



Výpočet a výhody nového výškového systému Slovenska

Ing. Branislav Droščák, PhD., Ing. Ján Bublavý,
Ing. Miroslava Majkráková, PhD.

Geodetický a kartografický ústav Bratislava

branislav.droscak@skgeodesy.sk , jan.bublavy@skgeodesy.sk,
miroslava.majkrakova@skgeodesy.sk

27. Slovenské geodetické dni
7. – 8.11.2019, Žilina, Slovenská republika

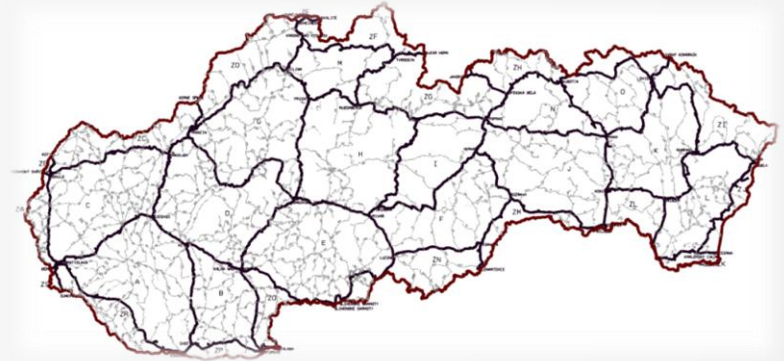
Súčasný stav výškových základov SR

▪ Štátna nivelačná sieť (ŠNS)

- 1995 - 1996 – návrh a začiatok budovania
 - 1. rád ŠNS - 11 035 bodov
 - celý I. rád ČSJNS z územia Slovenska
 - I. a II. rád ON z územia Slovenska
 - nové ťahy z vybraných bodov I. - III. rádu ČSJNS
 - 2. rád ŠNS - 24 731 bodov
 - zvyšné ťahy ČSJNS z územia Slovenska + vybrané ťahy ZNS z územia SR
- 1996 - 2002
 - nové zameranie ťahov 1. rádu ŠNS
- 2003 - 2017
 - nové meranie ťahov 2. rádov ŠNS
- 2018-2019
 - opakované zameranie vybraných ťahov 1. rádu ŠNS

▪ Výšky bodov ŠNS

- výšky bodov ŠNS - boli prevzaté výšky s ČSJNS (súborné vyrovnanie Bpv57 + modernizácie ČSJNS)
- **od vybudovania ŠNS dodnes sú výšky bodov ŠNS udržiavané v realizácii Bpv57 t.j. nové merania sú zapracované do Bpv57**



Súčasný stav výškových základov SR

- Baltský výškový systém po vyrovnaní
 - Nulový bod: mareograf v Kronštadte
 - Pripojenie na strednú hladinu Baltského mora
 - Výšky: normálne výšky podľa Molodenského
 - Normálne a skutočné hodnoty tiažového zrýchlenia
 - Helmertov vzťah pre γ_0 (1901 - 1909)
$$\gamma_{0H} = 9,78030 (1 + 0,005302 \sin^2\varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$$
 - Krasovského elipsoid
 - S-Gr57 a S-Gr64
 - Vzťažná plocha teluroid (kvázigeoid)
 - Klasický spôsob výpočtu – redukcia z tiažového zrýchlenia
 - Interpolácia Bouguerových anomálií zo spoločných máp vytvorených v ZSSR na tento účel (1:500 000 pre I.rád, 1:1 000 000 pre ostatné rády ČSJSN)

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



Súčasný stav výškových základov SR

■ Európsky vertikálny referenčný systém

- Výšky sú definované ekvipotenciálnou plochou

$$W_0 = W_{0E} = \text{konšt.}$$

W_{0E} - reprezentuje potenciál na mareografe Normaal Amsterdams Peil (NAP),

- výškový komponent reprezentuje rozdiel potenciálov ΔW_P medzi referenčnou plochou EVRS a bodom P na zemskom povrchu; záporný rozdiel týchto potenciálov je rovný **geopotenciálnej kóte**

$$-\Delta W_P = C_P = W_{0E} - W_P,$$

- EVRS používa zero tide slapový systém
- Normálne výšky podľa Molodenského
 - normálne a skutočné hodnoty tiažového zrýchlenia
 - Somiglianov vzorec
 - Elipsoid GRS80
 - Tiažový systém S-Gr95
 - Vzťažná plocha teluroid (kvázigeoid)
 - Moderný spôsob výpočtu – pomocou geopotenciálnych kót



Súčasný stav výškových základov SR – sumár + záujem rezortu ÚGKK SR

- Sumár:
 - dnes platná realizácia Bpv ešte z roku 1957 = 62 rokov !!!
 - globálna (niekde aj lokálna) nehomogenita výšok !!!
 - nemožnosť správne udržiavať výšky z dôvodu definície Bpv: krasovského elipsoid, tiažový systém S-Gr57 resp. 64, klasický výpočet, ...
- Záujem rezortu ÚGKK SR:
 - Nový výškový systém SR spolu s novou presnejšou transformáciou elipsoidických výšok ETRS89 do tohto systému
- Ako?:
 - Výpočet a zavedenie nového výškového systému SR s využitím najnovších meraní a moderného prístupu výpočtu (geopotenciálne kóty) – vid'. koncepčný dokument „Hlavné smery rozvoja geodézie kartografie a katastra SR na roky 2016-2020“

Realizácia nového výškového systému SR

1. fáza

- určiť polohové súradnice bodov ŠNS
- tiažové zrýchlenie na bodoch ŠNS

2. fáza

- nanovo spracovať merania 1. a 2. rádu
 - zapracovať kontrolné merania a dodatky
 - zavedenie opráv a korekcií
 - oprava z excentrického postavenia prístroja
 - oprava z rozdielu zakrivenia zemského povrchu a rozdielu refrakcie
 - oprava z rozťažnosti invarového pásu vplyvom teploty a z mierkového faktoru nivelačnej laty
 - astronomická korekcia (vplyv oscilácie tiažnice)
 - geopotenciálny rozdiel

3. fáza

- definovať vzťažnú množinu bodov
- realizácia Bpv = 1957, 1983, EVRS
- nové súborné vyrovnanie prostredníctvom nového

4. fáza

- nový kvázigeoid, príp. nafitovať súčasný kvázigeoid (ŠPS A a B)
- vypočítať modely na transformáciu medzi pôvodnou a novou realizáciou

5. fáza

- implementovať novu realizáciu do ISGZ
- upraviť Rezortnú transformačnú službu
- upraviť legislatívu a vyhlásiť platnosť novej realizácie

Nový výškový systém SR

Výpočet prostredníctvom geopotenciálnych kót

- Geometrický a fyzikálny komponent

$$\Delta C_{AB} = \int_A^B g \, dH = \sum_A^B g_s \Delta H^{niv}$$

Fyzikálny komponent

Získavame gravimetriou

- vyžaduje meranie tiažového zrýchlenia na nivelovaných bodoch
- pozn. $\approx 9\%$ bodov 1. rádu ŠNS má priamo merané g
- Alternatíva: výpočet g z interpolovanej úplnej Bouguerovej anomálie (ÚBA) programom CBA2G_SK

Geometrický komponent

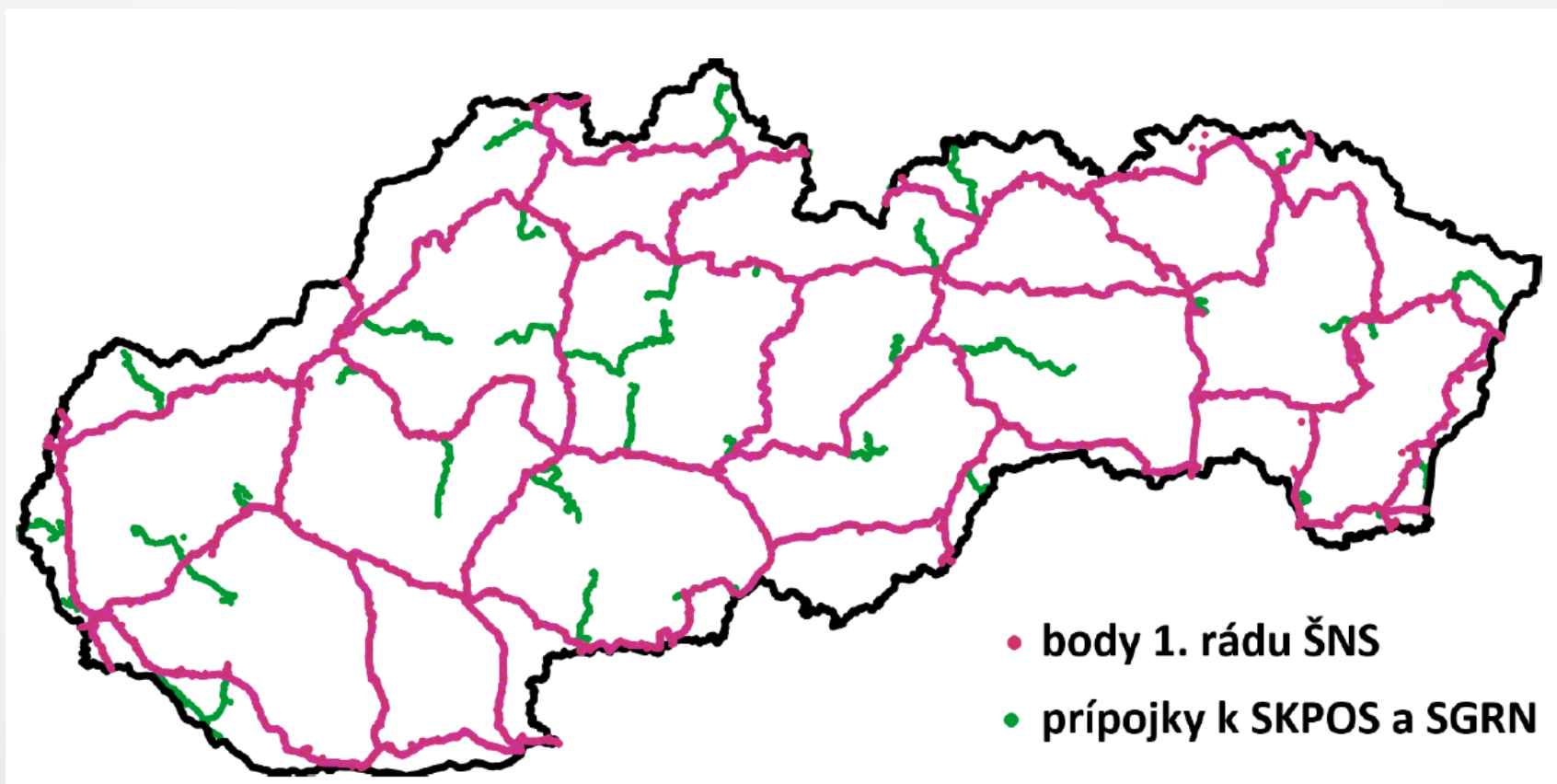
Získavame z Veľmi presnej nivelácie (VPN)

- VPN na bodoch **1. rádu ŠNS** z rokov 1996 - 2002 + dodatky do 2017 (68 niv. ťahov)
- VPN na **2. ráde ŠNS** k bodom SKPOS a SGRN (43 niv. ťahov)
- Korekcie (l_0 - latový meter, teplotná rozťažnosť, vplyv excentricity stanoviska, astronomická korekcia)
- Elipsoidické súradnice v systéme ETRS89

- Výpočet geopotenciálnych rozdielov pre 14308 nivelovaných prevýšení

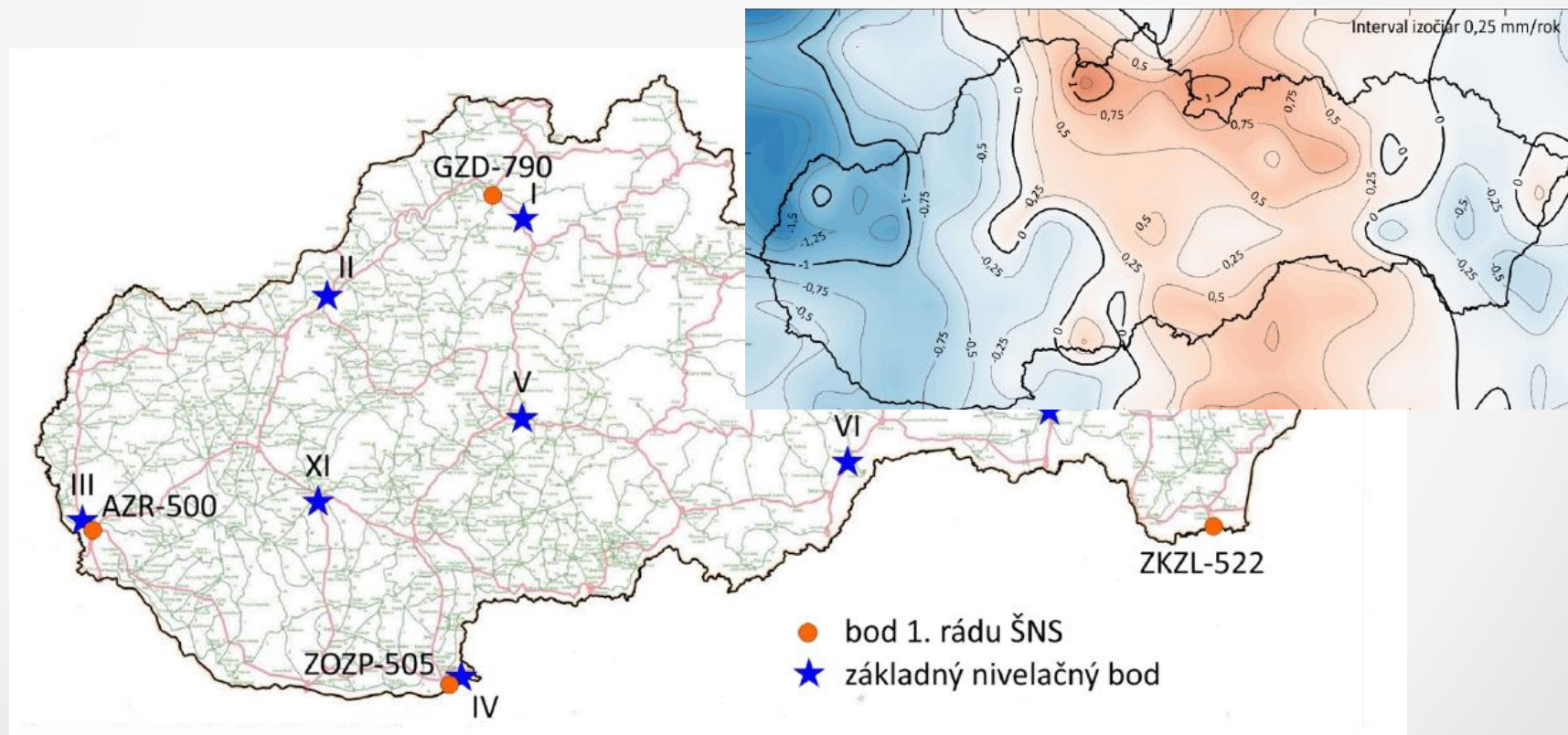
Nový výškový systém SR

Kostra bodov pre nový výpočet



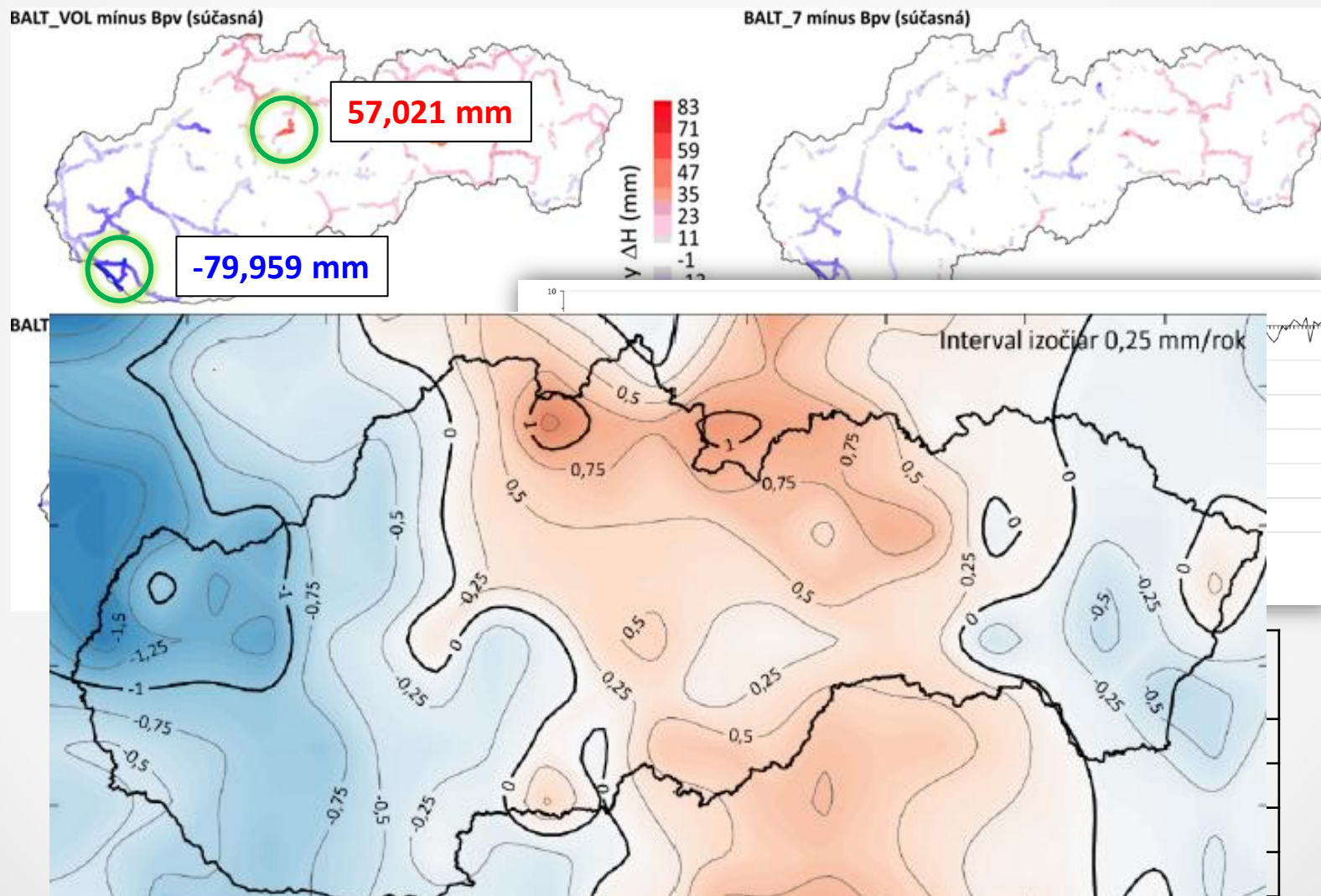
Vyrovnanie geopotenciálnych kót v Bpv

- BALT_VOL 5.model MNŠ – riešenie voľnej siete
- 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.



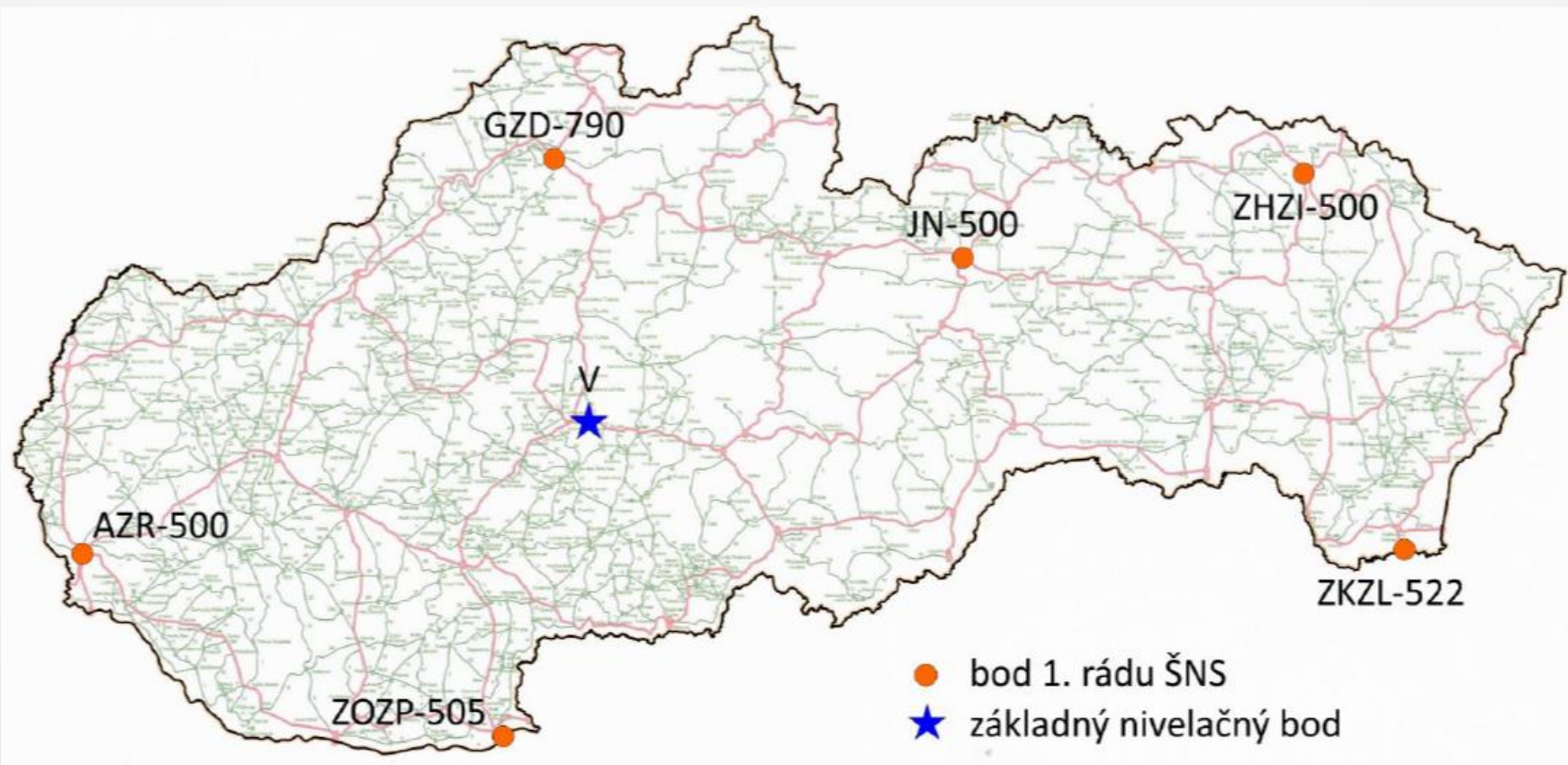
Vyrovnanie geopotenciálnych kót v Bpv

- Porovnanie jednotlivých variantov vyrovnania so súčasnou realizáciou Bpv



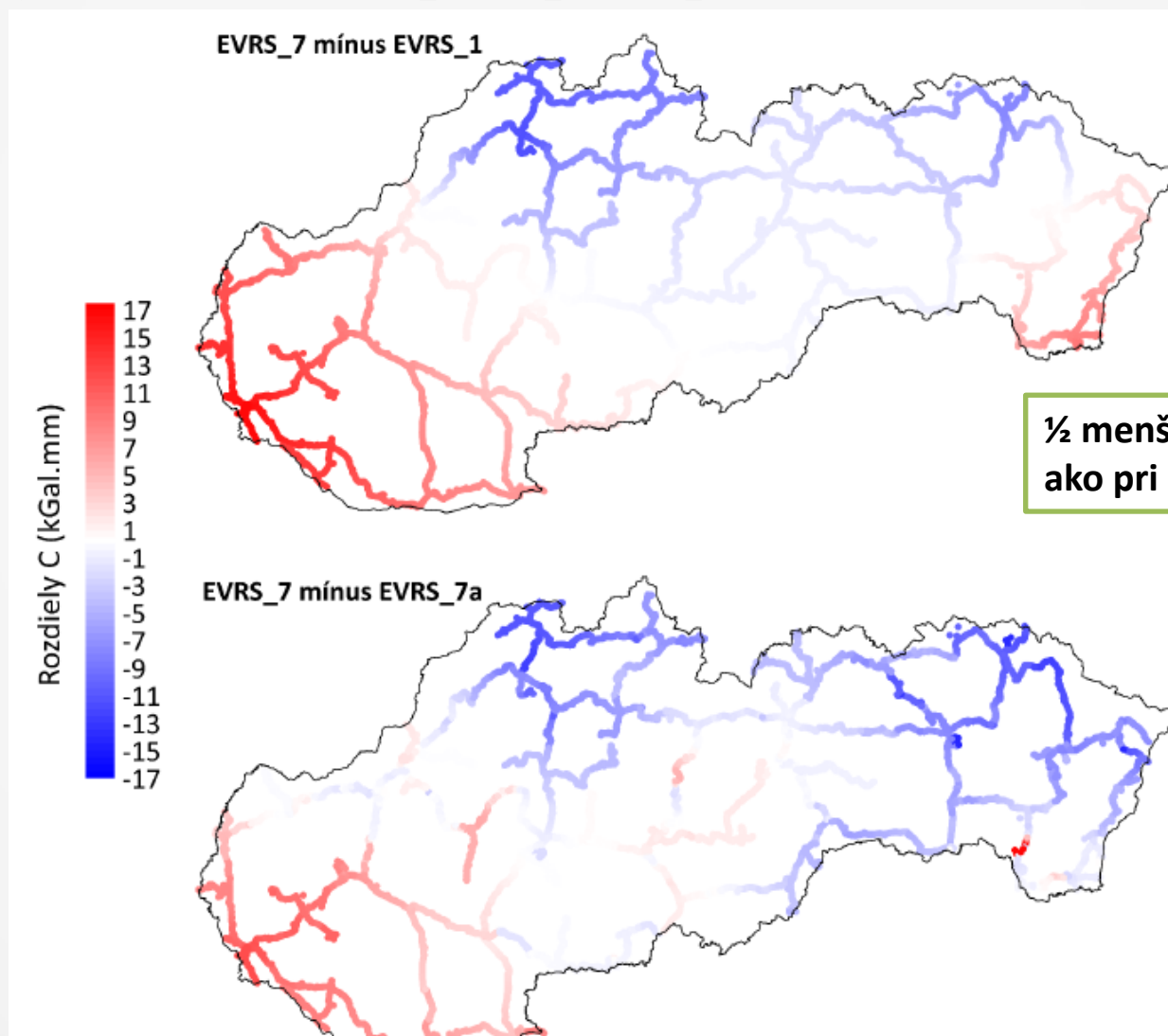
Vyrovnanie geopotenciálnych kót v EVRS

- EVRS_1 1 referenčný bod: V (ZNB) - EVRF2007
- EVRS_7 pripojenie na 7 referenčných bodov: AZR-500, V (ZNB), JN-500, GZD-790, ZOZP-505, ZKZL-522, ZHZI-500 v EVRF2007
- EVRS_7a pripojenie na 7 referenčných bodov + stredné chyby: AZR-500, V (ZNB), JN-500, GZD-790, ZOZP-505, ZKZL-522, ZHZI-500 v EVRF2007



Vyrovnanie geopotenciálnych kót v EVRS

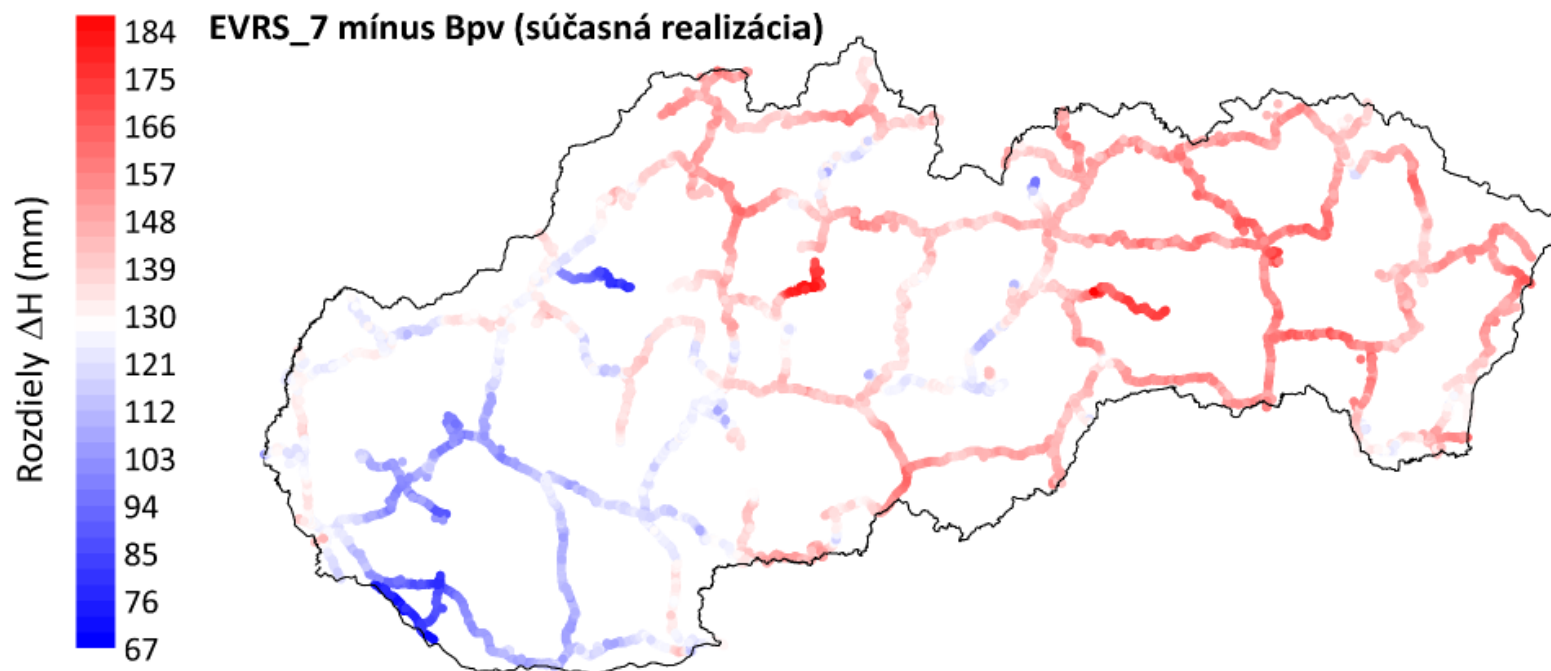
- Porovnanie jednotlivých variantov EVRS_1, EVRS_7 a EVRS_7a



½ menšia deformácia
ako pri BALT_7

Vyrovnanie geopotenciálnych kót v EVRS

- Porovnanie variantu EVRS_7 so súčasnou realizáciu Bpv



EVRS_7 – Bpv	mm
Počet hodnôt	13 753
Min	67,093
Max	185,250
Priemer	133,881

Rozdiely reprezentujú:

- výškový rozdiel NAP a Kronštadt
- rozdiely v slapových systémoch
- rozdiel v spôsobe výpočtu

Testovanie nových realizácii Bpv a EVRS pomocou tzv. „GNSS nivelácie”

- Testovanie:
 - Vzťah: $H = h_{\text{ETRS89}} - \zeta_{\text{kvázigeoid}}$
 - testovacia množina: vybrané body ŠPS A a C triedy
 - Použité kvázigeoidy
 - DVRM05 – využíva aj rezortná transformačná služba
 - KGZA - najnovší model kvázigeoidu katedry Geodetických základov

Testovanie na bodoch ŠPS triedy A (34 bodov) – **štandardná odchýlka elipsoidickej výšky 10 mm**

Variant	$H_{\text{Bpv}} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{BALT}_7} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{EVRS}_7} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{Bpv}} - H_{\text{KGZA}}$ (mm)	$H_{\text{BALT}_7} - H_{\text{KGZA}}$ (mm)	$H_{\text{EVRS}_7} - H_{\text{KGZA}}$ (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

Testovanie na bodoch ŠPS triedy C (344 bodov) – **štandardná odchýlka elipsoidickej výšky 25 mm**

Variant	$H_{\text{Bpv}} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{BALT}_7} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{EVRS}_7} - H_{\text{DVRM05}}$ (mm)	$H_{\text{Bpv}} - H_{\text{KGZA}}$ (mm)	$H_{\text{BALT}_7} - H_{\text{KGZA}}$ (mm)	$H_{\text{EVRS}_7} - H_{\text{KGZA}}$ (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

Zhrnutie prezentovaných výsledkov

■ Nevýhody novej realizácie Bpv:

- rozpor s definíciou Baltského výškového systému po vyrovaní:
 - výpočet pomocou geopotenciálnych rozdielov, nie klasicky
 - pôvodný je definovaný na Krasovskom elipsoide, nový by bol definovaný na GRS80 elipsoide
 - transformácia do EVRS by nebola dostatočne presná
 - 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 zámenny s pôvodným Bpv,
- 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,
- významný dopad na celú spoločnosť => nutnú koordináciu pri implementácii.

■ Výhody novej realizácie Bpv:

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

Zhrnutie prezentovaných výsledkov

■ Výhody novej realizácie EVRS:

- moderný prístup k výpočtu normálnych výšok,
- jednoznačnosť výpočtu nezávislá na trase nivelácie,
- jednoduchá aktualizácia výšok aj pri zmene rámca EVRS (napr. pri implementácii EVRF2019),
- 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.

■ Nevýhody novej realizácie EVRS:

- 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.

Záver

- Na základe uvedených skutočností sa rezort ÚGKK SR rozhodol dať zelenú prechodu na nový výškový systém EVRS a jeho realizáciu na Slovensku.
- Výhody tohto prechodu nie je možné poprieť, avšak je potrebná dôsledná príprava a koordinácia pri implementácii.
- Predpokladaný prechod na nový výškový systém by mohol byť do konca roku 2025 podľa krokov, ktoré budú definované v koncepcii rozvoja GZ SR na roky 2020-2025.

Ďakujem za pozornosť

Ing. Branislav Droščák, PhD.

Geodetický a kartografický ústav BRATISLAVA

branislav.droscak@skgeodesy.sk