



Prvé kroky k novej realizácii výškového systému na Slovensku a stav kvázigeoidov

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


Geodetický a kartografický ústav Bratislava

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

GEODETICKÉ ZÁKLADY A GEODYNAMIKA

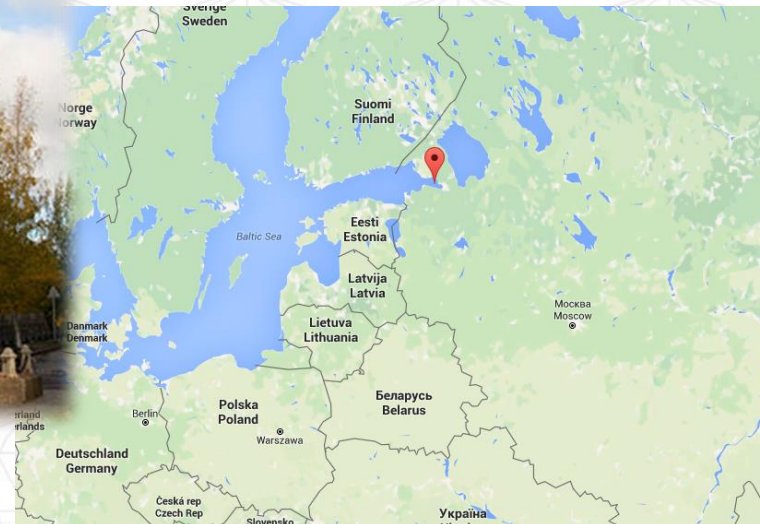
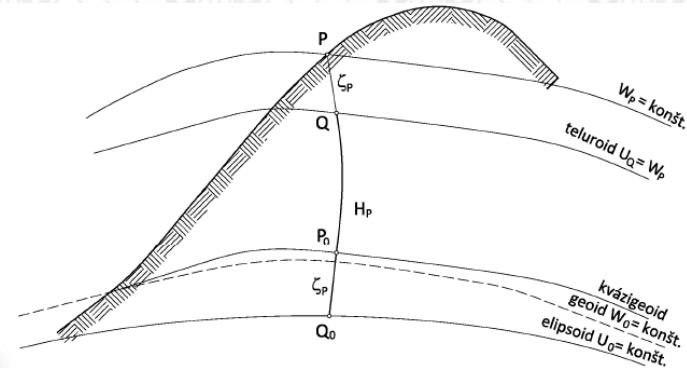
8. - 9.2.2015, Kočovce

Motivácia

- dnes platný výškový systém = Bpv, realizácia ešte z roku 1957 = ! takmer  rokov stará realizácia a stále udržiavaná !
 - sú poskytované výšky jednotlivých bodov voči sebe stále homogénne?
 - je lokálna presnosť dostatočná?
- záujem zvýšiť presnosť transformácie elipsoidickej výšky ETRS89 na fyzikálnu výšku Bpv, resp. EVRS, nie cez „starý Bpv“ ale pomocou **novej homogénnej realizácie Bpv a EVRS**

Baltský výškový systém – (po vyrovnaní)

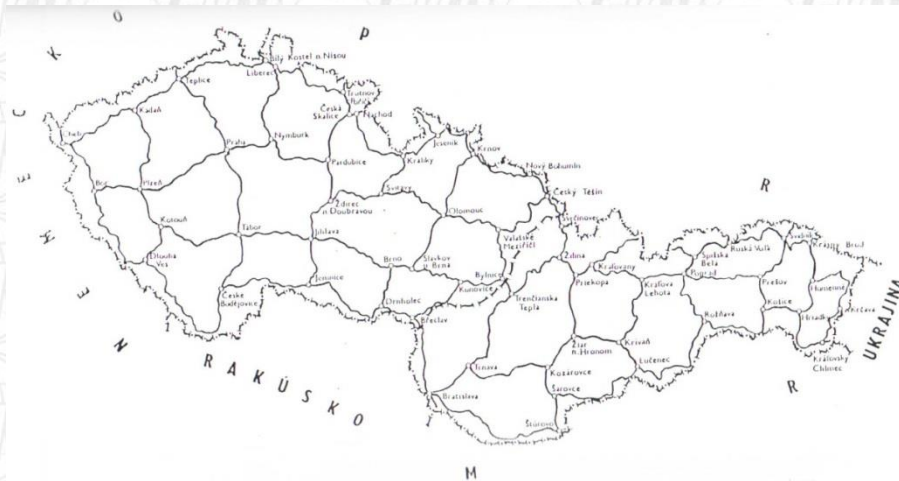
- normálne výšky podľa Molodenského
- východiskový bod: nula stupnice morského vodočtu umiestneného na brehu Baltského mora vo Fínskom zálive v meste Kronštadt



Chronológia vývoja Bpv a výškovej siete na území SR

1947-1961

- 1947-1960 - budovanie výškovej siete v rámci ČSJNS
- 1957 — súborné vyrovnanie nivelačných sietí „socialistických štátov“ = **realizácia Bpv57**
 - I. rád ČSJNS (meraný do r.1952)
 - II. a III. rád ČSJNS – dopočítaný na výšky I. rádu ČSJNS neskôr (do r. 1961)



Chronológia vývoja Bpv a výškovej siete na území SR

1961-1983

- 1961 – 1978 - modernizácia ČSJNS
 - sieť opakovanej nivelácie (ON) – 1. a 2. opakovaná nivelácia
 - zvláštne nivelačné siete (ZNS)
 - lokálne nivelačné siete na lokalitách atómových elektrární (AE)
- 1983 Moskva - súborné vyrovnanie uzlových bodov nivelačných sieti „socialistických štátov“ = **realizácia**

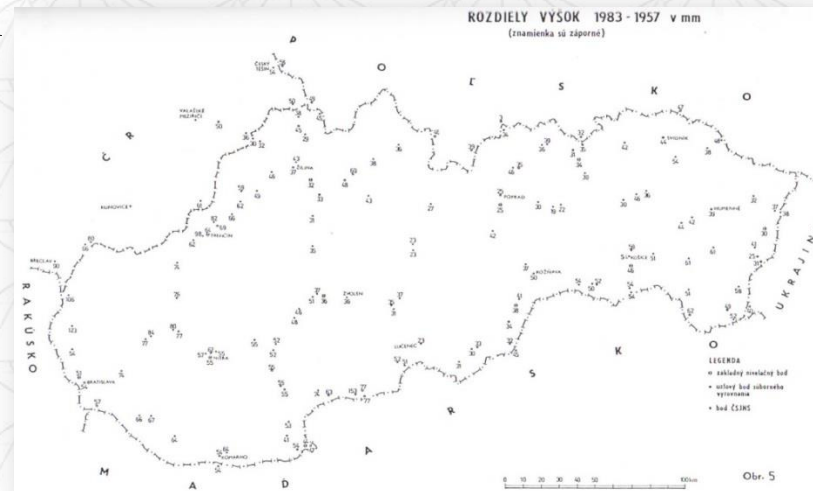
Bpv83

- zdroj: 2. ON 1973-1981
- realizácia nenasadená

Chronológia vývoja Bpv a výškovej siete na území SR

■ porovnanie realizácii Bpv83 – Bpv57

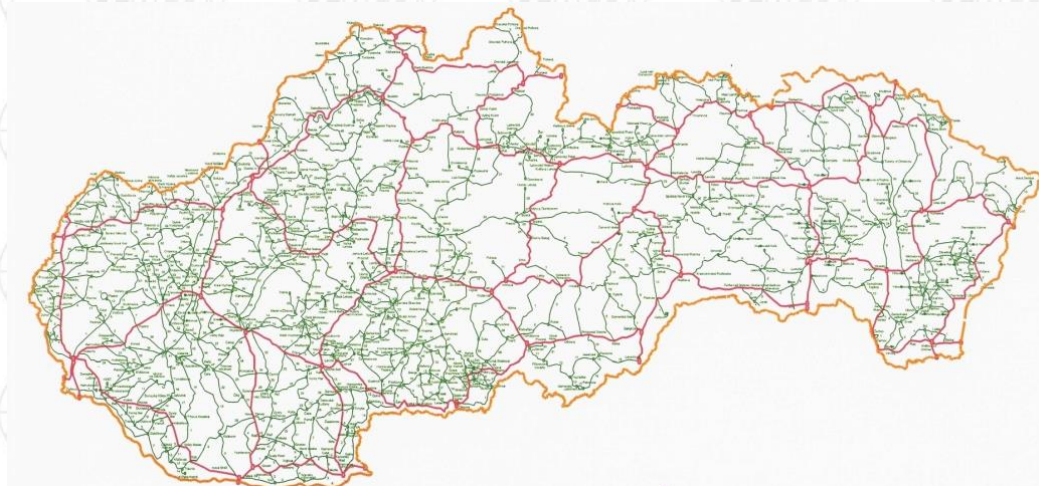
- rozdiel výšok 35 UB a koncových bodov = - 45,9 mm (-3,1 mm až -77,1 mm)
- vyrovnanie ZNB, UB I. rád, PB II. rád, vybrané PB III. rádu = 146 bodov = - 48,5 mm
- odhalená chyba v polygóne SJ = 2 cm (vstupovala do vyrovnania 1957)
- stredné chyby Bpv57 vs. Bpv83



Chronológia vývoja Bpv a výškovej siete na území SR

1993

- 1993 – vytvorenie Štátnej nivelačnej siete
 - 1. rád ŠNS
 - 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
 - zvyšné ťahy ČSJNS z územia Slovenska
- 1996-2002
 - Meranie 1. rádu ŠNS
- 2003-doteraz
 - Meranie 2. rádu ŠNS



Chronológia vývoja Bpv a výškovej siete na území SR

2007

■ 2007 – nové súborné vyrovnanie 1. rádu ŠNS – **realizácia Bpv07**

■ 9 variantov:

SNS-VYR1 - referenčný bod V. Piteľová; disperzia neznáma; Bpv

SNS-VYR2 - referenčný bod V. Piteľová; disperzia známa; Bpv

SNS-VYR3 - 11 referenčných bodov (ZNB), disperzia neznáma; Bpv

SNS-VYR4 - 11 referenčných bodov (ZNB), disperzia známa; Bpv

SNS-VYR5 - 8 ref. bodov, disperzia známa, vynechané body ZNB IV., IX., XI.

SNS-VYR6 - ref. bod AZR-500 (Bratislava); disperzia známa (umiestnený excentricky)

SNS-VYR7 - referenčný bod V. Piteľová; disperzia známa; Bpv83

SNS-VYR8 - všetky ťahy 1. rádu ŠNS (1 bod, disperzia známa) referenčný bod – V. Piteľova doplnené merané tiaže do *.fnb a prepočítané Cq

SNS-VYR9 - všetky ťahy 1. rádu ŠNS (1 bod, disperzia známa) referenčný bod – V. Piteľova Bpv83, výška referenčného bodu vypočítaná ťahovým vyrovnaním, doplnené merané tiaže do *.fnb a prepočítané Cq

■ realizácia nenasadená

Európsky vertikálny referenčný systém

■ kinematický výškový referenčný systém

- výšky sú definované ekvipotenciálnou plochou, pre ktorú platí

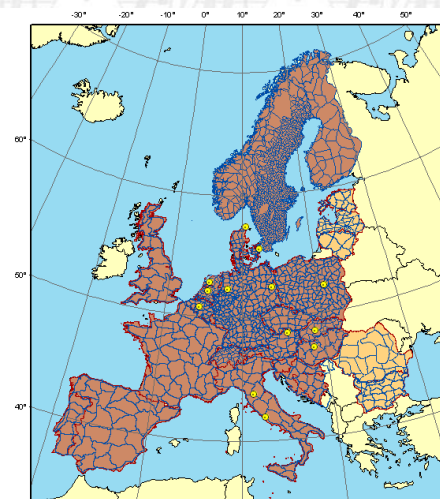
$$W_0 = W_{0E} = \text{konšt.}$$

a ktorá je v úrovni mareografu Normaal Amsterdams Peil (NAP).

- základnou jednotkou dĺžky je meter, jednotkou času je sekunda.
- 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



Extension of UELN

■ up to 1998
■ as from 2003

● Datum points of EVRS2007
— UELN lines

Chronológia vývoja EVRS na území SR

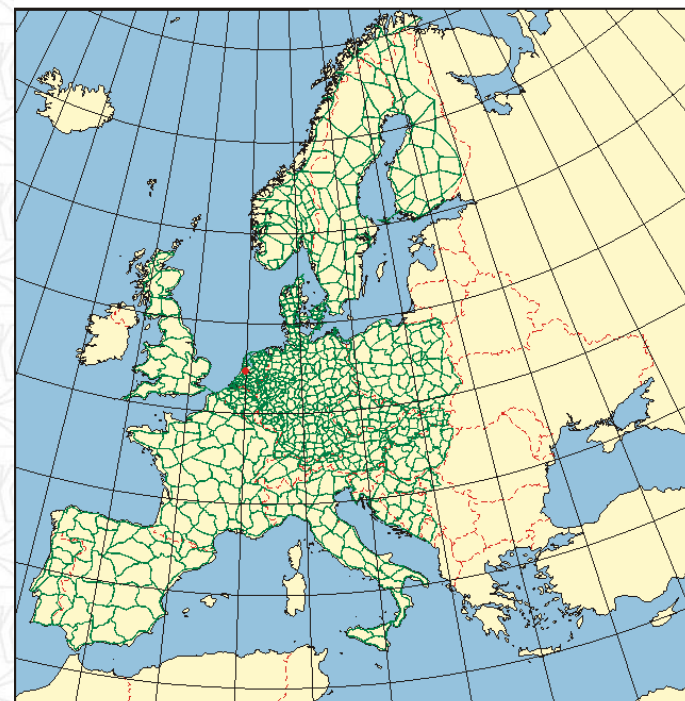
1994

- r. 1994 - zapojenie sa do UELN
 - odoslanie ON I. rád ČSJNS na spoločné vyrovnanie vo forme geopotenciálnych rozdielov
 - získanie: 52 uzlových bodov v UELN-95/98
 - 37 identických bodov UELN-95/98 a 1.rád ŠNS

■ r. 2000

vznik EVRF2000 = UELN-95/98

United European Levelling Network 1995
UELN 95/98



December 1998

• Reference point

Chronológia vývoja EVRS na území SR

2007

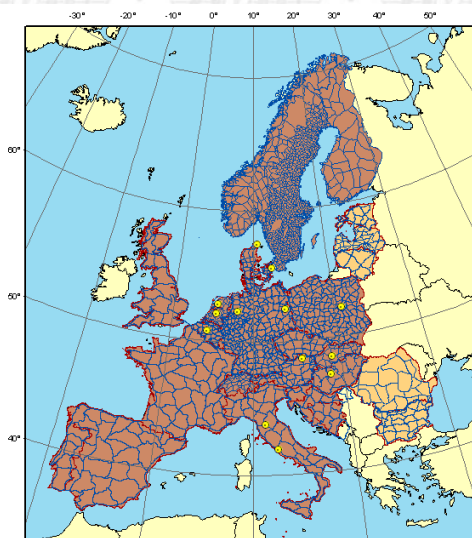
■ r. 2007 vyrovnanie 1. rádu ŠNS v EVRF2000

■ dva varianty:

- 37 identických bodov z vyrovnania UELN 95/98
- referenčný bod z vyrovnania UELN 95/98 najbližšie k V. Piteľová, GH-502.

■ r. 2007 zapojenie sa do EVRF2007

- geopotenciálne rozdiely z merania 1.rádu ŠNS
- získanie 168 bodov (ŠNS, SGRN)



Extension of UELN

■ up to 1998

■ as from 2003

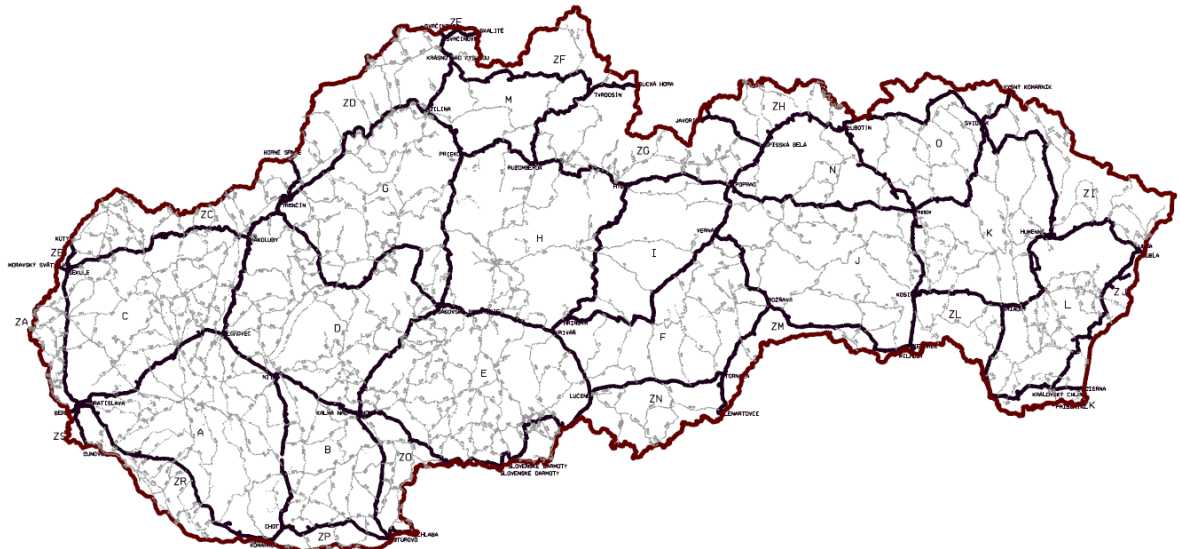
● Datum points of EVRF2007

— UELN lines

Návrh novej realizácie

Čo to obnáša?

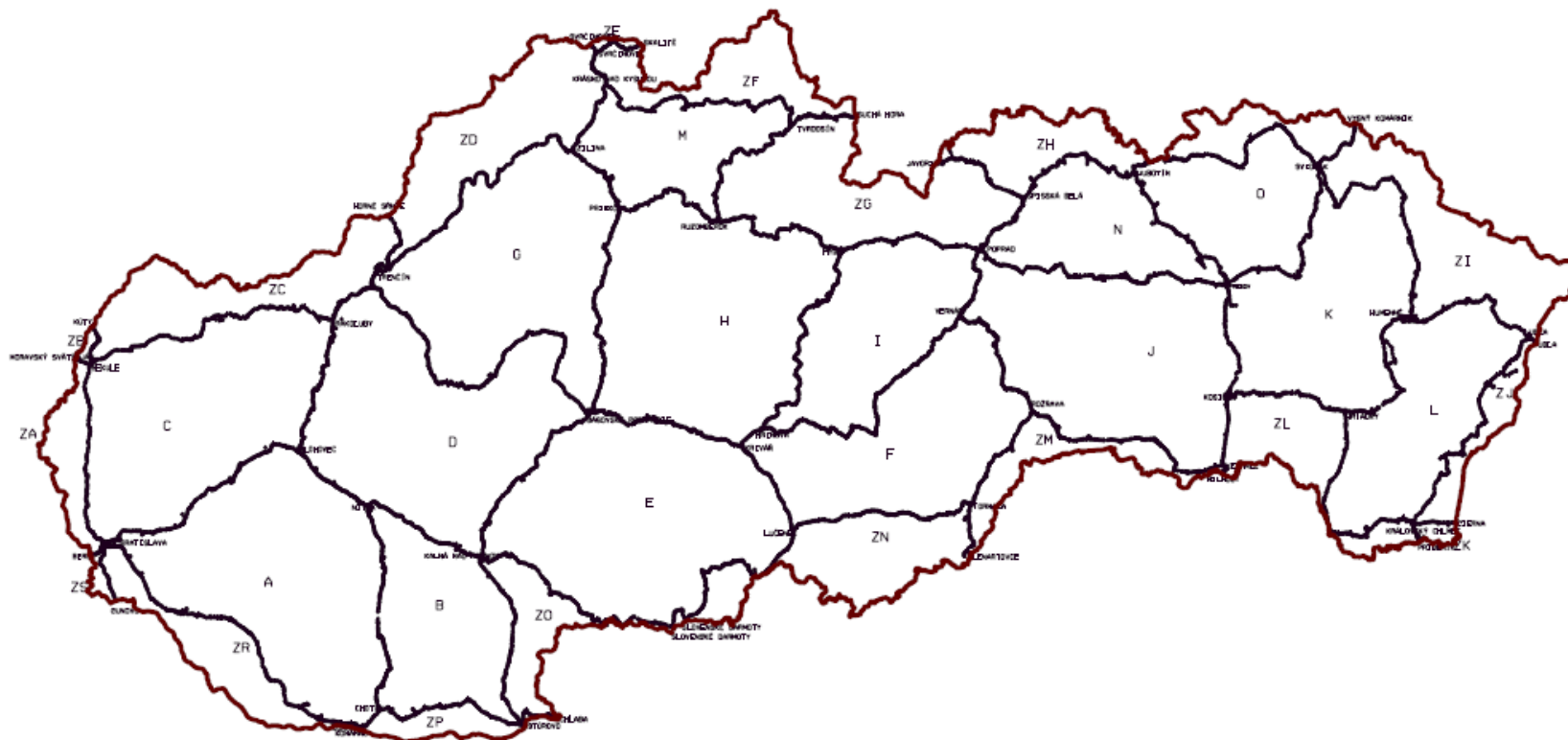
- použitie najnovších meraní 1. a 2. rádu ŠNS
- homogenizáciu údajov
- vyrovnanie cez geopotenciálne kóty
 - matematický model: fix vs. voľné vyrovnanie
- implementáciu novej realizácie Bpv aj EVRS + nového kvázigeoidu do praxe



Najnovšie merania 1. rádu

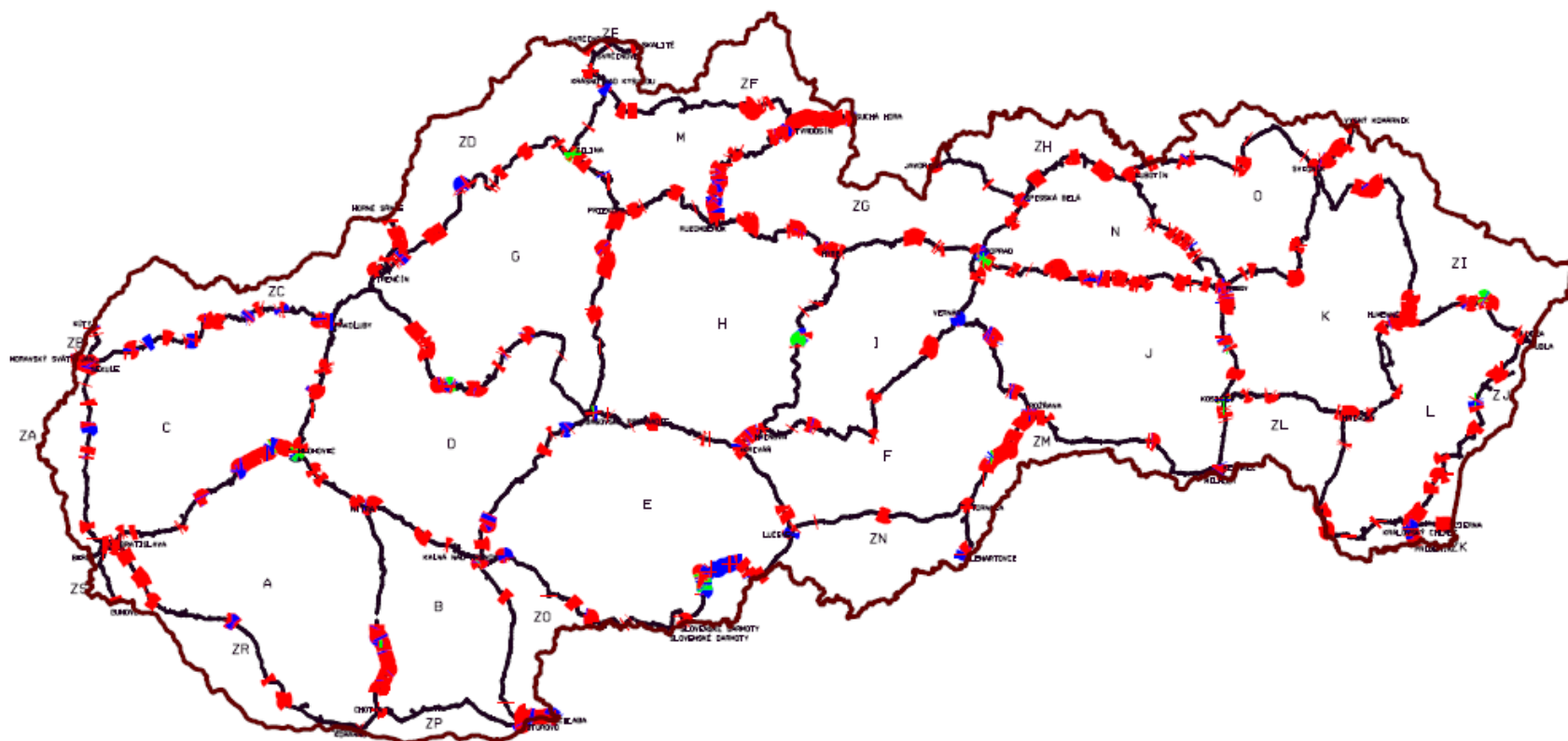
■ 1.rád ŠNS

- Meraný celý: 1996 – 2002 (100%)
- 3787 km, 11 035 bodov, 68 nivelačných ťahov



Najnovšie merania 1. rádu

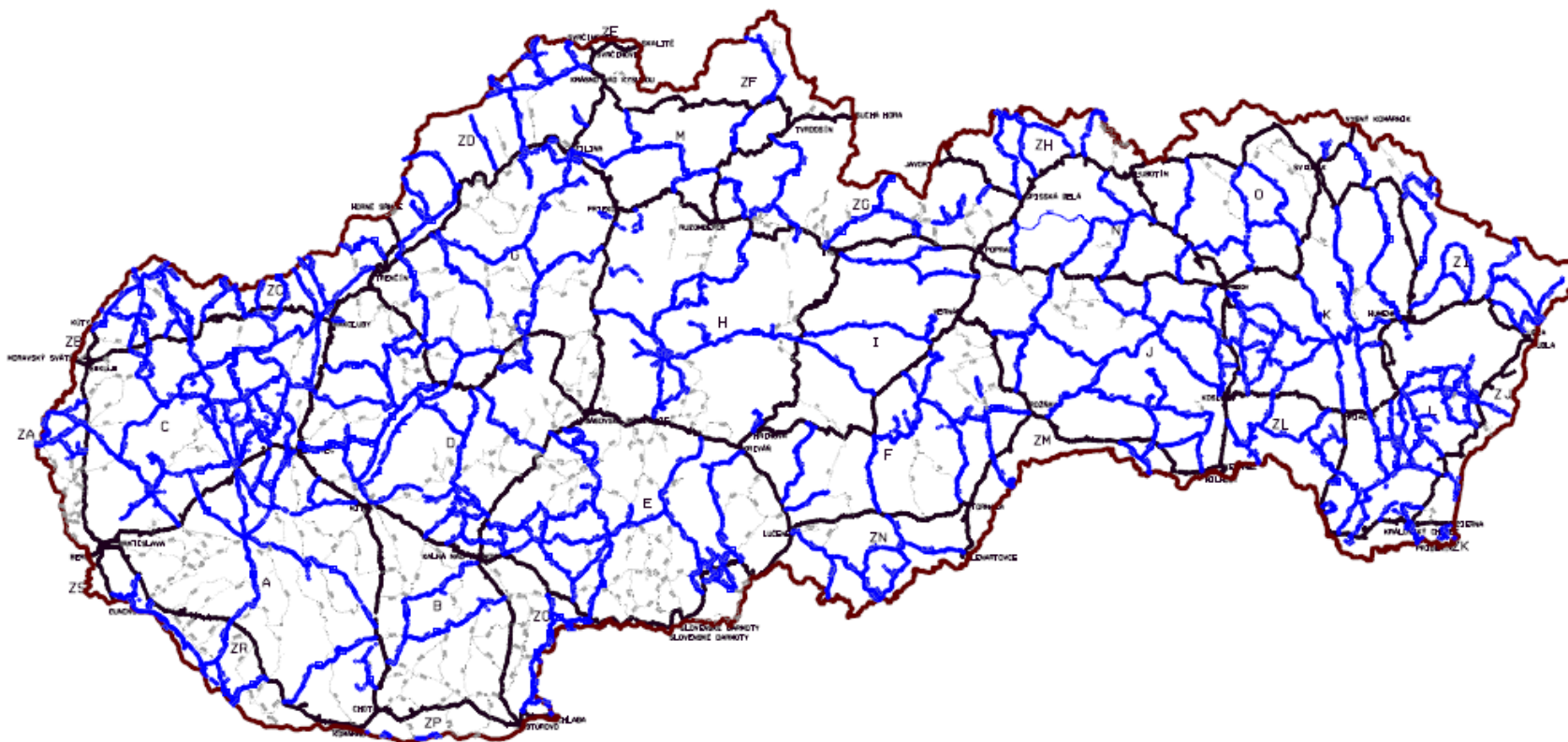
- Dodatky a kontrolné merania na bodoch 1.rádu ŠNS
 - merané 1996 - 2015
 - spolu meraných 3292 prevýšení = 1026 km



Najnovšie merania 2. rádu

■ 2.rád ŠNS

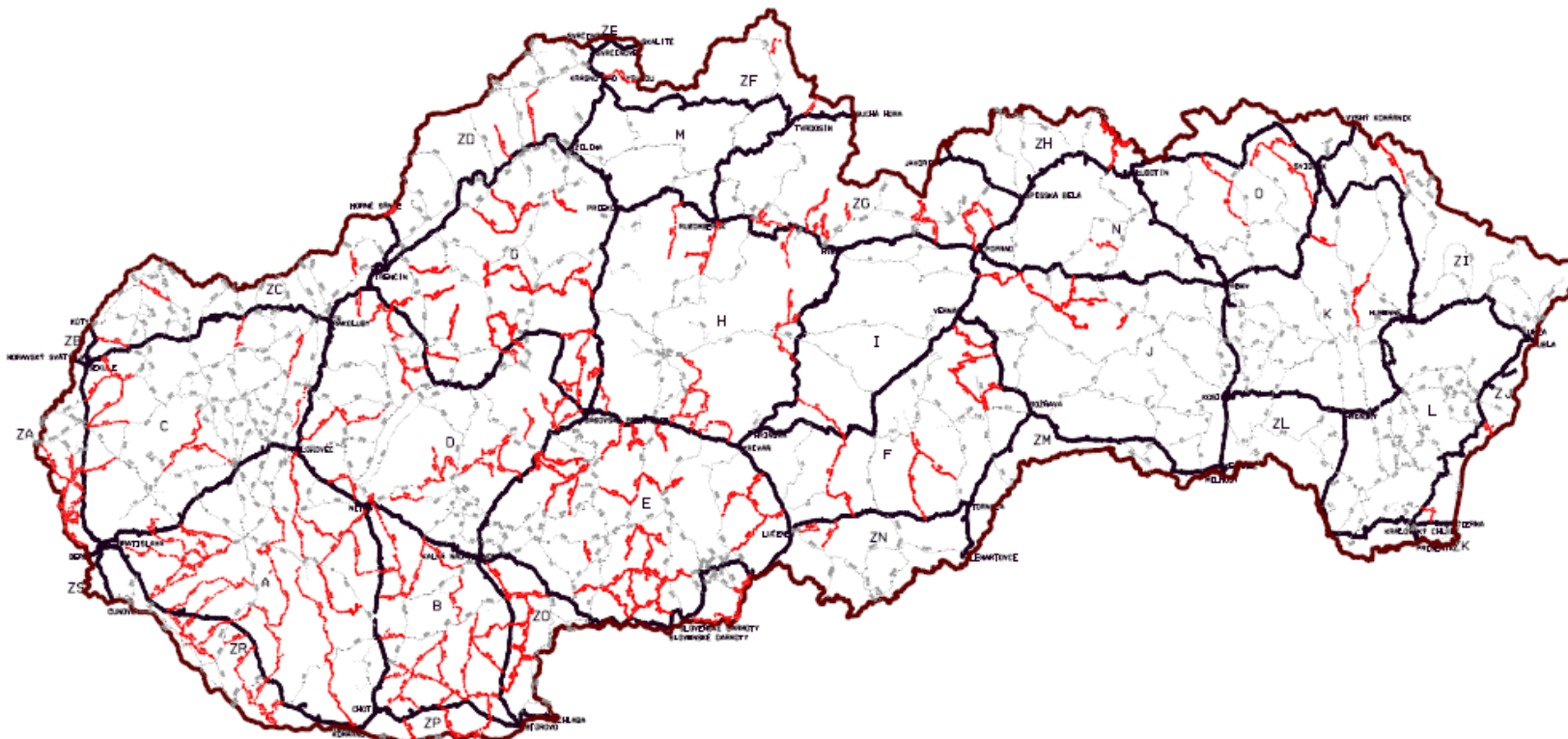
- Merané 2003 – 2015 = 7300 km (76 %)
- 24 731 bodov, 9590 km



Najnovšie merania 2. rádu

■ 2.rád ŠNS

- Merané 1987 – 1996 = 2300 km (24 %) – pozn. väčšina ešte ako ČSJSN



Homogenizácia údajov

■ tvar a štruktúra údajov

[.]	<DIR>	06.02.2015 12:00
[DE FINAL]	<DIR>	08.01.2015 16:01
[DE-0_1997]	<DIR>	06.02.2015 11:59
[DE-01_1999]	<DIR>	16.07.2014 12:19
[DE-02_2004]	<DIR>	16.07.2014 12:19
[DE-03_2005]	<DIR>	16.07.2014 12:20
[DE-04_2005]	<DIR>	16.07.2014 12:20
[DE-05_2012]	<DIR>	16.07.2014 12:20
[DE-06_2012]	<DIR>	16.07.2014 12:21
[DE-07_2014]	<DIR>	22.12.2014 10:53
[Kriticke h]	<DIR>	22.12.2014 10:58
[PLOT]	<DIR>	06.02.2015 11:59
citaj	txt	1 054 06.02.2015 11:42
DE_test	txt	10 434 06.02.2015 11:59
DE0	VZZ	64 099 06.02.2015 11:58
DE01	VZZ	4 046 08.04.2014 11:23
DE02	VZZ	4 192 08.04.2014 11:25
DE03	VZZ	4 611 08.04.2014 11:27
DE04	VZZ	4 606 08.04.2014 11:33
DE05	VZZ	4 615 08.04.2014 11:35
DE06	VZZ	4 889 08.04.2014 11:36
DE07	VZZ	12 089 22.12.2014 10:53

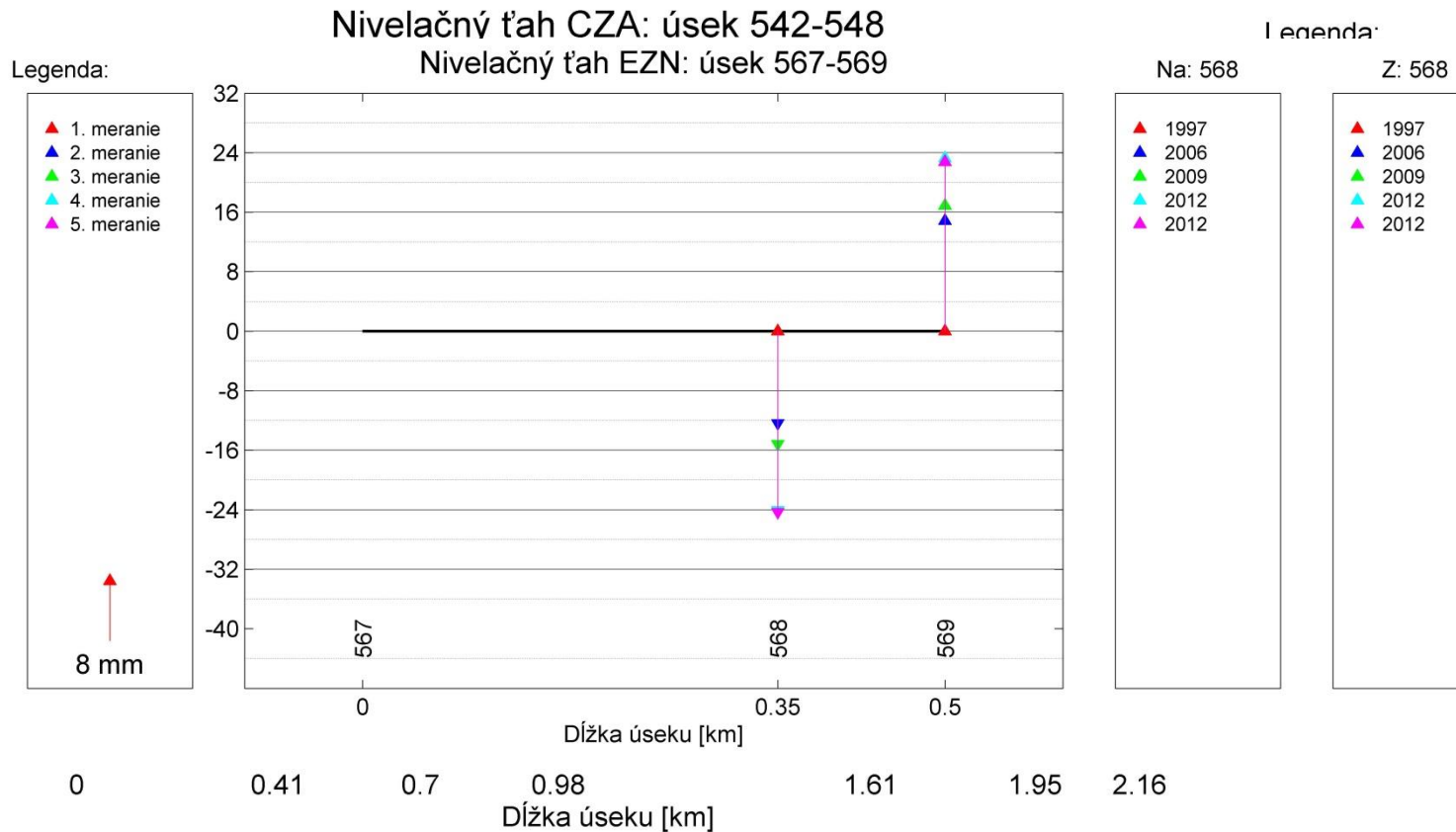
DE - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazit Pomocník
MLS2.FNB XXXXXXXX 3

DE07 - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazit Pomocník
MLS2.FNS de.FNB 3

DE07 - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazit Pomocník
MLS2.FNR DE07.FNS 5

- „vyčistenie“ údajov: premeriavky, pomocné body, ...
- zapracovanie dodatkov a kontrolných meraní

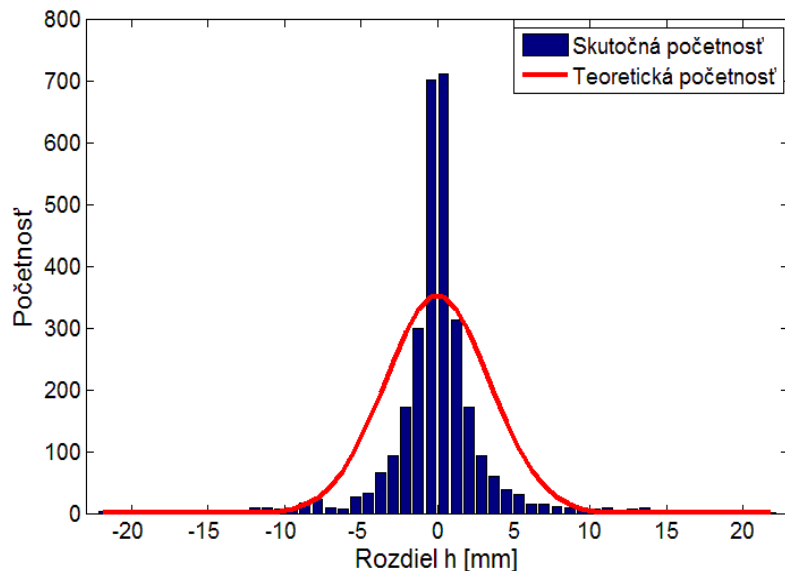
Homogenizácia údajov



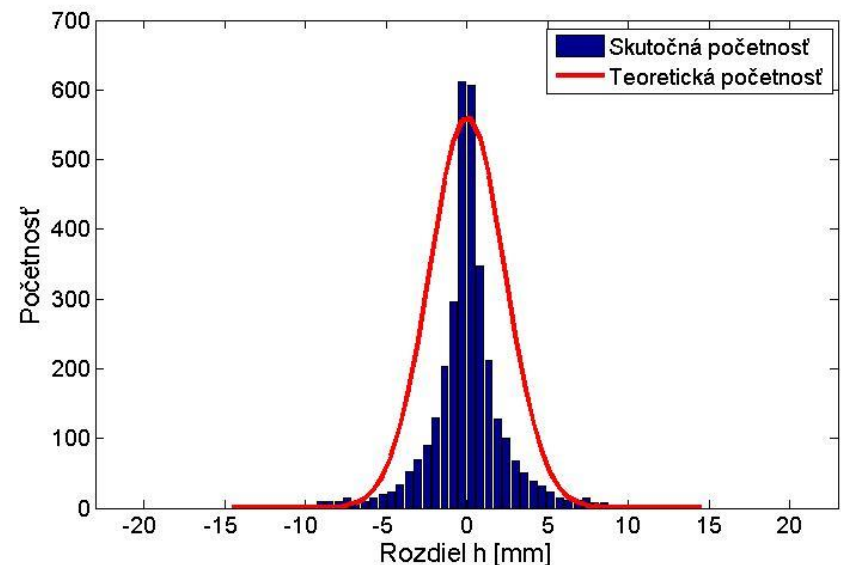
- štandardná odchýlka opakovanej nivelácie

Homogenizácia údajov

- r. 2014 = 3418 rozdielov, $\sigma = 20,9$ mm, $3\sigma = 50\%$ EZN
3051 rozdielov, $\sigma = 7,6$ mm, $3\sigma = 32$ rozdielov
3019 rozdielov, $\sigma = 3,4$ mm, $3\sigma = 93$ rozdielov
- r. 2015 = 3292 rozdielov, $\sigma = 2,3$ mm



r. 2014 - 3019 rozdielov

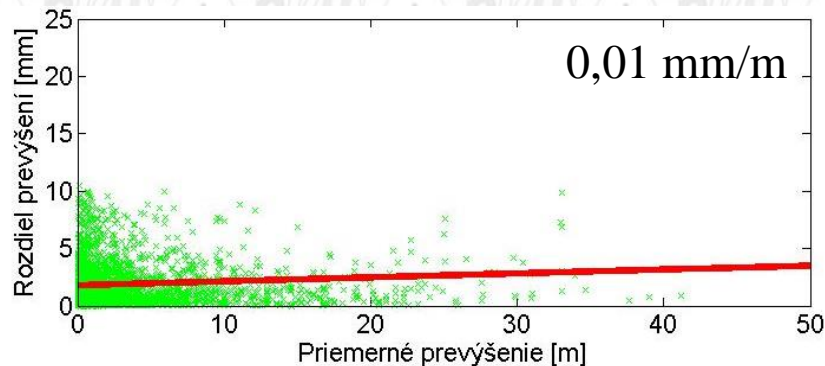
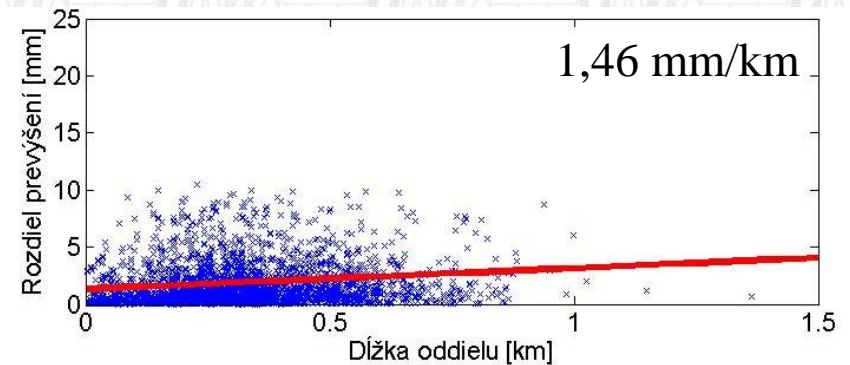
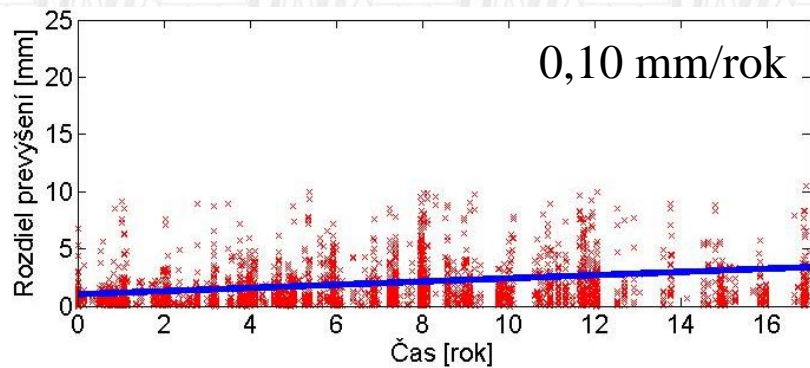


r. 2015 - 3292 rozdielov

Homogenizácia údajov

■ závislosť rozdielov opakovanej nivelácie:

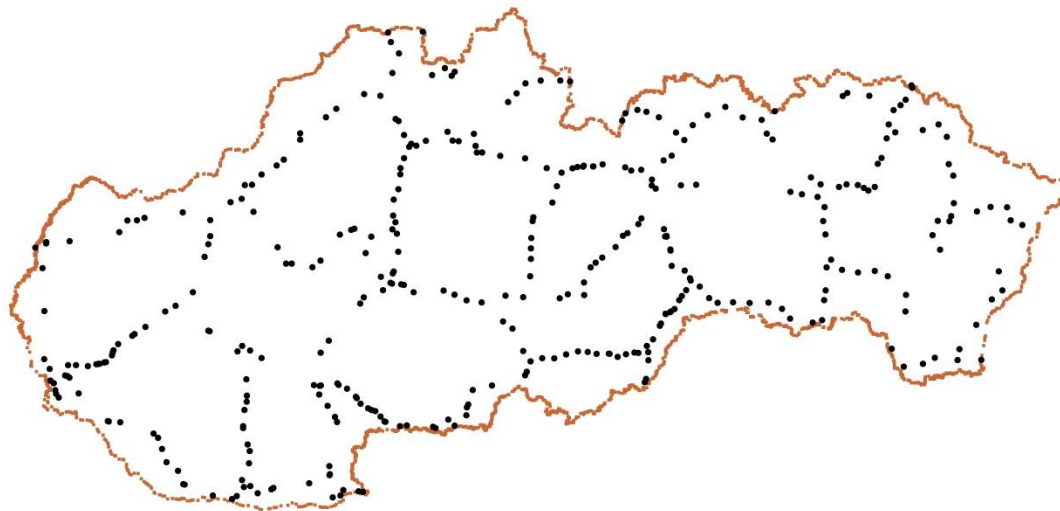
- čas
- dĺžka oddielu
- prevýšenie



Vyrovnanie cez geopotenciálne kóty



- nový nástroj CBA2G_SK
 - generovanie g – moderný spôsob, geopotenciálne rozdiely
 - generovanie JBA – klasický spôsob, redukcia z tiažového zrýchlenia
- poloha bodov ŠNS – fyzická prehliadka ČSJNS (1994 - 1995)
 - zakresľovanie do máp mierky 1 : 10 000 = odsunuté súradnice JTSK
 - JTSK – JTSK (ETRS89), **374 identických bodov**



$$\sigma_Y = 14,29 \text{ m}$$

$$\sigma_X = 14,41 \text{ m}$$



Plány do budúcnosti

- zlepšenie polohy bodov
 - priame meranie
 - využitie VKM, ZBGIS
- zavedenie slapových korekcií – poloha a okamih merania
 - 0,002 – 0,075 mm
- voľné vyrovnanie – vhodná množina bodov
 - Bpv57
 - Bpv83
 - EVRF2007
- 2. rád ŠNS – zohľadnenie neistôt 1. rádu

Stav kvázigeoidov

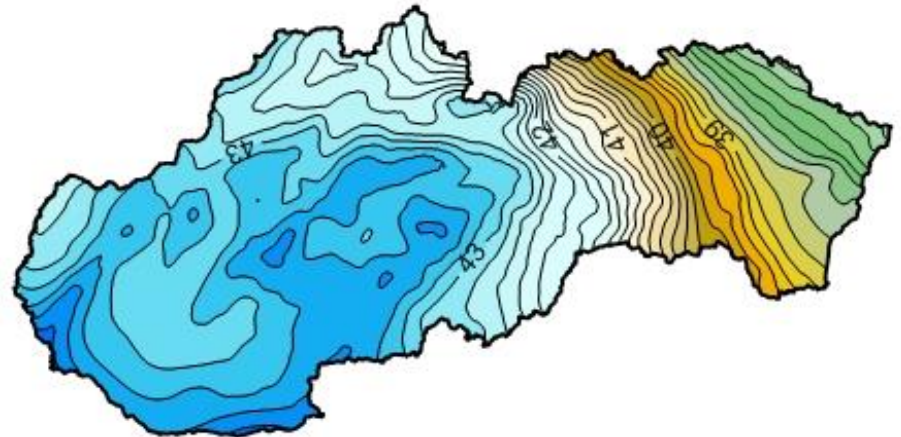
- **DVRM05** – prevod elipsoidickej výšky určenej pomocou GNSS v systéme ETRS89 (rámec ETRF2000) do systému normálnych výšok Bpv

<https://www.geoportal.sk/sk/geodeticke-zaklady/na-stiahnutie/>

<https://zbgis.skgeodesy.sk/zbgistransform/>

- **DMQSK2014-E** – prevod elipsoidickej výšky určenej pomocou GNSS v systéme ETRS89 (rámec ETRF2000) do systému normálnych výšok EVRS (realizácia EVRF2007)

<https://zbgis.skgeodesy.sk/zbgistransform/>

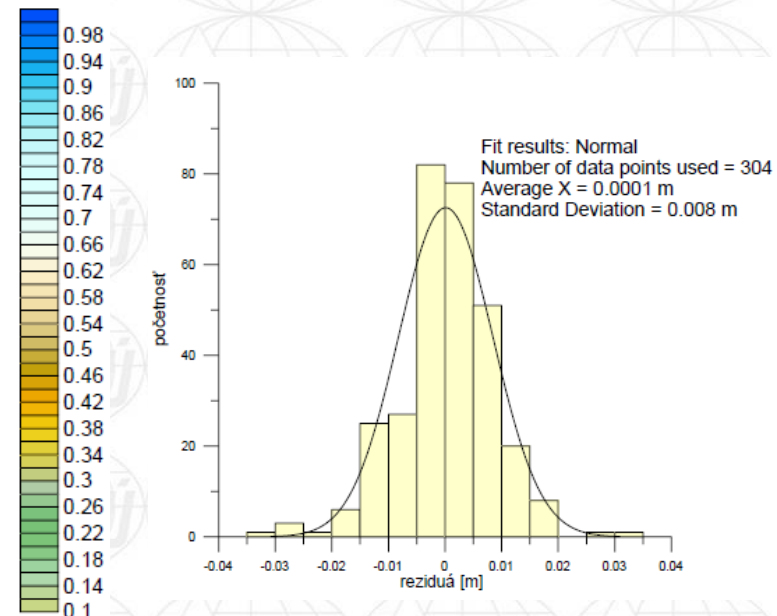
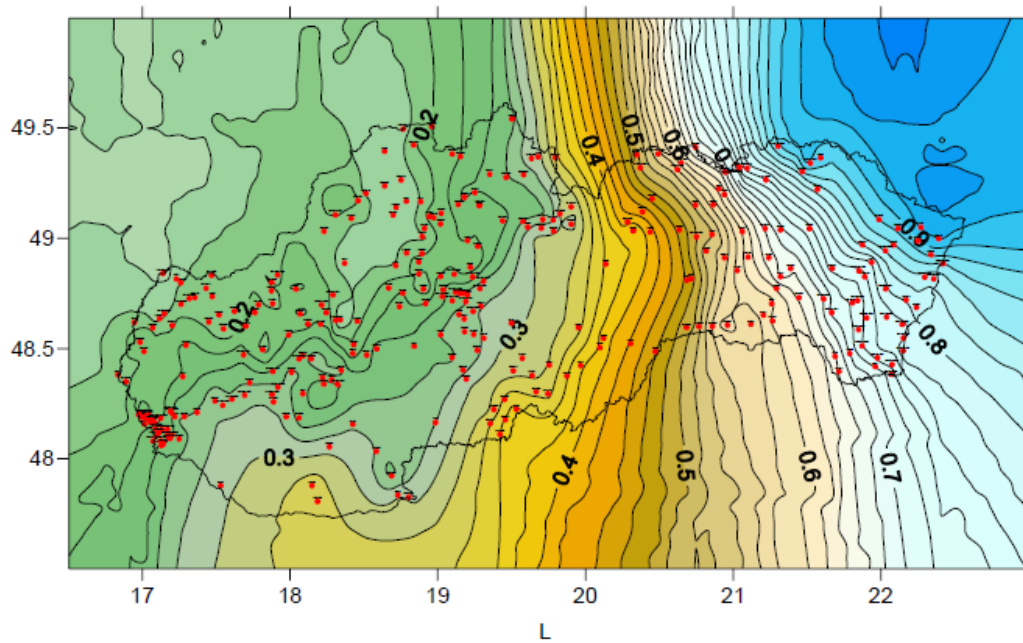


DVRM05

- gravimetrický kvázigeoid GMSQ03B (r. 2003)
- priestorová orientácia – 304 bodov ŠPS (trieda B a C)

$$\Delta_{\text{DMRZ-GMSQ03B}} = \mathbf{H} - \mathbf{H}'$$

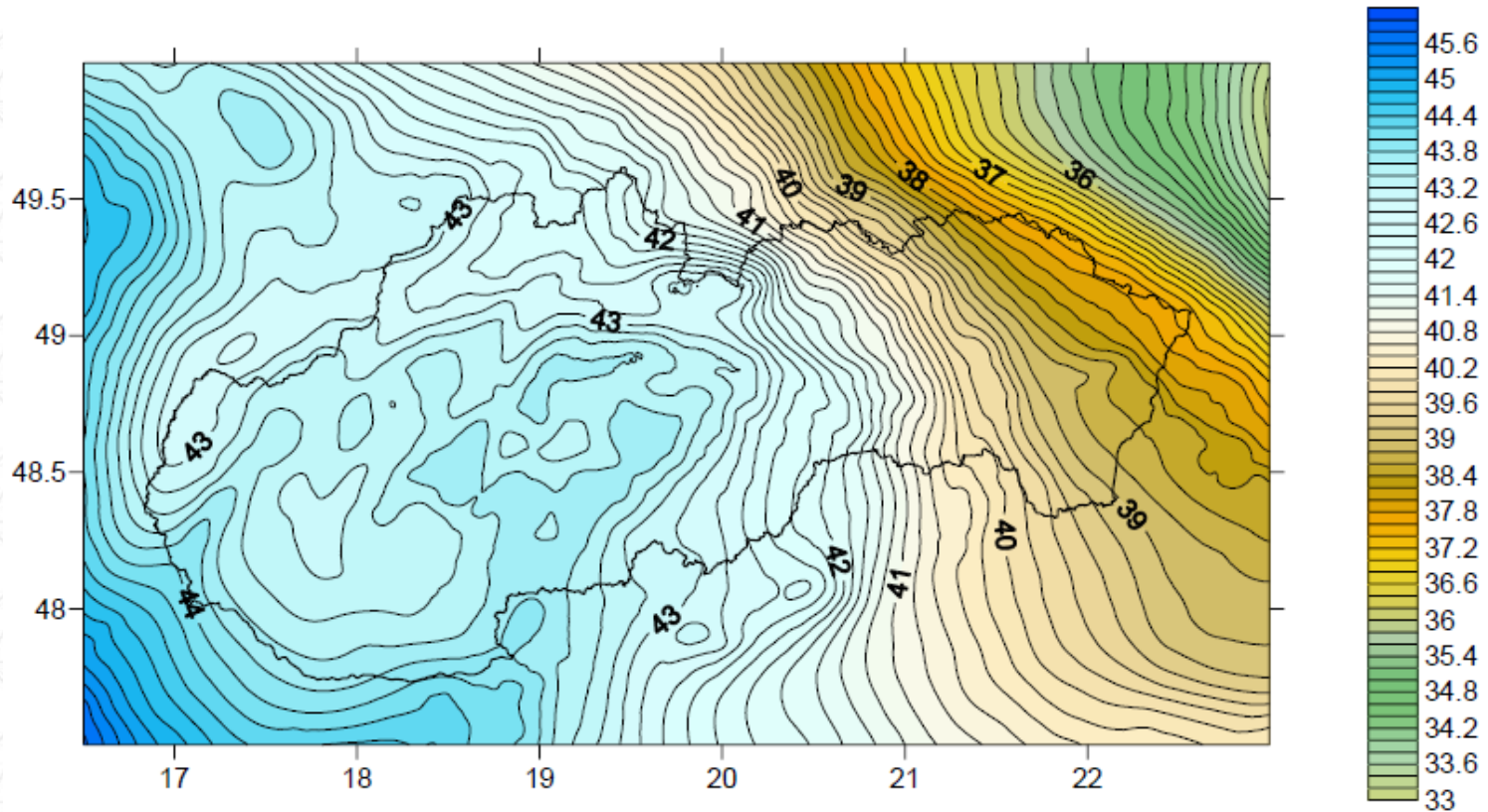
$$\mathbf{H}' = h - \zeta_{\text{GMSQ03B}}$$



DVRM05

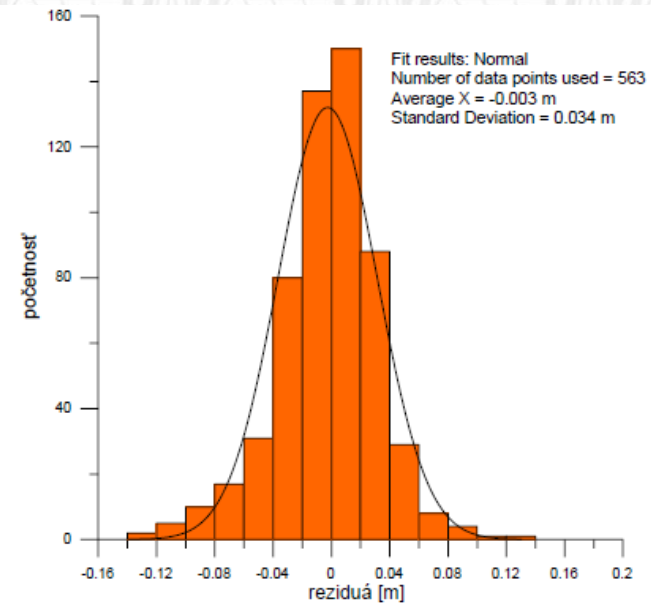
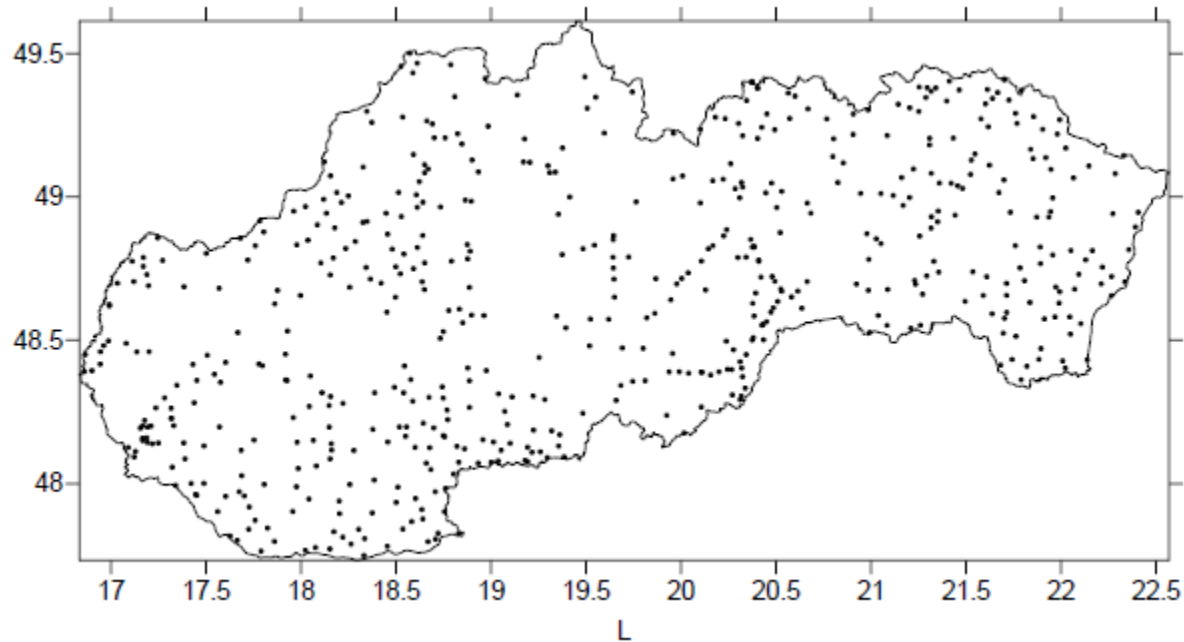
■ DVRM05

$$\zeta_{\text{DVRM05}} = \zeta_{\text{GMSQ03B}} - \Delta_{\text{DMRZ-GMSQ03B}}$$



DVRM05

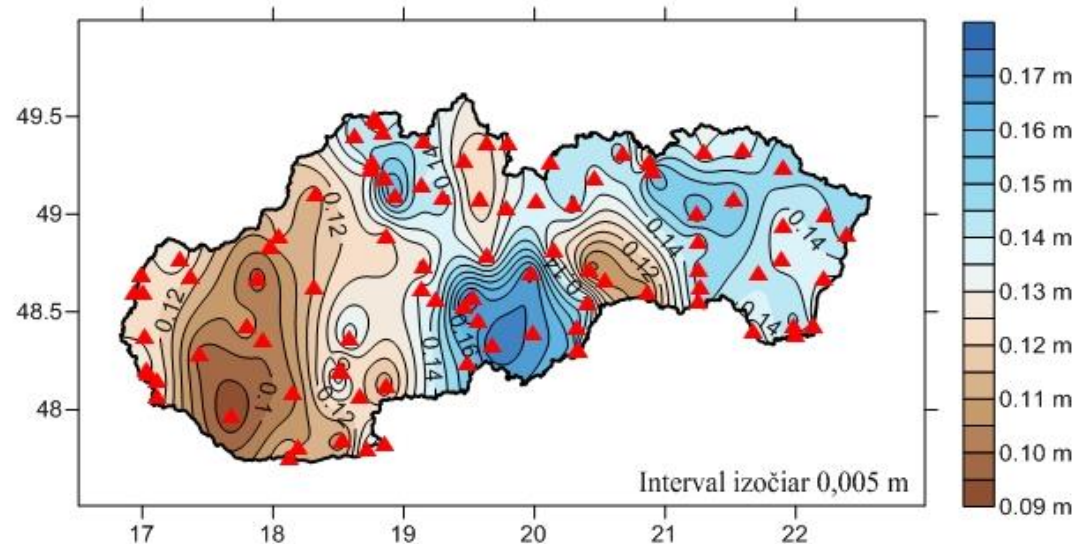
- testovanie – 563 bodov ŠPS, $\sigma_{\text{DVRM05}} = 34 \text{ mm}$



DMQSK2014-E

- 1. návrh – identická množina bodov EVRS (EVRF2007) a ETRS89 = **63 bodov - priestorová orientácia a testovanie**
- 2. návrh – identická množina bodov EVRS (EVRF2007) a Bpv = **166 bodov**
- kombinovaný kvázigeoid DVRM05
- priestorová orientácia –94 bodov ŠPS a ŠNS

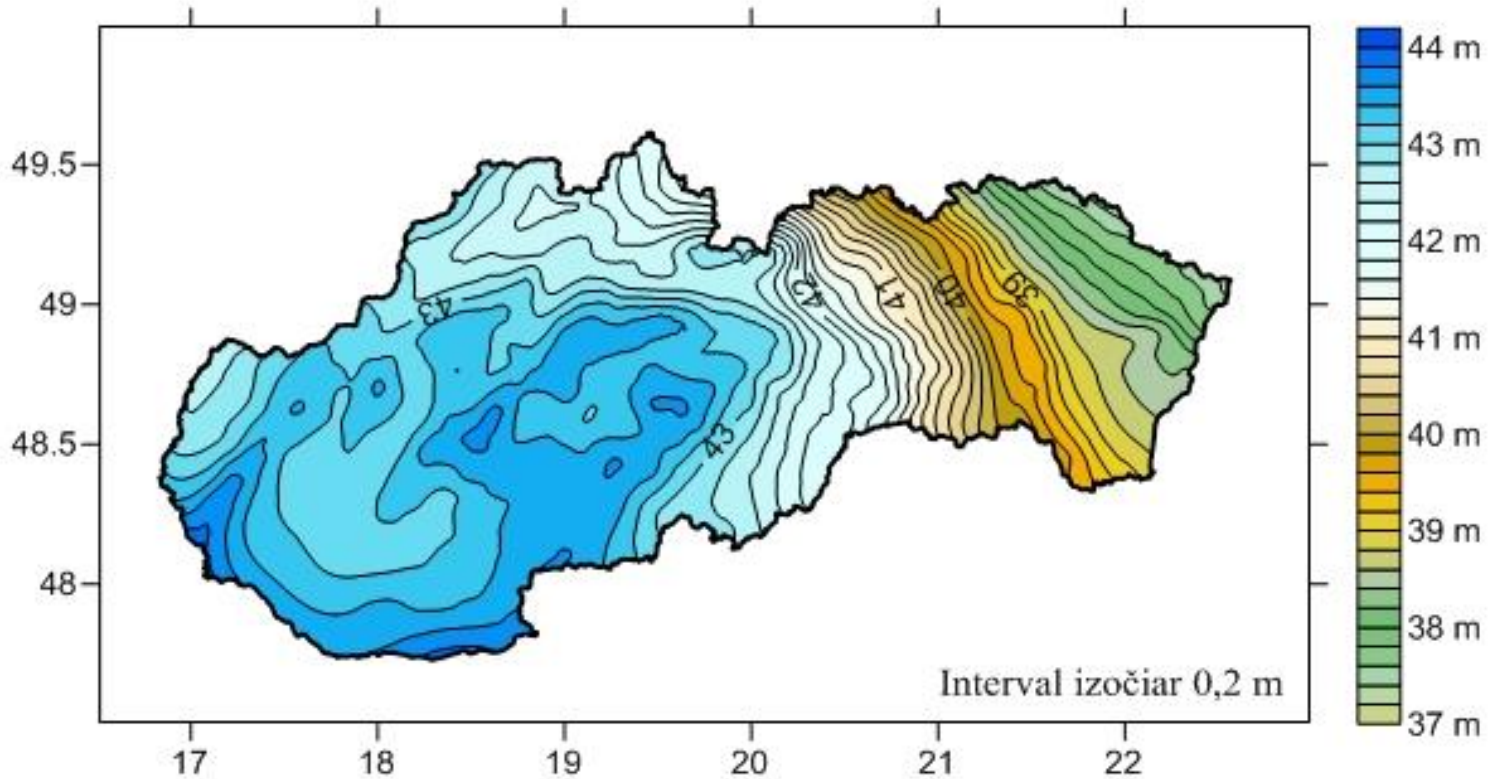
$$\Delta_H = \mathbf{H}_{\text{EVRF2007}} - \mathbf{H}_{\text{Bpv}}$$



DMQSK2014-E

DMQSK2014-E

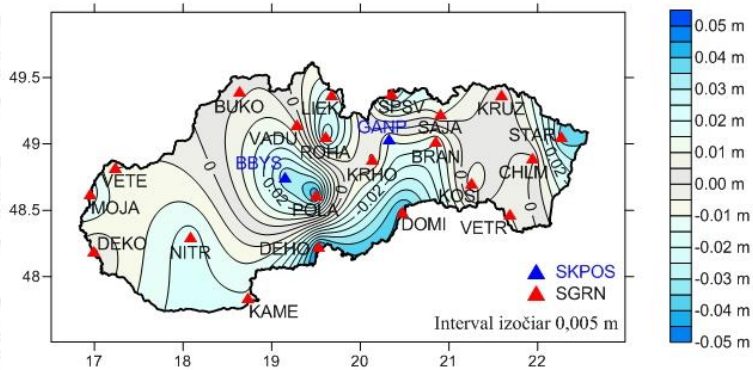
$$\zeta_{\text{DMQSK2014-E}} = \zeta_{\text{DVRM05}} - \Delta\zeta_{\text{DMRZ-H}}$$



DMQSK2014-E

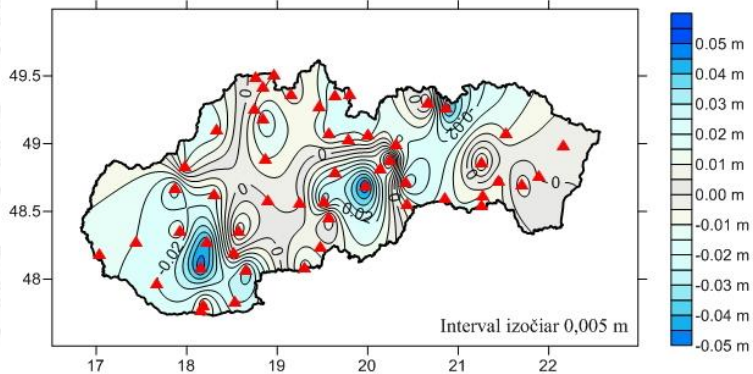
■ testovanie DMQSK2014-E

- ŠPS trieda A a B = 21 bodov SGRN a 2 ref. stanice SKPOS®



$$\sigma_{\text{DMQSK2014-E}} = 24 \text{ mm}$$

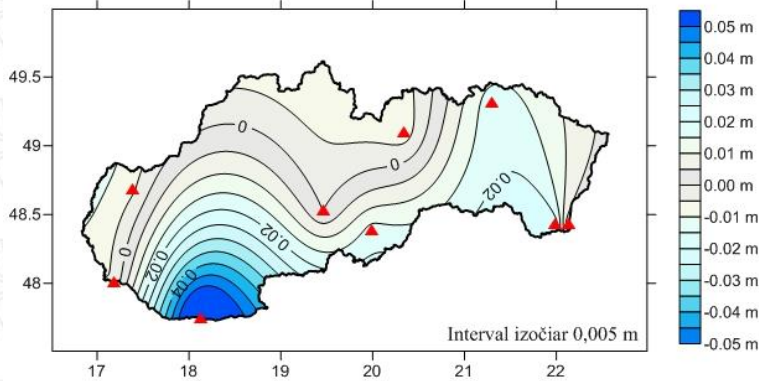
- ŠPS trieda C = 53 bodov



$$\sigma_{\text{DMQSK2014-E}} = 21 \text{ mm}$$

DMQSK2014-E

- ŠPS trieda D = 9 bodov



$$\sigma_{\text{DMQSK2014-E}} = 23 \text{ mm}$$

- Výsledok testovania DMQSK2014-E = **23 mm**
- nízky počet testovacích bodov 83
- **Plán do budúcnosti:**
 - nová plocha kvázigeoidu
 - priestorová orientácia na vybrané body ŠPS triedy A a B



Ďakujem za pozornosť

Ing. Ján Bublavý

Geodetický a kartografický ústav Bratislava

Jan.bublavy@skgeodesy.sk