



Geodetický a kartografický ústav Bratislava

Ako postupujeme pri zavádzaní nového výškového systému Slovenska

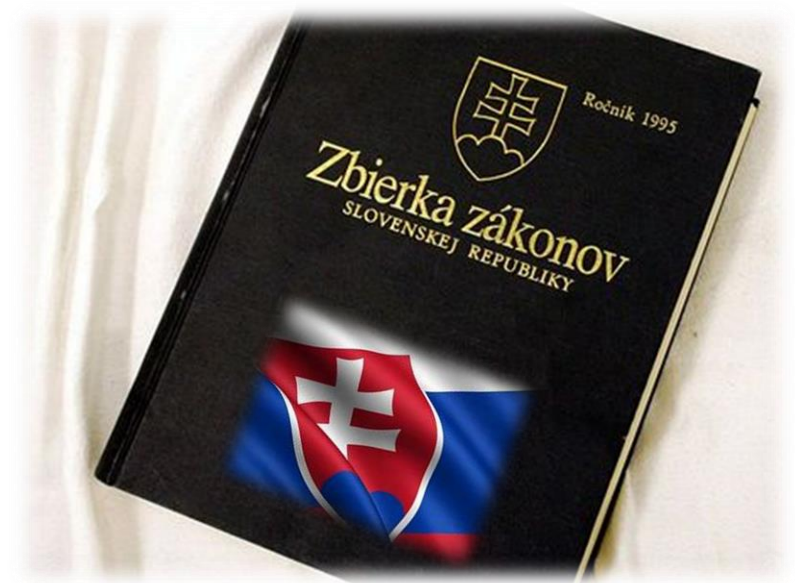
Branislav DROŠČÁK, Miroslava JANČOVIČOVÁ, Ján BUBLAVÝ

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



Záväzné (a iné) geodetické referenčné systémy na Slovensku

- záväzné geodetické referenčné systémy sú na Slovensku stanovené zákonom NR SR č.215/1995 Z. z. v znení neskorších predpisov
- podrobnejšie ich spolu s platnými realizáciami definuje Vyhláška ÚGKK SR č.300/2009 Z. z. v znení neskorších predpisov
- „vlastné“ geodetické referenčné systémy definuje:
 - Ministerstvo vnútra (Odbor správy štátnej hranice)
 - Ministerstvo obrany
 - Ministerstvo dopravy (Dopravný úrad)



Závazné geodetické referenčné systémy Slovenska – **definované aj s EPSG kódmi**



Geodetický referenčný systém	Realizácia geodetického referenčného systému	Alfanumerický/alfabetický kód	EPSG kód
Európsky terestrický referenčný systém 1989	Slovenský terestrický referenčný rámec 2009	SKTRF09 = ETRF2000	EPSG::4937 (3D - $\phi\lambda h$) EPSG::4258 (2D - $\phi\lambda$) EPSG::4936 (3D - XYZ)
Súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej	Jednotná trigonometrická sieť katastrálna	JTSK	EPSG::2065 (základný poludník Ferro) EPSG::5513 (základný poludník Greenwich))
	Jednotná trigonometrická sieť katastrálna 2003	JTSK03	EPSG::8352 (základný poludník Greenwich)
Baltský výškový systém po vyrovnaní	Baltský výškový systém po vyrovnaní	Bpv = Bpv (1957)	EPSG::8357
Európsky vertikálny referenčný systém	Slovenský vertikálny referenčný rámec 2005	SKVRF05 = EVRF2000	EPSG::5730
Gravimetrický systém	Gravimetrický systém 1995	S-Gr95	-

Závazné geodetické referenčné systémy Slovenska – definované aj s EPSG kódmi

- vyhláška ÚGKK SR č.300/2009 Z.z. v znení novely z roku 2019

- platnosť od: 25.7.2009
- účinnosť od 1.10.2019

ZBIERKA  ZÁKONOV
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Ročník 2009

Vyhlásené: 25. 7. 2009

Časová verzia predpisu účinná od: 1.10.2019

Obsah dokumentu je právne záväzný.

300

VYHLÁŠKA

Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky

zo 14. júla 2009,

ktorou sa vykonáva zákon Národnej rady Slovenskej republiky
č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov

(4) Realizácia Európskeho terestrického referenčného systému 1989 predstavuje súbor geocentrických priestorových súradníc, ročných zmien súradníc a charakteristík presností vybraných bodov štátnej priestorovej siete s alfabetským kódom ŠPS, spracovaných k určitému dátumu pomocou množiny staníc EUREF permanentnej siete postupom definovaným v EUREF smerniciach, na ktoré sú naviazané ostatné body ŠPS. Jej názov je Slovenský terestrický referenčný rámec s alfanumerickým kódom SKTRFyy a ten zodpovedá a reprezentuje národné zhustenie konkrétnej zvolenej epochy Európskeho terestrického referenčného rámca s alfanumerickým kódom ETRFyyyy a epochou yyyy.yyy. Súradnice a charakteristiky presností ostatných bodov ŠPS sú určené vo väzbe na realizáciu SKTRFyy, a tým preberajú jej charakteristiky z pohľadu ETRFyyyy a epochy yyyy.yyy. Národnou realizáciou ETRS89 je realizácia SKTRF09, ktorá zodpovedá ETRF2000 a epoche 2008,5 a na konci sa pripája táto veta: „Kód EPSG národnej realizácie ETRS89 pre 3D ϕ , λ , h je EPSG::4937, pre 2D ϕ , λ je EPSG::4258 a pre 3D X, Y, Z je EPSG::4936.

(5) Realizácia súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej predstavuje

a) súbor rovinných súradníc bodov štátnej priestorovej siete s jednoznačne definovaným vzťahom k národnej realizácii ETRS89; označuje sa JTSK03 a má kód EPSG::8352 (základný poludník je Greenwich),

b) súbor rovinných súradníc bodov štátnej trigonometrickej siete, záväzný pre súbor geodetických informácií katastra nehnuteľností, pre preberanie výsledkov geodetických a kartografických prác do štátnej dokumentácie, pre vybrané geodetické a kartografické činnosti podľa § 6 zákona a pre ostatné informačné systémy o území, s jednotnou transformáciou do JTSK03, zabezpečujú Rezortnou transformáčnou službou zriadenou úradom; označuje sa JTSK a má kód EPSG::2065 (pre základný poludník Ferro) alebo EPSG::5513 (pre základný poludník Greenwich).

Realizáciami S-JTSK sú JTSK03 a JTSK.

(6) Realizácia Baltského výškového systému po vyrovnaní predstavuje súbor normálnych výšok a charakteristík presností bodov štátnej nivelačnej siete určených vyrovnaním opakovaných nivelačných meraní vzhľadom na jeden základný alebo množinu viacerých základných nivelačných bodov a označuje sa alfanumerickým kódom Bpvy. Normálna výška základného nivelačného bodu alebo základných nivelačných bodov je určená vo väzbe na medzinárodné vyrovnanie európskych nivelačných sietí k strednej hodnote reprezentujúcej nulu morského vodočtu v Kronštade. Realizáciu Baltského výškového systému po vyrovnaní je Bpv z roku 1957 a má kód EPSG::8357.

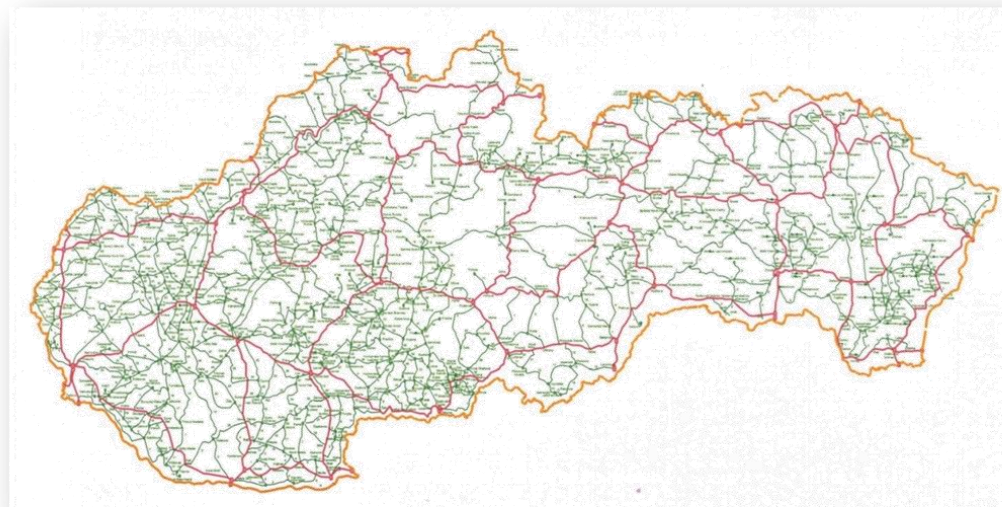
(7) Realizácia Európskeho vertikálneho referenčného systému predstavuje súbor geopotenciálnych kót, normálnych výšok a charakteristík presností bodov štátnej nivelačnej siete určených vyrovnaním vzhľadom na jeden základný alebo množinu viacerých základných nivelačných bodov určených v rámci medzinárodného vyrovnania vyšších rádoz nivelačných sietí európskych štátov. Národnou realizáciou EVRS nazývame Slovenský vertikálny referenčný rámec a označujeme ho alfanumerickým kódom SKVRFyy, pričom SKVRFyy zodpovedá a reprezentuje národné zhustenie konkrétnej realizácie Európskeho vertikálneho referenčného rámca označeného alfanumerickým kódom EVRFyyyy. Realizáciu EVRF je SKVRF05, ktorý zodpovedá EVRF2000 a má kód EPSG::5730.

(8) Realizácia Gravimetrického systému predstavuje súbor tiažových zrýchlení a charakteristík presností vybraných bodov geodetických základov určených z národného vyrovnania absolútnych a relatívnych gravimetrických meraní vykonaných v štátnej gravimetrickej sieti. Realizácia Gravimetrického systému sa označuje alfanumerickým kódom S-Gryy. Realizáciou Gravimetrického systému je S-Gr95.

Výškové referenčné systémy na Slovensku

- **Baltský výškový systém po vyrovnaní (Bpv)**

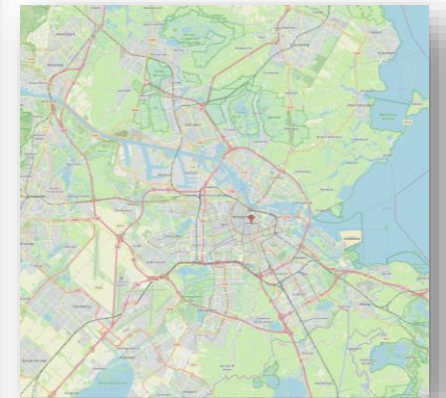
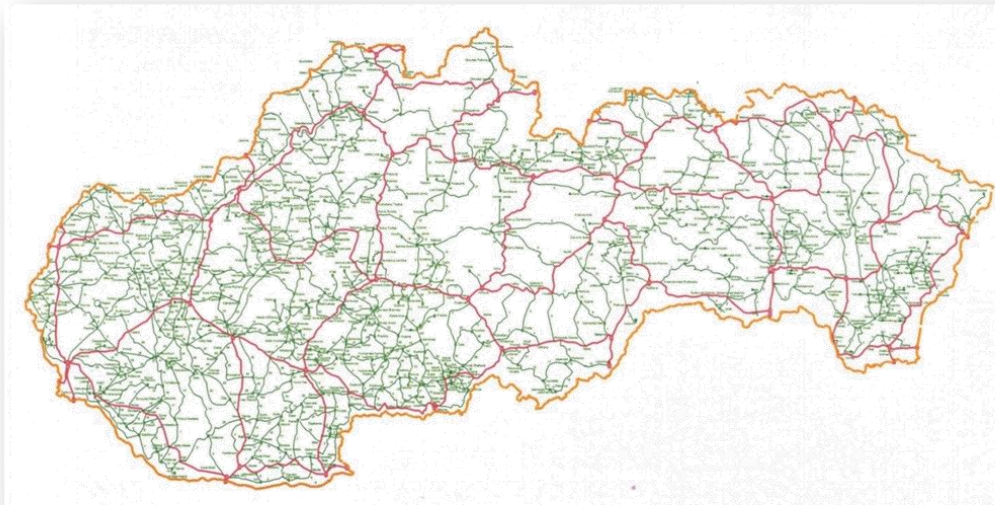
- Realizácia Bpv57 = súborné vyrovanie z roku 1957; EPSG:8357
- Nulový bod: mareograf v Kronštadte (Fínsky záliv)
- Normálne výšky podľa Molodenského
 - Normálne tiažové pole – výpočet Helmertovým vzťahom (1909)
 - Krasovského elipsoid
 - Redukcia z tiažového zrýchlenia – interpolácia z máp úplných Bouguerových anomálií
- Nové merania sú zapracovávané („kazené“) do pôvodnej Bpv57



Výškové referenčné systémy na Slovensku

- Európsky vertikálny referenčný systém (EVRS)

- Realizácia EVRF2000; EPSG: 5730
- Nulový bod: mareograf v Amsterdame - Potenciál na mareografe Normaal Amsterdams Peil (NAP): $W_0 = W_{0E} = \text{konšt.}$
- definícia pomocou geopotenciálnych kót C_P – reprezentuje rozdiel potenciálov medzi referenčnou plochou EVRS (NAP) a bodom P na zemskom povrchu
- Prepočet geopotenciálnej kóty na normálnu výšku podľa Molodenského: $H_P = \frac{C_P}{\gamma_s}$



Mílniky vývoja výškových systémov na Slovensku (od roku 1990)

- 1990 - používaná ČSJNS s Bpv (realizácia Bpv57)
- uvažovanie do budúcnosti o prechode na Bpv83 a súčasne na UELN s referenčným bodom Amsterdam
- 1995 – 1996
- vybudovanie ŠNS (na podklade bodov ON a bodov I.-III. rád ČSJNS z územia SR)
- zapojenie ŠNS do UELN
- súborné vyrovnanie ŠNS 1. rádu v Bpv83 (výšky nenasadené do praxe)
- 2006 - variantné vyrovnanie 1. rádu ŠNS v Bpv a Bpv83 (výšky nenasadené do praxe)
- 2009 - implementácia EVRF2000 (vyhláška ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z.)
- súborné vyrovnanie ŠNS v EVRF2000 nebolo vykonané
- 2014 - implementácia EVRF2007 do Rezortnej transformačnej služby
- realizácia EVRF2007 nebola implementovaná do vyhlášky ÚGKK SR č. 300/2009 Z.z.
- 2019 - záujem o prechod na EVRS a nový kvázigeoid
- ÚGKK SR odsúhlasil prechod na EVRS ako primárny výškový systém



Záujem o prechod na EVRS a nový kvázigeoid



- **Aktuálny stav realizácie Bpv57:**

- zastaralá realizácia – rok vyrovnania 1957
- prejavuje sa globálnou a niekde aj lokálnou nehomogenitou výšok
- neumožňuje správne udržiavať výšky v Bpv z dôvodu svojej definície: Krasovského elipsoid, tiažový systém S-Gr57 resp. 64, klasický výpočet, ...

- **Postoj rezortu ÚGKK SR k Bpv57 (od roku 2019):**

- uvedomuje si negatíva a komplikácie s udržiavaním Bpv57
- má záujem využiť presnejšiu transformáciu výšok medzi ETRS89 ↔ EVRS a nový presnejší kvázigeoid
- záver: ÚGKK SR **vyjadril záujem o prechod na nový výškový systém EVRS** (pozri „Konceptia na roky 2016-2020“)
- správca GZ **navrhol výpočet a zavedenie najnovšej realizácie (pozn. v roku 2019 realizácie EVRF2007) výškového systému EVRS ako primárneho výškového systému** na SR s využitím najnovších meraní a moderného prístupu výpočtu výšok (geopotenciálne kóty)

Záujem o prechod na EVRS a nový kvázigeoid

Výhody a nevýhody – rekapitulácia

EVRS

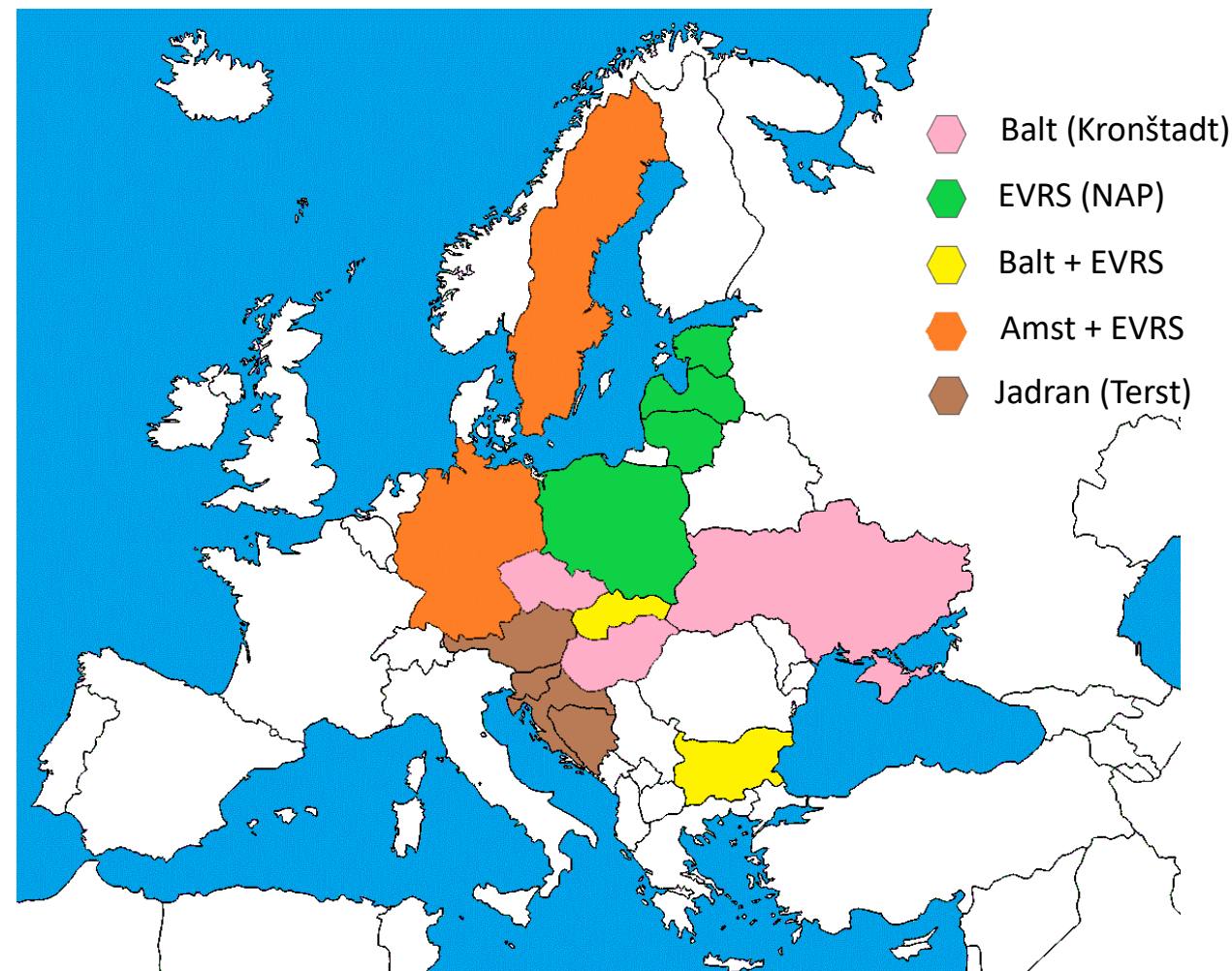
- + Moderný prístup k výpočtu výšok (gepotenciálne kóty)
- + Korektné pripojenie ŠNS k EVRS a jej realizáciám
- + Elipsoid GRS80
- + Slapový systém v súlade s IAG
- Málo známy systém
- Zmeny v hodnotách referenčných výšok
- Úprava legislatívy = dopad na prax a mnohé odvetvia spoločnosti

Bpv






- Klasický spôsob výpočtu, interpolácia jednoduchej Bouguerovej anomálie – „redukcia z tiaže“
- Pripojenie k Bpv57 (vyrovnanie v rámci „východného bloku“)
- Krasovského elipsoid
- Neznalosť slapového systému
- + V praxi zaužívaný dlhé roky

Okolité európske štáty a EVRS

- **Lotyšsko**
 - 2014 – EVRS nahradil baltský výškový systém
 - Vyrovnaný na 16 bodov EVRF2007
- **Litva**
 - 2016 EVRS – nahradil baltský výškový systém
 - Vyrovnaný na 10 bodov EVRF2007
- **Estónsko**
 - 2018 EVRS – nahradil baltský výškový systém
 - Vyrovnaný na 1 bod EVRF2007
- **Poľsko**
 - Do konca 2023 nahradí baltský výškový systém
 - Vyrovnaný na 49 bodov EVRF2007
- **Bulharsko**
 - Baltský výškový systém – Kronštadt
 - Od 2010 aj EVRS (EVRF2007)
- **Švédsko**
 - Amsterdamský výškový systém – NAP
 - Od 2010 aj EVRS (EVRF2000)
- **Nemecko**
 - Amsterdamský výškový systém – NAP
 - Od 2000 aj EVRS (EVRF2000)



Stav prechodu na novú realizáciu EVRS na Slovensku

-  **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 zo zakrivenia zemského povrchu a 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 (7 bodov) – rok 2019
 - nové súborné vyrovnanie - realizácia Bpv (1957) – rok 2019 (rôzne varianty vyrovnaní)
 - nové súborné vyrovnanie - realizácia EVRS (EVRF2007) 1. rád – rok 2019
 - nové súborné vyrovnanie - realizácia EVRS (EVRF2019) 1. rád – rok 2023
 - pripojenie 2. rádov na súborné vyrovnanie 1.rádu (EVRF2019)
-  **4. fáza**
 - obstaráť nový kvázigeoid – rok 2020 (GMSQ2019)
 - vypočítať modely na transformáciu medzi záväznými výškovými systémami SR
-  **5. fáza**
 - upraviť Rezortnú transformačnú službu
 - upraviť legislatívu a vyhlásiť platnosť novej realizácie

2017

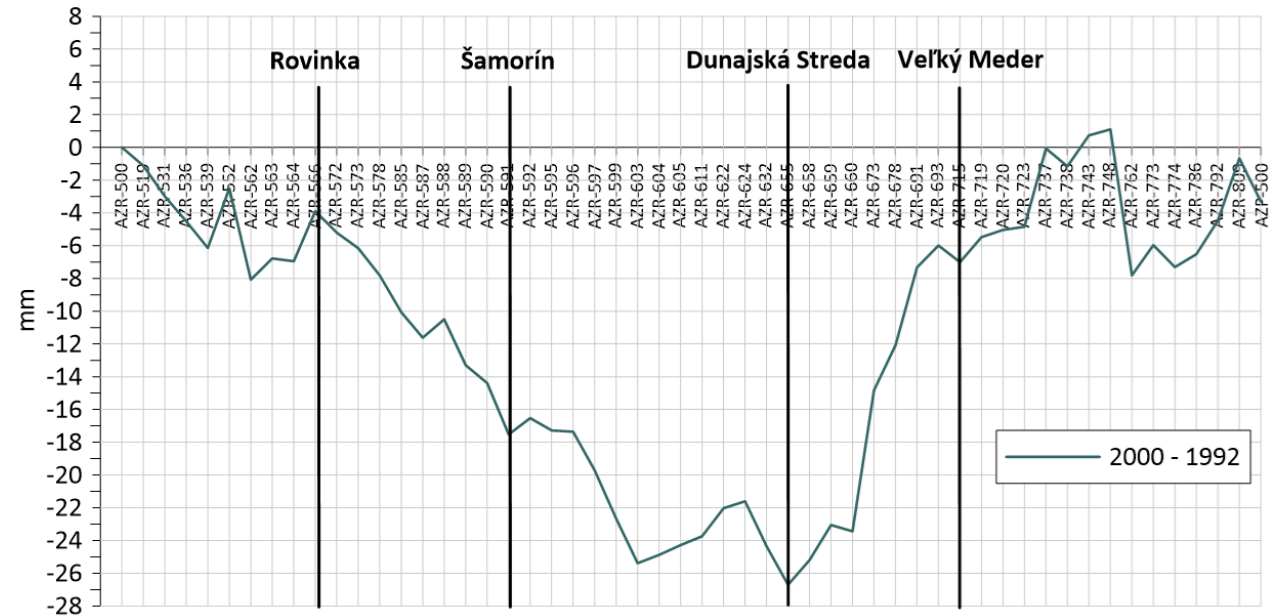
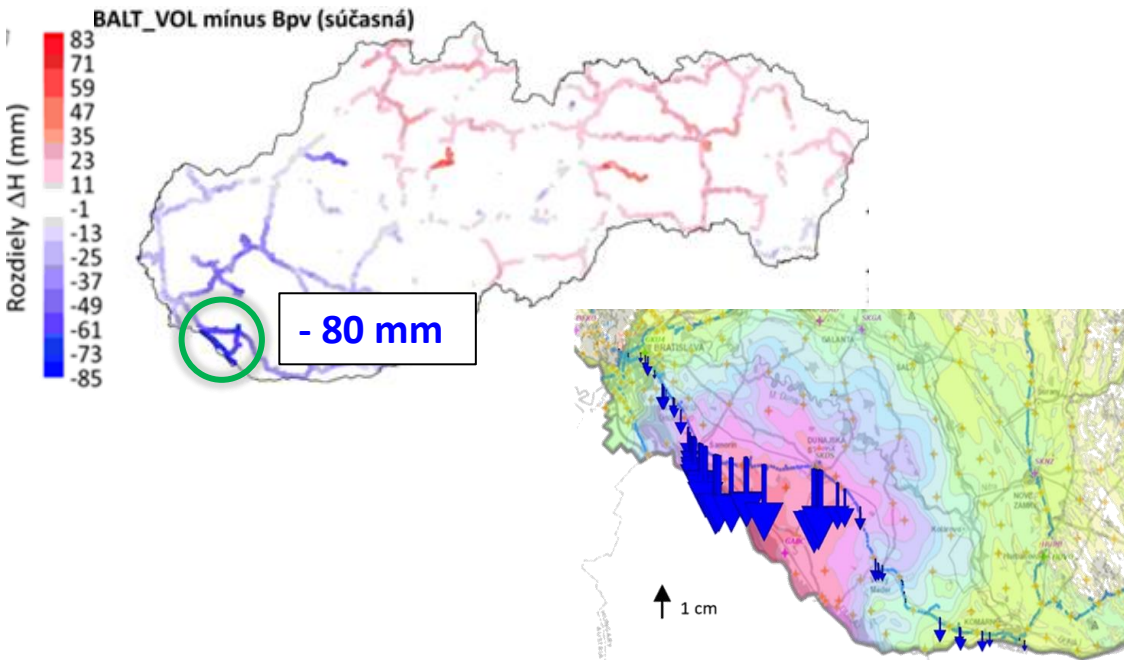


2019

Rok 2019

Identifikovaný problém na Podunajskej nížine

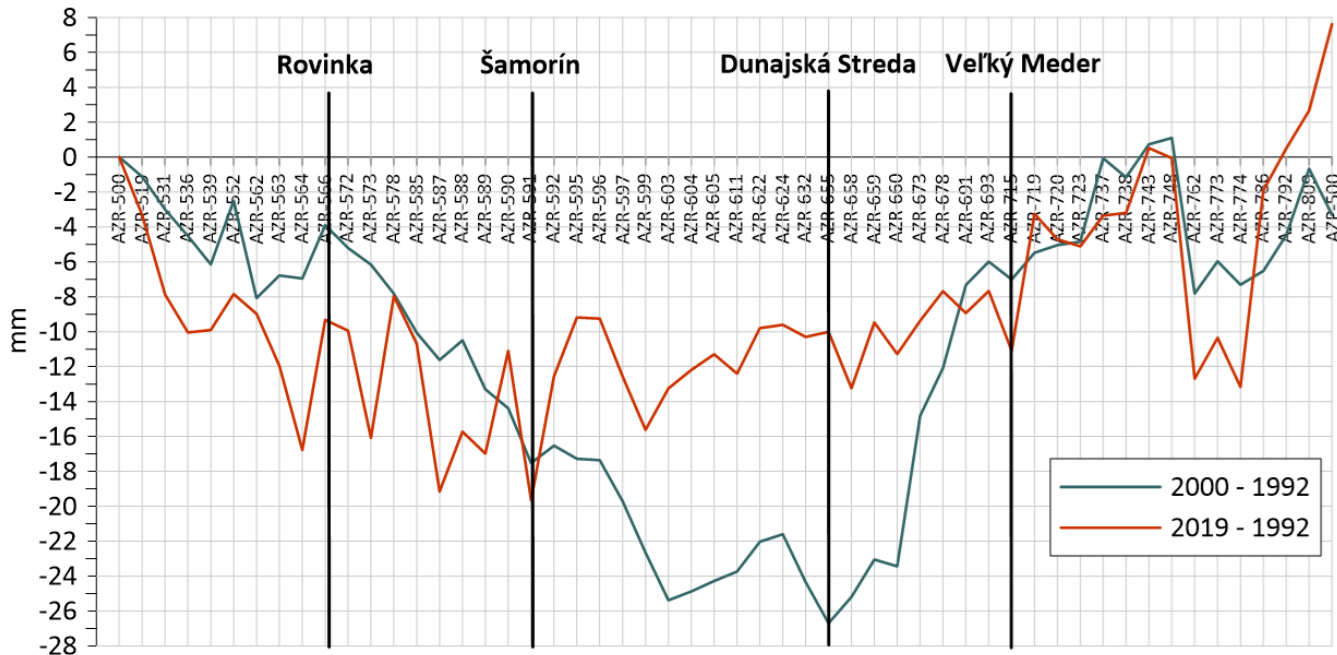
- výrazný pokles v lokalite okolo Dunajskej Stredy
 - k dispozícii až 6 realizácií (1952-2000)
 - za roky 1992 – 2000 sme identifikovali pokles do 2,7 cm
 - na koncovom bode nahromadený rozdiel až do 8 cm
- Rozhodnutie: vykonať nové zameranie nivelačného ťahu AZR (Bratislava – Komárno)



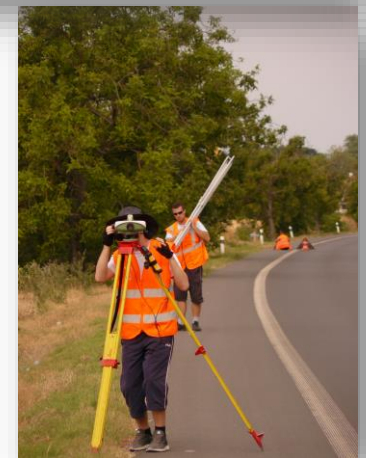
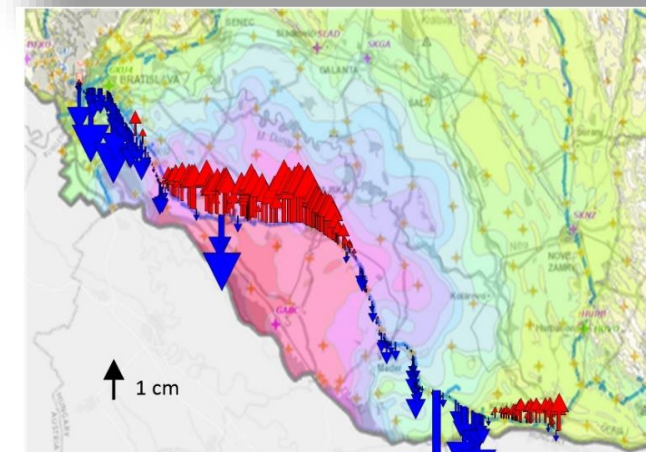
Rok 2019

Nové zameranie t'ahu AZR

- pokles z roku 2000 sa nepotvrdil – identifikovaný opačný trend
- rozdiely voči roku 1992 do 1,5 cm



Rozhodnutie: do vyrovnania bude použité najnovšie meranie z roku 2019.

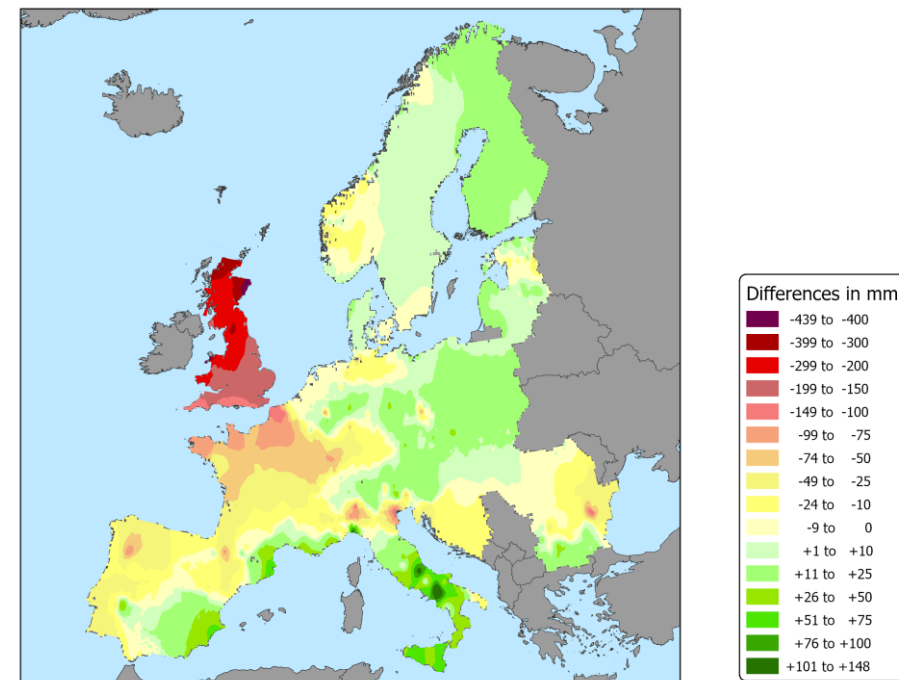
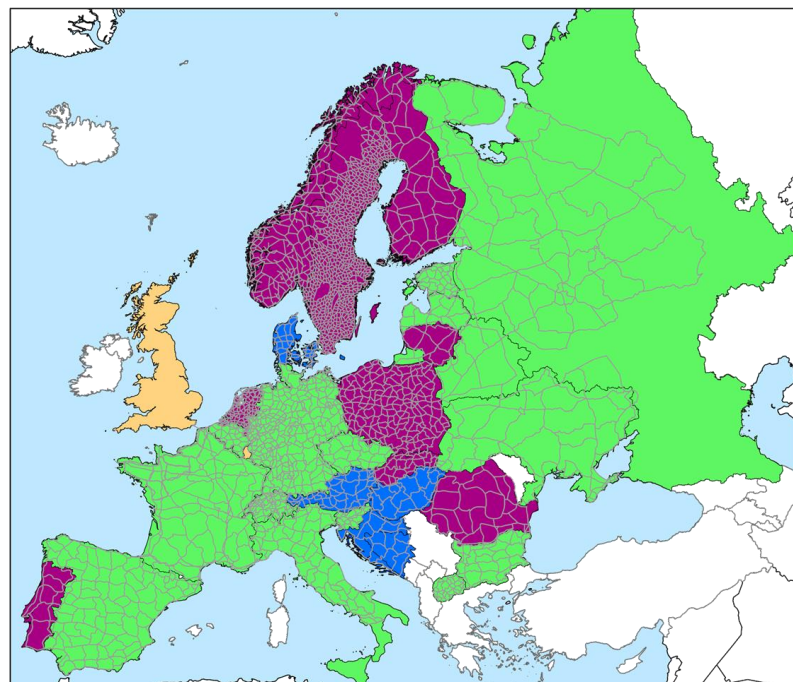


Rok 2019

Vyhlásenie novej realizácie EVRF2019



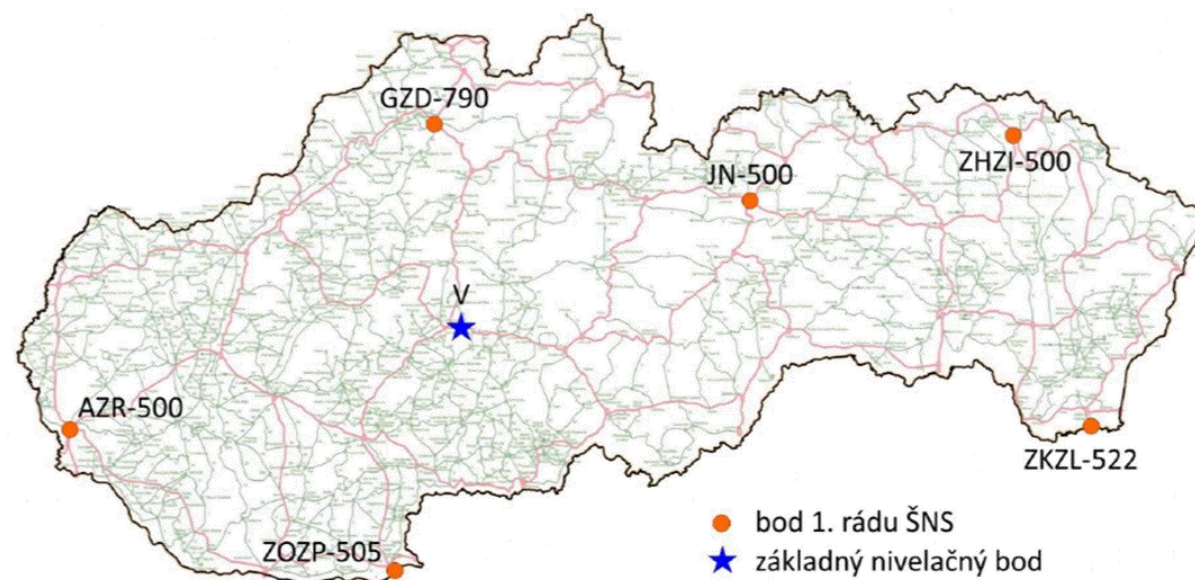
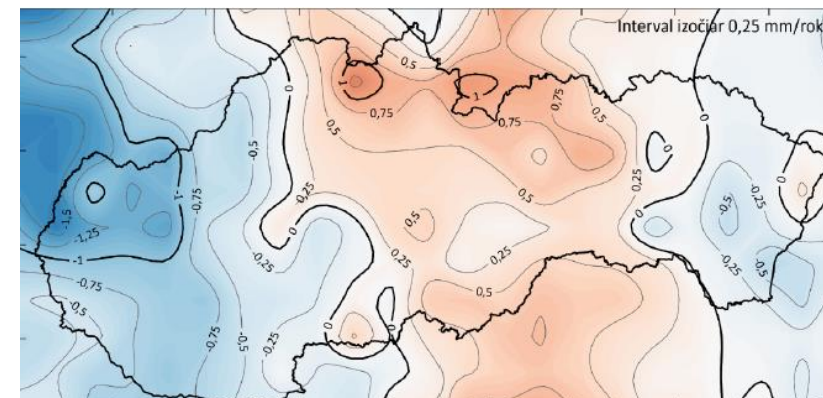
- EUREF výročné sympóziu Tallinn 2019 - rezolúcia č. 3
 - aktualizácia nivelačných ťahov od roku 2008 z 13 krajín
 - rozšírenie siete do Ruska, Bieloruska a na Ukrajinu (umožnená tzv. Baltská slučka)
 - rozdiely EVRF2007 – EVRF2019 na území SR: 11 – 25 mm



Rok 2020

Výpočet novej realizácie EVRF2019 pre SR

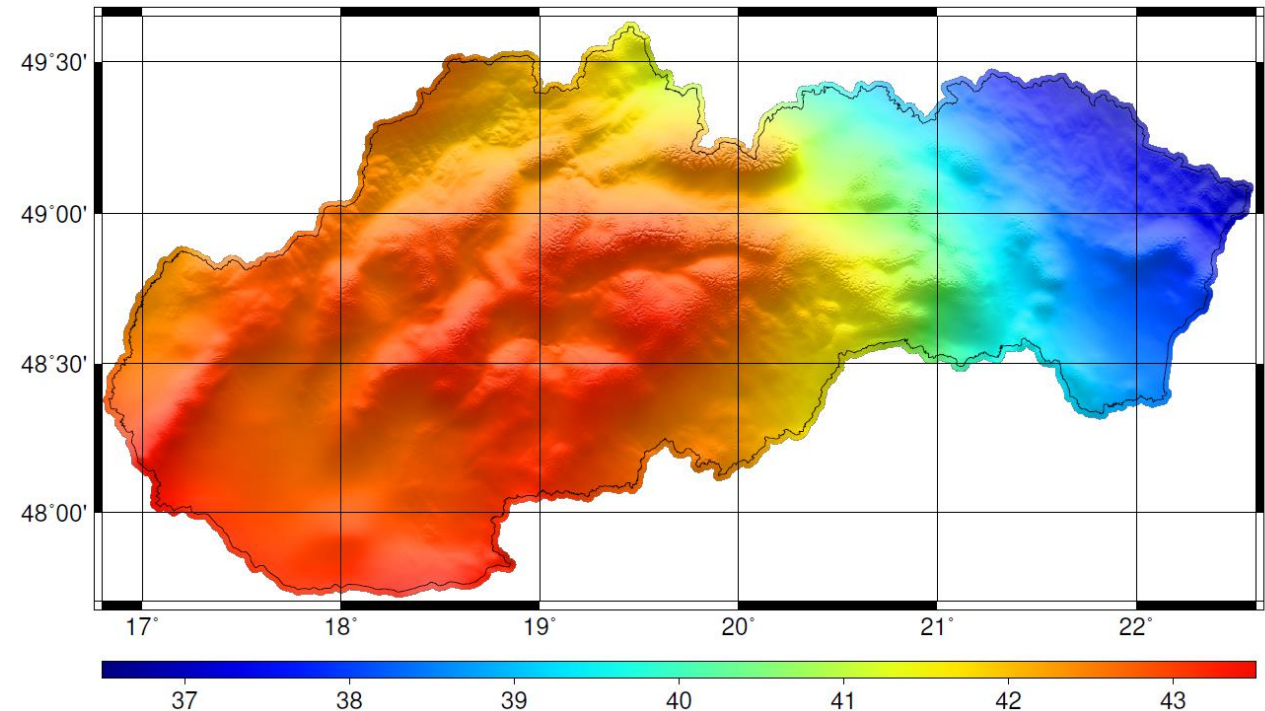
- pripojenie na 7 referenčných bodov, kritéria výberu:
 - rovnomerné rozloženie po území SR
 - stabilné oblasti – na základe mapy recentných vertikálnych pohybov
 - **geopotenciálne kóty pripájacích bodov prevzaté z doručeného súborného vyrovnania v realizácii EVRF2019**



Rok 2020

Obstaranie nového kvázigeoidu pre rezort

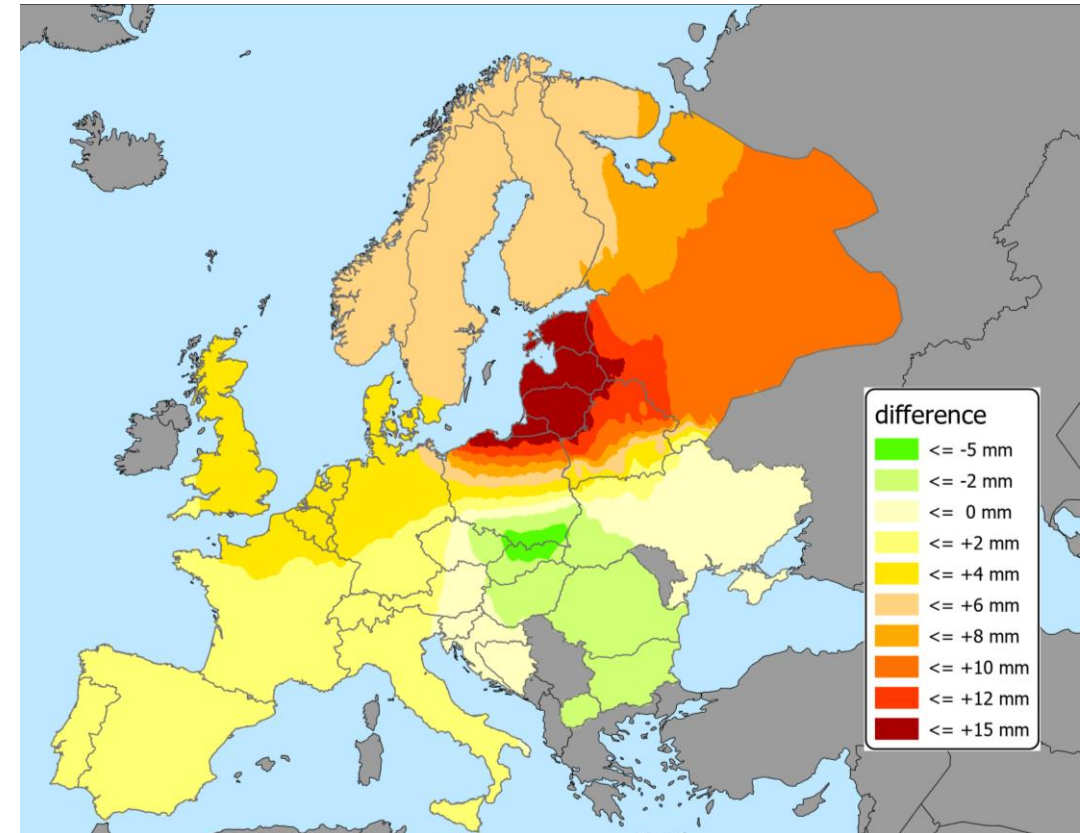
- Gravimetrický model slovenského kvázigeoidu **GMSQ2019**
 - autor: KGGaG SvF STU
 - 20 455 347 bodov
 - Presnosť – rozdiely voči GNSS nivelácii (Bpv)
 - ŠPS A trieda (SKPOS): $\sigma = 18,6$ mm
 - ŠPS B trieda: $\sigma = 25,1$ mm
 - ŠPS C trieda: $\sigma = 21,1$ mm



Rok 2020

Zistenie chyby a oprava vyhlásenej realizácie EVRF2019

- správca EVRS (BKG) zistil chybu v spracovaní EVRF2019 a poslal zoznam s opravenými geopotenciálnymi kótami
 - odhalená chyba pri spracovaní údajov z Poľska
 - najväčšie zmeny zistené v Poľsku a pobaltských štátoch (až do 12 mm)
 - pre územie SR:
 - rozdiely v hodnotách od -7 mm do -2 mm
 - priemerná hodnota: -5 mm



Roky 2021-23

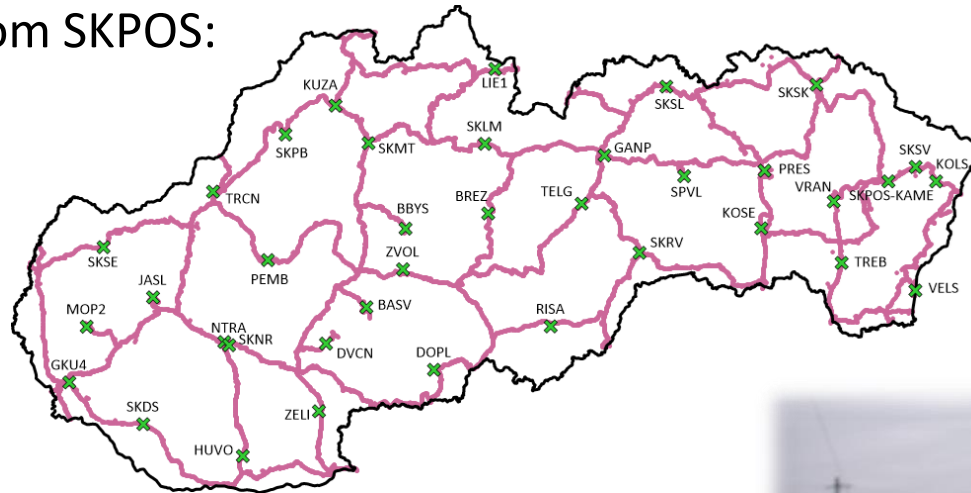
Prepočet realizácie EVRF2019 pre SR

- **Výpočet novej/opravenej národnej realizácie v EVRF2019**

- referenčná množina: 7 pripájacích bodov s opravenými geopotenciálnymi kótami
- rozhodnutie zaradiť do spracovania okrem bodov 1. rádu ŠNS aj prípojky na body SKPOS
- Doplnenie nových prípojok k bodom SKPOS:

- DVCN
- JASL
- NTRA
- TRCN
- VRAN
- ZELI
- ZVOL

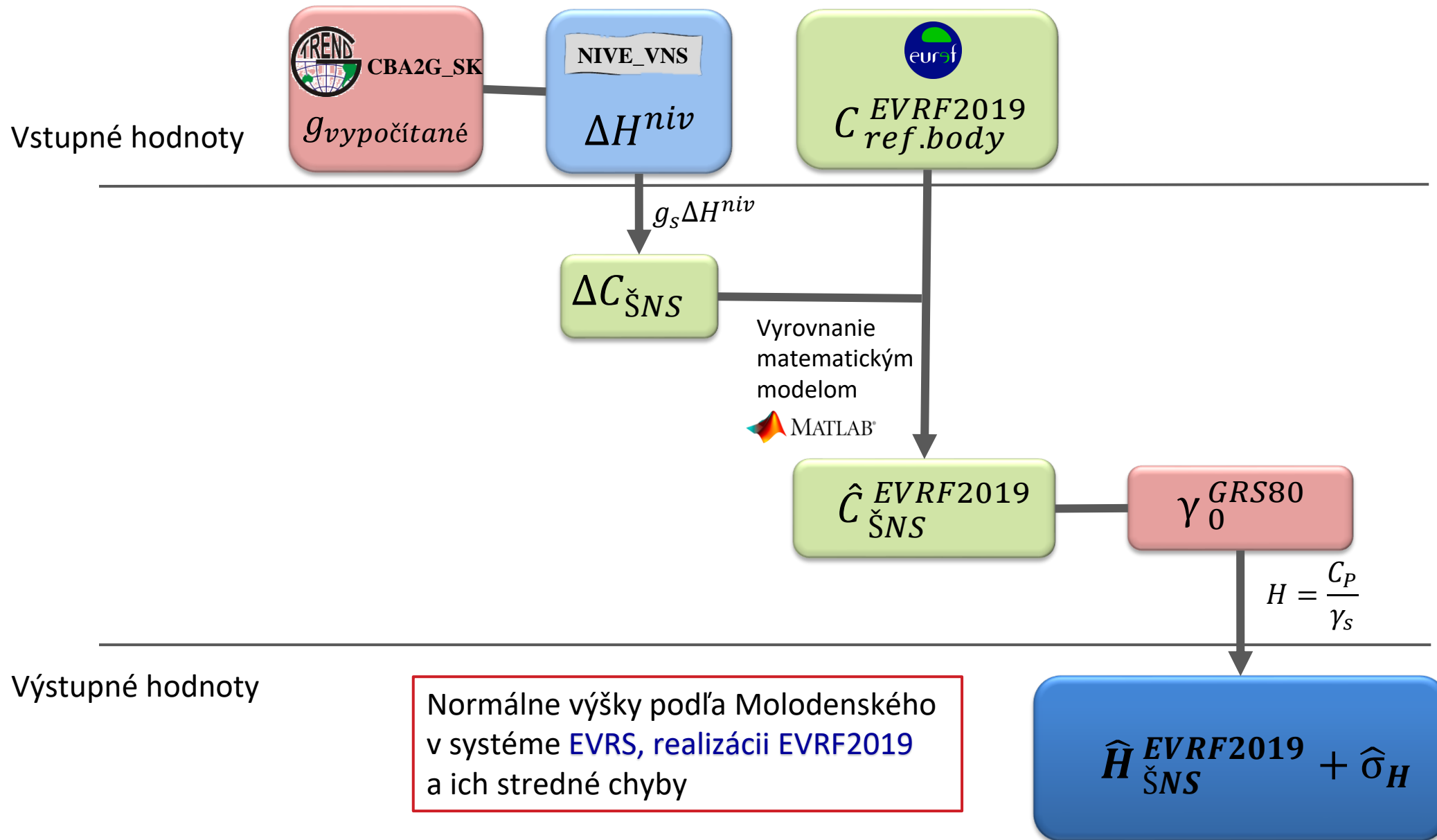
Pripojenie k ŠNS
v rokoch 2019 – 2023



- do spracovania vstúpili aj spresnené polohy niektorých nivelačných bodov

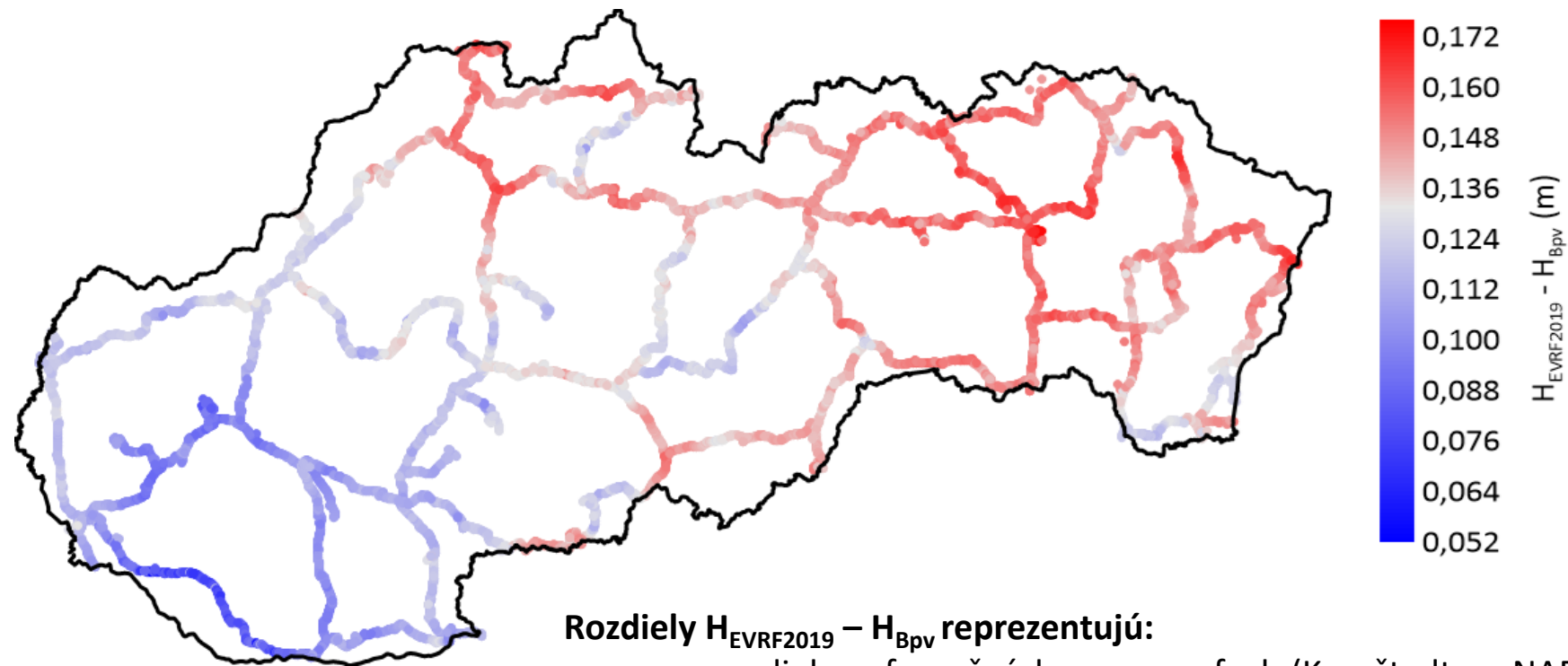


Národná realizácia EVRF2019 – postup výpočtu



Národná realizácia EVRF2019

EVRF2019 vs Bpv57 alebo „O koľko sa nám zmenia výšky“



Rozdiely $H_{EVRF2019} - H_{Bpv}$ reprezentujú:

- rozdiel v referenčných mareografoch (Kronštadt vs. NAP)
- rozdiel v spôsobe výpočtu
- recentné vertikálne pohyby



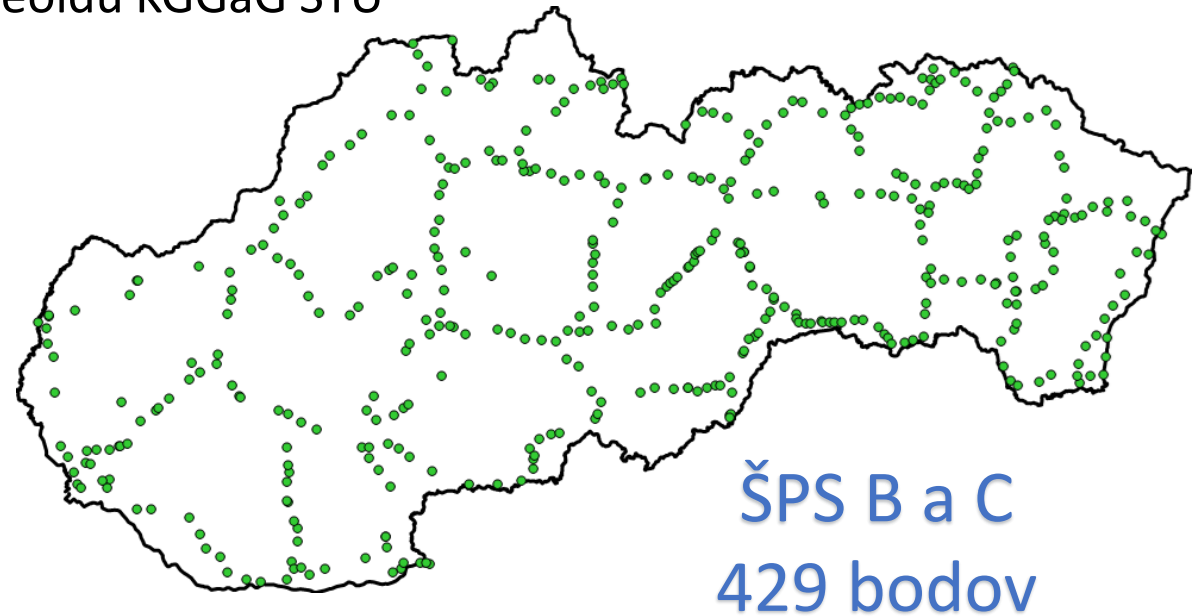
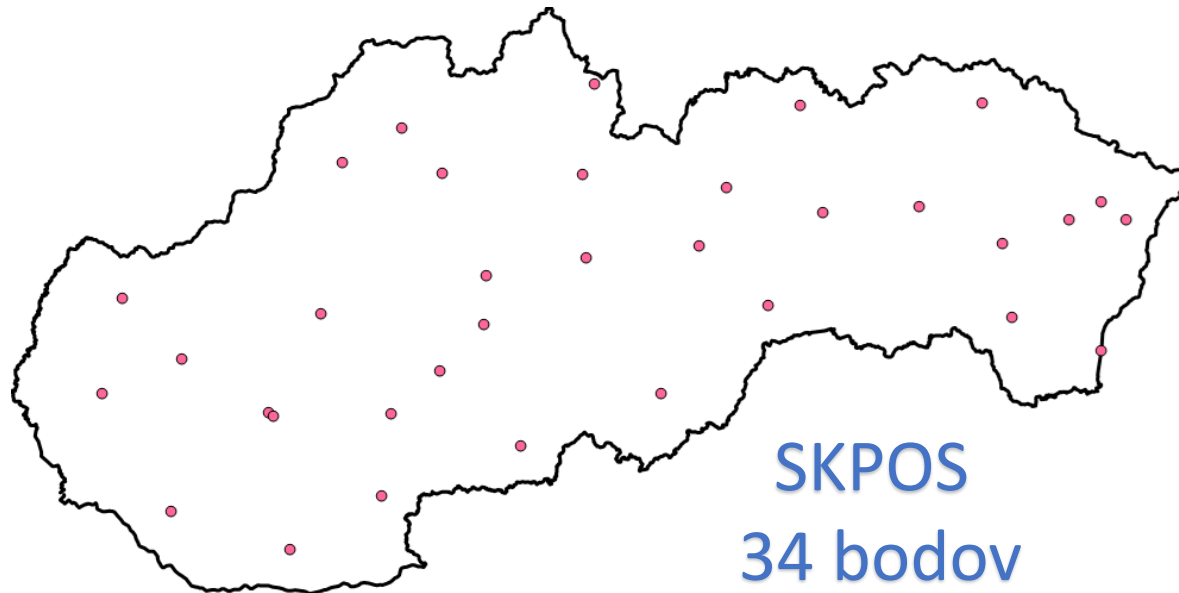
	$H_{EVRF2019} - H_{Bpv}$ (cm)
Minimum	5,213
Maximum	17,461
Priemerná hodnota	13,118
Počet bodov	12 013

Národná realizácia EVRF2019

Otestovanie

- **Testovanie na vybraných bodoch ŠPS**

- Testovací vzťah: $H = h_{ETRS89} - \zeta_{kvázigeoid}$
- Použité kvázigeoidy:
 - DVRM05 (Klobušiak et al.,2005) – využitý v Rezortnej transformačnej službe
 - GMSQ2019 (Bucha et al.,2019) – model kvázigeoidu KGGaG STU

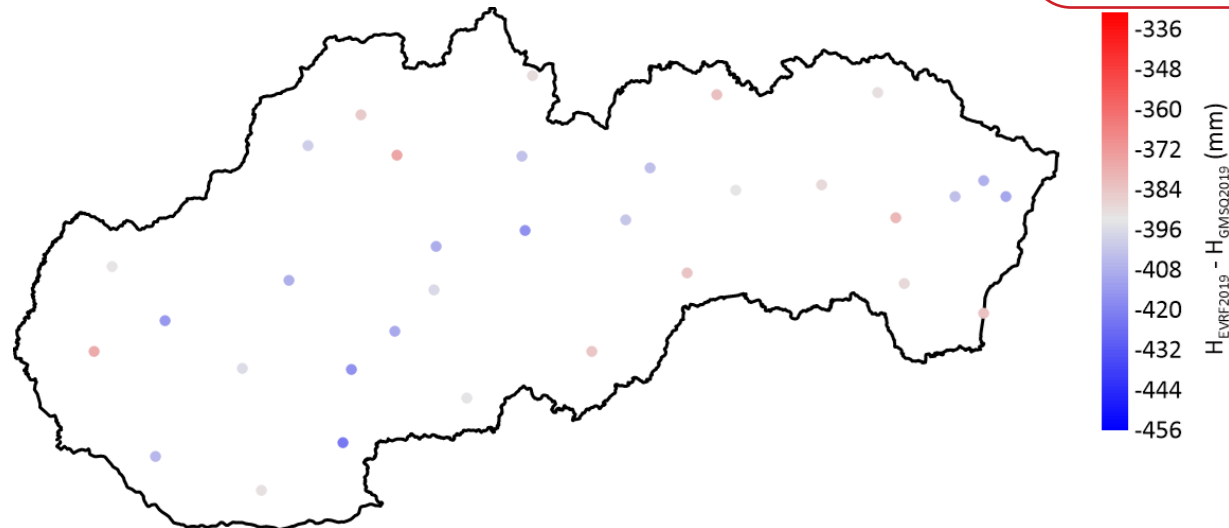


Národná realizácia EVRF2019

Výsledky testovania (na bodoch SKPOS)

- Stredná chyba elipsoidickej výšky bodov SKPOS je 10 mm

		$H_{Bpv} - H_{DVRM05}$	$H_{Bpv} - H_{GMSQ2019}$	$H_{EVRF2019} - H_{DVRM05}$	$H_{EVRF2007} - H_{DVRM05}$	$H_{EVRF2019} - H_{GMSQ2019}$	$H_{EVRF2007} - H_{GMSQ2019}$
Minimum	(mm)	-35,70	-582,68	108,77	92,93	-423,44	-437,47
Maximum		42,40	-498,59	182,35	163,01	-375,97	-393,19
Priemer		-1,08	-546,26	147,31	30,58	-397,87	-413,57
Str. chyba		17,79	19,84	14,90	17,43	12,18	12,78

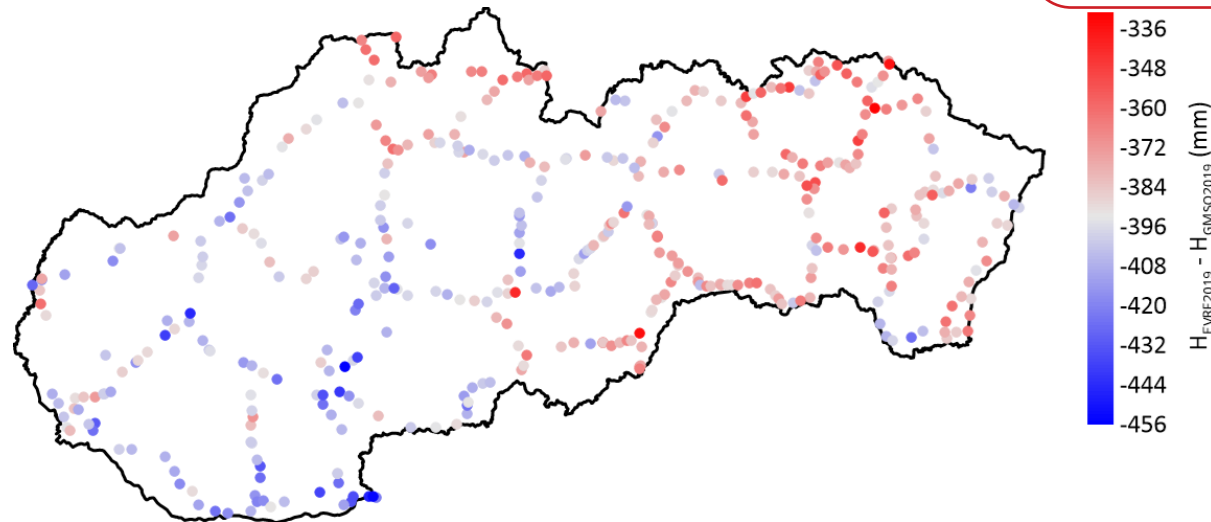


Národná realizácia EVRF2019

Výsledky testovania (na bodoch ŠPS B a C)

- Stredná chyba elipsoidickej výšky bodov ŠPS B a C je 25 mm

		$H_{Bpv} - H_{DVRM05}$	$H_{Bpv} - H_{GMSQ2019}$	$H_{EVRF2019} - H_{DVRM05}$	$H_{EVRF2007} - H_{DVRM05}$	$H_{EVRF2019} - H_{GMSQ2019}$	$H_{EVRF2007} - H_{GMSQ2019}$
Minimum	(mm)	-68,20	-595,16	80,12	69,23	-456,04	-466,19
Maximum		98,40	-477,47	253,43	236,06	-331,64	-313,76
Priemer		1,72	-541,80	153,79	137,52	-389,72	404,86
Str. chyba		21,37	18,20	25,45	26,13	20,44	20,58



Národná realizácia EVRF2019

Vyrovnanie bodov 2.rádov

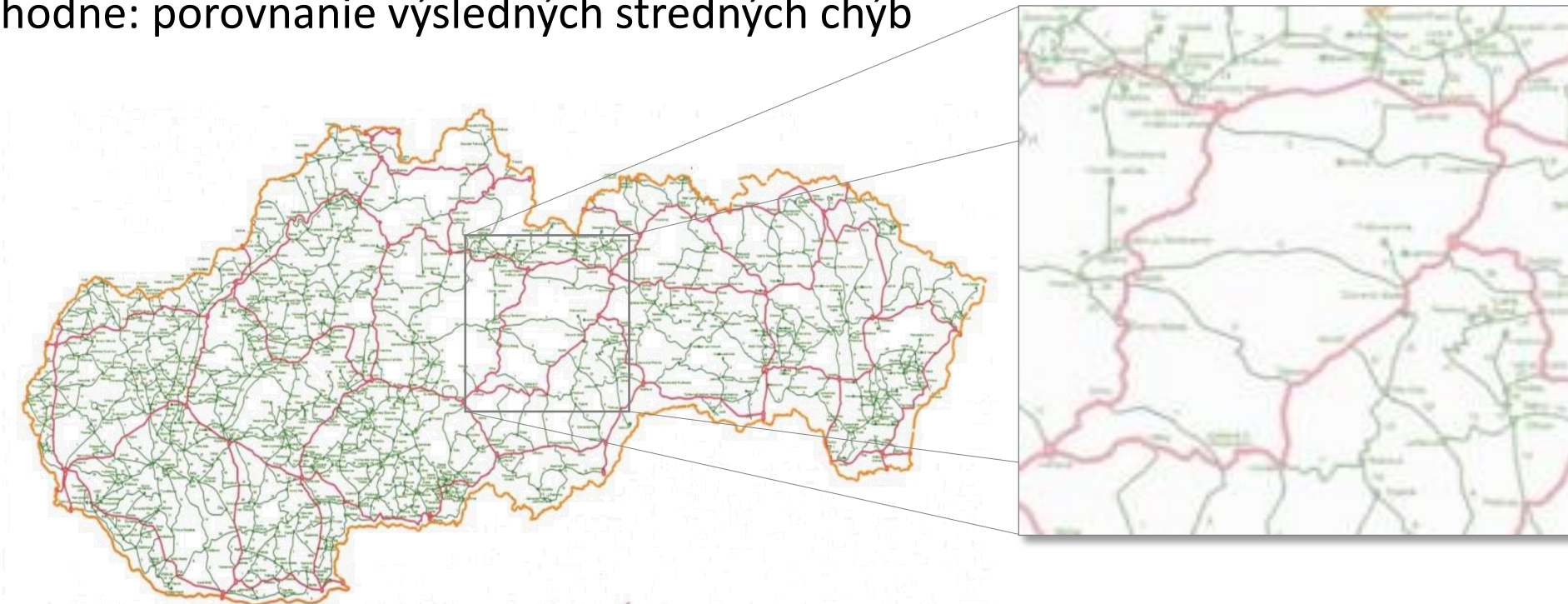
- stav nivelačných bodov 2. rádo
ŠNS:
 - 76 % ťahov premeraných (2003-2016)
 - Meranie: modifikovaná VPN $\rho = 2,25\sqrt{R}$
 - 24 % ťahov nepremeraných = staršie merania (1987-1996)



Národná realizácia EVRF2019

Vyrovnanie bodov 2.rádov

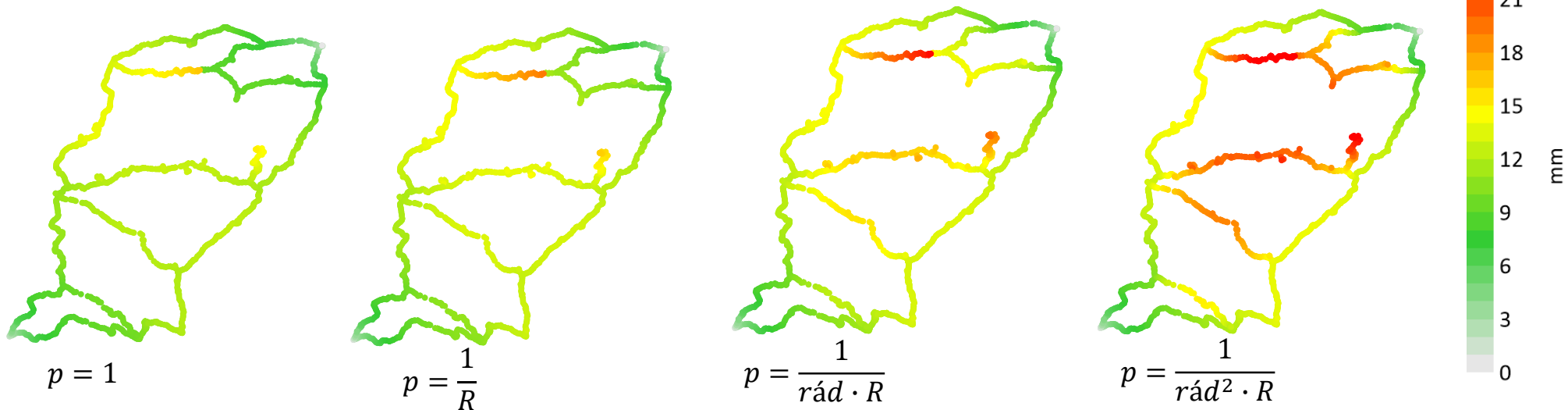
- Prípadová štúdia na vyrovnanie bodov 2. rádu na polygóne I (1. rád)
 - Jedno-etapové alebo Dvoj-etapové vyrovnanie
 - otestovanie vplyvu zavedenia rôzneho váhovania na nivelačných ťahoch 2. rádu
 - Rozhodne: porovnanie výsledných stredných chýb



Národná realizácia EVRF2019

Vyrovnanie bodov 2.rádov

- Vyrovnanie bodov 1. a 2. rádu ŠNS v jednej etape
 - Test s rôznym typom váhovania pre 1. a 2. rády
 - Prejaví sa na výsledných stredných chybách normálnej výšky



- Vyrovnanie bodov 1. a 2. rádu ŠNS v dvoch etapách
 - aktuálne prebiehajú diskusie pri hľadaní najoptimálnejšieho riešenia a možností modifikácie modelu vyrovnania
 - máte tip?

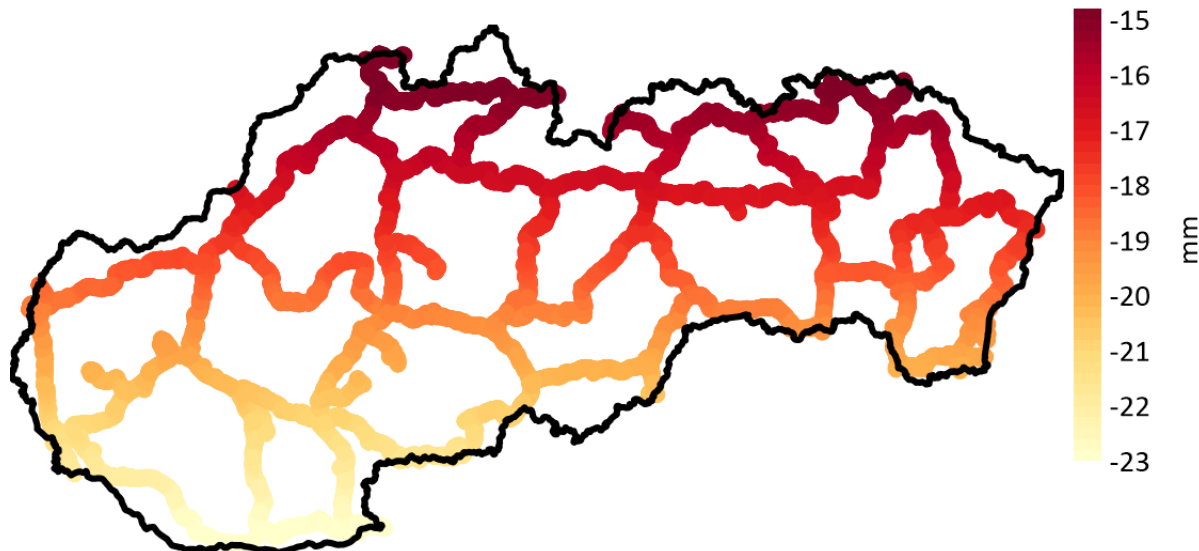
Národná realizácia EVRF2019 „Problém“ slapového systému – „konvencia vs. prax“

Konvencia:

- **EVRS je definovaný ako zero-tide systém**
- IAG rezolúcia č. 16 z Hamburgu 1983: odporúča zero-tide pre tiažové pole a mean-tide pre 3D polohu
- IAG rezolúcia č. 1 z Prahy 2015: Medzinárodný výškový referenčný systém (IHR5) poskytovaný v mean-tide

Prax:

- Tiažové pole: zero-tide
- GNSS: tide-free
- Nivelácia: zmiešaný, väčšinou mean-tide
- pre väčšinu oblastí použitia by mali byť fyzikálne výšky v systéme „ako tečie voda“ čiže mean-tide
- rozdiely mean-tide vs. zero-tide na území SR dosahujú:
 - od -23 mm do -15 mm v závislosti od el. šírky

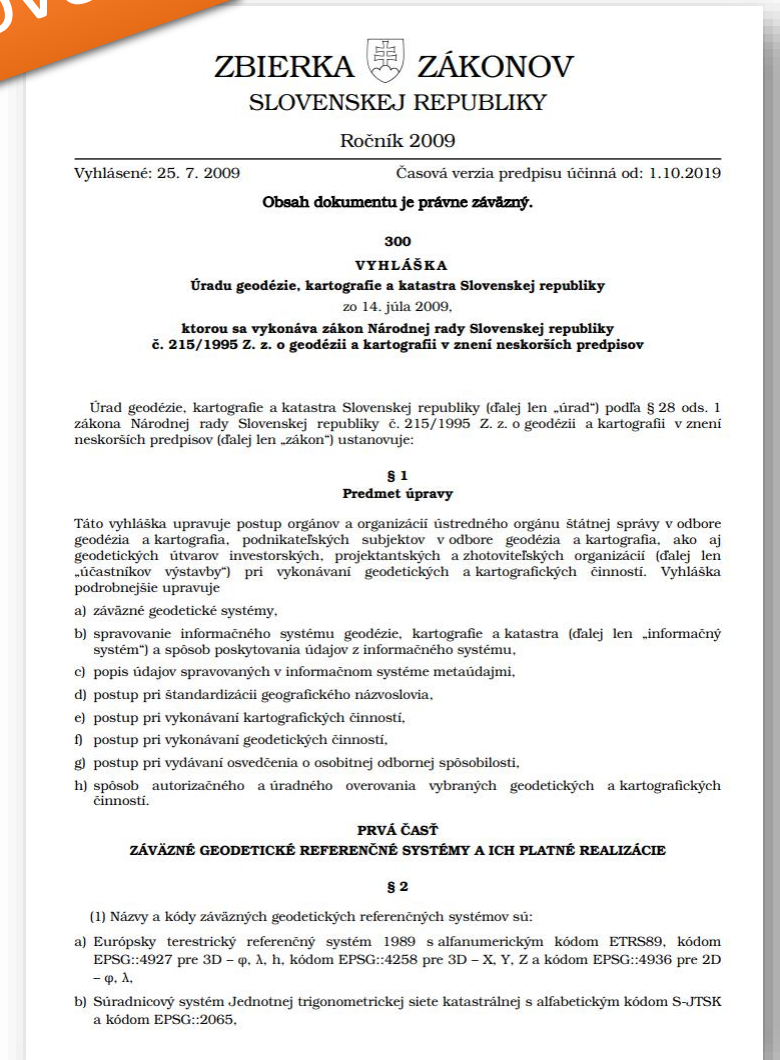


Realizácia EVRF2019 bola dodatočne poskytnutá aj v mean tide a v mean tide ju plánujeme nechať

Národná realizácia EVRF2019 Implementácia do vyhlášky

Novela

- implementácia EVRF2019 ako nového SKVRF2023 je naplánovaná do novely Vyhlášky ÚGKK SR 300/2009 Z. z. na **apríl 2024**
- implementácia EVRF 2019 je naplánovaná ako výmena za EVRF2000
- nepôjde už o zavedenie EVRS ako primárneho výškového systému ale najprv o definovanie novej národnej realizácie EVRF2019



Záver

- prechod na EVRF2019 nám prinesie:
 - moderný a najmä korektný prístup k výpočtu výšok (gepotenciálne kóty)
 - korektné napojenie ŠNS k EVRS a jej realizáciám ako aj k svetovému výškovému referenčnému systému (IHRS)
 - v kombinácii s novým kvázigeoidom možnosť určovania nadmorských výšok prostredníctvom GNSS technológií na 1-2 cm (v závislosti od kvality určenia elipsoidických výšok – čím lepšie, tým presnejšia nadmorská výška)

**Ďakujem za pozornosť !
a
tešíme sa na otázky**



Geodetický a kartografický ústav Bratislava

