

Výpočet nového výškového systému Slovenska a jeho výhody oproti súčasnému

Ján Bublavy

*Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava.
jan.bublavy@skgeodesy.sk*

Miroslava Majkráková

*Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava.
miroslava.majkrakova@skgeodesy.sk*

Branislav Droščák

*Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava.
branislav.droscak@skgeodesy.sk*

ABSTRAKT: Súčasne platná národná realizácia výškového systému Bpv na našom území je definovaná súborným vyrovnaním z roku 1957. Od obdobia jej nasadenia je udržiavaná rôznymi plošnými, resp. ťahovými vyrovnaniami. Tento spôsob udržiavania spôsobuje časom deformácie a nehomogenitu siete ako celku, čo sa rozhodol rezort geodézie, kartografie a katastra SR vyriešiť výpočtom novej realizácie Bpv resp. nového výškového systému. V príspevku je popísaný súčasný stav záväzne platnej realizácie výškového systému Bpv, zameriava sa na rôzne varianty vyrovnania nových meraní Štátnej nivelačnej siete a na určenie jej parametrov v EVRS a v Bpv. S výpočtom novej realizácie resp. nového výškového systému je spojené aj ich prepojenie na nový kvázigeoid, čo prinesie po ich zavedení geodetickej komunite nové možnosti využitia transformácie elipsoidických a nadmorských výšok.

Text príspevku vychádza z dizertačnej práce „Určovanie fyzikálnych výšok na území Slovenska“ vypracovanej Ing. Miroslavou Majkrákovou na Katedre Geodetických základov, Stavebnej fakulty, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave v roku 2019.

1 ÚVOD

Po roku 1957, kedy sa dostal do platnosti Baltský výškový systém po vyrovnaní (ďalej Bpv) s referenčnými normálnymi výškami podľa Molodenského, bolo na našom území vykonaných niekoľko kompletných opakovaných a množstvo dodatkových nivelačných meraní. Spracovanie nivelačných meraní a výpočet normálnych výšok boli doteraz vždy realizované pôvodným spôsobom využívajúcim redukciu z tiažového zrýchlenia, ktorá je závislá od interpolácie jednoduchej alebo úplnej Bouguerovej anomálie. Od nasadenia Bpv do používania na základe súborného vyrovnania, vtedy ešte v rámci krajín východného bloku, ubehlo už viac ako 60 rokov. Odvtedy však disponujeme spresnenými gravimetrickými podkladmi, presnejšími polohami nivelačných bodov ako aj novými nivelačnými a gravimetrickými meraniami. To nás viedlo k myšlienke výpočtu normálnych výšok podľa Molodenského moderným spôsobom, využívajúcim geopotenciálne kóty, ktorých hlavnou výhodou je ich jednoznačnosť a univerzálnosť.

2 SÚČASNÝ STAV ŠTÁTNEJ NIVELAČNEJ SIETE

Po rozdelení Českej a Slovenskej federatívnej republiky nastala situácia, kedy bolo potrebné kompletne zmodernizovať geodetické základy vrátane výškovej siete. Modernizácia a návrh novej nivelačnej siete pre územie Slovenska spočívala vo výbere nivelačných ťahov (trasy I. a II. rádu opakovaných nivelácií a I. rádu CSJNS), otestovaniu presností nameraných prevýšení, z výpočtu redukcií z tiažového zrýchlenia, výpočtu rozdielu geopotenciálnych kót, výpočtu uzáverov nových polygónov a podobne (Marek a kol., 2006). Nivelačná sieť dostala pomenovanie Štátna nivelačná sieť (ŠNS) a tvoria ju nivelačné ťahy 1. a 2. rádu (obr.1). Táto sieť bola tvore-

ná aj na účel jej súborného vyrovnania a pripojenia do spoločnej európskej siete. 1. rád ŠNS bol kompletne domeraný v roku 2002 a v roku 2007 sa pristúpilo k pokusom o jeho súborné vyrovnanie niekoľkými spôsobmi, kde sa rátalo aj s výpočtom geopotenciálnych kót a napojením na Európsky vertikálny referenčný systém EVRS. Pokusy o nasadenie novej realizácie referenčných výšok v ŠNS však doposiaľ neboli úspešné a výšky z týchto vyrovnaní majú iba informačnú hodnotu. V súčasnosti sú v legislatívnej platnosti stále normálne výšky podľa Molodenského pochádzajúce zo súborného vyrovnania z roku 1957.



Obr.1 Nivelačné ťahy 1. a 2. rádu Štátnej nivelačnej siete

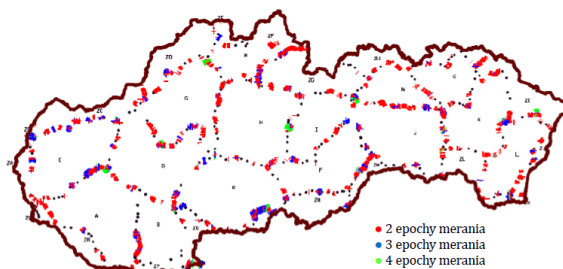
2.1 Meranie a spracovanie nivelačných ťahov 1. rádu ŠNS

Meranie a spracovanie nivelačných ťahov sa v súčasnosti riadi Smernicou na spravovanie geodetických základov (ÚGKK, 2006), ktorá okrem iného definuje zásady nivelačného merania a spracovania nivelačných meraní. Smernica definuje metódu presná digitálna nivelácia, ktorá je modifikáciou veľmi presnej nivelácie a vykonáva sa na základe určitých podmienok a postupov. Použitý musí byť digitálny nivelačný prístroj s technickými predpokladmi dosiahnutia strednej kilometrovej chyby 0,5 mm (ÚGKK, 2006). Konkrétne, pri kompletnom premeraní 1. rádu ŠNS, ktoré prebehlo medzi rokmi 1996 až 2002 boli použité digitálne nivelačné prístroje Wild (Leica), NA3000, NA3003 a Zeiss DiNi11. Neskôr pri kontrolných meraniach od roku 2011 prešli meračské skupiny GKÚ na prístrojové vybavenie Leica DNA03 (Bublavý a kol., 2017). Použitie musia byť kalibrované kódové nivelačné laty stavané na špeciálne podložky a podopierané opornými tyčami počas merania. Kalibrácia nivelačných lát GKÚ sa v súčasnosti vykonáva každý rok, resp. dva a zabezpečuje ju Mníchovská technická univerzita (Nemecko) za účelom určenia mierkového koeficientu a koeficientu rozťažnosti invarového pásu vplyvom teploty (Bublavý a kol., 2017). Meraný nivelačný ťah sa rozdelí na úseky s dĺžkou do 20 km, pričom na styku dvoch úsekov sa kontrolne odmerajú prekryty s dĺžkou cca 1 km (minimálne 2 oddiely). Pre odstránenie vplyvu vlnenia zemskej kôry sa jednotlivé úseky merajú prerušovane (Abelovič a kol., 1990), napríklad najskôr párne a potom nepárne úseky. Rozdiel oproti veľmi presnej nivelácii je v metodike odčítania na nivelačných latách. Kvôli skráteniu doby merania na stanoviisku, a tým aj zamedzeniu minimálnych zmien v polohe prístroja a lát sa vykonávajú najskôr dve čítania na zadnej late a následne dve na prednej late (pri veľmi presnej nivelácii čítame striedavo vzad-vpred-vpred-vzad). Počas merania je zaznamenávaná teplota invarových pásov. Dĺžka zámery je oproti veľmi presnej nivelácii skrátená na 35 m s minimálnou výškou zámery 0,80 m nad úrovňou terénu (kritéria zvlášť presnej nivelácie) kvôli zníženiu vplyvu refrakcie. Meranie nivelačného ťahu sa uskutočňuje obojsmernou geometrickou niveláciou zo stredu, pričom meranie v smere tam a späť sa vykonáva v iný deň a inú dennú dobu. Všetky údaje sa priamo zaznamenávajú do prenosného počítača (Targa Traveller, Trimble Recon). Nivelacia je treba pripojiť na oboch koncoch na uzlové alebo pripájacie body. Ich totožnosť je potrebné overiť si pomocou miestopisu a skontrolovať meraním, pričom krajná odchýlka medzi pôvodným a kontrolným prevýšením nesmie presiahnuť hodnoty:

$$\begin{aligned} &\text{pre oddiel v nivelačnej sieti 1. rádu } 2,00 + 1,50\sqrt{R}, && (\text{mm}) \\ &\text{pre oddiel v nivelačnej sieti 2. rádu } 2,00 + 2,25\sqrt{R}, && (\text{mm}) \end{aligned}$$

kde R je dĺžka nivelačného oddielu v km.

Výsledkom prvej etapy nivelačných prác je kompletne premeraný 1. rád ŠNS do roku 2002. Sieť tvorí 68 nivelačných ťahov s dĺžkou 3787 km, v rámci ktorých bolo dokopy zameraných 11 035 bodov geodetických základov, z čoho 410 bolo „hostujúcich“ bodov z iných špecializovaných sietí (Štátna priestorová sieť, Štátna gravimetrická sieť, Štátna trigonometrická sieť a body štátnej hranice) (Hudec a Ferienc, 2007). V rámci 2. etapy boli realizované kontrolné merania a dodatky na vybraných nivelačných ťahoch 1. rádu ŠNS (obr. 2), čo k začiatku roka 2017 predstavovalo 3705 opakovane odmeraných prevýšení s celkovou dĺžkou 1180 km (Bublavý a kol., 2017), ktoré prešli porovnaním duplicitných rozdielov s krajinou odchýlkou. Tieto dodatky budú po analýze slúžiť k novému spresnenému vyrovnaniu 1. rádu ŠNS.



Obr.2 Kontrolné merania a dodatky na 1. ráde ŠNS; stav k 1.1.2017 (Bublavý a kol., 2017)

Kompletne spracovanie nivelačných meraní je realizované v programovom balíku VLS (Kloboušák a Ferienc, 2001). Program je navrhnutý tak, aby riešil všetky presné inžiniersko-geodetické práce na sledovanie vertikálnych parametrov, resp. vertikálnych zmien technických objektov. Zabezpečuje taktiež zber údajov priamo v teréne, testovanie nameraných údajov na vplyv systematických a hrubých chýb, zavádzanie latových opráv a redukcií z tiažového zrýchlenia, odhad výšok nivelačných bodov a ich porovnanie v jednotlivých epochách.

Po úspešnom importe „surových“ nivelačných prevýšení do programového prostredia spracovateľského softvéru sa zavedú latové opravy, ktoré zahŕňajú opravu z teplotnej rozťažnosti invarového pásu a mierkového faktora nivelačnej laty. Z nivelovaných prevýšení je matematicky eliminovaná aj chyba spôsobená excentrickým postavením nivelačného prístroja medzi latami. V tomto prípade vznikne chyba z rozdielu vplyvu refrakcie (diferenčná refrakcia) a z rozdielu zakrivenia Zeme q na obe zámery (Abelovič a kol., 1990).

K nivelovaným prevýšeniam je následne priradená približná poloha a následne vyinterpolovaná Bouguerova anomália Δg_B a vypočítaná redukcia z tiažového zrýchlenia. V ŠNS je redukcia z tiažového zrýchlenia C_q počítaná nasledovne

$$C_q = -0,000\,0254H_{nivs}\Delta\varphi + 0,000\,10194(\Delta g_{JBs} + 1,1119H_{nivs})\Delta H_{niv}, \quad (\text{mm})$$

kde H_{nivs} je priemerná hodnota nivelovaných výšok susedných nivelačných bodov, $\Delta\varphi$ je rozdiel elipsoidických šírok týchto bodov a Δg_{JBs} je priemerná hodnota jednoduchej Bouguerovej anomálie medzi bodmi.

Po dokončení meračských prác na 1. ráde ŠNS v roku 2002 boli snahy o jeho súborné vyrovnanie a nasadenie nových platných výšok v systéme Bpv. Riešitelia úlohy definovali niekoľko úloh vyrovnania siete 1. rádu, ktoré sa líšili hlavne voľbou a počtom „fixovaných“ bodov, pričom jednou z možností bolo aj vyrovnanie siete použitím geopotenciálnych kót (Hudec a Ferienc, 2007). Ani jednu z možností vyrovnania sa však doteraz nepodarilo nasadiť do platnosti. Meraním a spracovaním dodatkových a kontrolných meraní nivelačných ťahov 1. rádu sa časom zistili nezrovnalosti evidovaných výšok so skutočným stavom zapríčinené vplyvom nestability bodov alebo hrubých chýb. V posledných rokoch bola pracovníkmi GKÚ upravená táto pôvodná realizácia novým prepočtom normálnych výšok, avšak nie súborným vyrovnaním celej siete, ale len čiastkovými vyrovnaniami. Vďaka tomu je v súčasnosti v platnosti upravená verzia normálnych výšok z pôvodnej realizácie Bpv 1957. Takéto výšky sú voľne poskytované verejnosti prostredníctvom Geoportálu GKÚ (<https://www.geoportal.sk/sk/geoportal.html>).

2.2 Zhodnotenie stavu súčasnej realizácie 1. rádu ŠNS

Samotná metóda presnej digitálnej nivelácie (ako modifikácia klasickej VPN), tak ako ju definuje Smernica ÚGKK (2006), svojou presnosťou a efektívnym meraním na zmiernenie vonkajších vplyvov a chýb nivelačných prístrojov a pomôcok nám poskytuje výsledné prevýšenia s veľmi vysokou presnosťou. Použitím aj najkvalitnejších meraní stále nie je zaručená bezchybnosť konečného výsledku – výsledných normálnych výšok podľa Molodenského. Prvým a základným predpokladom je správne matematické odstránenie všetkých vplyvov, ktoré nie je možné eliminovať metodikou merania. V súčasnosti sú matematicky eliminované vplyvy ne správneho delenia latovej stupnice, teplotná rozťažnosť invarového pásu, vplyvy refrakcie a zakrivenia zemského povrchu ako dôsledok excentricity stanoviska prístroja.

Jedným z vplyvov, ktorý vieme matematicky modelovať, a ktorý v súčasnosti nie je v nivelačných meraniach uvažovaný, je gravitačný vplyv Mesiaca a Slnka (slapové vplyvy), ktoré spôsobujú odklon zvislice urovnaného nivelačného prístroja a lát. V súčasnosti teda uvažujeme, že tento vplyv je úplne eliminovaný striktným dodržaním metodiky merania (napr. meranie späť je vykonávané vždy v iný deň a inú časovú dobu ako meranie tam, rovnaké stanoviská prístroja a lát v smere tam aj späť a podobne). Touto metodikou dosiahneme elimináciu periodickej (časovo závislej) zložky slapov. Matematicky však dokážeme na základe presných údajov o polohe bodov a čase merania vypočítať hodnoty astronomickej korekcie pre každý jeden bod v oboch smeroch merania.

V súčasnej realizácii Bpv sú normálne výšky počítané klasickou metódou s použitím zložiek redukcie z tiažového zrýchlenia C_q . Tá je závislá od kvality gravimetrickej databanky, ktorá je výsledkom gravimetrického mapovania. Dnes máme k dispozícii mapu úplných Bouguerových anomálií s deklarovanou presnosťou 1 mGal (Zahorec a kol., 2017b). Doteraz sa vo výpočtoch v platnej realizácii ŠNS používala redukcia z tiažového zrýchlenia vypočítaná z pôvodnej databanky, ktorá bola vyhotovená v rámci gravimetrického mapovania 1:25 000 v rokoch 1956 až 1992 realizovaného v gravimetrickom systéme S-Gr64 (Grand a kol., 2001). V pôvodnom súbornom vyrovnaní z roku 1957, na ktoré boli všetky neskoršie výpočty viazané, sa však používali gravimetrické mapy vyhotovené pre účel súborného vyrovnania v Sovietskom zväze v gravimetrickom systéme 1957. Pre použitie novej mapy úplných Bouguerových anomálií v systéme S-Gr95 potom nastane nezrovnalosť medzi definíciou Bpv a výpočtami súčasnej gravimetrickej databanky, kde sú použité parametre elipsoidu GRS 80. Definícia Bpv však uvažuje s normálnym tiažovým polom Krasovského elipsoidu a používaním Helmertovho vzťahu pre výpočet normálneho tiažového zrýchlenia.

V súvislosti s interpoláciou Bouguerových anomálií sa naskytá otázka presnosti určenia polohy nivelačných bodov, ktorá ovplyvňuje kvalitu interpolácie. Polohové súradnice pre tento účel boli doposiaľ spätne určené z máp mierok 1:10 000 a na tento účel sa takto určené súradnice pokladali za postačujúce a iba zriedkavo sa overovali priamym meraním. Nástupom technológie GNSS sa pristupovalo čoraz častejšie k zameraniu polohových súradníc nivelačných bodov ŠNS priamym meraním, čím dochádzalo aj k ich zaradeniu do Štátnej priestorovej siete – trieda C alebo D ŠPS. Do roku 2016 sa podarilo určiť technológiou GNSS približne 6100 bodom 1. a 2. rádu ŠNS presné polohové súradnice. Polohová presnosť elipsoidických súradníc v prípade bodov ŠPS triedy D (body určené metódou sieťového RTK) bola stanovená empiricky na $\sigma_\phi = 17,5$ mm a $\sigma_\lambda = 11,5$ mm. Pre porovnanie, presnosť kartometricky určených polohových súradníc ostatných bodov ŠNS bola odhadnutá na $\sigma_x = 15$ m a $\sigma_y = 15$ m (Bublavý a kol., 2018). Zvyšovanie presnosti polohy bodov ŠNS bolo realizované aj prostredníctvom vektorových grafických podkladov v prostredí ArcGis využitím vrstiev ZBGIS, Vektorovej katastrálnej mapy a vektorovej a rastrovej Jednotnej železničnej mapy. Presnosť takto určených súradníc siahala do 1,5 m, čo je výrazným zlepšením oproti pôvodne kartometricky určeným súradniciam. Túto presnosť však významne presahovali súradnice bodov stabilizovaných na priepustoch, preto boli tieto body zaradené na domeranie priamym meraním v teréne (Bublavý a kol., 2018). Je potrebné pripomenúť, že elipsoidická poloha bodov vstupuje aj do výpočtov normálneho tiažového zrýchlenia a redukcie z tiažového zrýchlenia. Keďže Helmertov vzťah je odvodený pre Krasovského elipsoid, aj poloha bodov don vstupujúca by mala byť určená na Krasovského elipsoide, pričom v súčasnosti disponujeme takmer všetkými polohami v ETRS89, ktorá je definovaná pre elipsoid GRS 80.

V platnej realizácii ŠNS v systéme Bpv 1957 (ani v žiadnych neskorších prepočtoch) doposiaľ nebola zmienka o slapových systémoch. Kým nivelačné merania sú automaticky vzťahované k mean tide slapovému modelu, tiažové zrýchlenia by sa mali podľa Petit a Lutzum (2010) udávať v zero tide slapovom modeli. Realizácia Európskeho vertikálneho referenčného systému EVRF2007 má vo svojej definícii, že je zero tide, aj napriek tomu, že väčšina zúčastnených krajín vrátane Slovenska dodáva údaje (geopotenciálne rozdiely) v mean tide, resp. nešpecifikovanom slapovom systéme. Pri odosielaní geopotenciálnych rozdielov do novších realizácií EVRS je treba dbať na odosielanie údajov v jasne definovanom slapovom systéme.

Aj tieto dôvody sú dôkazom toho, že súčasná realizácia ŠNS potrebuje aktualizáciu. To nám zabezpečí iba výpočet referenčných normálnych výšok podľa Molodenského prostredníctvom geopotenciálnych kót, kde bude jednoznačne definovaný slapový systém. Určením geopotenciálnych kót na všetkých bodoch ŠNS bude možný jednoduchý prepočet medzi výškovými systémami a taktiež jednoduchá transformácia do iného slapového systému.

3 VSTUPNÉ ÚDAJE K VYROVNANIU

Do súborného vyrovnania vstupovali nivelačné merania z kompletného premerania 1. rádu ŠNS z rokov 1996 – 2002 a taktiež dodatkové nivelačné merania uskutočnené medzi rokmi 2002 a 2017. Pôvodné nivelačné ťahy 1. rádu ŠNS boli doplnené prípojnými nivelačnými ťahmi 2. rádu ŠNS na všetky body SKPOS a SGRN. Každý meraný nivelačný ťah, resp. dodatok bol prvotne samostatne spracovaný programom VLS (Klobušiak a Ferienc, 2001), v ktorom boli z nameraných dát zostavené súbory s realizáciami (*.FNR), následne zavedené latové opravy z teplotnej rozťažnosti invarového pásu podľa výsledkov laboratórnej komparácie a opravy zo zakrivenia Zeme a refrakcie. Tieto opravy sú v programe VLS sčítané do jednej hodnoty l_0 . Následne bola štruktúra súborov FNR prevedená v prostredí Matlab do textového formátu, pričom bodom nivelačného ťahu bola priradená jednoznačná spresnená poloha (Bublavý a kol., 2018) v súradnicovom systéme ETRS89. Okrem súradníc je v súbore pri každom meraní prevýšení uvedený dátum a čas merania, dĺžka ťahu v km, nivelované prevýšenie a oprava l_0 v mm.

Takto upravené súbory s realizáciami a pridelenými presnými súradnicami vstupovali do výpočtu astronomickej korekcie, a to pre každé prevýšenie merané tam aj spať samostatne. Hodnota astronomickej korekcie bola následne doplnená ako posledná položka do súboru s realizáciou pre každé prevýšenie. Doplnené súbory s realizáciami a korekciami tvorili vstupné súbory k výpočtu a vyrovnaniu geopotenciálnych kót. Celkovo tvorí 1. rád ŠNS 68 hlavných nivelačných ťahov a 43 pripájacích nivelačných ťahov k bodom SKPOS a SGRN. Spolu so všetkými dodatkami, pričom každý ťah má minimálne jeden a najviac 14 dodatkov, do výpočtov vstupovalo 435 súborov, v ktorých bolo meraných približne 18 000 prevýšení tam a späť. Keďže niektoré prevýšenia boli merané viac ako jedenkrát, alebo počet opakovaných meraní v jednom smere nezodpovedal počtu opakovaní v druhom smere, zvolili sme prístup použitia jedného prevýšenia tam a jedného prevýšenia späť, ktoré zodpovedalo jednoduchému priemeru viackrát meraného prevýšenia. Dôvodom bolo zjednodušenie a urýchlenie výpočtov. Predpokladáme pritom, že nivelačné body sú stabilné a počas premeriavania nemenili svoju výšku. Tento fakt bol overovaný postupne pri výpočtoch každého dodatku podmienkou, či opakované meranie splňa dovolenú odchýlku pre dvakrát merané prevýšenie definovanú v smernici ÚGKK (2006). Ak niektoré z opakovaně meraných prevýšení túto podmienku nespĺňalo, bolo zo základného merania odstránené a to v prípade, ak bolo na základe analýz pravdepodobné, že na danej lokalite došlo za dlhé časové obdobie k posunom, resp. narušeniu stabilizácie jednotlivých bodov. Po výpočtoch priemerov tvorilo konečnú množinu 14 308 prevýšení tam aj späť opravených o latové korekcie l_0 a astronomicnú korekciu.

Na základe databázy nových spresnených polôh bodov 1. rádu ŠNS boli v programe CBA2G_SK (Marušiak a kol., 2015) vyinterpolované hodnoty úplných Bouguerových anomálií a späťne vypočítané tiažové zrýchlenia, ktoré sú uvádzané v zero tide systéme (Marušiak a kol., 2015). „Interpolované“ tiažové zrýchlenie bolo použité aj pri bodoch, kde máme k dispozícii jeho priamo meranú hodnotu. Vychádzame z filozofie, aby všetky použité tiažové zrýchlenia boli homogénne a prípadne namerané hodnoty budú slúžiť k testovaniu „interpolovaných“ hodnôt.

4 VARIANTY VYROVNANIA CEZ GEOPOTENCIÁLNE KÓTY

Zo vstupných údajov (niveľované prevýšenia opravené o všetky korekcie a tiažové zrýchlenia) boli v prvom kroku vypočítané geopotenciálne rozdiely bodov 1. rádu ŠNS, ktoré budú do vyrovnania vstupovať ako merané veličiny v potrebnom slapovom systéme. Výpočty vo výškovom systéme EVRS, realizácii EVRF2007, budeme realizovať pripojením na referenčné body v zero tide slapovom systéme a výpočty v Bpv budú realizované pripojením na referenčné body, pri ktorých v pôvodnej definícii nie je špecifikovaný slapový systém, predpokladáme teda mean tide slapový systém.

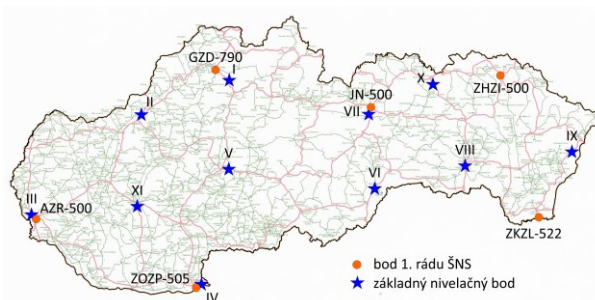
Pri úvahách o najvhodnejších spôsoboch vyrovnania bodov 1. rádu ŠNS bolo prihliadané na niekoľko kritérií vyplývajúcich zo samotného stavu nivelačnej siete, ako aj z reálneho spôsobu merania v sieti. Prvým kritériom pre voľbu vhodného modelu bola požiadavka, aby vyrovanie nebolo závislé od štruktúry (postupu merania) nivelačnej siete, a to z dôvodu, že nivelačné ťahy často neboli merané súvisle, ale po častiach a zároveň pri opakovaných meraniach nebolo vždy rovnaké poradie meraných bodov. Ide hlavne o dodatkové merania, ktoré bolo potrebné takisto zahrnúť do nového vyrovnania. Ďalším kritériom bola voľba výškového systému. V súčasnosti sú taktiež dostupné dáta v podobe geopotenciálnych rozdielov vybranej množiny bodov (najmä uzlové body ŠNS, body SGRN a SKPOS) posielané do spracovateľského centra pre vyrovanie geopotenciálnych kôt v platnej realizácii EVRS (EVRF2007).

Pri voľbe referenčných bodov vyrovnania, či už fixovaním na jeden bod, alebo použitím pseudomeraní, bolo prihliadané jednak na stabilitu zvolených bodov, a takisto na ich vhodné rozmiestnenie v sieti. Stabilita bodov bola overená na základe mapy recentných vertikálnych pohybov (Majkráková, 2019) a na základe čiastkových kontrolných vyrovaní dodatkových meraní na GKÚ. Taktiež bolo prihliadnuté na to, aby rovnaká množina bodov v Bpv mohla byť použitá aj pri vyrovaní v EVRS kvôli možnosti vzájomného porovnania. Jedným z prístupov bola aj voľba všetkých 11 základných nivelačných bodov (ZNB), ktoré majú rovnomerné pokrytie celého územia a predpokladáme, že boli navrhnuté v stabilných lokalitách a aj z historického hľadiska boli na tento účel budované.

Po zvážení uvedených kritérií boli zadefinované tieto varianty súborného vyrovnania 1. rádu ŠNS:

EVRS_1	pripojenie na 1 referenčný bod: V (ZNB) v EVRS (EVRF2007),
EVRS_7	pripojenie na 7 referenčných bodov: AZR-500, V (ZNB), JN-500, GZD-790, ZOZP-505, ZKZL-522, ZHZI-500 v EVRS (EVRF2007),
EVRS_7a	pripojenie na 7 referenčných bodov: AZR-500, V (ZNB), JN-500, GZD-790, ZOZP-505, ZKZL-522, ZHZI-500 v EVRS (EVRF2007) s uvažovaním ich stredných chýb,
BALT_VOL	voľne vyrovanie v Bpv,
BALT_1	pripojenie na 1 referenčný bod: V (ZNB) v Bpv,
BALT_7	pripojenie na 7 referenčných bodov: AZR-500, V (ZNB), JN-500, GZD-790, ZOZP-505, ZKZL-522, ZHZI-500 v Bpv,
BALT_11	pripojenie na 11 referenčných bodov: I až XI (ZNB) v Bpv.

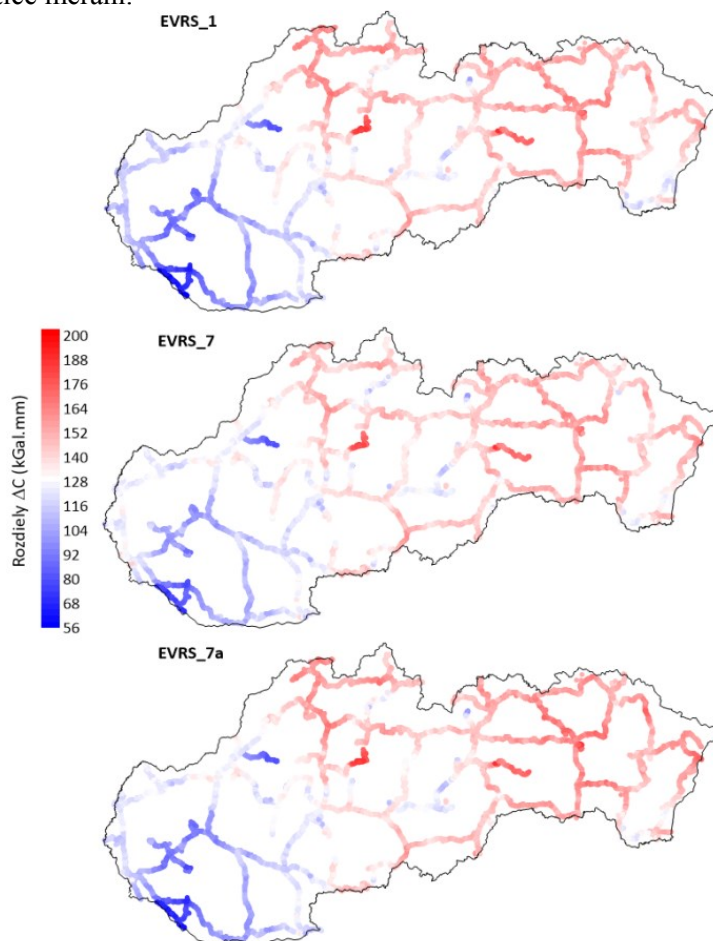
Grafické znázornenie rozloženia referenčných bodov v ŠNS zobrazuje mapka na obr 3.



Obr.3 Znáznornenie referenčných bodov, ktoré boli použité pre varianty vyrovnania v EVRS a Bpv (Majkráková, 2019)

4.1 Vyrovnanie v EVRS (realizácia EVRF2007)

Zvolené boli tri prístupy spracovania a voľby referenčných bodov. V prípade variantu EVRS_1 bola zohľadnená centrálna poloha základného nivelačného bodu V a zároveň stabilizácia bodu v skalnom podloží. Vo variante EVRS_7 sa prihliadalo najmä na rovnomerné rozmiestenie nivelačných bodov a vhodnú stabilizáciu väčšinou čapovými nivelačnými značkami na starých stabilných tehlových budovách, prípadne kostoloch. Prístup EVRS_7a je modifikáciou predchádzajúceho spôsobu s tým rozdielom, že boli uvážené stredné chyby referenčných bodov z vyrovnania EVRF2007. Vyrovnanie bolo spracované metódou najmenších štvorcov (MNS), lineárnym modelom nepriameho merania vektorového parametra, a to zafixovaním geopotenciálnej kóty v EVRF2007 jedného bodu (variant EVRS_1). V ďalšom spôsobe (variant EVRS_7) bolo zvolených 7 referenčných bodov, ktoré boli do modelu doplnené v podobe subvektora tzv. pseudomeraní, ktoré predstavovali hodnoty geopotenciálnych kôt referenčných bodov z vyrovnania v EVRF2007 a prístup EVRS_7a zohľadňuje vstupné stredné chyby v podobe kovariančnej matice meraní.



Obr.4 Rozdiely geopotenciálnych kôt k približným hodnotám vypočítaným z platnej realizácie Bpv; varianty vyrovnania v EVRS (Majkráková, 2019)

4.2 Vyrovnanie v Bpv (realizácia Bpv 1957)

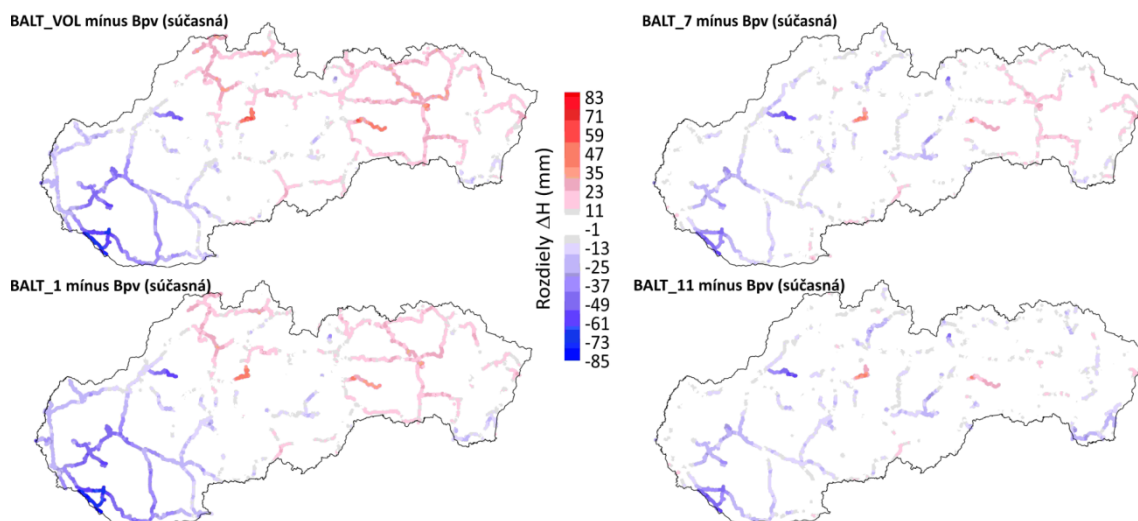
Súčasná realizácia ŠNS je založená na pôvodnej definícii Bpv z roku 1957, kde nebola zmienka o geopotenciálnych kótach. Preto pri napojení nových meraní do definície zastaranej realizácie je potrebné pristupovať veľmi obozretne a prihliadať na korektné použitie vzťahov na aproximáciu normálneho tiažového pola Zeme pri prepočtoch medzi normálnymi výškami a geopotenciálnymi kótami. Taktiež je treba si uvedomiť, že pri pôvodnom Bpv neboli zohľadnené slapové systémy pri nivelačných údajoch, ako aj pri tiažovom poli Zeme, ktoré vstupovalo do výpočtov v podobe redukcie z tiažového zrýchlenia. V nasledujúcich výpočtoch budeme vychá-

dzať z predpokladu riešenia novej realizácie Bpv prostredníctvom modernejšieho spôsobu – využitím geopotenciálnych kót.

Vyrovnanie bolo realizované pomocou MNŠ, lineárnym modelom nepriameho merania vektorového parametra so systémom podmienok – riešenie voľnej siete pre variant BALT_VOL a modelom nepriameho merania vektorového parametra pre ostatné varianty. Východiskovými hodnotami pri všetkých variantoch vyrovňovania v Bpv bol vektor meraných veličín v podobe geopotenciálnych rozdielov ΔC . Vektor meraní bol redukovaný o hodnoty vypočítané z približných geopotenciálnych kót nivelačných bodov C_0 , ktoré boli spätne prepočítané z platných normálnych výšok podľa Molodenského v Bpv.

Variant fixácie na jeden bod, BALT_1, bol viazaný na geopotenciálnu kótu ZNB V. Tá vstupovala do vyrovňovania ako absolútna, bezchybná hodnota. V ďalších variantoch, BALT_7 a BALT_11, boli použité pseudomerania v podobe spätne vypočítaných geopotenciálnych kót pripájajúcich bodov v Bpv. Pri použití subvektora pseudomeraní sa aj geopotenciálne kóty pripájajúcich bodov stávajú predmetom odhadu. C_0 najmenšie zmeny týchto hodnôt zabezpečíme definovaním veľmi vysokých váh vo váhovej matici ($p_{CBpv} = 100$) oproti váham meraných parametrov ($p_{\Delta C} = 1/R$), kde R je dĺžka nivelačného oddielu v km. Tým okrem veľmi malých zmien vstupných geopotenciálnych kót dosiahneme aj ich vysokú vnútornú presnosť, t.j. ich stredná chyba bude minimálna avšak nie nulová, ako je tomu v prípade fixovania jediného bodu.

Ako už bolo viackrát vyššie spomenuté, systém Bpv vo svojej definícii nepozná pojem geopotenciálna kóta. Podstatou je však návrh moderného riešenia vyrovňovania ŠNS, preto boli pre ďalšiu analýzu a porovnanie s pôvodnými hodnotami odhadnuté geopotenciálne kóty prepočítané na normálne výšky podľa Molodenského spätne. Grafické znázornenie týchto rozdielov možno vidieť na obr. 5.



Obr.5 Rozdiely vypočítaných normálnych výšok podľa Molodenského H oproti pôvodným hodnotám H_0 (Majkráková, 2019)

5 ANALÝZA VARIANTOV VYROVNANIA V EVRS A BPV

5.1 Analýza výsledkov vyrovňovania v EVRS

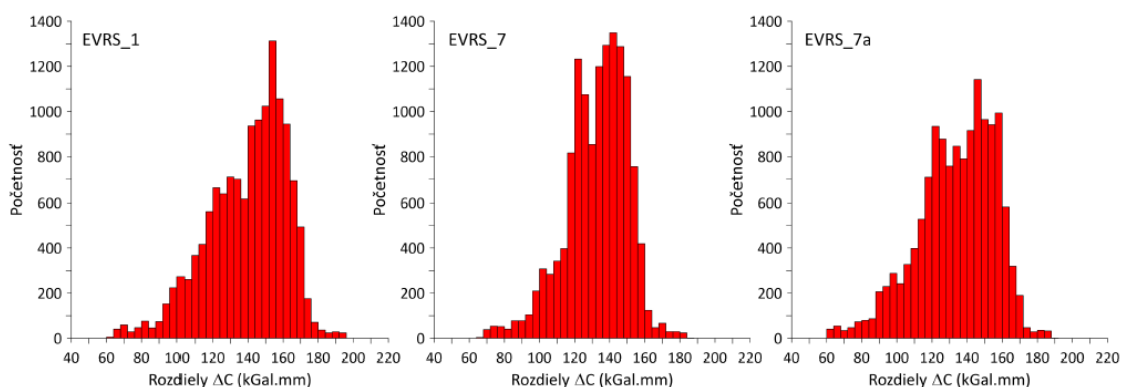
Výsledkom všetkých variantov vyrovňovania v systéme EVRS sú geopotenciálne kóty bodov 1. rádu ŠNS napojené na realizáciu EVRF2007 prostredníctvom jedného alebo viacerých bodov, čo znamená, že hodnoty výsledných geopotenciálnych kót sú vzťahované k hladine Severného mora a nulovej polohe referenčného mareografu NAP v Holandsku v slapovom systéme zero tide, t.j. sú v súlade s definíciou EVRS, realizáciou EVRF2007. Vyrovnanie bolo prevedené tromi spôsobmi: fixáciou ZNB V (EVRS_1), pridaním pseudomeraní v podobe geopotenciálnych kót pre 7 referenčných bodov rovnomerne rozložených po celej sieti (EVRS_7) a rovnako použitím pseudomeraní geopotenciálnych kót 7 bodov s uvážením ich stredných chýb z vyrovňovania EVRF2007 v podobe kovariančnej matice meraní (EVRS_7a). V tab.1 možno vidieť, že hodno-

ty prírastkov geopotenciálnych kót sú v rozmedzí od približne 53 kGal·mm do 188 kGal·mm, pričom stredná hodnota týchto prírastkov dosahuje 131,754 kGal·mm pre variant EVRS_1, 132,736 kGal·mm pre variant EVRS_7 a 133,964 kGal·mm pre variant s použitím kovariančnej matice meraní, EVRS_7a.

Tab.1 Štatistika rozdielov geopotenciálnych kót oproti hodnotám vypočítaným z platnej realizácie Bpv variantov vyrovnania v EVRS (EVRF2007)

Variant	EVRS_1 (kGal·mm)	EVRS_7 (kGal·mm)	EVRS_7a (kGal·mm)
Minimum	53,325	66,292	57,743
Maximum	187,682	186,389	188,168
Priemer	131,754	132,736	133,964
Rozsah	134,357	120,098	130,425

Tento posun je spôsobený rozdielom referenčných plôch systémov Bpv a EVRS, ako aj rozdielnym slapovým modelom v oboch systémoch, vzhľadom na to, že približné hodnoty odhadovaných parametrov pochádzajú z pôvodnej realizácie Bpv. Z týchto hodnôt je vidieť, že rozsah prírastkov v prípade variantu EVRS_7 dosahuje najmenšie hodnoty. Dôvodom je, že v tomto prípade sú pripájacie body rozložené rovnomerne po celom území, na rozdiel od prípadu EVRS_1, kde je použitý iba jeden bod v strede siete, teda nie sú fixované krajné časti územia. Ide o modifikáciu voľného riešenia siete. Vo všetkých troch prípadoch je však tendencia narastania prírastkov v smere západ-východ, z čoho možno usúdiť, že pôvodná sieť 1. rádu v Bpv je okrem posunu spôsobeného rozdielom v definíciách oboch systémov aj mierne naklonená veci EVRF2007. Porovnanie prírastkov vo všetkých troch metódach vyrovnania je znázornené aj prostredníctvom histogramov na obr. 6.



Obr.6 Histogramy rozdielov geopotenciálnych kót oproti hodnotám vypočítaným z platnej realizácie Bpv variantov vyrovnania v EVRS (EVRF2007) (Majkráková, 2019)

5.2 Analýza výsledkov vyrovnania v Bpv

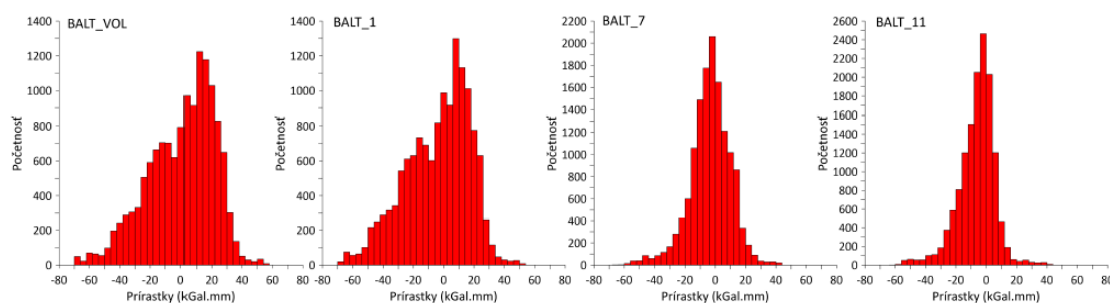
Výsledkom vyrovnania nivelačnej siete v Bpv vo všetkých variantoch sú geopotenciálne kóty bodov 1. rádu ŠNS v mean tide slapovom systéme. Pre názornejšie porovnanie výsledkov boli geopotenciálne kóty prepočítané do hodnôt normálnych výšok podľa Molodenského pomocou normálneho tiažového zrýchlenia vypočítaného Helmertovým vzťahom. Z obr. 5 a tab. 2 je vidieť, že prírastky k referenčným výškam vypočítané voľným vyrovnaním (BALT_VOL) dosahujú záporné hodnoty od -8 cm prevažne na západnom Slovensku a v smere na východ postupne narastajú až prechádzajú do kladných hodnôt, maximálne 6 cm. Tu možno vidieť mierny náklon súčasnej realizácie Bpv oproti meraným hodnotám v smere západ-východ. Podobne je to aj v prípade fixovania celého vyrovnania na jeden centrálny bod vo variante BALT_1, kde dosahujú prírastky rovnaký rozsah. Tento variant je podobný tým, že rovnako nedeformuje sieť jej priblížením k pôvodnej realizácii fixovaním väčšieho počtu bodov. Zvyšovaním počtu „fixovaných“ bodov sa vyrovnaná sieť väčšmi približuje pôvodnej realizácii, z ktorej boli použité refe-

renčné výšky pripájacích bodov. To možno vidieť na obr. 5 a v tab.2 pre varianty BALT_7 a BALT_11, kde bolo použitých 7, resp. 11 referenčných bodov.

Tab.2 Štatistika prírastkov geopotenciálnych kót a rozdielov vypočítaných normálnych výšok H oproti pôvodným hodnotám H_0 vo variantoch vyrovnania v Bpv

Variant	BALT_VOL (kGal·mm / mm)	BALT_1 (kGal·mm / mm)	BALT_7 (kGal·mm / mm)	BALT_11 (kGal·mm / mm)
Minimum	-78,429 / -79,959	-83,010 / -84,630	-64,956 / -66,221	-60,731 / -61,913
Maximum	55,929 / 57,021	51,347 / 52,351	43,626 / 44,481	42,536 / 43,369
Priemer	0,000 / 0,000	-4,581 / -4,671	-3,385 / -3,451	-5,996 / -6,113
Rozsah	134,357 / 136,980	134,357 / 136,980	108,582 / 110,702	103,267 / 105,283

Rozsah prírastkov je od -6 cm do 4 cm pre variant BALT_7 a podobný, mierne nižší rozsah, pre variant BALT_11. Porovnanie prírastkov geopotenciálnych kót v jednotlivých variantoch tiež zobrazujú histogramy na obr.7. Tu možno vidieť, že najväčšiu koncentráciu prírastkov okolo strednej hodnoty má variant BALT_11 a najväčší rozptyl je v prípade voľného vyrovnania siete BALT_VOL. Excentricita histogramov v prípadoch fixácie na jeden alebo viac bodov svedčí o systematickej chybe pôvodného vyrovnania nivelačnej siete. Táto systematicka sa neprejavila iba v prípade voľného vyrovnania, variant BALT_VOL, čo môže byť spôsobené už spomínaným náklonom doterajšej realizácie SNS v smere západ-východ, na ktorú bolo nové vyrovnanie pripojené. Tento systematický posun je preto najvýraznejší pri použití 11 referenčných bodov vo variante BALT_11.

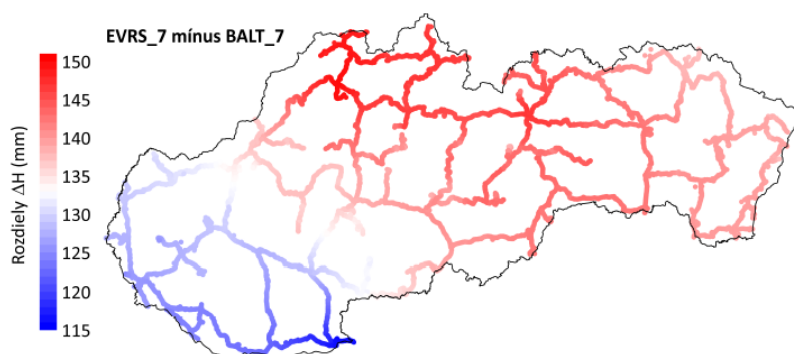


Obr.7 Histogramy odhadnutých prírastkov geopotenciálnych kót Δc vo variantoch výpočtov v Bpv (Majkráková, 2019)

Z uvedených variantov vyrovnania v Bpv možno zhodnotiť výhodu voľného vyrovnania siete BALT_VOL, ktoré nie je ovplyvnené fixovaním siete na výšky z pôvodného vyrovnania. Prírastky k pôvodným výškam na centimetrovej úrovni dávajú obraz o tom, ako je pôvodná realizácia siete v Bpv pochádzajúca zo súborného vyrovnania nivelačných sietí bývalých socialistických krajín „deformovaná“ oproti súčasným reálnym meraniam. Rovnakým príkladom je fixovanie celej siete na jeden bod, v prípade variantu BALT_1. V okolí fixovaného bodu sú stredné chyby z vyrovnania minimálne, avšak zväčšujúce sa k okrajom územia. V prípade voľného vyrovnania sú stredné chyby rovnomerne rozdelené po celej sieti a majú menší rozsah. Existuje veľa spôsobov voľby referenčných bodov, ktoré budú vhodne rozložené po celom území Slovenska. Je však dôležité zvoliť body situované v stabilných lokalitách, mimo frekvencovaných komunikácií, stabilizovaných hĺbkovou stabilizáciou, prípadne čapovou nivelačnou značkou na pevných murovaných objektoch, akými sú napríklad kostoly. V tomto experimente boli použité varianty fixácie na 7 referenčných bodov a 11 referenčných bodov. Prírastky sa zmenšili oproti voľnému vyrovnaniu, resp. vyrovnaniu na jeden bod BALT_1, avšak zachoval sa pôvodný náklon siete v smere západ-východ z predchádzajúceho vyrovnania. Výhodou variantu BALT_11 je použitie všetkých ZNB, ktoré boli rovnomerne rozmiestnené po celom území Slovenska a situované zväčša v pokojných lokalitách stabilizované na pevnom (najčastejšie skalnom) podloží, a ktoré boli historicky budované na udržiavanie pevného základu nivelačnej siete na našom území.

5.3 Vzájomné porovnanie výsledkov vyrovnania v Bpv a EVRS

Rozdiely medzi vyrovnaniami v EVRS a Bpv boli skúmané iba pri spôsoboch, kde bola použitá rovnaká množina pripájacích bodov v oboch systémoch. Kvôli názornosti bolo potrebné prepočítať hodnoty geopotenciálnych kôt v systéme EVRS na normálne výšky podľa Molodenského, a to pomocou strednej hodnoty normálneho tiažového zrýchlenia medzi elipsoidom GRS 80 a teluroidom. Porovnaním normálnych výšok z vyrovnania fixovaním na jeden bod spôsobmi EVRS_1 a BALT_1 bol zistený konštantný rozdiel 137, 551 mm, ktorý reprezentuje rozdiel v referenčnej normálnej výške podľa Molodenského pripájacieho bodu ZNB V v oboch systémoch, a ktorý je spôsobený rozdielom výšok mareografov NAP a Kronšadt, rozdielom slapových modelov a rozdielnym normálnym tiažovým zrýchlením použitým pri prepočte na normálnu výšku. Porovnanie normálnych výšok podľa Molodenského spôsobov EVRS_7 mínus BALT_7 možno vidieť na obr.8. Rozdiely sú v rozmedzí od 115, 505 mm do 149, 333 mm s priemernou hodnotou 137, 332 mm, ktorá reprezentuje priemerný rozdiel normálnych výšok siedmich pripájacích bodov v oboch výškových systémoch spôsobený rozdielom výšok mareografov NAP a Kronšadt, vplyvom rozdielných slapových modelov a vplyvom výpočtu normálneho tiažového zrýchlenia pri prepočte geopotenciálnych kôt na normálne výšky. Na obrázku možno pozorovať spomínaný západo-východný trend naklonenia vyrovnania v Bpv oproti EVRF2007.



Obr.8 Porovnanie normálnych výšok podľa Molodenského prístupov EVRS_7 a BALT_7 v mm (Majkráková, 2019)

6 TESTOVANIE NOVÝCH REALIZÁCIÍ

Jednou z možností testovania výpočtu novej realizácie je využitie tzv. GNSS nivelácie, kde na základe nameranej presnej elipsoidickej výšky (h) a znalosti výšky kvázigeoidu nad referenčným elipsoidom (ζ) vieme určiť normálu výšku (H) podľa vzťahu

$$H = h - \zeta .$$

V súčasnosti je v Rezortnej transformačnej službe používaný kvázigeoid s označením Digitálny výškový referenčný model (ďalej DVRM05), ktorý slúži na prevod elipsoidickej výšky v ETRS89 (ETRF2000) na normálnu výšku v Bpv. Okrem kvázigeoidu DVRM05 bol na testovanie použitý aj novší model kvázigeoidu vypočítaný na Katedre geodetických základov STU v Bratislave v roku 2016 (ďalej KGZA). Testovacie množiny na otestovanie nových realizácií tvorili body Štátnej priestorovej siete (ďalej ŠPS) triedy A (34 bodov) a C (344 bodov), ktoré nevstupovali do výpočtu DVRM05 a pre ktoré poznáme presné elipsoidické súradnice v ETRS89 (ETRF2000) a presné výšky v Bpv z Informačného systému geodetických základov. V tab. 3 sa nachádza štatistika rozdielov normálnych výšok a štandardných neistôt pre vybranú množinu bodov ŠPS triedy A. Zelenou farbou je zvýraznená najmenšia štandardná odchýlka pri využití kombinácie variantu EVRS_7 a kvázigeoidu KGZA z roku 2016 a červenou farbou štandardná odchýlka súčasného Bpv a súčasného kvázigeoidu DVRM05. V tab.4 sa nachádza štatistika rozdielov normálnych výšok a štandardných neistôt pre vybranú množinu bodov ŠPS triedy C.

Tab.3 Štatistika rozdielov normálnych výšok a štandardných neistôt (STD) s využitím GNSS nivelácie na testovacej množine tvorenej bodmi ŠPS triedy A

Variant	$H_{Bpv} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{BALT_7} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{EVRS_7} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{Bpv} - H_{KGZA}$ (mm)	$H_{BALT_7} - H_{KGZA}$ (mm)	$H_{EVRS_7} - H_{KGZA}$ (mm)
Minimum	- 35,02	- 24,21	- 163,01	495,60	524,73	393,19
Maximum	56,98	41,26	- 92,93	586,10	576,23	437,47
Priemer	4,66	7,66	- 130,58	543,77	551,07	413,57
STD	18,35	16,90	17,43	18,48	13,48	12,78

Tab.4 Štatistika rozdielov normálnych výšok a štandardných neistôt (STD) s využitím GNSS nivelácie na testovacej množine tvorenej bodmi ŠPS triedy C

Variant	$H_{Bpv} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{BALT_7} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{EVRS_7} - H_{DVRM05}$ (mm)	$H_{Bpv} - H_{KGZA}$ (mm)	$H_{BALT_7} - H_{KGZA}$ (mm)	$H_{EVRS_7} - H_{KGZA}$ (mm)
Minimum	- 98.79	- 99.43	- 236.06	456.70	457.60	313.76
Maximum	68.41	71.02	- 69.23	595.25	602.67	466.19
Priemer	- 1.34	- 0.00	- 137.52	541.04	542.39	404.86
STD	23.08	25.69	26.13	19.70	18.93	20.58

K tabuľkám č.3 a 4 je potrebné dodať, že štandardná neistota určenia elipsoidickej výšky bodov ŠPS (najmä triedy C) dosahuje podľa Smernice na spravovanie geodetických základov (Smernica ÚGKK SR, 2006) hodnotu maximálne 25 mm, čo je na hrane ich použitia na testovanie nových realizácií prostredníctvom GNSS nivelácie. Pre body ŠPS triedy A je odhadnutá štandardná neistota určenia elipsoidickej výšky na úrovni do 1 cm (Droščák, 2011).

7 ZHRNUTIE VÝSLEDKOV

V tejto kapitole sa pokúsime stručne zhodnotiť dosiahnuté výsledky dvoch základných variantov vyrovnania a výhody, resp. nevýhody vypočítaných nových realizácií.

Nevýhodami novej realizácie Bpv sú:

- došlo by k rozporu s definíciou baltského výškového systému,
 - o pôvodný je definovaný na Krasovskom elipsoide, nový by bol definovaný na GRS80 elipsoide,
 - o transformácia do EVRS by nebola dostatočne presná,
 - o na výpočty by boli použité približné vzťahy,
- zmeny výšok by dosahovali hodnoty ± 6 cm (kladné aj záporné hodnoty) => nevýhoda pre prax, nakoľko by bola možnosť zámény s pôvodným Bpv,
- bola by nutná zmena označenia Bpv a bolo by potrebné zaviesť používanie nového označenia realizácie do legislatívy,
- naďalej by bol používaný zastaraný prístup výpočtu výšok,
- dochádzalo by k nepresnostiam pri prevádzaní na geopotenciálne kóty,
- dopad na celú spoločnosť => nutnú koordinácia pri implementácii.

Výhodami novej realizácie Bpv sú:

- systém je známy a zaužívaný v praxi,
- jednoduchšia úprava legislatívy – bolo by potrebné doplniť novú realizáciu.

Výhodami zavedenia novej národnej realizácie systému EVRS sú:

- moderný prístup k výpočtu normálnych výšok,
- jednoznačnosť výpočtu nezávislá na trase nivelácie,
- jednoduchá aktualizácia výšok aj pri zmene rámca EVRS,
- známa presnosť geopotenciálnych kót,
- transformácia na normálnu výšku použitím γ_0 pre elipsoid GRS80,
- slapový systém v súlade s rezolúciami IAG,
- korektné napojenie ŠNS k EVRS,

- zmeny výšok oproti súčasným v Bpv v kladnom smere v rozmedzí + 11 až + 15 cm => viditeľná zmena hodnôt – výhoda pre prax,
- konzistentnosť s novým kvázigeoidom na úrovni 12,8 mm.

Nevýhodami novej realizácia systému EVRS sú:

- systém EVRS je málo známy v praxi,
- potrebná úprava legislatívy pre všetky odvetvia,
- zmeny spôsobia dopad na celú spoločnosť – nutná veľmi dôsledná príprava a koordinácia pri implementácii s dostatočnou časovou rezervou.

8 ZÁVER

Zavedenie novej realizácie výškového systému resp. zmena výškového systému na našom území je či už z vedeckého alebo z praktického hľadiska veľmi potrebná. Príspevok poukázal na výhody a nevýhody oboch možných riešení a poukázal na problémy súčasnej platnej realizácie Bpv, ktorej počiatok siaha až do roku 1957. Aj na základe týchto skutočností sa rezortu ÚGKK SR rozhodol dať zelenú prechodu na nový výškový systém EVRS na Slovensku, aby došlo k modernizácii a spresneniu výškových základov Slovenska. Jednoznačnosť a presná definícia systému EVRS sa s výhodou uplatní vo všetkých odvetviach spoločnosti a práca s novými výškami sa výrazne zjednoduší nielen pri ich používaní, ale aj udržiavaní. Zavedením nového výškového systému spolu so zavedením nového kvázigeoidu sa zlepší aj presnosť transformácie elipsoidickej výšky na normálnu výšku na hodnotu takmer 1 cm.

LITERATÚRA

- Abelovič, J., Mičuda, J., Mitáš, J., a Weigel, J. (1990). Meranie v geodetických sieťach. Alfa, Bratislava. ISBN 80-05-00548-2.
- Bublavý, J., Droščák, B., a Polláková, M. (2018). Spresňovanie polôh bodov Štátnej nivelačnej siete na území SR. In GNSS seminár, Brno. ISBN 978-80-86433-67-7
- Bublavý, J., Majkráková, M., a Droščák, B. (2017). Stav tvorby novej národnej realizácie výškového systému Bpv. In Zborník príspevkov z konferencie: Geodézia, kartografia a geoinformatika 2017, Demänovská Dolina.
- Droščák, B. (2011). Štátna priestorová sieť – Výpočet súradníc a charakteristík presnosti bodov štátnej priestorovej siete v systéme ETRS89 a referenčnom rámci ETRF2000. Technická správa GKÚ Bratislava, Apríl - júl 2011. (interné)
- Grand, T., Šefara, J., Pašteka, R., Bielik, M., a Daniel, S. (2001). Atlas geofyzikálnych máp a profilov. Časť D1: Gravimetria. Záverečná správa, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- Hudec, M. a Ferienc, D. (2007). Štátna nivelačná sieť. In Geodetické siete a priestorové informácie, Podbanské.
- Klobušiak, M. a Ferienc, D. (1991 - 2001). Výškové lokálne siete a systém na spracovanie nameraných údajov VLS. MaKlo Analýza a softvér.
- Klobušiak, M., Leitmannová, K., a Ferienc, D. (2005). Realizácia záväzných transformácií národných referenčných súradnicových a výškového systému do Európskeho terestrického referenčného systému 1989. In Geodetické siete a priestorové informácie. Podbanské.
- Majkráková, M. (2019). Dizertačná práca: Určovanie fyzikálnych výšok na území Slovenska, Bratislava, SvF-13417-49383.
- Marek, J., Nejedlý, A., a Priam, . (2006). Geodetické základy. Historický prehľad. Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Bratislava. ISBN 80-231-0357-1.
- Marušiak, I., Mikuška, J., Papco, J., Zahorec, P., a Pašteka, R. (2015). CBA2G_SK (Complete Bouguer Anomaly To Gravity) program na výpočet tiažového zrýchlenia z úplnej Bouguerovej anomálie. G-trend, s.r.o.
- Petit, G. a Lutzum, G. (2010). IERS conventions 2010. Technical note no. 36, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- Smernica ÚGKK SR (2006). Smernice na spravovanie geodetických základov. S 74.20.73.11.00. Úrad geodézie, kartografie a katastra. Bratislava 2006.
- Zahorec, P., Pašteka, R., Mikuška, J., Szalaiová, V., Papco, J., Kušnirák, D., Pánisová, J., Krajnák, M., Vajda, P., Bielik, M., a Marušiak, I. (2017b). Chapter 7 – National Gravimetric Database of the Slovak Republic. In Pašteka, R., Mikuška, J., a Meurers, B., editors, Understanding the Bouguer Anomaly, pages 113 – 125. Elsevier.