

Stav tvorby novej národnej realizácie výškového systému Bpv

J. Bublavý

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

M. Majkraková

Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, Katedra Geodetických základov, Stavebná fakulta STU V Bratislave, Radlinského 11., miroslava.majkrakova@skgeodesy.sk

B. Droščák

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

ABSTRAKT: Zrod v súčasnosti stále na Slovensku používaného národného výškového systému označovaného ako Balt po vyrovnaní (Bpv) siaha až do roku 1957, kedy došlo k súbornému vyrovnaní nivelačných sietí bývalých štátov socialistického bloku a postupne aj k výpočtu národnej realizácie Bpv. Za účelom využitia opakovaných nivelačných meraní a uplatnenia najnovších poznatkov a možností eliminácie chýb došlo v minulosti k viacerým pokusom o vykonanie nového vyrovnaní celej siete a výpočet nových výšok. Všetky snahy ale vždy narazili na rôzne úskalia tej ktorej doby, čoho výsledkom bolo ich nenasadenie do života. Dnešná prax vyžaduje určovanie výšok nielen prostredníctvom bodov ŠNS, ale aj prostredníctvom GNSS v kombinácii s kvázigeoidom. Pracovníci GKÚ Bratislava ale zistili, že limitáciou práve na zvýšenie presnosti využívania tejto kombinácie je súčasný stav realizácie Bpv. Rovnako tak je možné v súčasnosti z nivelačných meraní eliminovať aj chyby, ktoré v minulosti kvôli počítačskej náročnosti odstraňované neboli, a taktiež sú k dispozícii nové kompletne merania všetkých nivelačných ťahov, ktoré boli vykonané pracovníkmi GKÚ v posledných dvoch dekádach. Tieto fakty viedli rezort ÚGKK SR k rozhodnutiu vykonať výpočet novej realizácie výškového systému Bpv, pričom opis súčasného stavu jej tvorby je predmetom tohto príspevku.

1 ÚVOD

Základ každého výškového merania metódou nivelácie (pozn. presného určovania nadmorskej výšky) vychádza z princípu určenia relatívneho prevýšenia, resp. sledu prevýšení, ktoré sú následne naviazané na výškový referenčný systém. Na území Slovenska sa v minulosti používalo viacero výškových systémov. Najdlhšie používaným výškovým systémom bol Jadranský výškový systém, ktorý sa u nás začal používať v 80-tych rokoch 19. storočia. V roku 1953 došlo k zmene a na účely vytvorenia topografických máp v mierke 1:25 000 sa začal vyžadovať nový jednotný výškový systém, ktorým bol Baltský výškový systém B 68, ktorý vznikol jednoduchým odčítaním výšky 0,68 m od výšok uvedených v Jadranskom výškovom systéme. Tento systém bol následne spresnený novým styčným meraním a konštanta bola zmenená na 0,46 m. Nový systém dostal označenie B 46. V roku 1957 sa pristúpilo k súbornému vyrovnaní vtedajších európskych socialistických štátov a celá Československá jednotná nivelačná sieť (ďalej ČSJNS) bola následne prevedená do Baltského výškového systému po vyrovnaní (ďalej Bpv), t. j. do systému normálnych výšok podľa Molodenského, čím získala vedeckú úroveň. (Hudec a Ferienc, 2007).

Po rozdelení Československa vznikla na Slovensku Štátna nivelačná sieť (ďalej ŠNS), ktorej podklad tvorili body prevzaté z ČSJNS, ale konfigurácia rádov sa zmenila. V roku 1996 sa pristúpilo k jej novému premeraniu. Sieť ťahov 1. rádu ŠNS bola zmeraná do roku 2002 a od roku 2002 sa pristúpilo k meraniu jej 2. rádov a ku kontrolným meraniam 1. rádu. V roku 2007 bolo otestovaných niekoľko variantov vyrovnaní siete 1. rádu ŠNS so zámerom nasadenia novej národnej realizácie ŠNS (Hudec a Ferienc, 2007). K nasadeniu tejto realizácie sa počítalo až po

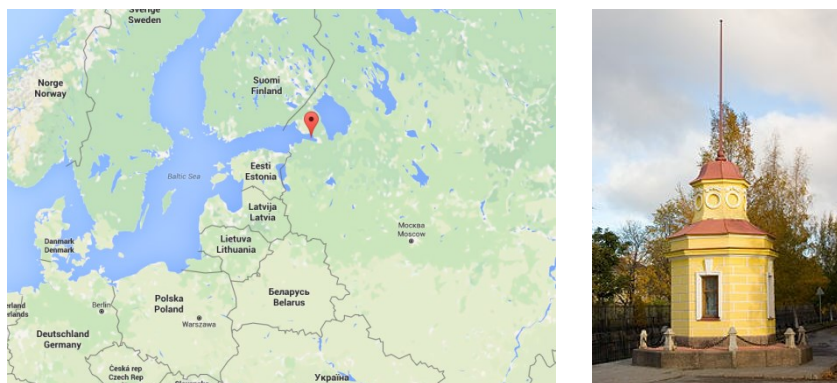
domeraní časti bodov 2. rádu ŠNS s kombináciou so staršími meraniami vykonanými v rámci ČSJNS.

V súčasnosti platné a poskytované normálne výšky bodov ŠNS vychádzajú z výšok pôvodného vyrovnania z roku 1957, ktoré sa prepočítavajú novými meraniami, čím však aj na základe striktných podmienok dochádza k určitej deformácii a nehomogenite siete ako celku. Preto si GKÚ dal ako jednu z hlavných priorit na roky 2016-2020 výpočet úplne novej realizácie výškového systému Slovenska, v ktorej budú zakomponované najnovšie nivelačné merania, a v ktorej budú uplatnené nové postupy výpočtu referenčných normálnych výšok, presnejšie polohy pre zakomponovanie vplyvu tiažového poľa Zeme a ďalšie najnovšie poznatky získané z národných a medzinárodných odborných fór týkajúcich sa budovania moderných výškových referenčných systémov a ich realizácií.

2 HISTÓRIA BALTSKÉHO VÝŠKOVÉHO SYSTÉMU NA ÚZEMÍ SR

2.1 Československá jednotná nivelačná sieť - ČSJNS

V r. 1945 sa začala budovať ČSJNS v Jadranskom výškovom systéme, ktorý však nebol použiteľný pre vedecké účely, keďže používal normálne ortometrické výšky. Sieť bodov ČSJNS pozostávala z ťahov I. až III. rádu. V r. 1957 nastalo súborné vyrovnania nivelačných sietí bývalých štátov socialistického bloku, na základe čoho bol I. rád ČSJNS prevedený do Baltského výškového systému – po vyrovnaní (Bpv). Následne do r. 1962 sa previedol aj II. a III. rád ČSJNS. Baltský výškový systém používa normálne výšky podľa Molodenského a východiskovým bodom je nula stupnice morského vodočtu umiestneného na brehu Baltského mora vo Fínskom zálive v meste Kronštadt (obr. 1).



Obr. 1. Morský vodočet Kronštadt – počiatok Baltského výškového systému.

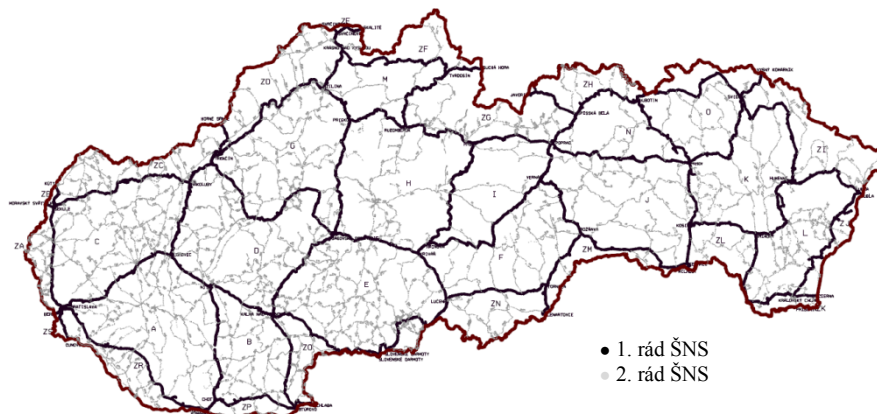
Obdobie rokov 1961-1978 bolo venované modernizácií ČSJNS. Začali sa práce na zhust'ovaní, skvalitňovaní stabilizácií bodov a nových meraniach. Vznikla sieť Opakovaných nivelácií (I. a II. rád) výberom z ČSJNS, ktorá primárne slúžila na posúdenie pohybov zemskej kôry vo vertikálnom smere. Zameranie a následná interpretácia výsledkov sa označila ako 1. a 2. opakovaná nivelácia (ďalej ON). 1. ON sa datuje do obdobia rokov 1961 – 1972 (nepokrýva cele územie SR) a 2.ON do obdobia rokov 1973 – 1978. Okrem sietí ON sa v danom období budovali aj tzv. Zvláštne nivelačné siete (ďalej ZNS) a siete pre atómové elektrárne. Tieto siete slúžili na sledovanie vertikálnych pohybov vybraných lokalít, či už seizmicky aktívnych alebo na sledovanie stability pre výstavbu objektov.

Údaje z 2. ON boli začlenené do moskovského súborného vyrovnania a výsledkom bola nová realizácia Bpv83. Porovnanie realizácií Bpv57 a Bpv83 sa vykonalo na 35 uzlových bodoch (ďalej UB) a koncových bodoch (ďalej KB), pričom priemerný rozdiel dosiahol hodnotu -45,9 mm (pozn. rozmedzie rozdielov bolo od -3,1 mm do -77,1 mm). Pre podrobnejšie porovnanie bolo vykonané vyrovnanie, ktoré obsahovalo 146 bodov (ZNB, UB, PB II. rádu, vybrané PB III. rádu), kde priemerný rozdiel dosiahol hodnotu -48.5 mm. Realizácia Bpv83 však do praxe nebola nikdy nasadená. (Marek a kol., 2006)

2.1 Štátna nivelačná sieť - ŠNS

Po rozdelení Československa (rok 1993) bolo potrebné zmodernizovať národný výškový systém na Slovensku. V rámci plnenia úloh z oblasti geodetických základov bola postupne vytvorená nová ŠNS, ktorá pozostávala z 1. a 2. rádu bodov (obr.2). Trasy ťahov 1. rádu ŠNS boli zvolené tak, že viedli po trasách I. a II. rádu ON a po trasách I. rádu ČSJNS. Zo zvyšných ťahov bývalej ČSJNS bol vytvorený 2. rád bodov ŠNS.

V prvej etape bol zameraný 1. rád bodov ŠNS, ktorý pozostával zo 68 nivelačných ťahov v dĺžke 3787 km a 11 035 bodov. Meranie bolo vykonané v časovom období 1996 – 2002. V roku 2007 bolo vykonané súborné vyrovnanie zameraných ťahov 1. rádu ŠNS, pričom bolo otestovaných viacero variantov. Ako najvhodnejší variant sa podľa pracovníkov GKÚ, ktorí vyrovnávanie vykonávali, pozdával variant s použitím iba jedného referenčného bodu približne v strede Slovenska (ZNB-V - Pitelová). Tento variant zabezpečil, že nové merania neboli deformované prípadným napasovaním meraných prevýšení na viacero referenčných bodov s pôvodnými výškami (Hudec a Ferienc, 2007).



Obr. 2. Štátna nivelačná sieť.

Druhá etapa pozostávala zo zamerania bodov 2. rádu ŠNS, ktoré sa začalo vykonávať od roku 2003. V rámci zamerania 2. rádu bodov ŠNS sa vykonávali aj kontrolné meranie na bodoch 1. rádu, ktoré slúžili na overenie pripájacieho bodu 2. rádu ŠNS. Súborné vyrovnanie 2. rádu sa vykonávalo v rámci jednotlivých oblastí 1. rádu, do ktorého boli zakomponované nové merania, ktoré boli doplnené pôvodnými meraniami z ČSJNS. Po ukončení prác sa novo vypočítané výšky plánovali nasadiť a vy publikovať.

Súbežne s tvorbou novej realizácie bolo potrebné naďalej poskytovať súčasné výšky jednotlivých bodov v stále platnej národnej realizácii výškového systému Bpv z roku 1957. Každý rok sa preto výšky určené z nových meraní porovnali s pôvodnými, a ak rozdiely presiahli dovolenú odchýlku, pristúpilo sa k novému ťahovému prevyrovnaniu daného úseku a k nasadeniu nových výšok. Týmto spôsobom sa postupuje dodnes, čo zapríčiňuje vyššie spomenutú nehomogenitu siete.

3 NOVÁ REALIZÁCIA NÁRODNÉHO VÝŠKOVÉHO SYSTÉMU

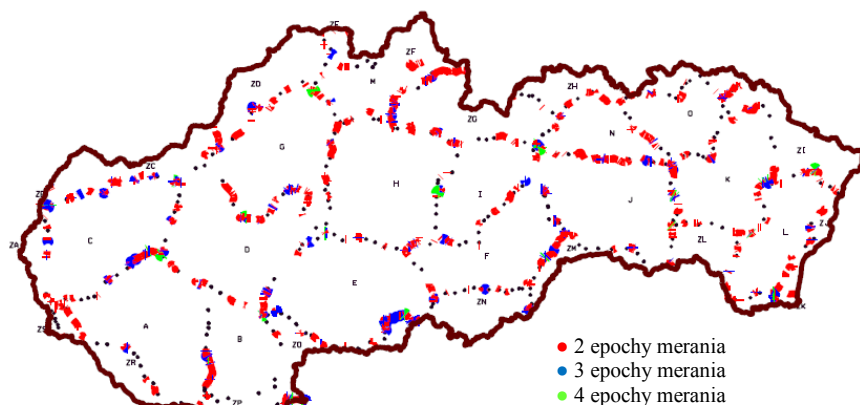
3.1 Nivelačné merania na bodoch 1. rádu ŠNS

Kompletné zameranie bodov 1. rádu ŠNS prebehlo v rokoch 1996 – 2002. Na meranie boli použité digitálne nivelačné prístroje Wild (Leica) NA3000, NA3003 a Zeiss DiNi11. Od roku 2011 prešli meračské skupiny GKÚ na prístrojové vybavenie Leica DNA03. Kódové nivelačné laty sa každý rok, resp. dva zasielali na kalibráciu do Mníchovskej technickej univerzity na určenie mierkového koeficientu a koeficientu rozťažnosti invarového pásu vplyvom teploty. Na merania sa používala modifikovaná metóda Veľmi presnej nivelácie (v niektorých predchádzajúcich príspevkoch sa používal termín Presná digitálna nivelácia) s kritériom presnosti merania tam a späť $\rho=1,5\cdot\sqrt{R}$. Merané údaje z nivelačných prístrojov sa priamo zaznamenávali do pre-

nosného počítača (Targa Traveller, Trimble Recon). Údaje sa následne spracovali softvérom VNS (Klobušiak, 2002). Na merané prevýšenia boli zavádzané nasledovné opravy:

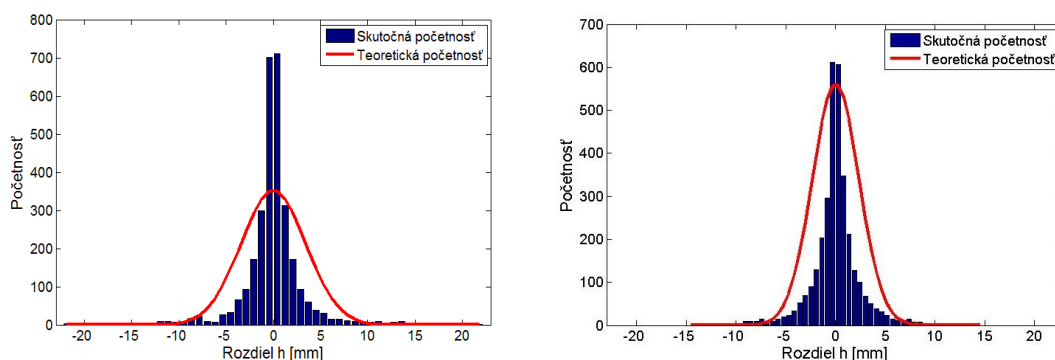
- oprava z excentrického postavenia prístroja,
- oprava zo zakrivenia zemského povrchu a refrakcie,
- oprava z rozťažnosti invarového pásu vplyvom teploty a z mierkového faktoru nivelačnej laty,
- astronomická korekcia (vplyv oscilácie tiažnice).

V rámci druhej etapy, ako bolo spomenuté aj vyššie, boli vykonávané aj kontrolné merania a dodatky na bodoch 1. rádu ŠNS, čo k začiatku roka 2017 predstavovalo 3507 duplicitne zmeraných prevýšení, ktoré tvoria spolu 1180 km nivelovaných úsekov. Tu je potrebné poznamenať, že sa jedná o duplicitne merané prevýšenia, ktoré prešli kontrolou porovnania ich rozdielov voči empiricky určenej krajnej odchýlke. Na obr.3 sú zobrazené všetky tieto duplicitne merané nivelačné úseky.



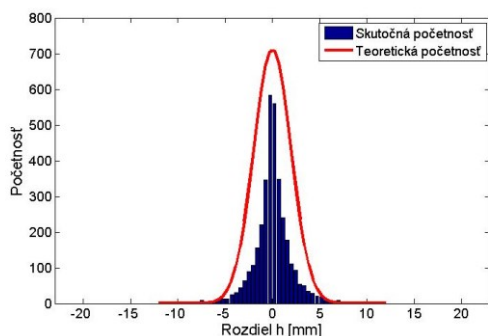
Obr. 3. Kontrolné merania a dodatky 1. rádu ŠNS k 1.1.2017.

Spomenutá krajná odchýlka opakovanej nivelácie pre body nivelačného oddielu 1. rádu ŠNS je určená vzťahom $\rho = 2,0 + 1,5 \cdot \sqrt{R}$ a slúži na určenie kritických prevýšení, pre ktoré je potrebné urobiť podrobnú analýzu a určiť, ktoré z prevýšení sa ponechajú do vyrovnania. Prvýkrát sa určila hodnota krajnej odchýlky v roku 2014 porovnaním duplicitných prevýšení z obdobia rokov 1996 - 2013 (3418 rozdielov prevýšení) a dosiahla hodnotu $\rho_{\max} = 20,9$ mm. Z toho 50% rozdielov prevýšení, ktoré presahovali 3 - násobok ρ_{\max} sa nachádzalo v nivelačnom ťahu EZN z oblasti Veľký Krtíš. Následne bol ťah EZN vylúčený z tejto analýzy a stanovila sa nová hodnota $\rho_{\max} = 7,6$ mm (3051 rozdielov prevýšení). Po rozanalýzovaní kritických prevýšení (presahujúcich 3 - násobok $\rho_{\max} = 32$ rozdielov) sa určila krajná odchýlka $\rho_{\max} = 3,4$ mm. Obdobným spôsobom sa pokračovalo aj pri doplnení meraných prevýšení z roku 2014 a zohľadnení kritických oblastí – väčšinou sa jednalo o o nivelačné ťahy z oblastí poddolovaných území, poprípade o nivelačné ťahy v blízkosti vodných tokov. Začiatkom roku 2015 sa takto stanovila krajná odchýlka $\rho_{\max} = 2,3$ mm. Histogramy rozdielov opakovanej nivelácie a teoretická hodnota pravdepodobnosti sa nachádza na obr. 4.



Obr. 4. Histogram početnosti opakovanej nivelácie $\rho_{\max} = 3,4$ mm (vľavo) a $\rho_{\max} = 2,3$ mm (vpravo).

Meračské práce v roku 2015 boli určené na domeranie bodov 2. rádu ŠNS meraných ešte pred rokom 1987 (viď. kapitola 3.2) a rok 2016 sa niesol v znamení premerania bodov 1. rádu ŠNS v oblastiach s prekročenými krajnými odchýlkami. Pod týmto rozumieme úseky, pri ktorých nastal problém v jednoznačnosti ponechávajúceho merania, poprípade oblasti, kde sa v časovom horizonte (od r. 1950) výrazne menili výšky. Po zaradení uvedených meraných prevýšení do analýzy dosiahla krajná odchýlka opakovanej nivelácie hodnotu $\rho_{\max} = 2,0$ mm, ktorá bola vypočítaná z 3507 rozdielov prevýšení (obr. 5). Pri uplatnení trojsigmového pravidla uvedenú krajnú odchýlku spĺňa 98,3 % rozdielov prevýšení.

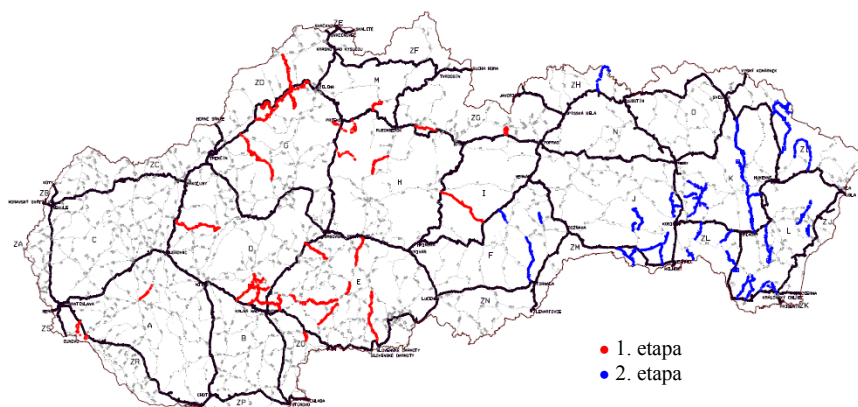


Obr. 5. Histogram početnosti opakovanej nivelácie $\rho_{\max} = 2,0$ mm.

Pre úplnosť dodávame, že v súčasnosti tvorí 1. rád ŠNS 11048 bodov, do ktorého sú započítané aj blízke nivelované body iných špecializovaných sietí (ŠPS, SGS).

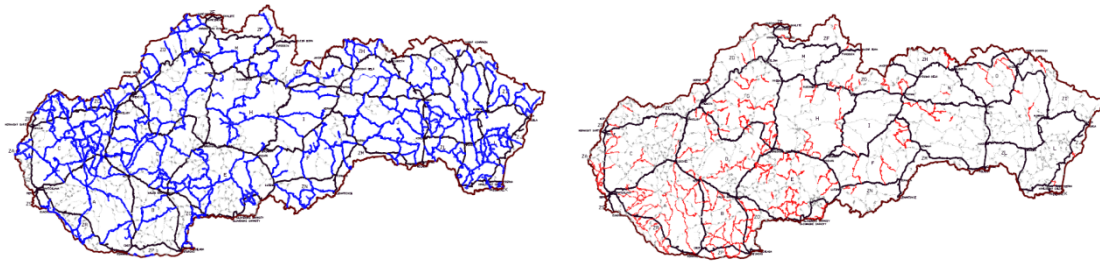
3.2 Niveláčny merania bodov 2. rádu ŠNS

Nivelačná sieť bodov 2. rádu pozostáva z 878 nivelačných ťahov, t.j. 9590 km, čo tvorí 25671 bodov. Nové meranie bodov 2. rádu ŠNS sa začalo vykonávať od r. 2003, čo predstavovalo, že k 1.1.2014 bolo nanovo zmeraných približne 68% všetkých bodov, t.j. 6521 km. Technológia merania bola obdobná ako pri bodoch 1. rádu ŠNS, avšak s voľnejším kritériom presnosti merania tam a späť ($\rho = 2,25 \cdot \sqrt{R}$). V tej dobe sa výkon meračských prác pohyboval okolo 560 km ročne, čo tvorilo približne 450 km nových meraní a 110 km kontrolných. Štatisticky by to znamenalo, že na kompletne nové zameranie celého 2. rádu by bolo potrebných ďalších 7 rokov pri danom počte meračských skupín. Z uvedeného dôvodu bolo rozhodnuté, že sa do vyrovnania prevezmú aj najnovšie merania z pôvodnej ČSJNS, ale nie staršie ako rok 1987. Staršie merania ako rok 1987 boli preto domerané v rámci rokov 2014 a 2015 – 1. etapa 580 km (r. 2014) a 2. etapa 570 km (r. 2015). Grafické znázornenie týchto etáp merania sa nachádza na obr. 6.



Obr. 6. Niveláčny merania vykonané GKÚ v rokoch 2014 a 2015.

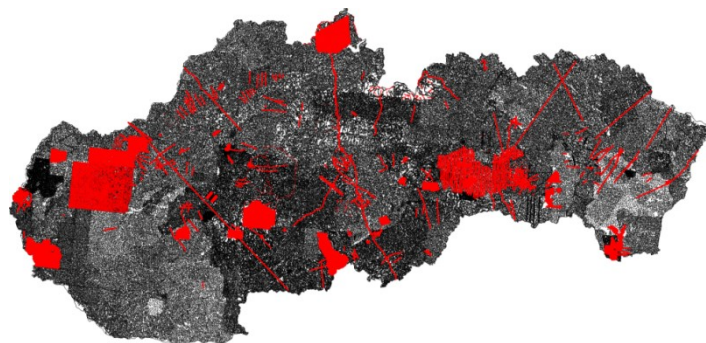
Najnovšie merania na bodoch 2. rádu ŠNS predstavuje 76% meraných prevýšení z rokov 1996 – 2016 a zvyšných 24% predstavuje merania vykonané v rokoch 1987 – 1996 (obr. 7).



Obr. 7. Merania z obdobia 1996-2016 (vľavo) a z obdobia 1987-1996 (vpravo).

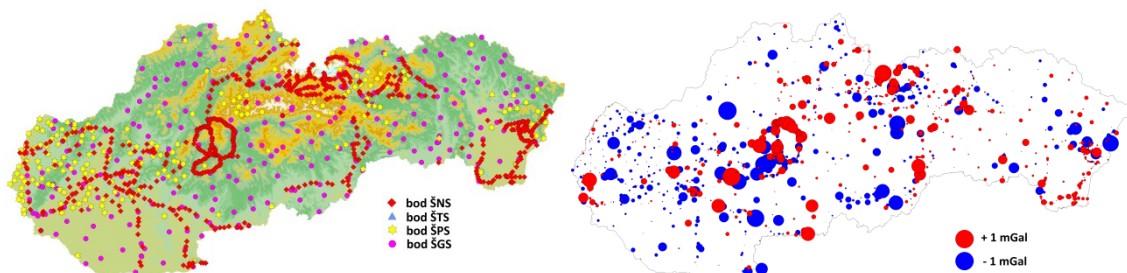
3.3 CBA2G_SK

V predchádzajúcich kapitolách sme popísali geometrickú zložku prevýšenia a jej určenia v rámci ŠNS. Pre určenie normálnych výšok však potrebujeme poznať aj fyzikálnu zložku pre dané prevýšenie. Pri klasickom spôsobe určovania normálnych výšok sa táto zložka nazýva redukcia z tiažového zrýchlenia. Pri modernom spôsobe určovania normálnych výšok (vyžitie geopotencialných kót) používame priamo merané tiažové zrýchlenie. Výhoda tohto spôsobu je, že obe zložky (nivelačné prevýšenie a tiažové zrýchlenie) môžeme priamo odmerať. Tu však nastáva problém, nakoľko tiažové zrýchlenie je určené iba na 2% bodov z celého počtu bodov ŠNS, resp. ak vezmeme do úvahy iba body 1. rádu ŠNS, priamo merané tiažové zrýchlenie má iba 5 % všetkých bodov. Alternatívnou možnosťou ako určiť hodnotu tiažového zrýchlenia pre všetky body ŠNS predstavuje možnosť použitia programu CBA2G_SK (Marušiak a kol., 2015). Program využíva na interpoláciu grid úplných Bouguerových anomálií (ďalej UBA) pre územie Slovenska, ktorý vznikol na podklade Gravimetrického mapovania v mierke 1:25000 a následne bol doplnený novými meraniami. V súčasnosti obsahuje približne 320 000 bodov. Pôvodné a nové merania sa nachádzajú na obr. 8. Podrobný popis programu spolu s použitými princípmi a vzťahmi sa nachádza v manuáli k programu (Marušiak a kol., 2015).



Obr. 8. Pôvodná databáza bodov doplnená o nové merania - červená farba (Marušiak a kol., 2015).

Pri testovaní programu autormi bola dosiahnutá štandardná odchýlka 0,2170 mGal. Použitých bolo 299 rozdielov na bodoch ŠGS, kde sa porovnali merané a generované tiažové zrýchlenia. Testovanie programu vykonali aj pracovníci GKÚ na základe databázy 1316 bodov geodetických základov (ŠGS, ŠPS, ŠNS a ŠTS), kde bola dosiahnutá štandardná odchýlka 0,2122 mGal (obr. 9).



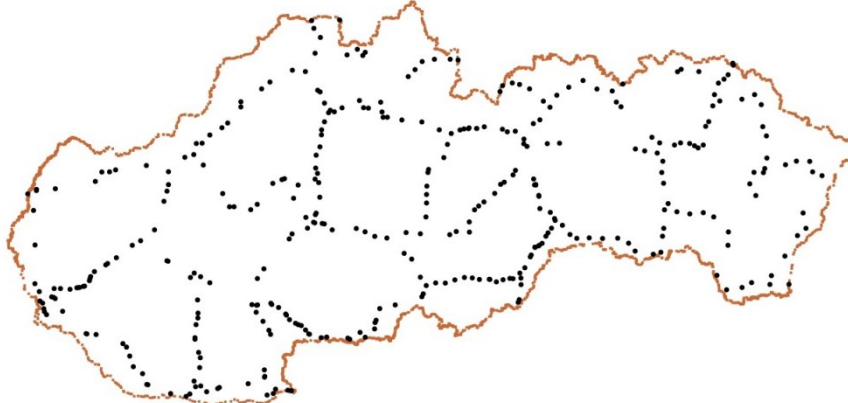
Obr. 9. Testovacia množina bodov (vľavo) a rozdiely medzi meraným a generovaným tiažovým zrýchlením (vpravo).

Z testovania bolo vylúčených 13 vybočujúcich rozdielov (nad 1,5 mGal), ktoré boli podrobené analýze a následne premerané. Výsledok analýz sa nachádza v tab. 1. Tri body (v tab. 1 zvýraznené farbou) stále vykazujú rozdiel nad 1,5 mGal.

Tab. 1. Vybočujúce rozdiely pri testovaní generovania tiažových zrýchlení programom CBA2G

| Bod | Pôvodný rozdiel [mGal] | Nový rozdiel [mGal] | Poznámka |
|------------|------------------------|---------------------|---|
| 3819-5.2 | 3.57 | 2.53 | premerané tiažové zrýchlenie aj poloha |
| 5920-24 | -1.51 | -1.50 | premerané tiažové zrýchlenie aj poloha |
| 3544ZM-35 | -1.71 | -1.79 | premerané tiažové zrýchlenie aj poloha |
| CZC-637 | -3.06 | 0.01 | premerané tiažové zrýchlenie aj poloha |
| D62-550 | -6.04 | 0.15 | nesprávna hodnota v pôvodnom vyrovnaní |
| FZN-621 | -2.51 | -0.34 | pôvodné meranie na FZN-622 |
| ZG18-517 | 10.16 | -0.07 | pôvodné meranie na FZN-513 |
| ZG8-534 | -1.94 | -0.24 | pôvodné meranie na FZN-535 |
| SK-409.10 | 5.86 | -0.08 | chybné údaje pre interpoláciu - výška |
| SK-3774.01 | 17.34 | -0.27 | chybné údaje pre interpoláciu - súradnice |
| SK-938.01 | 2.61 | -0.67 | chybné údaje pre interpoláciu - súradnice |
| SK-409.20 | -4.98 | 0.96 | chybné údaje pre interpoláciu - výška |
| SK-3750.01 | -3.97 | -0.27 | chybné údaje pre interpoláciu - súradnice |

Okrem uvedeného testovania sa pracovníci GKÚ zamerali aj na otestovanie vplyvu neistoty poznania polohy bodov ŠNS na generované tiažové zrýchlenie. Polohové súradnice bodov ŠNS naplnené v databáze Informačného systému geodetických základov (ďalej ISGZ) boli určované v rámci rekognoskácie v rokoch 1994 – 1995 na základe zakreslenia do máp v mierke 1 : 10000. Porovnaním odsunutých súradníc a súradníc určených pomocou GNSS bolo dospené k záveru, že polohová neistota v jednotlivých súradnicových zložkách dosahuje až okolo 14 metrov ($\sigma_Y = 14,29$ m a $\sigma_X = 14,41$ m). Grafické znázornenie vybranej množiny bodov 1. rádu ŠNS použitých na otestovanie sa nachádza na obr. 11.



Obr. 11. Množina bodov (374) použitá na otestovanie polohových súradníc bodov ŠNS naplnených v ISGZ

Pri zohľadnení neistoty polohových súradníc bodov ŠNS naplnených v ISGZ (15 m) by sme sa pri generovaní tiažového zrýchlenia mohli dopustiť chyby, ktorá je popísaná v tab. 2. Testovaciu množinu v tab. 2 tvoria body, ktoré majú presne určenú polohové súradnice v systéme ETRS89.

Tab. 2. Vplyv neistoty polohy bodov ŠNS na generované tiažové zrýchlenie (priemerné hodnoty rozdielov tiažového zrýchlenia = merané – CBA2G)

| Smer | Počet hodnôt | + 0 m [mGal] | + 15 m [mGal] | + 45 m [mGal] |
|----------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| x | 595 | 0,1547 | 0,1547 + 0,0163 | 0,1547 + 0,0462 |
| y | 595 | 0,1547 | 0,1547 + 0,0182 | 0,1547 + 0,0531 |
| y (90 – 200 m.n.m) | 224 | 0,1412 | 0,1412 + 0,0140 | 0,1412 + 0,0419 |
| y (200 – 1000 m.n.m) | 345 | 0,1588 | 0,1588 + 0,0187 | 0,1588 + 0,0538 |
| y (nad 1000 m.n.m) | 26 | 0,2175 | 0,2175 + 0,0463 | 0,2175 + 0,1397 |

Tab. 2 zobrazuje vplyv zmeny polohových súradníc na generované tiažové zrýchlenie programom CBA2G pri uvažovaní posunu v jednotlivých smeroch o 15, resp. 45 m a taktiež zobrazuje jej závislosť na nadmorskej výške. Zelenou farbou je vyznačený vplyv zmeny polohy o 45 m v smere x a y, pričom prišlo k tretinovému zhoršeniu priemernej hodnoty rozdielov. Červenou farbou je vyznačený najväčší vplyv zmeny polohy na tiaž. zrýchlenie, ktorý sa dosahuje pri zmene polohy o 45 m a pri nadmorských výškach nad 1000 m. Uvedené výsledky viedli pracovníkov GKÚ k zamysleniu, že pre korektnosť použitia programu CBA2G by bolo potrebné spresniť polohové súradnice všetkých bodov 1. rádu ŠNS. Priame domeranie súradníc všetkých bodov 1. rádu by však bolo ako časovo, tak aj finančne náročné, preto sa ako alternatívna možnosť využili vrstvy VKM a ZBGIS a polohové súradnice bodov ŠNS identifikovaných na týchto vrstvách sa určili pomocou nich. Viac o tomto kroku sa nachádza nižšie v kapitole 3.4.

3.4 Zvýšenie presnosti polohových súradníc bodov ŠNS

Zvýšenie presnosti polohových súradníc bodov ŠNS bolo rozdelené do 2 etáp. Prvá etapa pozostávala z posúdenia a vykonštruovania bodov ŠNS v prostredí softvéru ArcGis s využitím VKM a vrstiev ZBGIS. Práce na metodike a testovaní presnosti určovania polohových súradníc bodov sa začali v júli 2015. Od septembra 2015 sa práce začali vykonávať naplno a už do marca 2016 sa podarilo skontrolovať všetky body 1. rádu ŠNS (11 048 bodov). Z uvedeného počtu bodov sa podarilo určiť presné polohové súradnice 5646 bodom. Ďalších 2965 bodov bolo priamo zameraných pomocou metódy GNSS v predchádzajúcom období a 260 bodov bolo vedených ako zničené. Takto bolo označených 2177 bodov na domeranie, keďže im nebolo možné danou metódou určiť polohové súradnice. Okrem metodiky určovania presných polohových súradníc pomocou VKM a vrstiev ZBGIS boli využité aj polygónové merania bodov ŠNS vykonané pracovníkmi GKÚ v rokoch 1998 až 2000. Spätným porovnaním vykonštruovanej polohy bodov pomocou VKM a vrstiev ZBGIS a polohy bodov určených priamym meraním bolo dospené k záveru, že po domeraní 1492 bodov 1. rádu ŠNS bude presnosť ich polohových súradníc dosahovať hodnotu do 1,5 m. Štatistické údaje (Δ - rozdiel, σ - štandardná odchýlka rozdielov) o presnosti jednotlivých metód použitých na určenie polohových súradníc sa nachádzajú v tab. 3.

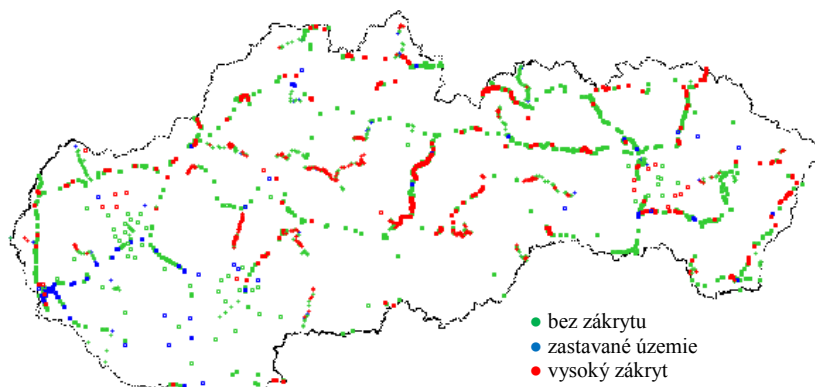
Tab. 3. Štatistické údaje o porovnaní vykonštruovanej a priamo určenej polohy bodov ŠNS

| | n | Δ [m] | σ [m] | <1. σ [%] | <2. σ [%] | <3. σ [%] |
|-------------|-----|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|
| E-P | 636 | 0.07 | 0.05 | 83.8 | 94.8 | 99.5 |
| P - VKM1 | 412 | 0.13 | 0.07 | 82.3 | 95.9 | 100.0 |
| P - VKM3 | 745 | 0.93 | 0.87 | 83.5 | 93.7 | 99.2 |
| P - ZBGIS | 143 | 1.12 | 0.69 | 81.8 | 95.1 | 100.0 |
| E - ZBGIS-P | 346 | 8.16 | 4.19 | 85.8 | 94.5 | 97.1 |
| P - ZBGIS-P | 195 | 7.34 | 2.85 | 81.5 | 96.4 | 100.0 |
| E - ZBGIS-S | 32 | 1.65 | 1.12 | 81.3 | 93.8 | 100.0 |

E – meranie metódou RTN, resp. statika, *P* – polygónové meranie, *VKM1* – číselná VKM, *VKM3* - nečíselná VKM, *ZBGIS* – vrstva Budova, Most, *ZBGIS-P* – vrstva Prieput, *ZBGIS-S* – vrstva Stĺp

Pre úplnosť uvádzame, že súradnice bodov určených odsunutím pomocou ZBGIS vrstvy Prieput (v tab. 3 zvýraznené farbou) boli zaradené na domeranie priamym meraním.

Práce na určovaní polohových súradníc bodov 2. rádu ŠNS sa začali v marci 2016 a boli ukončené vo februári 2017. Celkovo bolo posúdených 25671 bodov, z ktorých bolo možné vykonštruovať a odsunúť tak polohové súradnice pre 13 969 bodov. Meraných bolo 3096 a označených za zničené 395. Na meranie sa určila množina 8210 bodov. Z uvedenej množiny sa vybralo 902 bodov, ktoré sa zaradili do merania v r. 2017. Tieto body sa nachádzajú v nivelačných ťahoch, ktorými je možné pripojiť body ŠPS triedy A a B pre potreby nafitovania nového kvázigeoidu. Takto bola získaná množina 2394 bodov 1. a 2. rádu ŠNS, ktorá sa zaradila na domeranie polohových súradníc pre rok 2017 (obr.12).



Obr. 12. Množina bodov ŠNS (2394) + ŠGS (120) určená na meranie pomocou GNSS

Metodika určovania polohových súradníc bodov ŠNS vychádzala z merania bodov ŠPS triedy D. Pri určovaní polohových súradníc pomocou metódy RTN (sieťové RTK pomocou SKPOS) bola stanovená podmienka rozdielu dvoch meraní v polohe do $\Delta_p = 0,030$ m a vo výške do $\Delta_h = 0,055$ m. Dve nezávislé merania sa vykonávajú s odstupom medzi sebou dlhým min. 20 minút, optimálne 1 hodina. Pri použití statickej metódy je doba observácie minimálne 20 min. podľa veľkosti zákrytu. Okrem priameho postavenia na určovanom bode sa využívalo aj excentrické postavenie GNSS aparatury spolu s kombináciou s presným domeraním dĺžky diaľkometermi (Leica DISTO D510) na určovaný bod.

4 ZÁVER

V príspevku je v krátkosti popísaný súčasný stav národného výškového systému Bpv a jeho realizácie. V súčasnosti platná realizácia je nasadená od roku 1957 čím v tomto roku 2017 oslavuje už 60 rokov svojej platnosti. Za toto obdobie došlo v jej jednotlivých častiach k vykonaniu vyrovnania stoviek ťahových prevyrovnaní, čo doviedlo celú sieť k jej celkovej, ale nie lokálnej, nehomogenite. Z tohto pohľadu prestáva táto realizácia spĺňať súčasné požiadavky pre veľmi presné celonárodné geodetické práce, a taktiež je limitujúcim faktorom pre zvýšenie presnosti a konzistencie transformácie medzi ETRS89, S-JTSK a Bpv prostredníctvom kvázigeoidov. Z uvedených dôvodov si preto pracovníci rezortu geodézie, konkrétne správcovia geodetických základov z GKÚ Bratislava, stanovili prioritu vytvoriť a vypublikovať novú realizáciu národného výškového systému Bpv a jej transformácie do ostatných realizácií výškových systémov. Stav prác na tejto úlohe je v krátkosti podrobnejšie predstavený v uvedenom príspevku. V roku 2017 boli ukončené všetky meračské práce pre účely tvorby novej realizácie a v súčasnosti sa pracuje už iba na kancelárskych výpočtových prácach pozostávajúcich zo skompletizovania jednotlivých meraných prevýšení, výpočtu opráv, súradníc a tvorbe matematického aparátu na výpočet novej realizácie. Okrem výpočtu výšok v novej realizácii sa počíta aj s úpravou legislatívy. Predpokladaný termín nasadenia novej realizácie je stanovený na r. 2020.

LITERATÚRA

BUBLAVÝ, J., Droščák B., 2015: Prvé kroky k novej realizácii výškového systému na Slovensku a stav kvázigeoidov. Geodetické základy a geodynamika, Kočovce, Október 6-7, 2015.

HUDEC, M., FERIANC, D.: Štátna nivelačná sieť. In: Geodetické siete a priestorové informácie: Zborník referátov, Podbanské, 29.-31.10.2007. – Banská Bystrica: Topografický ústav Banská Bystrica, 2007. - ISBN 978-80-969757-5-4. - S. 133-145

MAREK, J., NEJEDLÝ, A., PRIAM, Š.: Geodetické základy – Historický prehľad, Bratislava 2006.

MARUŠIAK, I., MIKUŠKA, J., PAPČO, J., ZAHOREC, P., PAŠTEKA, R.: CBA2G_SK (Complete Bouguer Anomaly To Gravity) program na výpočet tiažového zrýchlenia z úplnej Bouguerovej anomálie. Popis programu. Bratislava: G-trend, s.r.o., 2015.