



Výpočet nového výškového systému Slovenska a jeho výhody oproti súčasnému





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

Geodetický a kartografický ústav Bratislava





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

XI. Medzinárodná vedecko-odborná konferencia
GEODÉZIA, KARTOGRAFIA A GEOINFORMATIKA 2019
10. – 13.9.2019, Demänovská dolina, Slovenská republika

Nová realizácia výškového systému

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
 - nové súborné vyrovnanie
4. fáza 
 - obstaráť nový kvázigeoid, resp. 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

Nová realizácia výškového systému

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
 - nové súborné vyrovnanie
4. fáza 
 - obstaráť nový kvázigeoid, resp. 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

Súčasný stav Štátnej nivelačnej siete

■ Štátna nivelačná sieť (ŠNS)

- 1995 - 1996 – návrh a začiatok budovania
 - 1. rád ŠNS - 11 035 bodov
 - I. a II. rád ON z územia Slovenska
 - celý I. rád ČSJNS z územia Slovenska
 - nové ťahy z vybraných bodov I. - III. rádu ČSJNS
 - 2. rád ŠNS - 24 731 bodov
 - zvyšné ťahy ČSJNS z územia Slovenska
 - Prevzaté výšky - súborné vyrovnanie Bpv57 a modernizácie ČSJNS
- 1996 - 2002
 - meranie 1. rádu ŠNS
- 2003 - 2017
 - meranie 2. rádu ŠNS
- 1995 – 2017
 - **udržiavanie realizácie Bpv57 novými meraniami**



Súčasný stav Štátnej nivelačnej siete

■ Baltský výškový systém po vyrovnaní

- Nulový bod mareografu Kronštadt
 - Pripojenie na strednú hladinu Baltského mora
- Normálne výšky podľa Molodenského
 - Normálne a skutočné hodnoty tiažového zrýchlenia

- Helmertov vzťah pre γ_0 (1901 - 1909)

$$\gamma_{0H} = 9,78030 (1 + 0,005302 \sin^2\varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$$

- 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 ČSJNS)

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



Súčasný stav Štátnej nivelačnej siete

■ Európsky vertikálny referenčný systém

- Výšky sú definované ekvipotenciálnou plochou

$$W_0 = W_{0E} = \text{konšt.},$$

úroveň mareografu Normaal Amsterdams Peil (NAP),

- výškový komponent je 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
 - GRS80
 - S-Gr95
 - Vzťažná plocha teluroid (kvázigeoid)
 - Moderný spôsob výpočtu – pomocou geopotenciálnych kót



Výpočet geopotenciálnych kót

- Geometrický a fyzikálny komponent

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

Fyzikálny komponent

Gravimetria

- Meranie tiažového zrýchlenia – iba $\approx 9\%$ bodov 1. rádu ŠNS
- Výpočet z interpolovanej úplnej Bouguerovej anomálie (ÚBA) programom CBA2G_SK

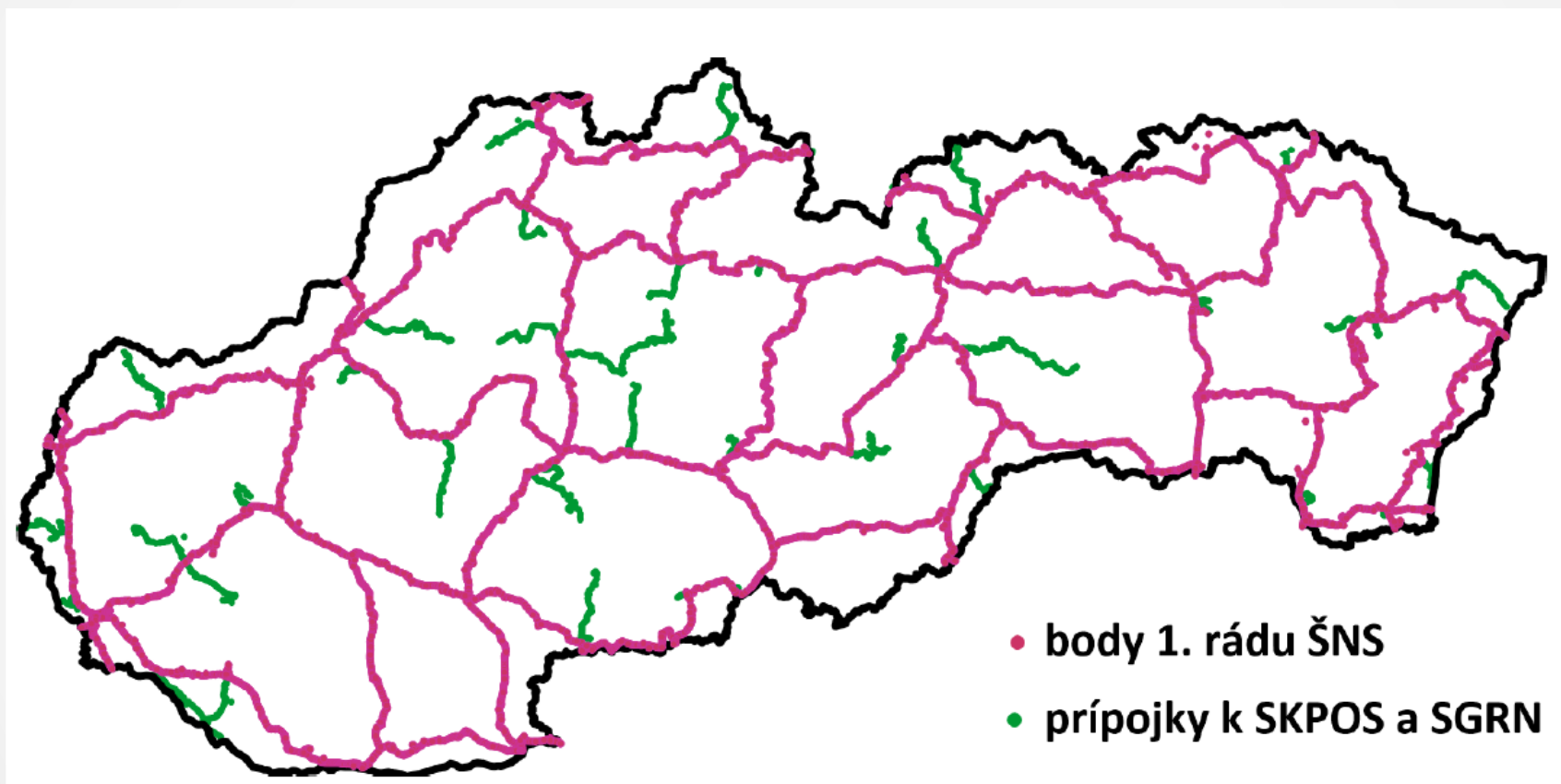
Geometrický komponent

Veľmi presná nivelácia (VPN)

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

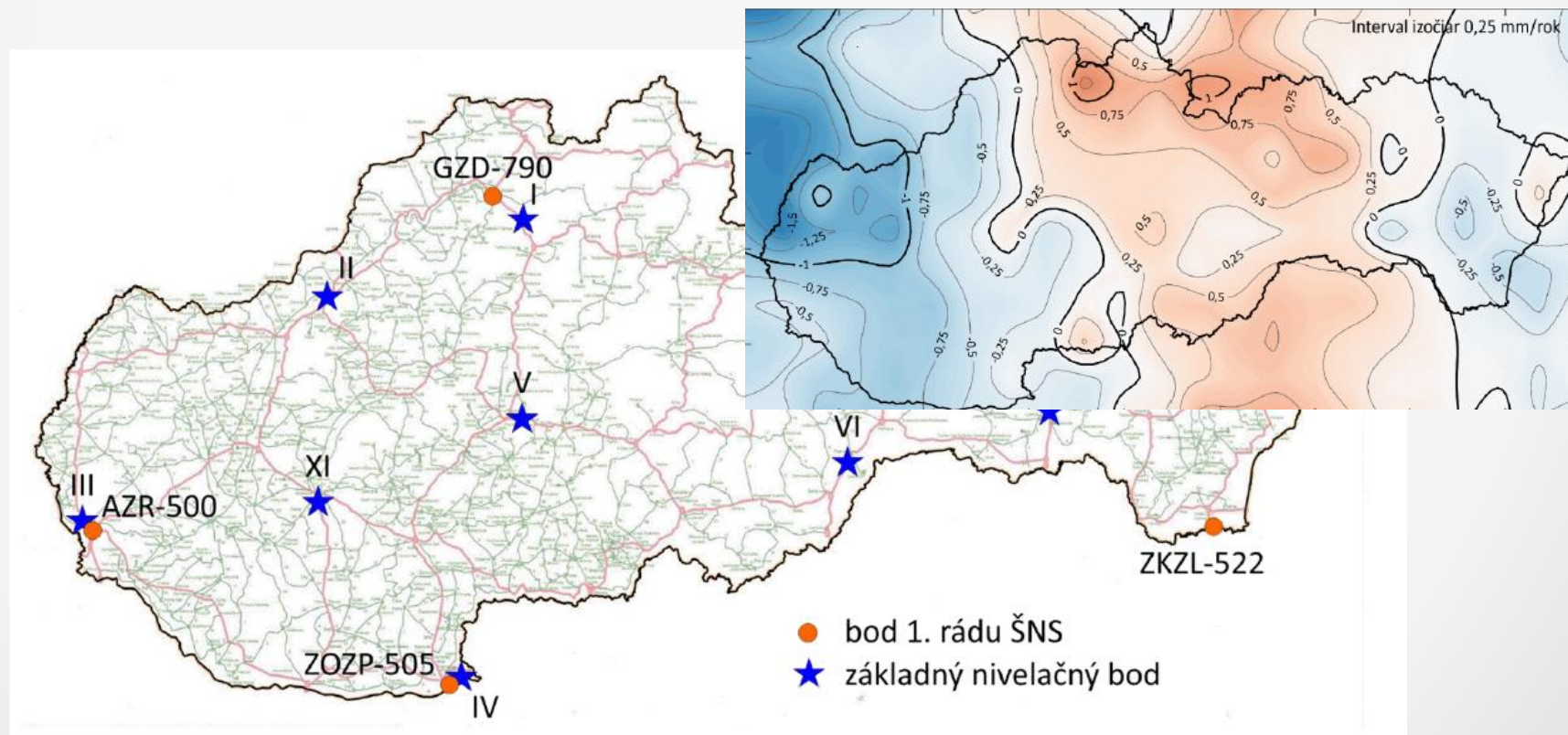
- Výpočet geopotenciálnych rozdielov pre 14308 nivelovaných prevýšení

Výpočet geopotenciálních kót



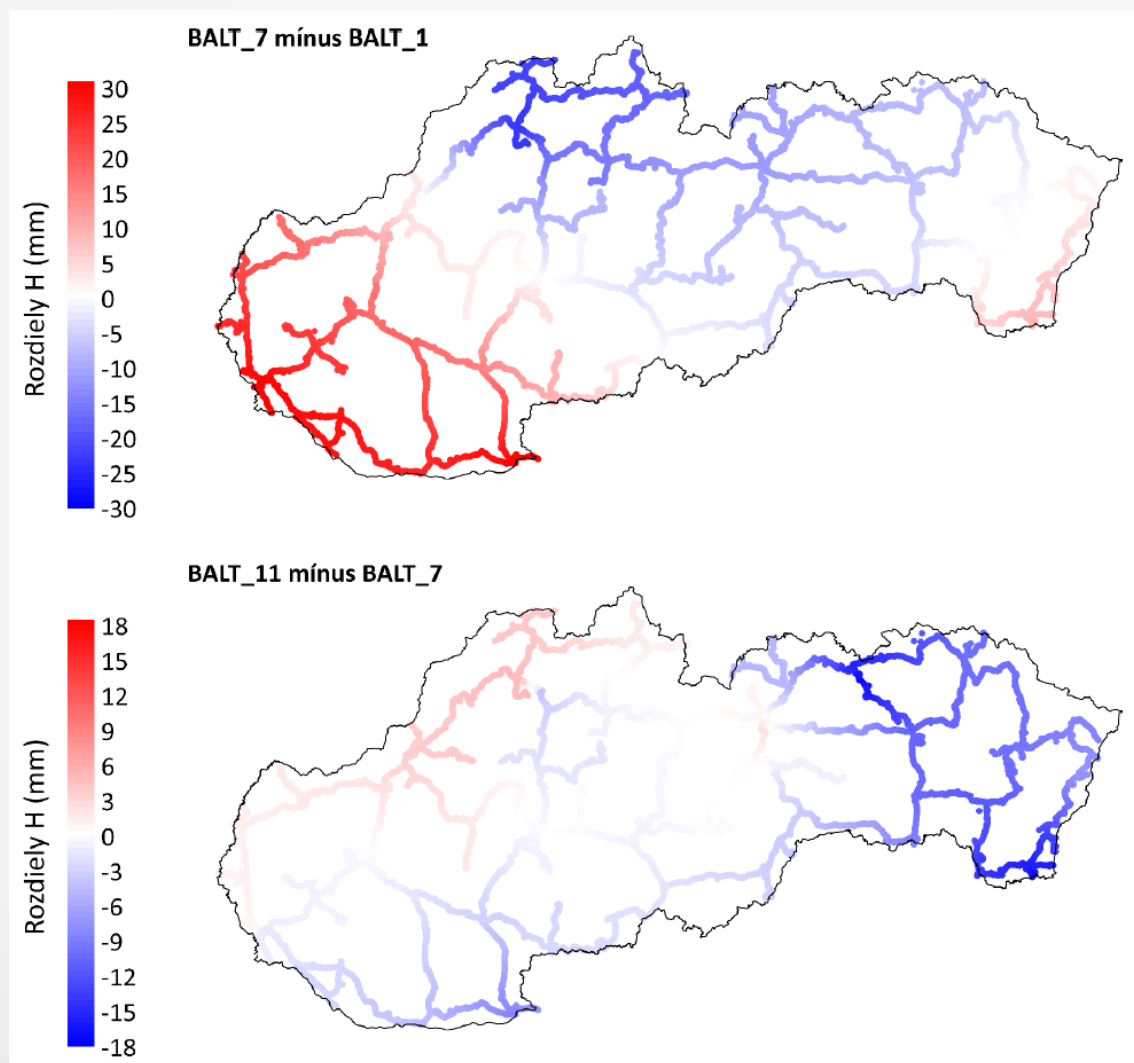
Vyrovnanie geopotenciálnych kót v Bpv

- 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 BALT_1, BALT_7 a BALT_11

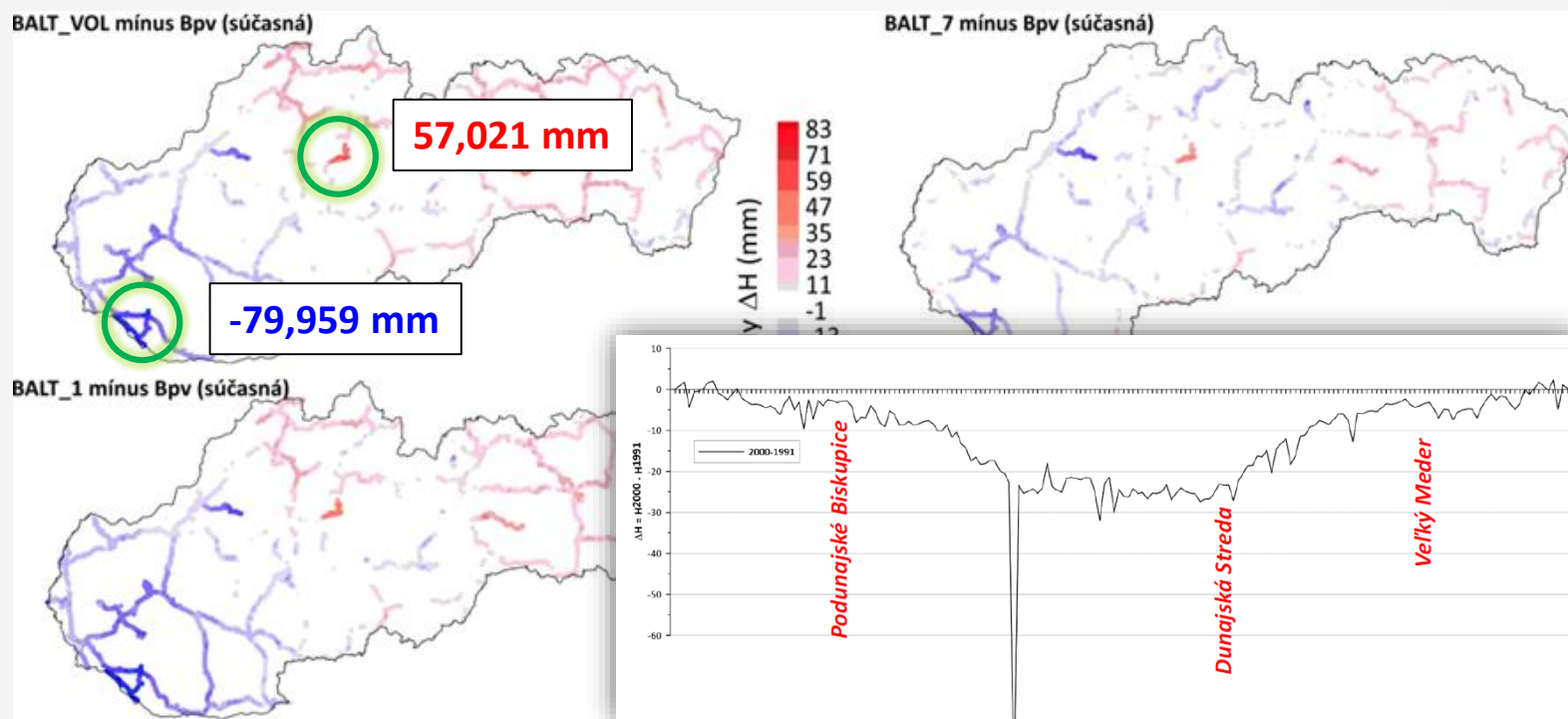


Rozdiel:

- geometrický komponent
- fyzikálny komponent
- súborné vyrovnanie Bpv57

Vyrovnanie geopotenciálnych kót v Bpv

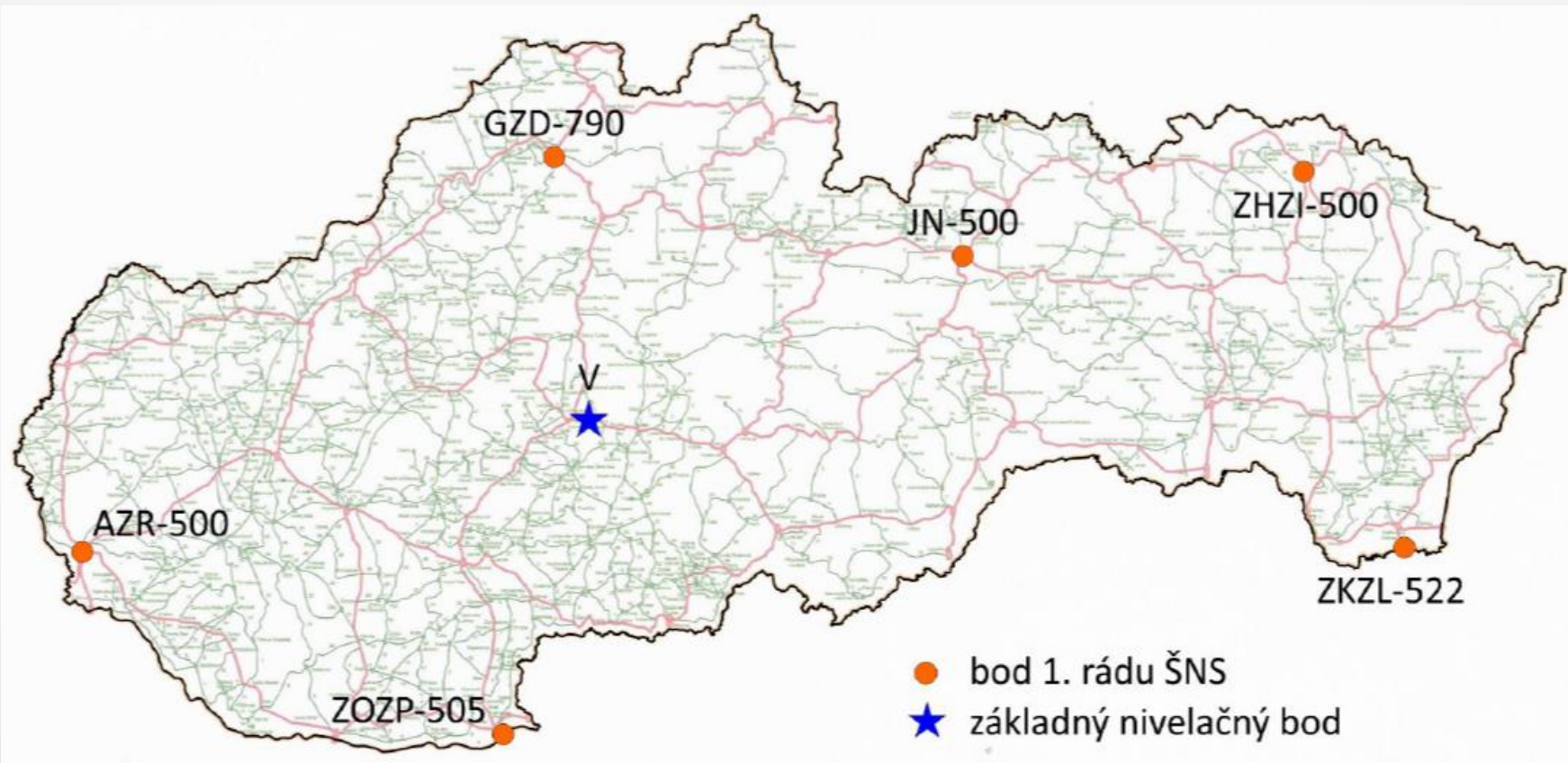
- Porovnanie jednotlivých variantov vyrovnania so súčasnou realizáciou Bpv



Variant	BALT_VOL (mm)	BALT_1 (mm)	BALT_7 (mm)	BALT_11 (mm)
Minimum	-79,959	-84,630	-66,221	-61,913
Maximum	57,021	52,351	44,481	43,369
Priemer	0,000	-4,671	-3,451	-6,113
Rozsah	136,980	136,981	110,702	105,283

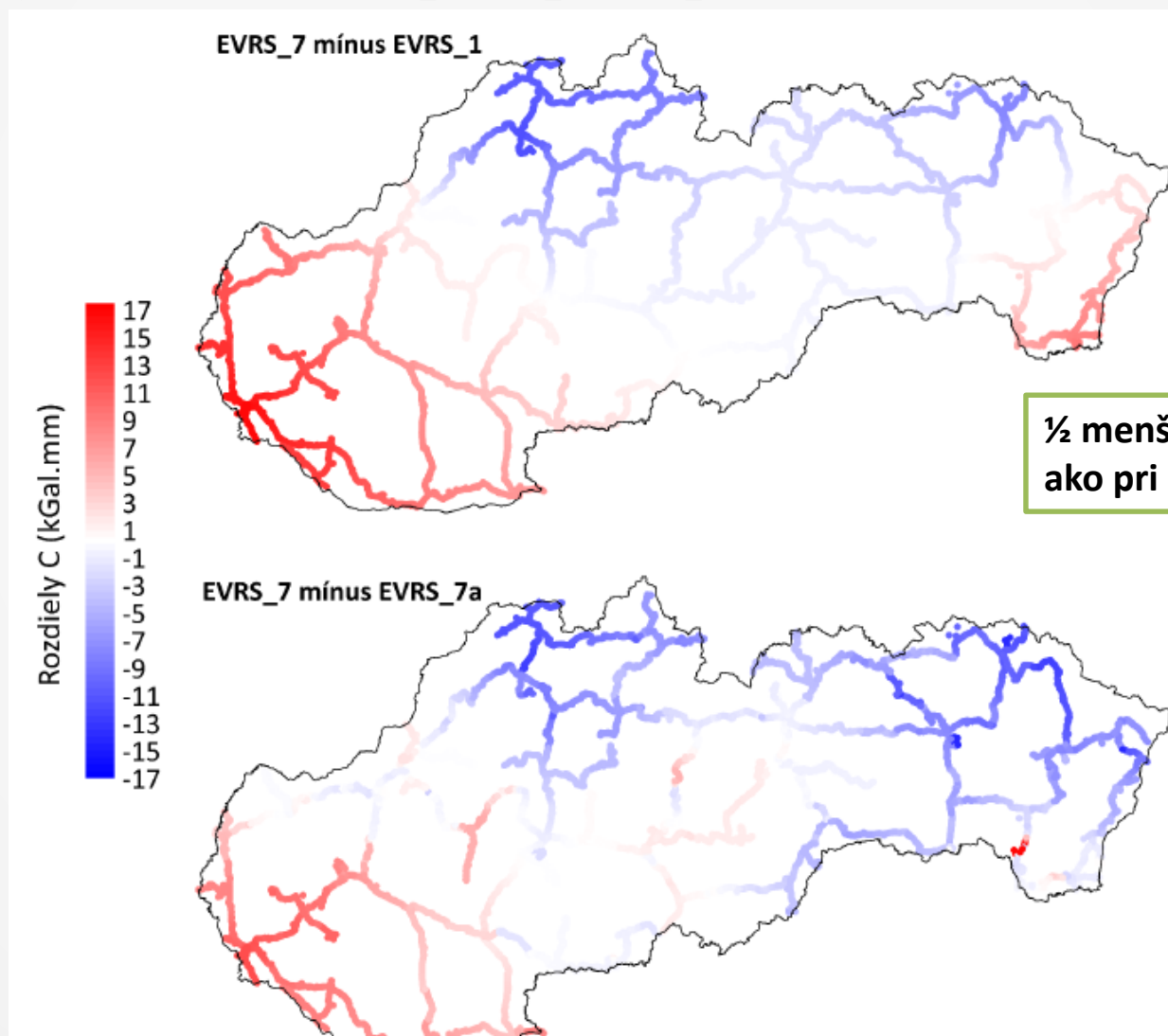
Vyrovnanie geopotenciálnych kót v EVRS

- 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

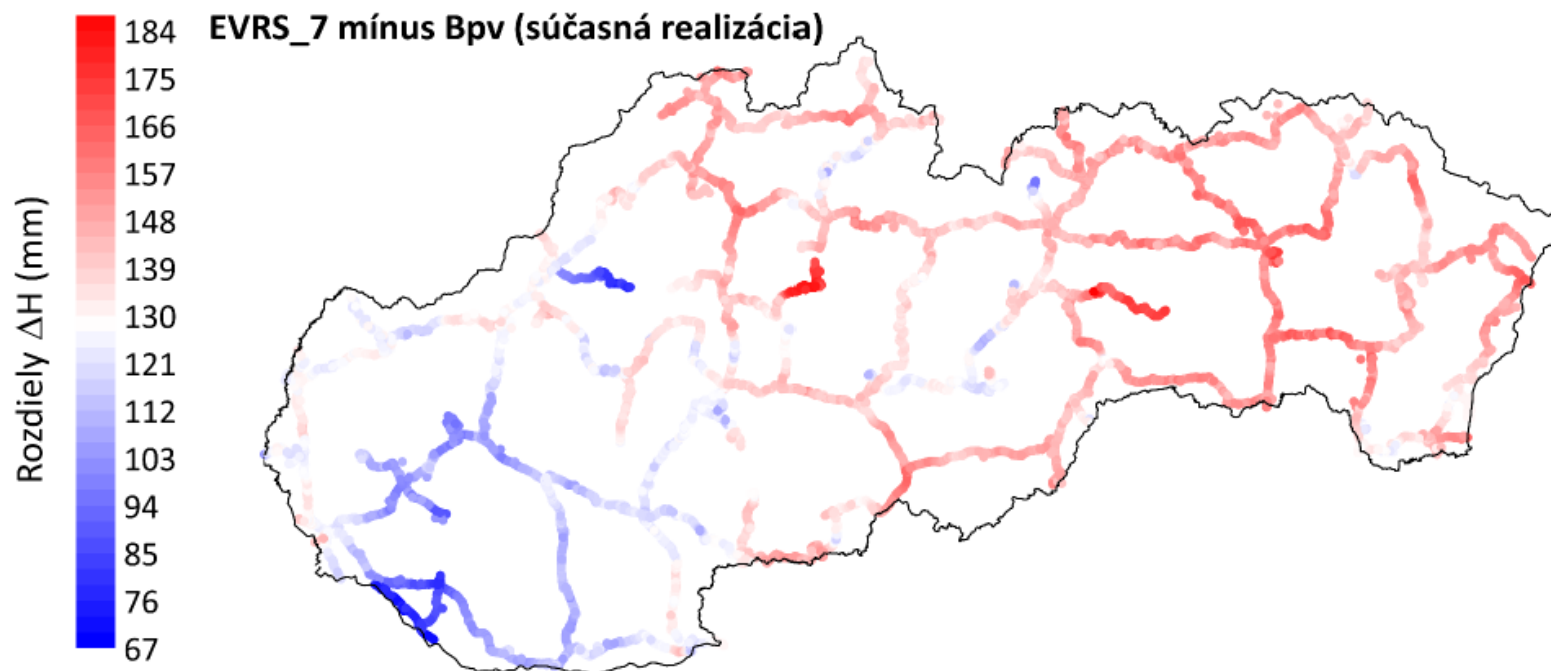
- Porovnanie jednotlivých variantov EVRS_1, EVRS_7 a EVRS_7a



½ menšia deformácia
ako pri BALT_7

Vyrovnanie geopotenciálnych kót v EVRS

- Porovnanie variantu EVRS_7 so súčasnou realizáciou Bpv



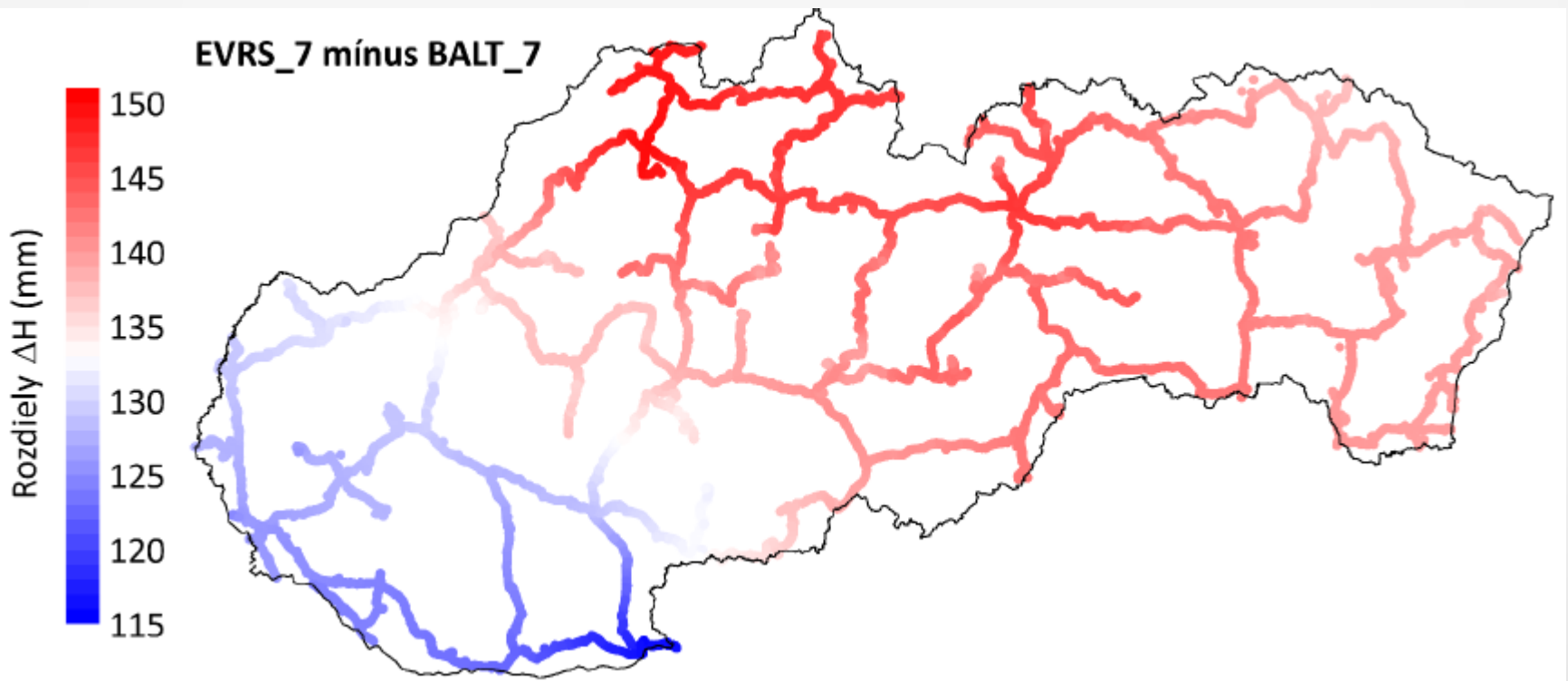
EVRS_7 – Bpv	mm
Počet hodnôt	13 753
Min	67,093
Max	185,250
Priemer	133,881

Rozdiely reprezentujú:

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

Porovnanie geop. kót v EVRS a Bpv

- Porovnanie EVRS_1 a BALT_1
 - Konštantný rozdiel **137,551** mm
 - Rozdiely v referenčných výškach ZNB V vBpva EVRF2007 (rozdiely NAP a Kronšadt, vplyv slapových systémov na fix.bode, vplyv prepočtu geop. kót do normálnych výšok –rozdielne γ_0)
- Porovnanie EVRS_7 a BALT_7
 - Rozdiely **115,505 – 149,333** mm



Testovanie nových realizácii Bpv a EVRS pomocou GNSS nivelácie

- Rezortná transformačná služba – DVRM05
- novší model kvázigeoidu – KGZA STU
- Testovacia množina: Body Štátnej priestorovej siete
 - triedy A (34 bodov) – **štandardná odchýlka elipsoidickej výšky 10 mm**

$$H = h - \zeta$$

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

- triedy C (344 bodov) – **štandardná odchýlka elipsoidickej výšky 25 mm**

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

Zhrnutie výsledkov

- Nevýhodami novej realizácie Bpv sú:
 - došlo by k rozporu s definíciou baltského výškového systému,
 - výpočet pomocou geopotenciálnych rozdielov
 - 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 zámeny 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 koordináciu pri implementácii.

- Výhodami novej realizácie Bpv sú:
 - systém je známy a zaužívaný v praxi,
 - jednoduchšia úprava legislatívy – bolo by potrebné doplniť novú realizáciu.

Zhrnutie výsledkov

- Výhodami novej realizácie EVRS sú:
 - moderný prístup k výpočtu normálnych výšok,
 - jednoznačnosť výpočtu nezávislá na trase nivelácie,
 - jednoduchá aktualizácia výšok aj pri zmene rámca EVRS (napr.2019),
 - 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 realizácie 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.

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.

Ďakujem za pozornosť

Ing. Ján Bublavý

Geodetický a kartografický ústav BRATISLAVA

jan.bublavy@skgeodesy.sk