

Geodetické základy v roku 2007

Ing. Dušan Ferianc

Odbor geodetických základov, Geodetický a kartografický ústav Bratislava,
Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava
ferianc@gku.sk

Abstrakt. Od čias Sumerov po dnes sa vo vednej disciplíne zaoberajúcej sa geodéziou stále rozvíja technológia aj technika v oblasti geodetických základov. Na základe zákona a podľa koncepčných zámerov zabezpečuje Geodetický a kartografický ústav Bratislava údržbu a modernizáciu záväzných geodetických systémov na výkon vybraných geodetických činností pre celé územie Slovenska. Geodetické body alebo Slovenská priestorová observačná služba - SKPOS sú referenčným základom na jednotné georeferencovanie objektov, javov v priestore v geodetických systémoch plne kompatibilných s európskymi a svetovými súradnicovými systémami.

Kľúčové slová: GZ - geodetické základy, SKPOS – slovenská priestorová observačná služba využívajúca globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

1 História geodetických základov na úvod

Nie každý technik a myslím už len máloktorý človek s humanitným vzdelaním si vie predstaviť čo je obsahom geodetických základov. Na položenú otázku „čo sú geodetické základy alebo geodetické body“ dáva jednoznačnú odpoveď zákon č. 423/2003 Z. z. z 22. septembra 2003, ktorým sa mení a dopĺňa zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii a o zmene a doplnení zákona č. 455/1991 Zb. o živnostenskom podnikaní (živnostenský zákon) v znení neskorších predpisov sa novo definujú geodetické základy v § 2 odseku 3:

- 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.

Ďalej sú v § 2 doplnené nové odseky a z toho odsek 16 znie:

- permanentná služba globálnych navigačných satelitných systémov je sieť kooperujúcich staníc, ktorá spracúva a v reálnom čase poskytuje geocentrické súradnice na presnú lokalizáciu objektov a javov.

Takúto odpoveď by sme počuli asi len od niekoľkých ľudí, častejšie by asi zaznelo „áno to je tá nivelizácia, ktorá je na tých tabuľkách na niektorých domoch“ alebo „to sú kamene trigonometrov, čo prekážajú na pozemkoch“. Je možné, že viacerí by reagovali lepšie, keby sme im dali otázku cez historické osobnosti prírodovedcov ako boli Thalés z Miltétu, Archimédés zo Syrakús, Klaudios Ptolemaios, či Eukleidés“. Samozrejme, že po nich prišli ďalší, ktorí začali rozvíjať

oblasť, ktorú dnes nazývame geodetické základy. Boli to aj moreplavci – kartografi Krištof Kolumbus, Amerigo Vespucci či Magekllan. K prevratným tézam astronóma Mikuláša Kopernika mal vážne výhrady najmä Tycho de Brahe, ktorý realizoval veľa astronomických meraní a pozorovaní a pôsobil na území Čiech a aj v bratislavskej Akadémii Istropolitana. Giordano Bruno, Johannes Kepler pokračovali v prácach v oblasti matematiky, fyzikálnych experimentov aj v oblasti astronómie.

1.1 Stupňové merania

Slávny Galileo Galilei (1564 – 1642) nám všetkým okrem iného zanechal odkaz svojím výrokom: „Meraj všetko, čo je merateľné a pokús sa urobiť merateľným to, čo ešte merateľné nie je“. Vedecký rozvoj v 17. storočí je spätý s menom veľkého francúzskeho mysliteľa a pôvodcu známeho výroku „Myslím, teda som (Cogito, ergo sum)“ René Descartesa. Tu treba okrem iných spomenúť aj geniálneho astronóma, fyzika a matematika Sira Isaaca Newtona. Newton patrí medzi najvýznamnejších prírodovedcov všetkých čias. Bol zakladateľom náuky o príťažlivosti hmôt a vo svojom diele v roku 1687 po prvý raz uverejnil zákon o všeobecnej gravitácii, platný pre všetky telesá vesmíru. Spoločne s Ch. Huygensom na základe dovtedajších i novších vlastných poznatkov rozvíjali fyzikálne zdôvodnené modely Zeme so sploštením na póloch. V predtým citovanej práci Newton uviedol rotačný elipsoid so sploštením $f = 1 : 230$ [zo vzťahu $f = (a - b) : a$], pričom „f“ z anglického „flattening“ je sploštenie, „a“ je veľká a „b“ malá polos elipsoidu. Pri neskoršom desaťnásobne presnejšom určení sploštenia (Bessel 1841) $f = 1 : 299$ a v ďalších rokoch s ustálením pri zhruba $f = 1 : 298$, sa rozdiel oproti Newtonovej hodnote odôvodňuje tým, že Newton považoval hmotu Zeme za homogénnu. Neskoršími stupňovými meraniami v Laponsku a Peru, ako i preverením parížskeho meridiánu v rokoch 1739 – 1740 dvojicou poverencov francúzskej akadémie vied, ktorými boli syn Jacquesa Cassiniho Francois Cassiniho de Thury a Nicolas-Louis De La Cailleho sa dokázalo sploštenie Zeme na póloch geodetickými meraniami. Za spoluúčasti Francoisa Cassiniho a jeho otca Jacquesa sa ako prípravná práca pre projektovanú mapu Francúzska do roku 1746 pokrylo celé Francúzsko geodetickou sieťou pozostávajúcou z 800 trojuholníkov a 19 základníc. Ságu rodu Cassiniovcov predĺžil syn Francois Jean – Dominique Cassini, s ktorým dlhé roky vedecky spolupracoval, sa stal roku 1784 riaditeľom parížskeho observatória. Od roku 1787 spolupracoval s matematikom Adrienom Legendreom a astronómom Pierreom F. A. Méchainom na geodetickom určení dĺžkového rozdielu medzi meridiánmi Paríža a Greenwichu. Od roku 1791 sa zúčastňoval aj na prípravných prácach na zavedenie metrickej sústavy. Pri vedeckom nástupe Francúzska v geodézii v značnej miere asistoval aj vedecko-technický rozvoj v Anglicku.

Slovák Samuel Mikovíni (1686 – 1750), jeden z veľikánov svojej doby, na vyhotovenie stoličných máp vynašiel novú metódu, ktorú nazval astronomicko-geometrickou. Demonštroval ju roku 1732 na mape Vestigium operationis astronomico - geometricae s tým, že jeho mapy boli vyhotovované na podklade astronomických meraní, t. j. lokalizáciou a orientáciou na Zemi, ako aj geometrických meraní so zachovaním geometrických vzťahov medzi zobrazenými prvkami. Na svoje účely stanovil roku 1733 základný (nulý), Bratislavský poludník (meridianus

posoniensis) zemepisnej siete, ktorý prechádza severovýchodnou vežou bratislavského hradu a spája severný a južný pól našej zemegule. Pri svojej triangulácii používal goniometrický prístroj – kruh so stupňovým delením a otočným priezorom. Na meranie základníc používal meraciu reťaz. Mikovini ako prvý na našom území začal pri mapovaní používať triangulačnú metódu. Zmapoval značnú časť dnešného Slovenska a veľkú časť ostatného Uhorska. Okrem toho sa pričínil o reguláciu vodných tokov najmä, Dunaja a Váhu.

Výnosom cisára Karola VI. sa 27. augusta 1720 nariadilo vyhotovenie katastra a zmapovanie Milánskeho vojvodstva pomocou Marinonihho stolovej metódy, na ktorej overení sa zúčastnili aj českí geometri, a ktorá sa potom celosvetovo aplikovala takmer dve storočia. Nový milánsky kataster definitívne dokončili v roku 1759, už za vlády Márie Terézie. Bol založený na mapovaní, ktoré vychádzalo z magneticky orientovaných základníc v každej jednotlivéj obci. S nastupujúcou trianguláciou sa katastrálne mapovanie v Bavorsku vykonalo už na podklade triangulačnej siete (so Soldnerovou projekciou). V Rakúsku tvorili podklad viaceré súradnicové systémy a napokon môžeme citovať aj Uhorsko so svojou stereografickou projekciou.

Ako je tu spomenuté, cez výber mien slávnych vedcov vidieť, že väčšina meraní bola stupňových a rozmach techniky (v priebehu 17. a 18. storočia) volal po zmene. Rozdielne mierové a váhové sústavy v rôznych štátoch sa v rámci všeobecného hospodárskeho rozvoja stali brzdou pri odvíjaní vzájomných obchodných stykov. Pri meračských prácach sa používali rozličné dĺžkové miery, čo spôsobovalo ťažkosti nielen v oblasti geodézie, ale vo všetkých oblastiach vedeckej spolupráce, ako aj vo výstavbe a priemyselnej výrobe. Podnet na riešenie neutešeného stavu zavedením novej mernej jednotky predostrel francúzskemu národnému zhromaždeniu 9. februára 1790 dôstojník Kráľovského zboru francúzskych pionierov Prieur du Vernois v podobe memoranda. Obsahovalo návrh, použiť ako mernú jednotku dĺžku sekundového kyvadla v kráľovskej hvezdári v Paríži. Kráľ Ľudovít XVI. (1774 – 1792) vzdal 10. júna 1792 proklamáciu, v ktorej sa obrátil na všetky úrady krajiny s pokynom, aby podporili poľné práce stupňového merania na parížskom oblúku. Z výsledkov Veľkého francúzskeho stupňového merania a z merania v Peru vypočítali roku 1799 dĺžku zemského kvadrantu $Q = 5\,130\,740$ toise du Perou. Pre novú dĺžkovú jednotku, ktorú nazvali „meter“ (z gréckeho „metrein“, čo zn. „merať“) vyplýva, že $1\text{ m} = 0,513\,074\,0$ toise du Perou. 10. decembra 1799 bol meter vo Francúzsku zavedený ako nová zákonná dĺžková miera. V priebehu 19. storočia štáty, ktoré súhlasili so zavedením metrickej sústavy podpísali metrickú konvenciu (Convention du Metre).

Nemecký astronóm, matematik a geodet Wilhelm Bessel (1784 – 1846) vykonal v rokoch 1831 – 1838 stupňové meranie vo Východnom Prusku. Východopruský oblúk mal rozpätie $1^\circ 30'$ a Bessel na jeho meranie skonštruoval základnicový prístroj a po prvý raz v histórii aplikovali pozorovanie smerov v skupinách a radoch. Bessel zdokonalil nielen metódy merania, ale aj výpočtov a prepracoval spôsob vyrovnávania triangulácií. Bol publikačne činný a určil parametre svojho tzv. Besselovho elipsoidu s veľkou polosou $a = 6\,377\,397$ m a sploštením $i = 1 : 299,15$. Od roku 1841 sa Besselov elipsoid všeobecne používal v Európe a i u nás je základom Křovákovho zobrazenia. Clarkov elipsoid z roku 1866 dominuje v Amerike, ujal sa vo Francúzsku a v afrických kolóniách. Hayford elipsoid bol v 1909 prijatý v Argentíne, Egypte, Belgicku, Bulharsku, Portugalsku, Rumunsku, Turecku, Fínsku,

Dánsku a od roku 1945 v Taliansku. Jeden z posledných akceptovaných elipsoidov v Európe je Krasovskij 1940, ktorý sa zaviedol v bývalom Sovietskom zväze a v bývalej ČSSR [1].

1.2 Výškové merania

Dôkazy o nivelácii nájdeme už v staroveku (napr. v diele Dioptrika Heróna Alexandrijského s tým, že predlohou pre jeho prácu boli pravdepodobne staršie egyptské rukopisy). Dlhé storočia sa však vo väčšej miere neuplatňovala technológia nivelácie. Potreba poznania výškových pomerov terénu v širšej miere bola spočiatku motivovaná vojenskými účelmi a niektorými náročnejšími stavebnými zámermi, a preto až do začiatku 19. storočia sa preferovalo trigonometrické a barometrické meranie výšok pred niveláciou. Až s rozvojom priemyslu a s ním súvisiacim rozmachom výstavby komunikácií a najmä železničných tratí, stúpli nároky na zvýšenú presnosť výškových podkladov. Tieto nároky však doposiaľ zaužívané metódy nemohli uspokojovať, a preto generálna konferencia Stredoeurópskeho stupňového merania v roku 1864 vyzvala všetky zúčastnené štáty, aby popri trigonometrickom výškovom meraní vykonávali aj presnú geometrickú niveláciu, ktorá by bola pripojená na najbližšiu morskú hladinu, pričom by sa založil rad výškových bodov. Ukázalo sa však, že v priebehu realizácie zámeru došlo k rozdielom vo výsledkoch medzi niveláciami rôznych inštitúcií, ako aj v presnosti vykonaných nivelácií, ktoré vyplývali najmä z použitia rôznych technologických postupov. Na druhej generálnej konferencii Európskeho stupňového merania v roku 1867 sa pôvodná požiadavka z roku 1864 spresnila s tým, že sa požadovala metóda geometrickej nivelácie zo stredy s rovnako dlhými zámerami a s meraním v oboch smeroch. Pravdepodobná chyba merania nemala prekročiť hodnotu 3 mm/1km. Navyše konferencia schválila aj návrh, aby sa v každom členskom štáte, vybuďovala nivelačná sieť I. rádu. V bývalom Rakúsko-Uhorsku touto úlohou poverili Vojenský zemepisný ústav vo Viedni, ktorý podľa zásad schválených na uvedených konferenciách vybuďoval v rokoch 1873 až 1898 sieť presných nivelácií.

Východiskom nivelácie bola výšková značka na budove finančnej stráže na móle Sartorio v Terste. Prácu vykonávali dôstojníci astronomicko-geodetickej skupiny Vojenského zemepisného ústavu vo Viedni, možno povedať prvý predchodca dnešného Geodetického a kartografického ústavu. Z celkového počtu 1223 meraní výšok morskej hladiny určili výšku nuly vodočtu nad strednou hladinou Jadranského mora. Tá bola vo výške 3,352 m nad touto hladinou. Referenčným (nulovým) bodom sa stala nivelačná značka stabilizovaná na spomínanej budove. Vzhľadom na excentrickú polohu referenčného bodu na móle Sartorio a na rozsiahlu plochu územia monarchie, vybuďovali na jej teritóriu 7 základných nivelačných bodov. Okrem už spomínaného bodu to boli základné nivelačné body Ruše (predtým Maria Rast) v dnešnom Slovinsku, Nadap (Maďarsko), Priesmyk Červená Veža (Rumunsko), Lišov (Česká republika), Strečno na Slovensku a Trebušany na dnešnej Ukrajine. Tieto body sa umiestňovali v prostredí s priaznivými geologickými podmienkami. Základný bod Strečno bol zriadený v roku 1888, ale v roku 1942 pri zdvojkofajnení železničnej trate a výstavbe tunela Žilina - Vrútky odstránený, pričom jeho výška bola podľa starostlivo prenesená na štyri iné výškové značky. Neskoršie bod obnovili

neďaleko, na skalnatom podloží medzi korytom Váhu a cestou. Na bočnej strane použitého pôvodného pomníka túto skutočnosť oznamoval nápis „Premiestnený XV. V. 1942“.

Do siete základných nivelačných bodov, vzájomne vzdialených stovky kilometrov, bola vložená sieť bodov prvého rádu a nižších rádoov. Nivelačné body prvého rádu boli umiestené vo vzdialenosti 3 až 4 km a pôvodne ich stabilizovali tzv. hranolovými značkami, resp. 10 cm dlhými mosadznými kužeľmi s dutinou, zapustenými do múru [1].

1.3 Výškové základy Česko - Slovenska

Po vzniku ČSR Ministerstvo verejných prác (MVP) zriadilo vo svojom rezorte v roku 1919 ústrednú nivelačnú službu, ktorá nadviazala na výsledky skorších výškových meraní v časti rakúsko-uhorskej nivelačnej siete z nášho územia prevzatých od bývalého viedenského Vojenského zemepisného ústavu, ktorý ju budoval v rokoch 1873-1896 (aj na potreby medzinárodného merania Zeme) v tzv. jadranskom výškovom systéme. V prevzatej sieti boli aj ZNB Strečno (pri Žiline) a Trebušany (na Podkarpatskej Rusi) a ZNB Lišov (pri Českých Budějovičiach).

Prevzatá nivelačná sieť, vedená prevažne po železničných tratiach, bola samozrejme na potreby najmä cestných, železničných, vodohospodárskych a priemyselných stavieb, ktorých projekty sa stále častejšie predkladali, veľmi riedka a nemohla uspokojiť požiadavky prudkého technického a hospodárskeho rozvoja novej republiky.

Vtedajšie MPV bolo VI. nar. č. 43 Sb. z. a n. z 20. januára 1920 poverené budovaním 1. čs. nivelácie. Na základe uvedeného nariadenia boli vydané aj podrobné pokyny v "Inštrukcii pre presné nivelácie". Podobne ako v sieti polohovej, sa postupovalo "z veľkého do malého", teda medzi veľké nivelačné polygóny I. rádu boli postupne vkladané ťahy nižších rádoov. MVP sa nepodarilo presadiť v Ministerstve financií dostatok rozpočtových prostriedkoov a práce zle napredovali. Medzitým sa ale na Slovensku a v Podkarpatskej Rusi už od roku 1921 ujal razantne nivelačných prác čs. Vojenský zemepisný ústav v Prahe a to systematicky a v značnom rozsahu, preto je niekedy táto časť siete 1. čs. nivelácie na území Slovenska a Podkarpatskej Rusi z obdobia rokov 1920 - 1938 nazývaná aj nivelačnou sieťou VZÚ.

Po útlme spôsobenom vojnou sa začala budovať Československá jednotná nivelačná sieť (ČSJNS), označovaná aj ako 2. československá nivelácia. Po skončení prác VZÚ Praha na území Slovenska, začala pôsobiť nivelačná služba Ministerstva dopravy a verejných prác (MDVP) Bratislava a hneď po skončení vojnových udalostí prevzalo výškové merania (niveláciu) Povereníctvo techniky (PT) Bratislava. Metodickým východiskom bola Inštrukcia na presnú niveláciu z roku 1921 a v roku 1950 vydaná Nivelačná inštrukcia na práce v ČSJNS doplnená v r. 1956. Návodom na práce v ČSJNS. Neodmysliteľnou súčasťou sietí a meraní bolo aj zriadenie 11 ZNB, rovnomerne rozložených na území Slovenska v 100 km odľahlosti. Práce v sieti II. rádu boli skončené v roku 1955 a s ťahmi III. rádu potom celá sieť v roku 1960.

1.4 Polohové základy Česko-Slovenska

Rozhodnutím ministerstva financií zo dňa 21. novembra 1919 č. 71 612/1919 - III/6 zriadila Triangulačná kancelária (TK) Ministerstva financií v Prahe. Hlavnou úlohou TK bolo vybudovanie novej trigonometrickej siete, ktorá dostala názov Jednotná trigonometrická sieť katastrálna (JTSK), na celom území štátu, pretože polohové siete, ktoré boli vybudované za monarchie, mali vzhľadom na podobu nového, podlhovasté územie pozdĺž rovnobežky, s niekoľkými východiskovými bodmi predstavujúcimi počiatky súradníc pomerne veľké dĺžkové skreslenie v lokalitách vzdialenejších od počiatkov.

JTSK mala byť základom jednotného rovinného súradnicového systému (aj zobrazovacieho). Zo zvoleného názvu bolo vidno aj jej prioritné poslanie zabezpečiť úlohy a potreby katastra. Tento úrad vykonával práce, ktoré sa vzťahovali na polohopisné geodetické základy ČSR, budoval základnú trigonometrickú sieť, preberal a hodnotil triangulačné práce iných úradov, najmä tých, ktoré vykonávali triangulácie nižších rádo (podrobnú trianguláciu) v rámci katastrálneho vymeriavania, teda Katastrálnych meračských úradov (KMÚ) a Inšpektorátov katastrálneho vymeriavania (IKM), unifikoval staré triangulácie v jednotnej trigonometrickej sieti a zabezpečoval celý rad iných činností pri evidencii, údržbe a legislatívnej spolupráci v danej oblasti. Za prednostu TK vymenovali vynikajúceho geodeta - teoretika i praktika Josefa Křováka (1884 - 1951), ktorý bol tvorcom novej zobrazovacej sústavy ČSR (tzv. Křovákovo zobrazenia).

Nariadením č. 12/1919 Zb. z. a n. zo dňa 31. decembra 1918 ministra Vavra Šrobára, splnomocnenca vlády ČSR pre správu Slovenska, bolo zriadené Generálne finančné riaditeľstvo v Bratislave. Do jeho kompetencie patrili všetky finančné a všetky pozemkové úrady na Slovensku, pričom katastrálnu zložku Táto organizačná štruktúra historicky opäť nadväzuje na roky 1848 až 1850, kedy sa ako centrálné orgány v monarchii zriadili ministerstvá, pričom katastrálne práce (teda aj práce triangulačné) podriadili dozoru ministerstva financií a spojili ich s činnosťou oddelenia pre priame dane. Keďže pozemkový kataster bol dôležitým prostriedkom na výber daní, tento "patronát" ministerstva financií vydržal plných 100 rokov a prežil aj viaceré politické režimy.

Okrem potrieb katastra bolo potrebné zabezpečiť spoľahlivé, aktuálne a jazykovo zrozumiteľné topografické mapy a iné podklady pre obranu krajiny a preto bol v roku 1919 založený Vojenský zemepisný ústav v Prahe (VZÚ) Ministerstvom národnej obrany.

Po skúsenostiach zo skorších triangulácií na území monarchie bolo aj teraz rozhodnuté postupovať „z veľkého do malého. Bolo teda treba najprv zadefinovať a zmerať trigonometrickú sieť I. rádu. Pre potreby východiskovej siete I. rádu boli najmä z časových dôvodov prevzaté z triangulácie viedenského VZÚ z rokov 1860 - 1898 merané osnovy smerov na 64 trigonometrických bodoch v Čechách a na Podkarpatskej Rusi, v priestoroch skoršieho presného stupňového merania. Priemerná dĺžka strán I. rádu v prevzatej časti siete bola 40 km a v novobudovanej časti na Morave a na Slovensku (v rokoch 1920 až 1927) bola 25 km. V tejto etape budovania bola sieť pomenovaná ako Základná trigonometrická sieť I. rádu. Po jej neskoršom rozšírení a doplnení v rokoch 1928-1937 bola sieť označená ako Jednotná trigonometrická sieť I. rádu. Triangulačné práce sa vykonávali podľa rámcových

zásad o budovaní jednotnej trigonometrickej siete, ktoré vydalo Ministerstvo financií výnosom č. 102 313/34-III/6 z roku 1934 a ktoré doplnilo smernicami pre V. rád (podrobnú trianguláciu). V období, keď bola observácia na bodoch I. rádu v najnutnejšej miere skončená, pokračovali triangulačné práce už určovaním bodov vyplňujúcej siete II., III., IV. a V. rádu. Tieto práce sa začali napriek tomu, že v sieti I. rádu boli ešte dodatočne dokončované niektoré priestory a že sa nečakalo ani na plánované práce na jej spresnení. Na prácach v trigonometrickej sieti sa pokračovalo aj cez obdobie druhej svetovej vojny a samozrejme po roku 1945.

Všetky kroky urobené na pomerne dlhej ceste na určenie definitívnych súradníc trigonometrického bodu sú písomne zachytené a uložené ako nenahraditeľný dokument trvalej hodnoty u správcu siete, ktorým bola TK Ministerstva financií a neskôr postupne predchodcovské organizácie dnešného Zeměměřického úřadu v Prahe a Geodetického a kartografického ústavu Bratislava.

1.5 Medzinárodná spolupráca

V čase keď už bolo zrejmé, že na riešenie otázok tvaru a rozmerov Zeme nestačí iniciatíva jednotlivcov, resp. jednotlivých štátov, nastolil roku 1861 Besselov aj Gaussov vynikajúci vedecký spolupracovník, pruský generálporučik Johann Jacob Baeyer potrebu stredoeurópskeho stupňového merania a dal podnet na založenie medzinárodnej komisie pre stredoeurópske stupňové meranie v Berlíne. Roku 1863 sedem európskych štátov založilo stálu komisiu Stredoeurópskeho stupňového merania, ktorej 1. kongres sa konal o rok neskôršie v Berlíne. Po pristúpení Ruska a Španielska došlo v roku 1867 na druhej generálnej konferencii k premenovaniu tohto orgánu na Európske stupňové meranie. Ďalším významným uznesením tejto konferencie bol návrh na vytvorenie európskeho systému jednotných mier a váh, ktorý by bol založený na metrickej systéme a desatinnom delení. Nový európsky meter sa mal čo najviac priblížiť francúzskemu archívnemu metru. Po pristúpení niektorých mimoeurópskych štátov od roku 1886 táto inštitúcia po ôsmej generálnej konferencii pokračovala v práci ako Medzinárodné meranie Zeme (Internationale Erdmessung – Association Géodésique Intrenationale). Konferencia sa konala práve rok po smrti generála Baeyera, kedy vedenie Ústrednej kancelárie a Geodetického ústavu prevzal profesor vyššej geodézie na berlínskej univerzite Friedrich Robert Helmert. Na 17. generálnej konferencii v Hamburgu roku 1912 sa sústreďovala pozornosť na meranie zvislicových odchýlok, intenzity tiaže a variácie zemepisných širok, ktoré boli sledované medzinárodnou širokovou službou. V priebehu prvej svetovej vojny, koncom roku 1916 založili R. Gautier, riaditeľ ženevskej hvezdárne a H. G. van de Sande Bakhuyzen, stály sekretár pôvodného Medzinárodného merania Zeme a riaditeľ hvezdárne v Leydene novú „Redukovanú geodetickú asociáciu neutrálnych“ (L'Association géodésique réduite entre États neutres), pre ktorú Pruský geodetický ústav zostal centrálnym úradom a členmi Švajčiarsko, Holandsko, Dánsko, Nórsko, Švédsko a Španielsko (USA vstupom do vojny zo spoločnosti vystúpili). Takým spôsobom zabezpečili povojnové pokračovanie Asociácie, ktorá sa postupne stala významnou modernou vedeckou spoločnosťou, až napokon z nej sa stala Medzinárodná geodetická asociácia (IAG), ktorá je od roku 1922 súčasťou

IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) združujúcou 7 špecializovaných asociácií a najstaršia z nich je práve IAG [1].

Práca IAG pokračuje bez prerušenia a dnes sú zástupcovia jednotlivých geodetických služieb organizovaní v rámci I. komisie, v podkomisii 1.3a – regionálne referenčné rámce – EUREF (IAG SC 1.3a: Regional Reference Frame). V tejto podkomisii má GKÚ národných delegátov, ktorí sa aktívne zapájajú do programov, ktoré odporúča a rieši podkomisia.

Výsledky a odporúčania EUREF sú základom na riešenie správy geodetických základov. Geodetický a karografický ústav Bratislava (GKÚ), úzko spolupracuje najmä s susednými partnerskými organizáciami v oblasti prepojenia špecializovaných sietí a koordinácii prác. V poslednom období uzavrel konkrétne zmluvy aj na využívanie národných služieb GNSS. V súčasnosti sú podpísané dohody s rakúskym BEV Viedeň a službou APOS, českým Zeměměřickým úřadom a službou CZEPOS, maďarským FÖMI Budapešť a službou GPSNET.HU. Po dobudovaní poľskej služby ASG-EUPOS sa predpokladá podpis dohody aj s našim severným susedom, pravdepodobne ešte v tomto roku.

2 Konceptné zámery v oblasti geodetických základov

Rozvoj a modernizáciu správca geodetických základov zabezpečuje podľa koncepcií vypracovaných na príslušné roky 1995 – 2000 [2] a 2001 – 2005 [3]. Koncepcie reformne vytyčujú zámery, ciele a úlohy, ktorými sa realizuje prechod z klasických základných bodových polí do nových GZ. „Koncepcia rozvoja geodetických základov na roky 2006 – 2010“ z 12.6.2006 [4] kladie zvýšený dôraz na opustenie 2D prístupu, v podobe projekčnej zobrazovacej roviny (S-JTSK) a plné využívanie 3D geometrie v novom súradnicovom systéme ETRS89 a umožniť prepojenie 3D geometrie s fyzikálnymi vlastnosťami a geodynamikou Zeme.

Cieľom koncepcií bolo zabezpečiť podmienky na plné využitie moderných geodetických technológií na geodetické práce, najmä v oblasti katastra nehnuteľností, tvorby ZB GIS (štátne mapového dielo), pozemkových úprav a investičnej výstavby a zároveň umožniť pracovať aj klasickými metódami a postupmi, ale už bez deformácie meraných veličín.

Práce správcu geodetických základov [5] sú zamerané prevažne na zriaďovanie, údržbu a obnovu bodov GZ, určovanie hlavných parametrov geodetických bodov meraním v špecializovaných geodetických sieťach a ich väzbu na medzinárodné referenčné systémy, na určenie a spresňovanie priebehu kvázigeoidu Slovenska, na sledovanie geokinematiky, metrologické a legislatívne zabezpečenie GZ a budovanie správcovského rozhrania informačného systému nových GZ.

Špecializované siete určujú meračské väzby medzi geodetickými bodmi v priestorovom, výškovom, tiažovom a polohovom systéme. V jednotlivých sieťach sú na meranie používané najpresnejšie digitálne technológie implementované do geodetických prístrojov novej generácie. Je snaha, aby sa bod GZ stal integrovaným, t.j. určený vo všetkých špecializovaných geodetických sieťach, samozrejme je potrebné mať i jednoúčelové geodetické body. Národné geodetické referenčné systémy a ich realizácie reprezentujú:

- Štátna priestorová sieť (ŠPS), tvorí národný 3D priestorový lokalizačný referenčný rámec systému ETRS89. Využíva technológiu GNSS na určenie priestorovej polohy,
- Štátna nivelačná sieť (ŠNS), zabezpečuje realizáciu normálnych (Molodenského) výšok v baltskom výškovom systéme po vyrovnaní (Bpv), resp. realizáciu Amsterdamského systému (Ams) k referenčnému bodu Amsterdam,
- Štátna gravimetrická sieť (ŠGS), zabezpečuje určovanie tiažového zrýchlenia meraním absolútneho a relatívneho tiažového zrýchlenia v systéme S-Gr 1995,
- Štátna trigonometrická sieť (ŠTS), zabezpečuje potreby klasického 2D polohového bodového poľa v S-JTSK. Služí v období prechodu na 3D referenčný systém v nevyhnutnom rozsahu.

2.1 Štátna priestorová sieť

ŠPS je budovaná ako štruktúrovaná geodetická sieť novej generácie, v ktorej je plne využitá technológia GNSS (globálny navigačný satelitný systém) na určenie priestorovej polohy geodetickým bodom v systéme ETRS89. Zohľadnením odporúčania podkomisie EUREF sú body ŠPS členené do tried A až D.

- V triede *A* sú body, na ktorých sa nepretržite prijíma signál GNSS (permanentné stanice). Tieto body z pohľadu stabilizácie by mali mať vysokú kvalitu stability, ale vzhľadom na potreby zabezpečenia nepretržitej observácie je zatiaľ väčšina z nich na stavebných objektoch. Týmto potom bola s nižšími nákladmi realizovaná ich energetická spotreba a predovšetkým komunikačné pripojenia k správcovi. V súčasnosti zoskupenie 21 bodov (rezortných staníc GNSS) dostalo označenie **SKPOS**. Za skratkou sa skrýva pomenovanie slovenskej permanentnej observačnej služby s využitím technológií na určovanie priestorovej polohy v reálnom čase. V **SKPOS** sú zaradené aj tri body SGRN.
- Triedu *B* tvoria geodetické body prevažne realizované meračkou značkou závislej centrácie, ktorá je stabilizovaná v skalách, hĺbkových, tyčových stabilizáciách. Na bodoch sa uskutočňujú epochové observácie v rozsahu minimálne 36 – 100 hodín. Skupina týchto bodov tvorí v rámci ŠPS subsieť s názvom slovenská geodynamická referenčná sieť (SLOVGERENET t.j. SGRN). V rôznych epochách, zväčša v opakovaných medzinárodných kampaniach bolo určených vyše 60 bodov, na ktorých sa dajú určiť geodynamické charakteristiky.
- Triedu *C* tvoria body, na ktorých boli vykonané minimálne 6 hodinové observácie. V 1. a 2. etape prác pokrývajúcej celé územie SR bolo technológiou GPS určených vyše 1600 geodetických bodov. Body sú určené predovšetkým ako referenčné body na realizáciu vybraných geodetických činností a ich vzájomná odľahlosť je v priemere 6 km.
- Triedu *D* tvoria body s observačnou dobou min. 2 hodiny (zatiaľ cez 950 bodov), alebo určené pomocou **SKPOS**. Táto trieda bodov je určená najmä na spresnenie digitálnych výškových modelov, určenie modelov

rezíduí, na transformačné úlohy, ale aj ako východiskové body na činnosti v oblasti presnej fotogrametrie, tvorby zberu údajov pre geografické informačné systémy či prác v pozemkových úpravách.

V realizácii meraní pomocou GNSS dostala verejnosť na konci roku 2006 k dispozícii **SKPOS** [6], ktorú sa podarilo zrealizovať po veľmi dlhých a zložitých rokovaniach. Skúšobná prevádzka dokazuje, že komerčná geodetická obec si veľmi rýchlo našla cestu k službe, ktorá prináša kvalitu a efektivitu geodetických prác. Samozrejme, že nie je možné jej výhody využívať priamo na celom, členitom území krajiny. V mnohých lokalitách je nedostatočne vybudovaná kvalitná komunikačná sieť, čo znemožňuje využívať služby na geodetické meranie v reálnom čase. Kombinácia statického merania GNSS s následným využitím virtuálnych referenčných bodov (súborov údajov) z **SKPOS** a terestrického merania i tak umožňujú geodetom dosahovať novú kvalitu svojej práce.

Keď sme v úvode článku spomínali históriu, tak až symbolicky vyznieva, že v lokalite Gánoviec, kde sa našli pozostatky pračloveka (120 000 rokov) GKÚ v roku 2001 vybudoval špeciálny geodetický bod GANP [7]. Bod je jedným z referenčných bodov **SKPOS**. Od roku 2003 (GPSweek No. 1245) bol zaradený do siete Európskej permanentnej siete (EPN) a pre svoje nové vybavenie a spoľahlivosť bola stanica prijatá aj do siete svetovej siete – IGS (IAG).

2.2 Štátna nivelačná sieť

V ŠNS je zmeranie bodov presnou digitálnou niveláciou realizované ich zaradením do nivelačných ťahov 1., alebo 2. rádu. V polygónoch 1. rádu bolo základné meranie v rokoch 1996 – 2002 (3 764 km). V súčasnosti sa pokračuje v meraniach 2. rádu (zatiaľ cez 3350 km nivelácie), pričom výber a zostavenie nivelačných ťahov vychádza z požiadaviek zopakovať najstaršie merané nivelačné body (ČSJNS) a pripojiť do ťahu čo najviac bodov určených v priestorovej, resp. gravimetrickej sieti. Zatiaľ sa darilo ročne realizovať vyše 700 km, čo je v súlade s koncepčnými zámermi.

Vykonalí sme variantné vyrovnania 1. rádu ŠNS v Bpv, v spresnenom Bpv83 a Amsterdamskom výškovom systéme (Ams). V súčasnosti popri pokračovaní v nivelačnom meraní v 2. rádoch sme začali vyrovnávanie výšok bodov týchto polygónov 2. rádu.

Na základe výsledkov boli spracované geopotenciálne rozdiely medzi nivelačnými bodmi s hustotou 1 bod / 5 – 25 km na zapojenie 1. rádu ŠNS do UELN, resp. EUVN_DA. Tieto údaje boli odovzdané do nemeckého centra k spracovaniu, ktoré je pod záštitou EUREF.

2.3 Štátna gravimetrická sieť

Obdobne ako v predchádzajúcich špecializovaných geodetických sieťach aj v ŠGS členíme na:

- nultý rád - sieť bodov určených aj absolútnym gravimetrom. Absolútne body sa nachádzajú prevažne v prízemných miestnostiach starých masívnych

budov s konštantnou teplotou. Na základe spolupráce s VÚGTK Zdíby, ktorý vlastní absolútny gravimeter FG5, sme realizovali opakované meranie na 11 absolútnych bodoch. Neopakovane určený ostal ohrozený absolútny bod v Košiciach, podarilo sa určiť nový v Nitre,

- 1. rád tvoria body zapojené do Jednotnej európskej gravimetrickej siete (UEGN) celkovo (32 bodov),
- body 2. rádu - prevzaté body z pôvodných gravimetrických sietí, na ktorých bolo vykonané meranie niekoľkými presnými gravimetrami. V tejto sieti boli aj merania v rámci medzinárodnej spolupráce s Českom a Maďarskom (257 bodov),
- body 3. rádu – body, ktorým bolo určené tiažové zrýchlenie len voľným pripojením, resp. jednoduchým meraním. V tejto množine nám rastie počet pripojených bodov najmä tých, ktoré už boli určené v ŠPS a ŠNS (cez 1050).

V roku 2006 sme dokončili gravimetrické merania na nivelačných bodoch 1. rádu ŠNS v odľahlosti cca 5 km, čo umožnilo nové definitívne vyrovnanie ŠNS a zostavenie geopotenciálnych rozdielov na zapojenie do nového vyrovnanja UELN.

Po spracovaní absolútnych meraní a analýze dodaných výsledkov z UEGN predpokladáme vyrovnanie ŠGS s novou realizáciou Gr-S/08.

V súčasnosti pokračujeme dvomi presnými, aj keď už vyše 12 ročnými gravimetrami v pripájaní ďalších bodov geodetických základov.

2.4 Štátna trigonometrická sieť

ŠTS, ktorá zabezpečuje realizáciu systému JTSK je stále nosným záväzným 2D systémom pre výkon vo vybraných geodetických činnostiach. Hustota a polohová presnosť bodov bola odrazom technologických možností. Využitie technológie GNSS na kontrolné merania preukázalo nehomogenitu a chyby v sieti. Výsledkom aspoň na čiastočnú opravu je spresnenie súradníc geodetickým bodom novou realizáciou. Pracovne táto realizácia je označená tak, ako býva zvykom, a to doplnením roku za označením systému. V tomto prípade ide o S-JTSK03. Pretože bodové pole bolo veľmi husté, prišlo sa k údržbe len u vybraných bodov, ktoré sú pre geodeta dostupné a využiteľné. Redukcia údržby bodov nastáva najmä v súvislosti lesných porastoch (nemožnosť priesekov) a ťažko prístupných lokalitách (napr. štíty). Časť vhodných bodov bývalého základného polohového bodového poľa bola na svojich miestach prestabilizovaná a určená v ŠPS.

3 Informačný systém geodetických základov

Uvedením platnosti smernice na správu geodetických základov sme prakticky uzatvorili klasickú geodetickú dokumentáciu bývalých bodových polí. Základným nástrojom správcu bolo doteraz správcovské rozhranie KGB, postavené na platforme grafického rozhrania Bentley Microstation s on-line prepojením na databázu Access.

V úvodnom projekte sme v intranete odskúšali rozhranie WEBKGB, cez ktoré sa pristupovalo on-line k vyhľadávaniu a poskytovaniu údajov o bodoch cez internet. Grafickým podkladom pod vrstvu geodetických bodov boli rastre základných máp

M 1:10 000 a M 1:50 000 uložené v údajovom sklade. Na realizáciu projektu sa nenašli prostriedky, a tak sa pristúpilo k riešeniu cez opensource nástroje. Výsledkom je riešenie zabezpečujúce interoperabilitu podľa OGC (Open Geospatial Consortium) cez rozhranie prístupné na www.geoportal.sk. Cez Geoportál sú na internete prístupné základné informácie o geodetických bodoch, ktoré sú jednorázovo generované do špeciálnej databázy v demilitarizovanej zóne, spolu so všetkými rastrovými ekvivalentami ŠMD. Prehliadanie prostredníctvom Geoportálu postačuje na vyhľadanie potrebných referenčných bodov a následne je potrebné si platné geodetické údaje vyžiadať prostredníctvom e-mailu a zákazníckeho centra.

Stále odkladajúcim sa vybudovaním nového používateľského web rozhrania nad databázou v ORACLE prostredí sa znemožňuje poskytovanie údajov o referenčných bodov komerčným používateľom, ale aj všetkým správam katastra.

Už úlohy postavené v predchádzajúcej koncepcii ukladali zmeniť databázu Microsoft Access a aktualizovať používateľské rozhrania správcu. Financie až v roku 2005 umožnili začať práce na analýze stavu ISGZ a aspoň čiastočne modernizovať výpočtovú techniku na niektorých pracoviskách správcu.

V rámci správy GZ je správca povinný aj rozhodovať o umiestňovaní a rušení geodetických bodov a riešiť škody na zariadeniach a bodoch v rámci celého územia Slovenskej republiky. Problematická v tejto správnej činnosti je i ochrana bodov cez evidenciu v katastri nehnuteľností. Tieto činnosti sa zatiaľ nepodarilo doriešiť.

4 Geodynamika a metrologia

Koncepcné zámery v oblasti geodetických základov kladú dôraz aj na oblasť monitoringu geodynamiky územia a metrologie. Aj keď sa zatiaľ nepodarilo u správcu GZ zriadiť spracovateľské a analyzačné oddelenie pre geodynamiku pokračuje vo vykonávaní observačných epochových kampaní GNSS a zbere údajov cez **SKPOS**. Na analýzy geodynamiky Slovenska boli a sú využívané najmä geodetické merania vykonávané na vybraných bodoch geodetických základov.

Na sledovanie geodynamiky sú ideálne permanentné stanice GNSS, zatiaľ sú v **SKPOS** tri a to Gánovce, Liesek a Partizánske.

Na začiatku deväťdesiatych rokov bola vybudovaná známa sieť SGRN a sledovanie priestorovej polohy geodetických bodov na nich sa vykonáva v dvojročných intervaloch popri stredoeurópskom projekte CERGOP. Za účelom sledovania geodynamiky Tatier boli vybudované špeciálne body v lokálnej sieti TATRY a každoročne je opakovaná v septembri kampaň GNSS.

Efektívnym spojením všetkých epochových meraní (kampane SGRN, TATRY, CEGRN, WHS) na bodoch ŠPS (triea A a B) s referenčným rámcom ITRF2000, resp. ETRF2000 sa vypočítali realizácie systémov ITRS, resp. ETRS89 na území Slovenska. Označujeme ich ako Slovenský terestrický referenčný rámec SKTRFxx. Z epochových meraní boli odhadnuté ročné rýchlosti pohybov bodov s minimálne 3 opakovanými meraniami.

V predchádzajúcich obdobiach boli založené viaceré Zvláštne nivelačné siete, na ktorých sa vykonali opakované nivelačné a gravimetrické merania. Tieto siete boli zakladané najmä v podolovaných územiach, resp. lokalitách atómových elektrární.

V rámci metrologického zabezpečenia geodetických meraní sa pravidelne pred nástupom na meračské práce overovali

- nivelačné súpravy na nivelačnom okruhu v Modre – Piesku,
- gravimetrické prístroje na mikrozákladni v Modre – Piesku a Modra - Hurbanovo,
- v dvojročných intervaloch sa dávajú komparovať nivelačné laty,
- poloha fázových centier antén GPS sa každoročne overuje na GPS kalibračnej základni GKÚ v Bratislave.

Zatiaľ sa nám raz podarila aj absolútna kalibrácia dvoch antén **SKPOS** v nemeckou autorizáčnom centre.

Pokračovali sme v prácach na zriadení vertikálnej gravimetrickej základni Lomnický štít – Gánovce – Bardejov.

Rozsah prác je závislý na finančných možnostiach prideleného rozpočtu.

5 Záver

V príspevku sme sa širšie venovali najmä bohatej histórii geodetických základov, aby sme v kocke naznačili kontinuálny vývoj a potrebu budovania geodetických základov aj v dobe satelitnej techniky. Výsledky pri zabezpečení jednotného georeferencovania majú nezastupiteľnú úlohu na tvorbu navigačných, mapových a technických diel. Tak ako je názov polohového systému – JTSK, je zrejme, že aj v oblasti vlastníctva a daní má pre presnú grafickú evidenciu nezastupiteľné miesto. Úspešná spolupráca aj s vojenskou geodéziou nám pomáha riešiť plnenie úloh, ktoré by s ohľadom na prideľovaný rozpočet zaostávali.

Úspešný štart **SKPOS** otvára ďalšie riešenia a to nielen pri výkone vybraných geodetických činností ale aj v presnej navigácii, v oblasti monitoringu vozidiel, či poľnohospodárskej činnosti.

Referencie

- [1] Marek, J., Nejedlý, A., Priam, Š.: *Geodetické základy – historický prehľad*, Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2006 Bratislava, ISBN 80-231-0357-1.
- [2] Priam, Š. a i.: *Koncepcia modernizácie a rozvoja geodetických základov Slovenska*. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 1995. Bratislava,
- [3] Ferienc, D. a i.: *Koncepcia rozvoja geodetických základov Slovenska na roky 2001 - 2005*. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Bratislava 2000,
- [4] Kolektív: *Koncepcia rozvoja geodetických základov Slovenska na roky 2006 - 2010*. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 2006 Bratislava,
- [5] Kolektív, : *Smernice na spravovanie geodetických základov*, S 74.20.73.11.00, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 2006 Bratislava,

[6] <http://www.skpos.gku.sk/> ,

[7] http://www.epncb.oma.be/_trackingnetwork/siteinfo4onestation.php?station=GAN_P_11515M001