- Trieda A – permanentné stanice GNSS začlenené do EUREF (Modra-Piesok, Banská Bystrica, Gánovce), stanice SKPOS (február 2013 36 bodov vrátane prihraničných)
- Trieda B – Body SGRN (epochové merania 36 – 120 h), 71 bodov

- Trieda C – Body s > 6 h observáciami GNSS, v 1. etape (2001 - 2003) 1520 geodetických bodov. V 2. etape (2003 - 2005) opakované merania a zhustenie siete, v 3. etape (2006 - 2010) meranie najmä pomocou SKPOS na bodoch GZ (december 2012 1650 bodov)
- Trieda D – ostatné určené geodetické body (napr. znaky štátnej hranice) merané pomocou SKPOS (december 2012 3900 bodov)



Body SKPOS, SGRN a ŠPS (stav december 2012) (Beňová, E. a kol., 2012)



Deformácie S-JTSK odvodené z meraní GPS (mierka 0,5 m) (Ferienc, D. a Šalátová, E., 2008)

METÓDY GEODETICKÉHO MERANIA POMOCOU GNSS

Pod geodetickým meraním GNSS (výsledné súradnice majú centimetrovú, prípadne vyššiu presnosť určenia priestorovej polohy v závislosti od použitej metódy merania) rozumieme relatívne určovanie polohy využitím meraní fázy nosnej vlny (Hefty, J. a Husár, L., 2008). Výsledkom merania a spracovania je v priestore orientovaný vektor – základnica \mathbf{b} medzi dvoma bodmi A a B. Udáva sa vo forme karteziánskych topocentrických (lokálnych) súradníc b_x, b_y, b_z , horizontálnych súradníc n, e, v , alebo sférických súradníc α, β, s bodu B, pričom

topocentrický súradnicový systém je definovaný v bode A. Základnicu tvorí vektor **b** so začiatkom vo východiskovom bode A, koniec vektora definuje polohu určovaného bodu B. Poloha východiskového bodu A musí byť známa. Nevyhnutné sú simultánne merania rovnakých družíc GNSS na dvoch, prípadne viacerých stanoviskách. Na geodetické určovanie polohy sa využívajú vždy fázové merania ako základné, pri niektorých metódach sa ako podporné a pomocné používajú aj kódové merania. Ak sú k dispozícii merania na oboch frekvenciách, je možná eliminácia vplyvu ionosféry a meranie základníc nad 10 km. Meranie na dvoch frekvenciách má však aj ďalšie výhody: je možné použiť komplexnejšie metódy na riešenie ambiguit a spoľahlivejšie definovať sklzy počítania celých cyklov.

Základné rozdelenie geodetických metód merania GNSS (Hefty, J. a Husár, L., 2008) je na **statické** a **kinematické metódy**:

- **Statické metódy:** základným predpokladom je, že oba prijímače na koncových bodoch základnice počas merania nemenia svoju polohu. Hlavným znakom je, že meranie na bode trvá desiatky minút až niekoľko hodín. Pomocou statických meraní je možno následným spracovaním dosiahnuť presnosť v určení horizontálnej polohy na úrovni 2-3 mm.
- **Kinematické metódy:** jeden prijímač je statický (tzv. referenčná stanica – reference) a druhý sa pohybuje (rover). Súradnice statického prijímača sú známe a určuje sa aktuálna poloha pohybujúceho sa prijímača. Meranie na určovanom bode trvá niekoľko sekúnd až niekoľko minút. Presnosť v horizontálnej polohe (súradnici) určovaného bodu je obvykle 10 – 20 mm.

Voľba metódy merania závisí najmä od toho, aká sa požaduje presnosť. Zásadné rozdiely sú v čase potrebnom na určenie súradníc (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, 2008).

STATICKÁ METÓDA

Statická metóda je základná metóda GNSS v geodézii v prípade, že potrebujeme vysokú presnosť a spoľahlivosť určenia polohy bodov. Využíva sa len meranie fázy nosnej vlny. Podmienkou na meranie je nezatielený prístup signálov družíc na meraných bodoch. Požiadavkou statických meraní je simultánne meranie najmenej 4 družíc a podľa možnosti spojitý neprerušovaný príjem signálu. Obvyklými parametrami pri statickom meraní je výškový filter 3-10° (Elevation mask) a interval záznamu meraní 15, resp. 30 s. Statická metóda poskytuje možnosť určiť základnice dlhé až 1000 km. Na bodoch, kde sa očakáva vysoká presnosť a spoľahlivosť, treba používať výlučne statickú metódu. Východiskové hodnoty pre dĺžku meraní na bode môžeme získať podľa vzťahu (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, 2008):

- L1: 30 min + 3 min/km
- L1+L2: 20 min + 2 min/km

Dosahovaná presnosť v určení horizontálnej polohy: $\sigma = 5\text{mm} + 0,5\text{ ppm}$
(ppm – part per million údaj o relatívnej presnosti: 1 ppm = 1mm/1km)

RÝCHLA STATICKÁ METÓDA (FAST STATIC)

Z hľadiska postupu pri meraní je podobná statickej metóde, významne je však skrátaná doba merania. Skrátanie času potrebného na meranie je umožnené tým, že pri spracovaní sa použijú metódy rýchleho vyriešenia ambiguit. Na riešenie ambiguit sa využíva súčasné spracovanie fázových aj kódových meraní, podľa možnosti na oboch frekvenciách. Podmienkou zvýšenia rýchlosti merania je dostatočný počet družíc, ich dobré rozloženie a neprerušovaný príjem signálov – metóda je výhodná, ak je simultánne meraných 6 a viac družíc. Východiskové hodnoty pre dĺžku meraní môžeme získať podľa vzťahu (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, 2008):

- L1: 20 min + 2 min/km
- L1+L2: 10 min + 1 min/km

Dosahovaná presnosť v určení horizontálnej polohy: $\sigma = 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

KINEMATICKÁ (POLOKINEMATICKÁ) METÓDA

Vhodnejší názov je polokinematická metóda, resp. metóda “stop & go”. Na bode, ktorého súradnice sú známe, sa umiestni referenčný prijímač, ktorý sa počas merania nepohybuje (reference). Druhý prijímač s anténou sa pohybuje – rover (pri presune z bodu na bod je stále zapnutý a prijíma signály GNSS). Samotné meranie sa vykonáva počas krátkych zastavení prijímača rovera (od pár sekúnd až po niekoľko minút). Princíp metódy je v tom, že ambiguita sa vyriešia na začiatku merania a pokračuje sa následnými krátkymi zastaveniami s prijímačom na určených bodoch. Spracovanie využíva už určené ambiguita s tým, že príjem signálu nebol počas transportu prerušený. Kinematické fázové meranie musí začať vyriešením ambiguit, tzv. inicializácia. Metódy inicializácie:

- Meranie na krátkej základnici, ktorej parametre sú známe.
- Rýchlou statickou metódou sa určia na krátkej základnici jej parametre a súčasne aj ambiguita.
- Výmena antén na krátkej základnici (Antenna swap).
- Vyriešenie ambiguit počas pohybu – tzv. metódy OTF (On-The-Fly).

Po úspešnej inicializácii sa môže uskutočniť samotné kinematické fázové meranie. Pohybujúcim sa prijímačom sa postupne merajú jednotlivé body, pričom referenčný prijímač ostáva stále na svojom mieste. Dĺžka merania na novourčovaných bodoch je niekoľko sekúnd. V prípade prerušenia signálu je nutné opakovanie inicializácie.

Dosahovaná presnosť v určení horizontálnej polohy: $\sigma = 20\text{mm} + 2 \text{ ppm}$

KINEMATICKÁ METÓDA V REÁLNO M ČASE - RTK

RTK je osobitnou formou relatívnych kinematických meraní. Prístrojové vybavenie pozostáva z jedného referenčného, nepohybujúceho sa prijímača a druhého pohybujúceho sa prijímača. Oba prijímače uskutočňujú simultánne fázové merania. Podstatné je, že medzi prijímačmi je trvalé telekomunikačné spojenie prostredníctvom modemov, príp. iným spôsobom. Princíp spočíva v okamžitom prenose meraných údajov referenčného prijímača prostredníctvom telekomunikačného spojenia do pohybujúceho sa prijímača. Tento má v sebe zabudovaný softvér na spracovanie fázových meraní s možnosťou práce reálnom čase. Výsledky merania

(súradnice pohybujúceho sa prijímača) dostávame priamo v čase merania. Merania RTK možno uskutočniť dvoma metódami:

Statické meranie v reálnom čase:

- o meranie – niekoľko minút
- o presnosť v určení horizontálnej polohy - podľa vzťahu:

$$\sigma = 5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot b$$

Kinematické meranie v reálnom čase:

- o meranie – 0,1 s až niekoľko sekúnd
- o presnosť v určení horizontálnej polohy - podľa vzťahu

$$\sigma = 10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot b$$

(b – dĺžka základnice medzi referenčným a pohybujúcim sa prijímačom)

Spôľahlivosť metódy RTK závisí hlavne od výkonu a kvality telekomunikačného modemu (dosah rádiového modemu, pokrytie a kvalita signálu GSM).

KINEMATICKÁ METÓDA V REÁLNO M ČASE S VYUŽITÍM SIETE PERMANENTNÝCH STANÍC

Využívanie siete permanentných staníc GNSS ako referenčných staníc pri metóde RTK sa môže realizovať dvoma základnými postupmi: pomocou riešenia s využitím jednotlivých staníc alebo vo forme sieťového riešenia (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

Riešenia využitím jednotlivých staníc – klasická aplikácia RTK:

- využívanie individuálnych staníc ako referenčných (možnosť voľby),
- obmedzený dosah (30-50 km),
- menšie možnosti eliminácie systematických vplyvov (ionosféra, troposféra, multipath),
- neodporúča sa pre uvedené nevýhody.

Sieťové riešenia:

- využívanie siete permanentných staníc,
- pokrytie väčšieho územia,
- možnosť kontroly vnútornej integrity siete,
- efektívna eliminácia systematických vplyvov,
- vyššia presnosť.

Sieťové riešenia sa môžu realizovať pomocou dvoch koncepcií:

- plošné korekčné parametre (FKP)
- virtuálna referenčná stanica (VRS)

Plošné korekcie – interpolácia korekcií pre polohu rovera

formát poskytovania údajov a korekcií:

- všeobecne prístupný výmenný formát: RTCM (2.3, 3.0)
- firemný formát: Trimble CMR, CMR+, Leica formát

Virtuálna referenčná stanica (VRS):

- dvojcestná komunikácia

- prijímač zašle informáciu o svojej polohe (NMEA) do riadiaceho centra
- vygenerovanie VRS v blízkosti užívateľa (do 1 km)
- posielanie potrebných údajov podľa použitej služby (napr. fázové merania GPS a GLONASS, transformačné parametre transformácie ETRS89 a JTSK03, výška DVRM...) v reálnom čase naspäť k užívateľovi cez internet prostredníctvom štandardu NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) vo formáte **RTCM 2.3** a **3.1**. Record) alebo v rámci postprocessingu údaje o VRS, resp. RS vo formáte RINEX 2.11.

Formát RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) má podobnú štruktúru ako navigačná správa GNSS, obsahuje rôzne informácie potrebné na korektné meranie v reálnom čase (RTK, DGNSS).

PRESNOSŤ URČOVANIA POLOHY POMOCOU GNSS

Presnosť určovania priestorovej polohy pomocou GNSS je funkciou viacerých činiteľov, preto je ťažké stanoviť jednoznačné údaje vzťahujúce sa na všetky situácie (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, 2008).

Všeobecne platí, že výšky sú aj pri absolútnom aj pri relatívnom určovaní polohy 1.5 až 3 násobne menej presné ako sú horizontálne súradnice.

Absolútne určovanie polohy:

Je definovaná štandardná polohová služba GPS (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, 2008) s deklarovanou presnosťou určenia priestorovej polohy 8-10 m a presná polohová služba GPS s deklarovanou presnosťou určenia priestorovej polohy 1 m (k tejto službe je obmedzený prístup). Presnosť určenia priestorovej polohy pri využití DGPS sa pohybuje v intervale 0,5 – 1 m (v závislosti od metódy tvorby korekcií, počtu družíc, vzdialenosti pohybujúceho sa prijímača od referenčnej stanice).

Relatívne určovanie polohy:

Najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce skutočnú presnosť v priestorovej polohe sú:

- dĺžka intervalu merania,
- počet družíc a ich rozloženie vzhľadom na merané body,
- dĺžka meranej základnice,
- metóda spracovania, použité modely, stupeň eliminácie systematických chýb,
- metódy riešenia ambiguit,
- merania na jednej alebo dvoch frekvenciách,
- súčasné merania GPS NAVSTAR a GLONASS,
- typ prijímača a antény,
- typ efemeríd družíc.

Je potrebné si uvedomiť, že pri zvyšovaní dĺžky merania nie je rozhodujúce dosiahnuť väčší počet meraní, ale získať dostatočnú zmenu konfigurácie družíc na vyriešenie ambiguit. Tá nastáva po uplynutí určitého časového intervalu.

PERMANENTNÉ SIETE GNSS

Snaha efektívne využiť GNSS v geodetickej praxi a iných oblastiach vyústila do vybudovania a prevádzkovania sietí permanentne pracujúcich prijímačov. Permanentné siete sú budované v rozličných hierarchiách – od celosvetových cez kontinentálne až po národné, resp. regionálne. Permanentné stanice GNSS umožňujú kontinuálne meranie signálov družíc GNSS (fázové aj kódové merania) a ich záznam v intervaloch 1 s alebo väčších. Vyznačujú sa stabilným umiestnením antény GNSS s ochranou pred rušivými vplyvmi. Technické vybavenie staníc zabezpečuje nepretržitú prevádzku. Zásadná je možnosť šírenia originálnych alebo čiastočne spracovaných meraní – cez internet, vlastnými vysielacími VKV, prepojením do siete komerčného verejnoprávneho rozhlasového vysielania alebo do siete GSM. Je zabezpečená kontrola integrity výstupných údajov (Hefty, J. a Husár, L., 2008).

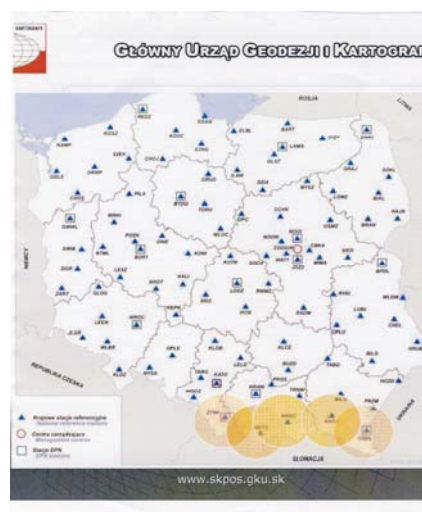
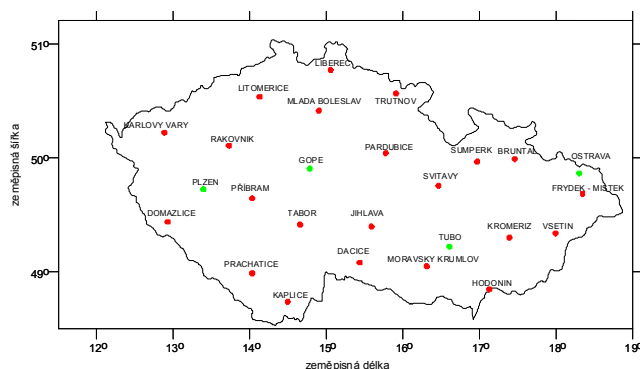
Určovanie polohy metódou GNSS s využitím permanentných staníc má takéto výhody:

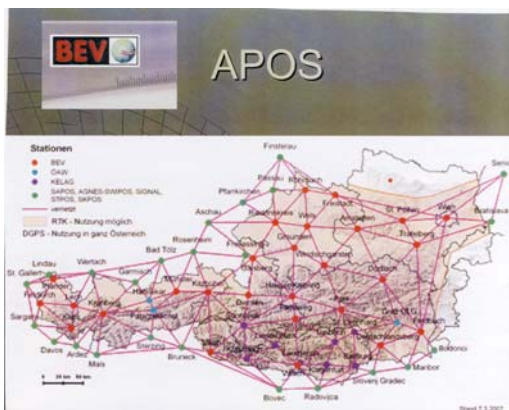
- Zvýšenie presnosti a spoľahlivosti.
- Úspora času a nákladov.
- Geocentrické súradnice v globálnom referenčnom rámci (ITRF alebo ETRF).
- Možnosť uskutočňovať fázové merania aj jedným prijímačom.
- Práca v reálnom čase bez nutnosti dočasných referenčných staníc.

Hlavné úlohy národných (regionálnych) permanentných sietí GNSS - družicových polohových služieb, sú:

- Určovanie polohy pomocou GNSS pre širokú škálu potrieb spoločnosti.
- Hlavný prínos: vyššia presnosť, spoľahlivosť a efektívnosť v porovnaní s využívaním GNSS bez permanentných sietí, jednotný referenčný rámec.
- Aplikačné oblasti: geodézia, mapovanie, GIS, kataster, inžinierska geodézia, fotogrametria, pozemkové úpravy

Družicové permanentné služby na určenie polohy sú v súčasnosti vo väčšine európskych krajín. Okrem štátom prevádzkovaných polohových služieb existujú aj súkromné permanentné siete, ktoré zabezpečujú napr. energetické spoločnosti, výrobcovia/predajcovia GNSS prijímačov a pod.



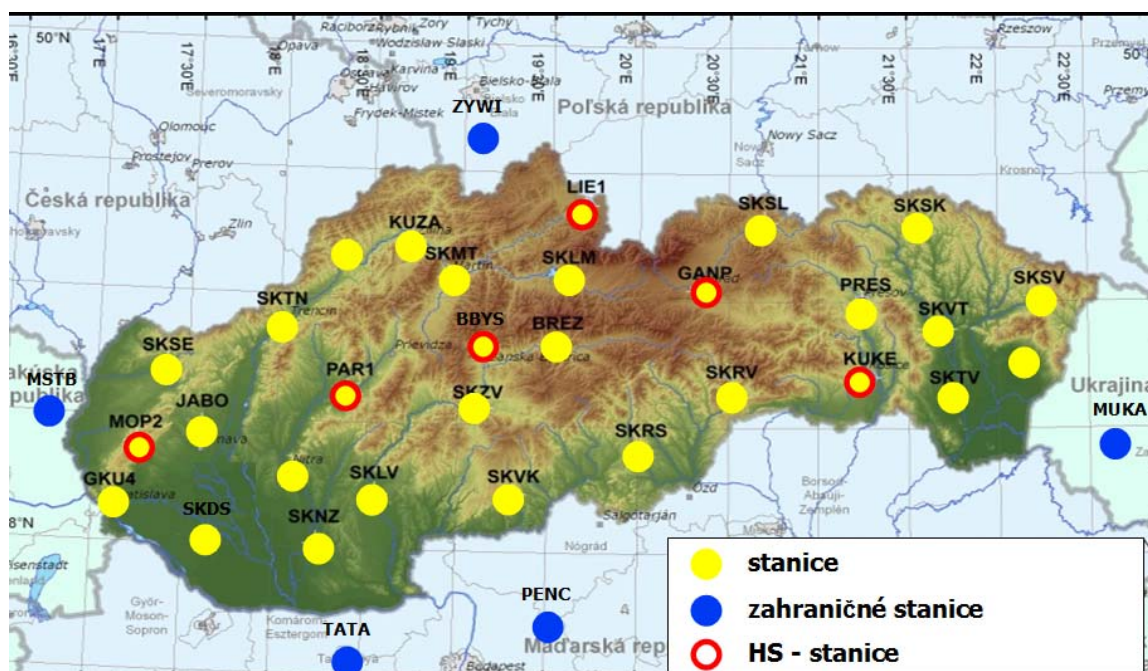


Národné permanentné siete GNSS (www.czepos.cz, www.gugik.gov.pl, www.bev.gv.at, www.gnssnet.hu)

SLOVENSKÁ PRIESTOROVÁ OBSERVAČNÁ SLUŽBA GNSS - SKPOS

SKPOS tvorí sieť permanentných staníc GNSS na území Slovenska (www.gku.sk) umožňujúcich efektívne určovanie geocentrických súradníc pomocou GNSS použitím absolútnych aj relatívnych metód. Bola zriadená v roku 2006 Úradom geodézie, kartografie a katastra SR. Organizácia zabezpečujúca prevádzku SKPOS je Geodetický a kartografický ústav.

Sieť staníc SKPOS (december 2012)



Stanice SKPOS (Beňová, E. a kol., 2012)

Základné súčasti SKPOS

- **Sieť referenčných staníc (RS)** zriadených na geodetických bodoch na mieste s nerušeným príjmom signálov GNSS, včlenených do Štátnej priestorovej siete, kde tvoria triedu bodov A,
- **Národné servisné centrum**, ktoré pracuje nepretržite zariadeniami vysielajúcimi informácie pre koncových používateľov prostredníctvom internetu podľa požadovaných služieb.
- Prostredie **informačno komunikačných technológií (VPS-WAN)** na prenos prvotných observovaných údajov do Národného servisného centra.

Výhody pri využívaní SKPOS

- Stačí jeden rover GNSS.
- Určené súradnice sú vzťahnuté k ETRS.
- Prístupnosť 365 dní v roku, 24 hodín denne, prístupnosť v reálnom čase (99 %).
- Možnosť post-processingu (dodatočné spracovanie).
- Vysoká spoľahlivosť (99 %).
- Pokrytie celého územia bez zníženia kvality.
- Geodetická presnosť (10 – 20 mm) v reálnom čase.
- Medzinárodné výmenné štandardy.
- Komunikačné kanály (internet, GPRS).
- Ekonomicky výhodný systém.

Služby poskytované SKPOS

- **SKPOS-dm – diferenciálne korekcie pre kódové merania** s využitím na navigáciu a určovanie polohy **v reálnom čase** s presnosťou 1 m – 0,2 m.
- **SKPOS-cm** – fázové merania (zo sieťového riešenia opravené o systematické vplyvy – vo forme virtuálnej referenčnej stanice) na presné určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou lepšou ako 20 mm.
- **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. SKPOS poskytuje údaje z virtuálnej alebo konkrétnej referenčnej stanice vo formáte RINEX (www.gku.sk).

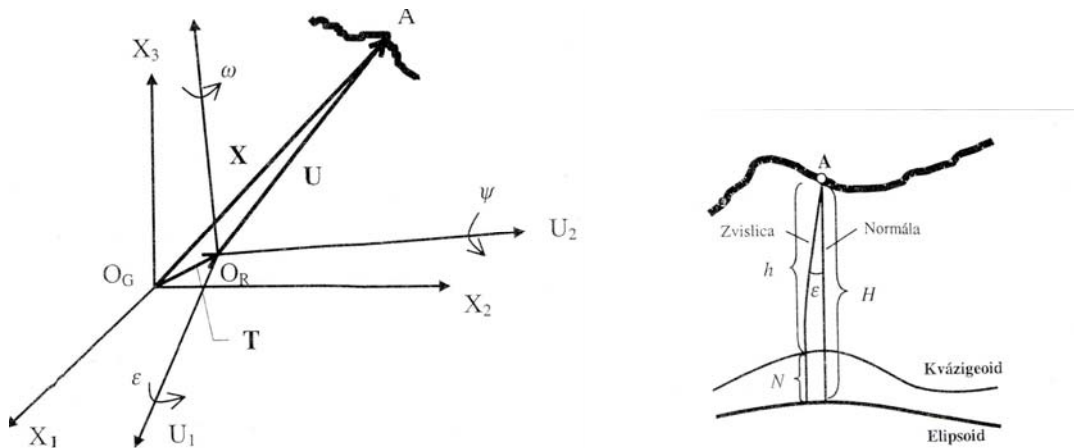
TRANSFORMÁCIA MEDZI ETRS A S-JTSK (+Bpv)

Hlavné dôvody na potrebu transformácií vznikajú preto, že národné referenčné súradnicové systémy záväzné v určitom štáte sú zväčša rovinné, národné referenčné výškové systémy používajú fyzikálne výšky, zatiaľ čo merania GNSS sú vzťahnuté ku globálnym priestorovým geocentrickým súradnicovým systémom a výsledky z nich máme k dispozícii vo forme pravouhlých priestorových súradníc v geocentrickom súradnicovom systéme alebo vo forme elipsoidických súradníc (Hefty, J. a Husár, L., 2008).

Možnosti transformácie súradníc získaných pomocou GNSS do rovinného systému S-JTSK a výškového systému Bpv:

- 3D transformácia medzi ETRS a S-JTSK (+Bpv) využitím množiny identických bodov.
- 3D transformácia medzi ETRS a S-JTSK (+Bpv) využitím globálneho transformačného kľúča a modelom reziduálnej zložky.
- 2D transformácia elipsoidických súradníc využitím množiny identických bodov (bez výšok).

Princíp 3D transformácie

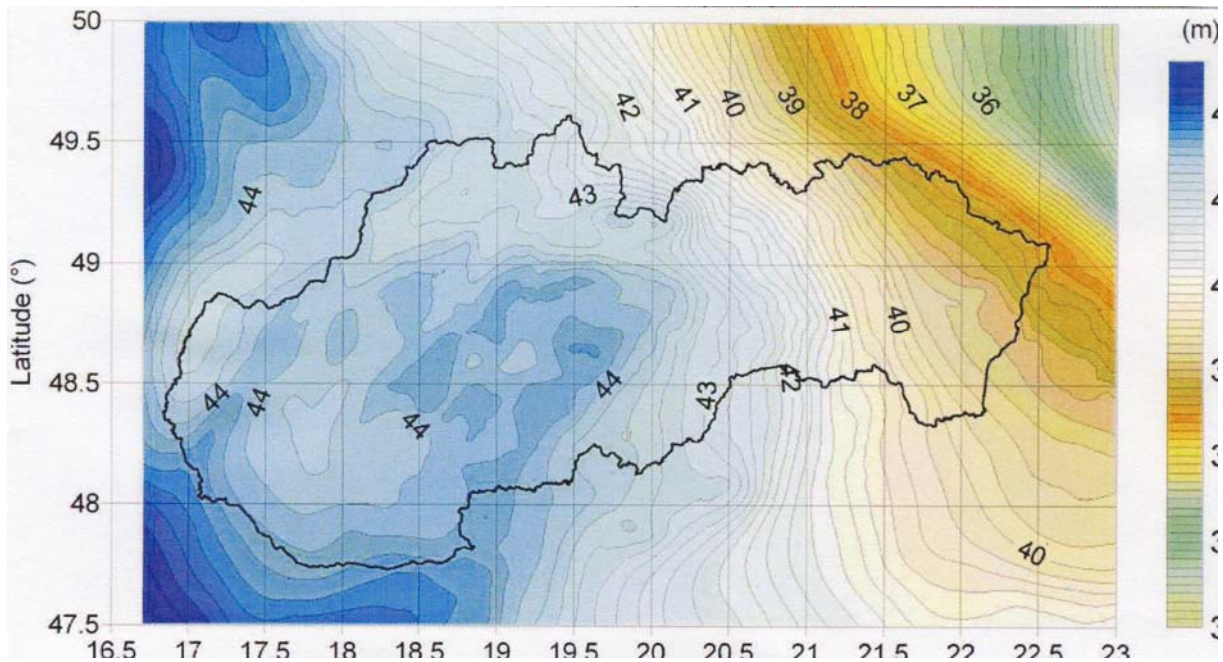


Princíp priestorovej transformácie, transformácia výšok (Hefty, J. a Husár, L., 2008)

Základné kroky 3D transformácie pomocou identických bodov možno definovať takýmto postupom:

- Prevod x, y v S-JTSK na φ, λ na Besselovom elipsoide.
- Výpočet elipsoidickej výšky H pomocou nadmorskej výšky h (Bpv) a výšky kvázigeoidu N .
- Transformácia $\varphi, \lambda, H \rightarrow X_{BES}, Y_{BES}, Z_{BES}$.
- Výpočet transformačných parametrov – translácií, rotácií a mierkového faktoru na základe identických bodov so súradnicami $(X_{BES}, Y_{BES}, Z_{BES})$ a $(X_{ETRS}, Y_{ETRS}, Z_{ETRS})$.
- Transformácia neidentických bodov.

Metóda je aplikovateľná pre územia do 10 x 10 km, pri 4 a viac identických bodoch je zabezpečená kontrola. Je nevyhnutné poznať výšky kvázigeoidu nad elipsoidom. Transformácia nie je jednoznačná (závisí od aktuálnej množiny identických bodov).



Model kvázigeoidu pre SR (Mojzeš, M. a kol., 2005)

Využitím globálnych transformačných parametrov, modelu kvázigeoidu a modelu reziduálnej zložky (systematické chyby S-JTSK) možno získať súradnice priamo bez identických bodov. (Pozn.: pri tomto postupe nie je zabezpečená kontrola. Je vhodné overenie na bode so známymi súradnicami v oboch systémoch).

Proces realizácie JTSK03

JTSK03 – nová realizácia polohových geodetických základov, ktoré zabezpečia vo všetkých geodetických prácach rovinné súradnice bez lokálnych deformácií, ktoré charakterizovali S-JTSK. Vznikla po dlhých diskusiách o potrebe a účelnosti jej zavedenia.

Princíp transformácie:

Súradnice JTSK03 sa stanovili tak, aby boli čo najbližšie k pôvodným súradniciam S-JTSK, ale aby bola splnená požiadavka jednotnej metriky celej siete na území Slovenska. Toto sa dosiahlo modelovaním reziduálnej zložky z transformácie ETRS ↔ S-JTSK na základe množiny viac ako 500 identických bodov.

Na transformáciu medzi ETRS a JTSK03 (+Bpv) sa používa Buršov-Wolfov transformačný model bez mierkového faktora. Jeho numerické parametre sú záväzné a sú stanovené vyhláškou 300/2009 (s novelizáciou 75/2011) (www.zbierka.sk).

Medzi bodmi geodetických základov v systémoch S-JTSK a JTSK03 (rovinné systémy) bola generovaná transformácia, ktorá vystihuje globálne a lokálne deformácie starého systému. Algoritmus a parametre tejto transformácie nie sú všeobecne prístupné. Vzhľadom na existenciu čiastkových lokálnych deformácií, ktoré uvedená transformácia nemôže spoľahlivo modelovať, sa jej celoplošná aplikácia nepredpokladá. Na zjednodušenie implementácie transformácie na úrovni geodetických základov bola spracovaná Prevodná interpolačná tabuľka (www.skgeodesy.sk).

Praktické aspekty zavedenia JTSK03:

Súradnice určené pomocou GNSS a SKPOS (ktoré sú vzťahnuté k ETRS89) sa priamo transformujú (globálnym transformačným kľúčom) do záväzného systému. Nebude potrebná žiadna ďalšia transformácia. Korekcie SKPOS vo formáte **RTCM 3.1** sú rozšírené o vysielanú **správu 1021**, ktorá obsahuje 7 transformačných parametrov zabezpečujúcich jednoznačnú transformáciu údajov z ETRS89 do JTSK03. Takisto je rozšírený o vysielanú **správu 1023**, ktorá obsahuje výškový grid zabezpečujúci transformáciu z elipsoidických výšok (**h - ETRS89**) na nadmorské výšky (**H - Bpv**) k miestu merania. Využitím týchto dvoch vysielaných správ bude garantované jednoznačné určenie bodov v JTSK03 a Bpv.

Pri použití terestrických technológií bude potrebné vychádzať len z tých bodov (PGB), ktoré majú určené súradnice v národnej realizácii JTSK03.

Pôvodne sa uvažovalo, že existujúce súradnice v S-JTSK transformuje do nového systému jednorazovo rezort geodézie, kartografie a katastra, avšak len po overení vhodnosti takéhoto postupu v konkrétnej lokalite – takýto postup sa ukázal ako nevhodný.

Nové súradnice nebudú pre odlišenie od pôvodných zväčšené o 6 000 000 m, tak ako sa to pôvodne uvažovalo.

Akým spôsobom postupovať pri konkrétnych geodetických činnostiach a akým spôsobom používať geodetické podklady (podľa toho, či sú alebo nie sú v novej realizácii S-JTSK) bude stanovené predpismi (vyhlášky, rezortné smernice...).

Rezort ponúka aplikáciu *Rezortná transformačná služba ETRS89 - S-JTSK*, ktorá umožňuje transformáciu údajov (načítaných v ZIP formáte alebo vo forme jednotlivých bodov) do zvoleného výstupného súradnicového systému (www.skgeodesy.sk). Výsledky tejto služby medzi realizáciou JTSK03 a S-JTSK sú záväzné na úrovni geodetických základov.

- *Transformačná služba ETRS89 - S-JTSK* podporuje transformáciu medzi týmito súradnicovými systémami navzájom:
 - Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej – pôvodná realizácia (S-JTSK (JTSK)),
 - Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej - realizácia 2003 (S-JTSK (JTSK03)),
 - Európsky terestrický referenčný systém 1989, tvar elipsoidických súradníc (ETRS89-LatLonh).
- *Transformačná služba ETRS89 - S-JTSK* podporuje transformáciu výšok medzi nasledovnými výškovými systémami:
 - Nadmorské výšky: Baltský výškový systém po vyrovnaní – realizácia Bpv (Bpv),
 - Geometrické výšky: Elipsoidická výška nad elipsoidom GRS80 (ETRS89-h).

Literatúra:

Abelovič, J. a kol.: Meranie v geodetických sieťach. Alfa, Bratislava 1990.

Beňová, E. a kol.: Geodetické základy Slovenska v roku 2012. Zborník abstraktov zo semináru 60 rokov pôsobenia Katedry geodetických základov. STU, Bratislava 2012.

Ferianc, D. – Šalátová, E.: Základné informácie o meraniach GNSS v sieti SKPOS. Kurz Určovanie priestorovej polohy bodov a objektov s využitím služieb permanentných sietí GNSS. STU, Bratislava 2008.

Hefty, J. – Husár, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém. STU, Bratislava 2008.

Hefty, J. a kol.: Spoločná analýza SLOVGERENET`93 a SLOVGERENET`95. Spáva z riešenia čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť vedecko-technického projektu Štátny informačný systém. STU, Bratislava 1996.

Hofmann-Wellenhof, B. et al.: Global Positioning System. Theory and Practice. Wien, Springer Verlag, 2001.

Hofmann-Wellenhof, B. et al.: Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo & more. Wien, Springer Verlag, 2008.

Marek, J. – Nejedlý, A. – Priam, Š.: Geodetické základy – Historický prehľad. Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Bratislava 2006.

Mojzeš, M. - Janák, J. - Papčo, J.: Improvement of the gravimetric model of quasigeoid in Slovakia. *Newton's Bulletin No. 3, 2005*

Provázek, J.: Vývoj polohových základů na území České republiky. Zeměměřický úřad, Praha 2000.

Internetové portály:

www.skgeodesy.sk, dokument RP_UGKK SR_4/2013

www.gku.sk

www.zbierka.sk

www.czepos.cz

www.gugik.gov.pl

www.bev.gv.at

www.gnssnet.hu

Lektoroval: Prof.Ing .Alojz Kopáček, PhD.

Katedra geodézie SvF STU v Bratislve