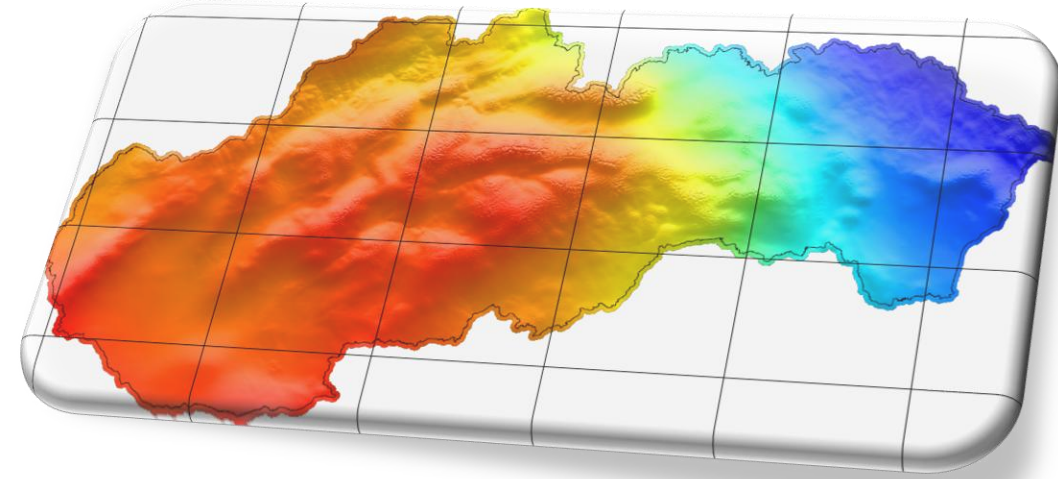




# Testovanie kvázigeoidov Slovenska na novej národnej realizácii výškového systému EVRS



**Miroslava Jančovičová<sup>1</sup>, Branislav Droščák<sup>1</sup>, Ján Bublavý<sup>1</sup>, Blažej Bucha<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava

<sup>2</sup> Katedra globálnej geodézie a geoinformatiky, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava



# Výškové systémy na Slovensku

- definované Vyhláškou č. 300/2009 Z.z.

## Baltský výškový systém po vyrovnaní (Bpv) od 1957

Realizácia Bpv 1957 = súborné vyrovnanie z roku 1957; EPSG:8357

- Referenčný mareograf v Kronštadte (Fínsky záliv)
- Normálne výšky podľa Molodenského
  - Normálne tiažové pole – výpočet Helmertovým vzťahom (1909)
  - Krasovského elipsoid
  - Redukcia z tiažového zrýchlenia
- Nové merania sú zapracovávané do pôvodnej Bpv57
- Kvázigeoid DVRM05 (Klobušiak a kol., 2005) nafitovaný na Bpv 1957



# Výškové systémy na Slovensku

- definované Vyhláškou č. 300/2009 Z.z.

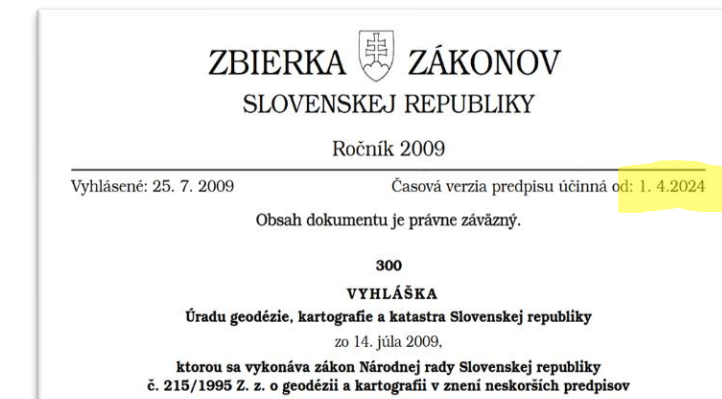
## Európsky vertikálny referenčný systém (EVRS)

Od **1.4.2024** realizácia **SKVRF2024** – národné zhustenie EVRF2019; EPSG: 9390

- Referenčný mareograf v Amsterdame (NAP), kde

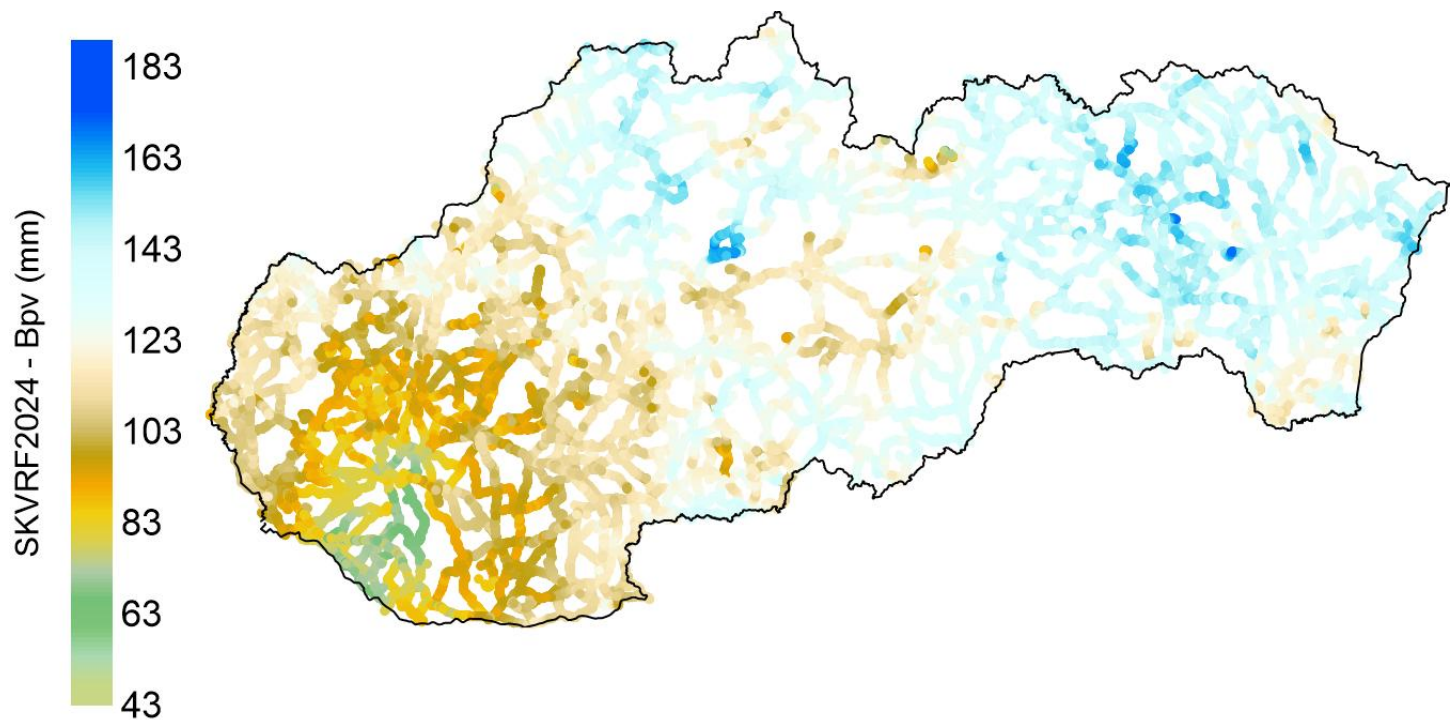
$$W_0 = W_{0E} = \textit{konšt.}$$

- Geopotenciálne kóty
  - Definícia pomocou geopotenciálnych kót  $-\Delta W_P = C_P = W_{0E} - W_P$
  - Normálne výšky podľa Molodenského – použitie GRS80
- Kvázigeoid DMQSK2014-E (dostupný cez RTS)



(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. Národnú realizáciu EVRS nazývame Slovenský vertikálny referenčný rámec a označujeme ju alfanumerickým kódom SKVRFyyyy, pričom SKVRFyyyy zodpovedá a reprezentuje národné zhustenie konkrétnej realizácie Európskeho vertikálneho referenčného rámca označeného alfanumerickým kódom EVRFyyyy. Realizáciou EVRS je SKVRF2024, ktorý zodpovedá EVRF2019 s kódom EPSG:9390

# Bpv 1957 vs. SKVRF2024



Minimum	Maximum	Priemer
4,31 cm	18,80 cm	12,65 cm

Rozdiely SKVRF2024 – Bpv 1957 reprezentujú:

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

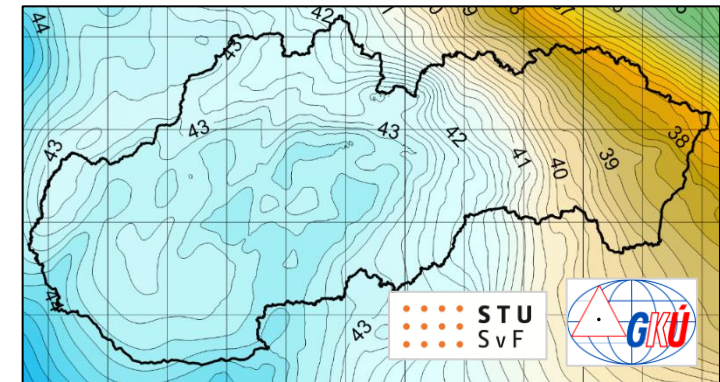
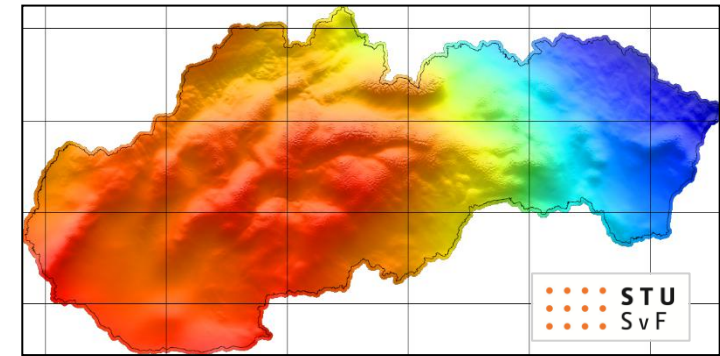
# Bpv 1957 vs. SKVRF2024

	<b>Nová realizácia (SKVRF2024)</b>	<b>Súčasná realizácia (Bpv 1957)</b>
Mareograf	NAP	Kronštadt
Pripájacie body	7 vybraných bodov zo 170 bodov z vyrovnania v EVRF2019	Súborné vyrovnanie v rámci zapojených krajín
Výšky pripájacích bodov	Geopotenciálne kóty z vyrovnania EVRS (EVRF2019)	Normálne výšky podľa Molodenského obdržané zo súborného vyrovnania
Fyzikálny parameter	GRS 1980	Krasovského elipsoid
Typ výšky		Normálne výšky
Slapový systém	zero tide / mean tide	Nešpecifikovaný
Prevod z/do ETRS89	<b>DMQSK2024-E</b>	DVRM05



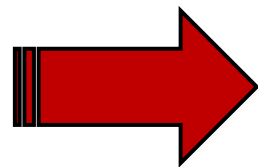
# Kvázigeoidy Slovenska

- **Gravimetric Model of the Slovak Quasigeoid (GMSQ)**
  - GMSQ2019 (Bucha a kol., 2019)
  - GMSQ2024A (Bucha, 2024)
  - GMSQ2024B (Bucha, 2024)
- **Digitálny Vertikálny Referenčný Model 2005 (DVRM)**
  - DVRM05 (Klobušíak a kol., 2005)



# Dostupné kvázigeoidy Slovenska

	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B	DVRM05
<b>Rozlíšenie</b>	2''	1''	1''	20''x 30''
<b>Použitý GGM</b>	EIGEN-6C4	EIGEN-6C4	SGG-UGM-2	EGM96
<b>Použitý detailný DMR</b>	DMR 3.5	DMR 5.0	DMR 5.0	DMR 2
<b>Definovaná presnosť</b>	1,9 cm	1,9 cm	2,0 cm	3,4 cm
<b>Fitovanie</b>	nie	nie	nie	áno (Bpv)
<b>Autor</b>	Bucha a kol., 2019	Bucha, 2024		Klobušiak, 2005



**DMR 5.0** – 1. cyklus LLS (2018 – 2022)

priestorové rozlíšenie 1 m/pixel

presnosť bodov mračien:  $m_h \leq 0,15 \text{ m}$

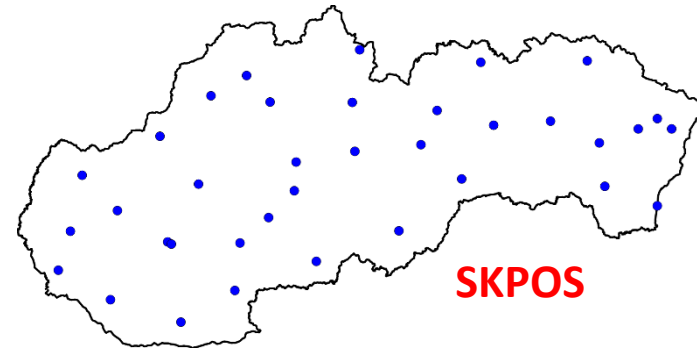
$m_{xy} \leq 0,30 \text{ m}$

# Testovanie kvázigeoidov Slovenska

## Testovacie množiny bodov ŠPS ( $h + H_{\text{SKVRF2024}}$ )

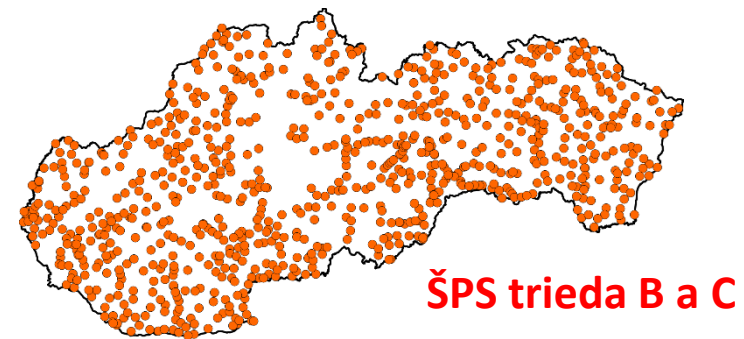
### Body ŠPS triedy A

- 36 permanentných staníc SKPOS
- presnosť elipsoidickej výšky  $\sigma \leq 10$  mm



### Body ŠPS triedy B a C

- 851 bodov, dĺžka observácie min. 6 hodín
- presnosť elipsoidickej výšky  $\sigma \leq 25$  mm
- bez 304 bodov ŠPS, ktoré boli použité na fitovanie kvázigeoidu DVRM05





# Testovanie kvázigeoidov Slovenska

## Porovnanie normálnych výšok

- Výpočet normálnych výšok na bodoch ŠPS:

$$H_{kvázig.} = h - \zeta_{kvázig.}$$

- Rozdiel normálnych výšok:

$$\Delta H = H_{SKVRF2024} - H_{kvázig.}$$

# Výsledky testovania

## GMSQ2019

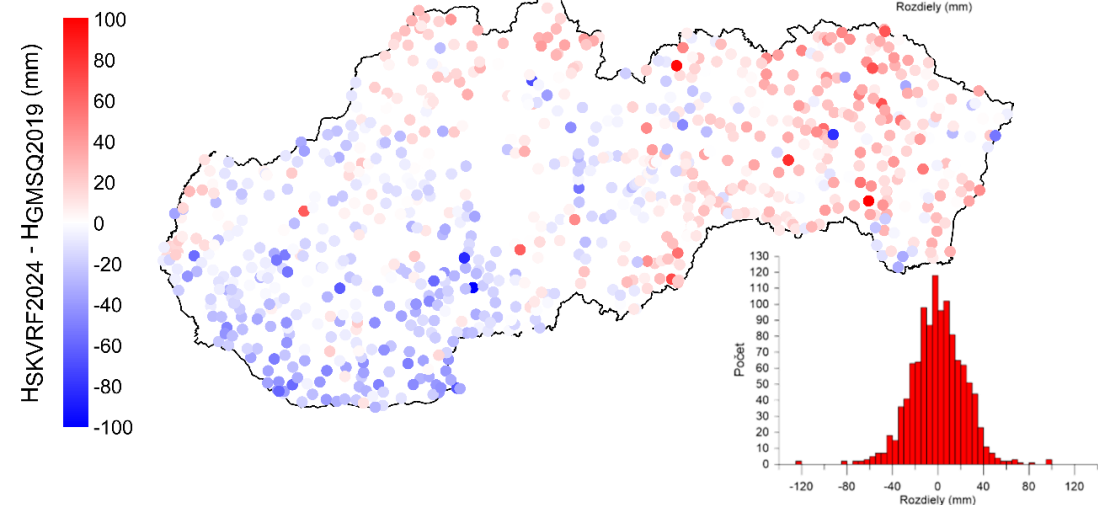
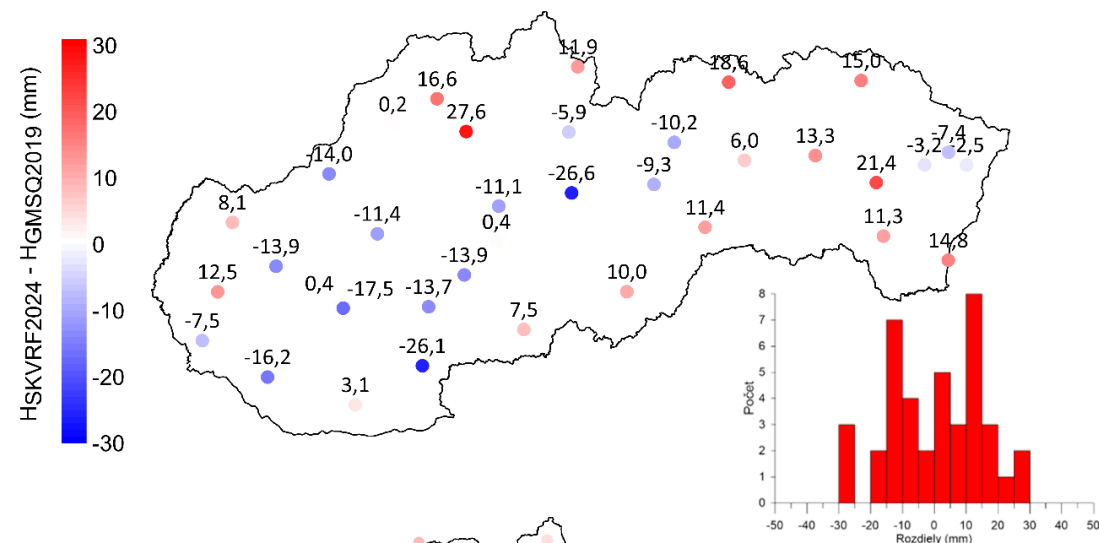
### Test na množine bodov SKPOS (36 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019			
Minimum	-26,64			
Maximum	27,60			
Priemer	0,00			
Stredná chyba	13,56			
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	11,68			

### Test na množine bodov ŠPS triedy B a C (851 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019			
Minimum	-124,10			
Maximum	99,19			
Priemer	0,00			
Stredná chyba	23,06			
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	18,25			

Pozn. Hodnoty rozdielov sú redukované o priemer



# Výsledky testovania

## GMSQ2024A

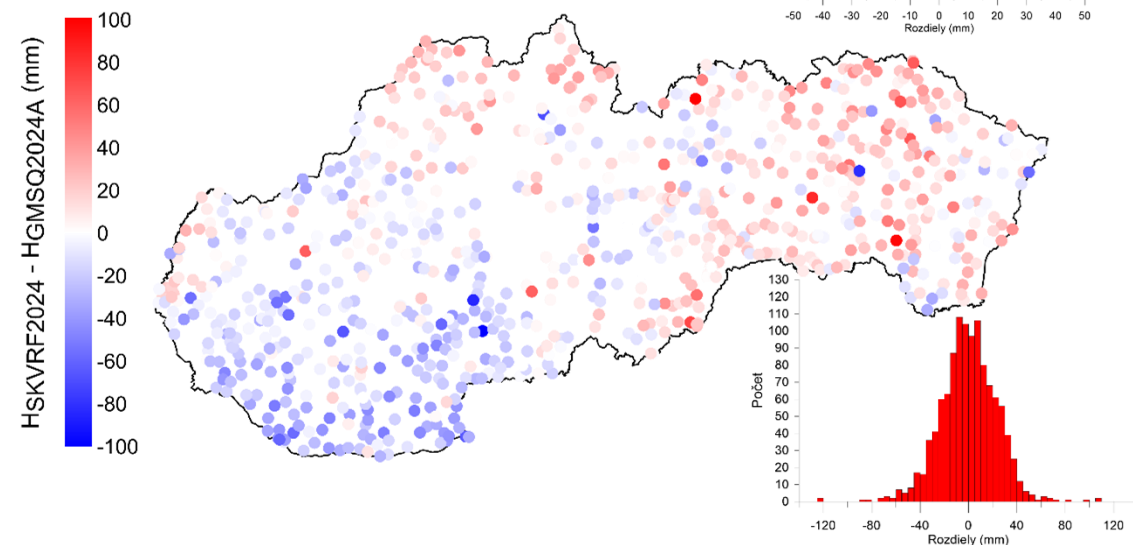
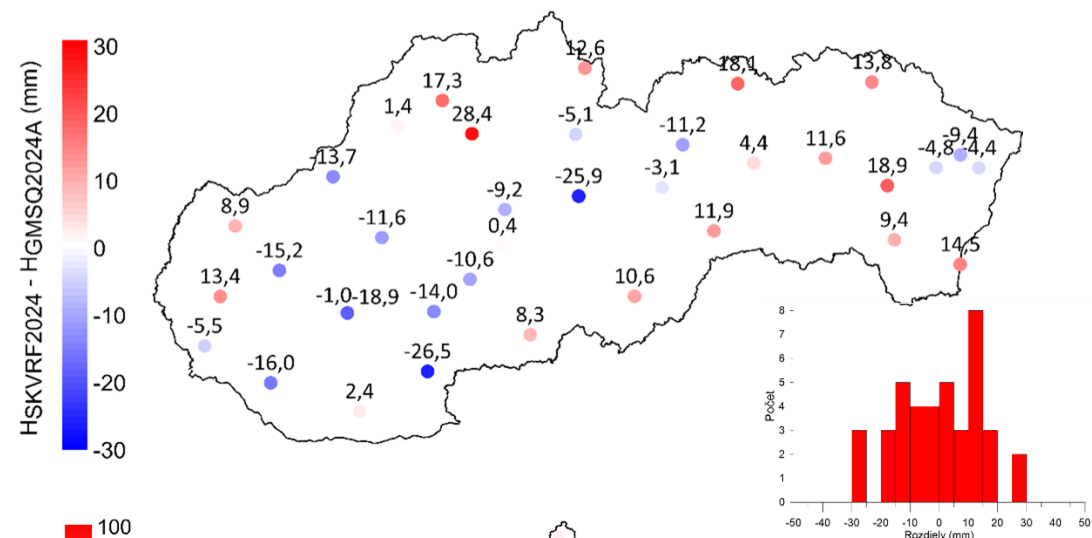
### Test na množine bodov SKPOS (36 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A		
Minimum	-26,64	<b>-26,49</b>		
Maximum	27,60	<b>28,38</b>		
Priemer	0,00	<b>0,00</b>		
Stredná chyba	13,56	<b>13,38</b>		
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	11,68	<b>11,46</b>		

### Test na množine bodov ŠPS triedy B a C (851 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A		
Minimum	-124,10	<b>-124,63</b>		
Maximum	99,19	<b>107,72</b>		
Priemer	0,00	<b>0,00</b>		
Stredná chyba	23,06	<b>23,07</b>		
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	18,25	<b>18,36</b>		

Pozn. Hodnoty rozdielov sú redukované o priemer



# Výsledky testovania

## GMSQ2024B

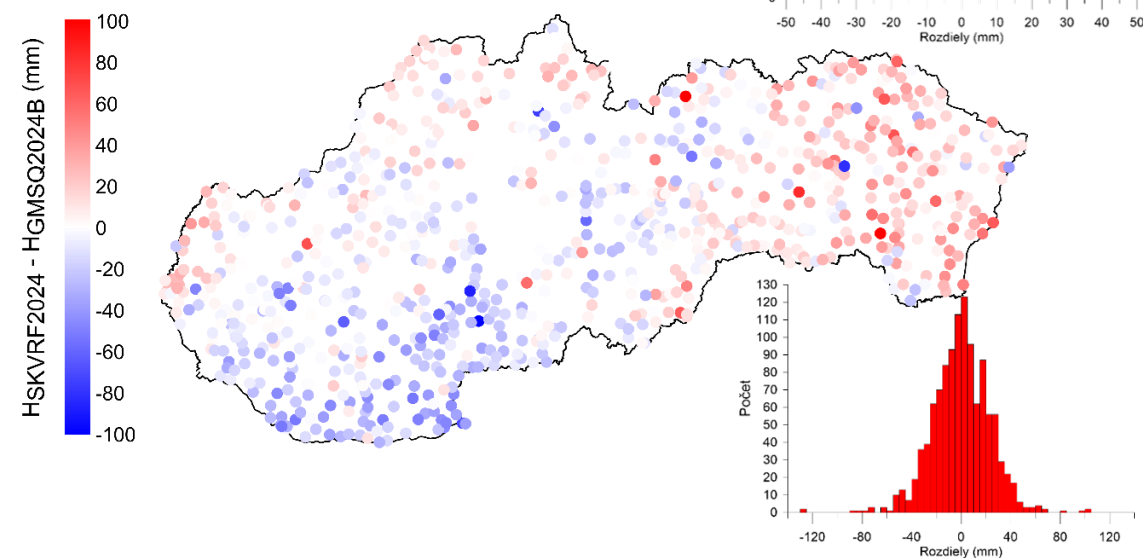
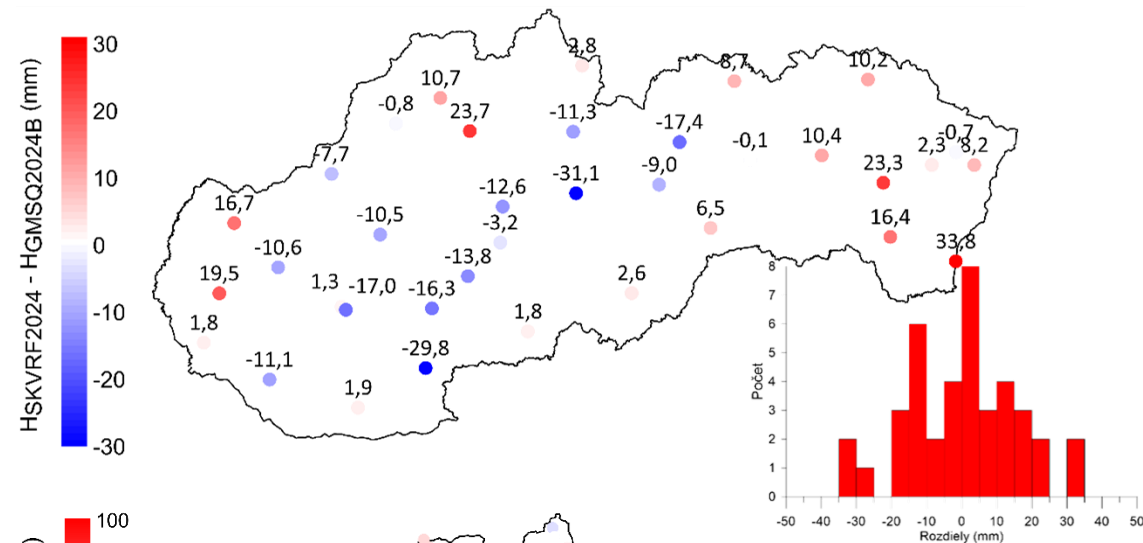
### Test na množine bodov SKPOS (36 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B
Minimum	-26,64	-26,49	<b>-31,14</b>
Maximum	27,60	28,38	<b>33,81</b>
Priemer	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Stredná chyba	13,56	13,38	<b>14,34</b>
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	11,68	11,46	<b>11,27</b>

### Test na množine bodov ŠPS triedy B a C (851 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B
Minimum	-124,10	-124,63	<b>-128,02</b>
Maximum	99,19	107,72	<b>102,17</b>
Priemer	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Stredná chyba	23,06	23,07	<b>22,93</b>
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	18,25	18,36	<b>17,87</b>

Pozn. Hodnoty rozdielov sú redukované o priemer



# Výsledky testovania

## DVRM05

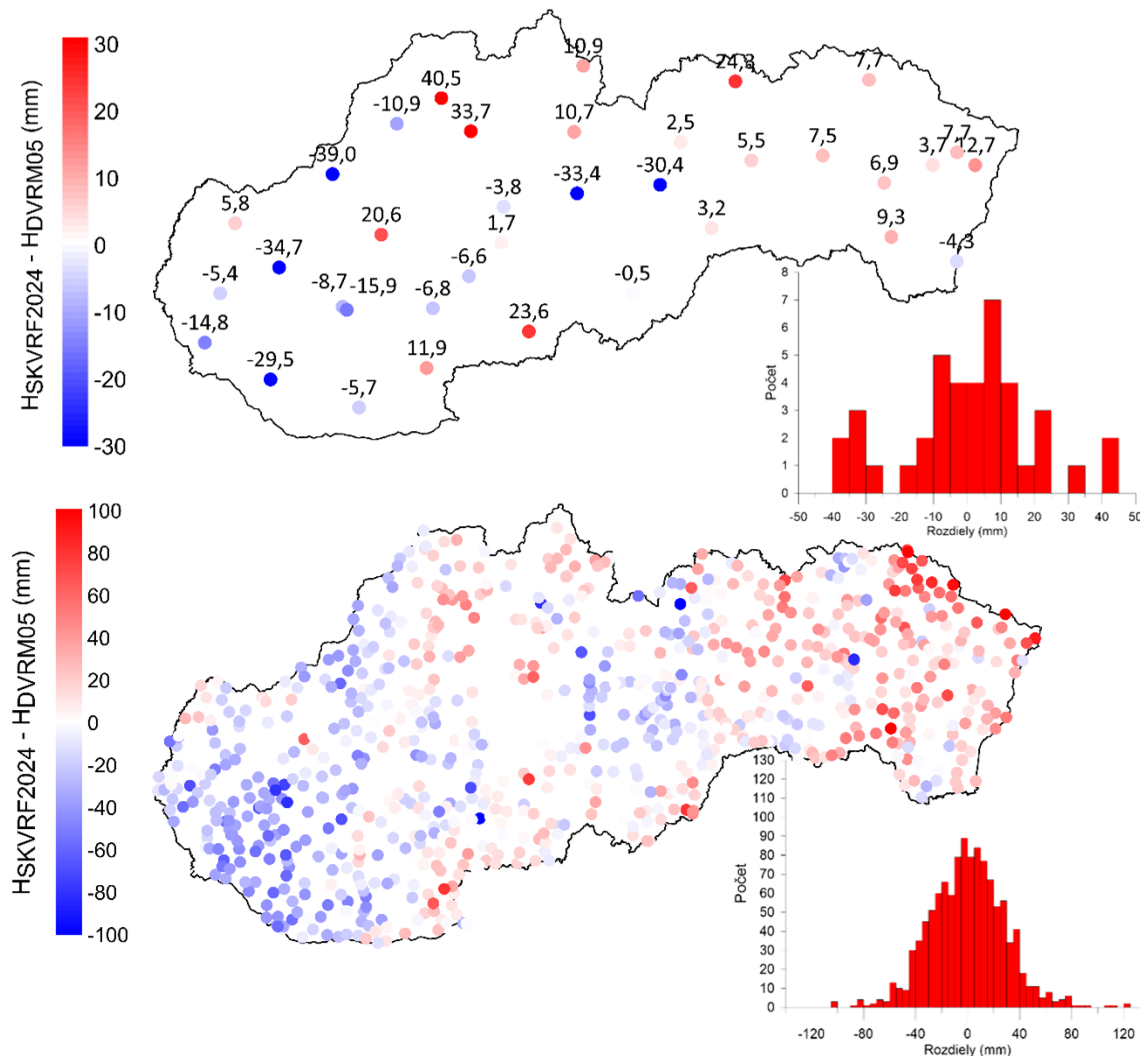
### Test na množine bodov SKPOS (36 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B	DVRM05
Minimum	-26,64	-26,49	-31,14	<b>-39,00</b>
Maximum	27,60	28,38	33,81	<b>40,46</b>
Priemer	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Stredná chyba	13,56	13,38	14,34	<b>18,08</b>
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	11,68	11,46	11,27	<b>13,90</b>

### Test na množine bodov ŠPS triedy B a C (851 bodov)

Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B	DVRM05
Minimum	-124,10	-124,63	-128,02	<b>-101,86</b>
Maximum	99,19	107,72	102,17	<b>124,55</b>
Priemer	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Stredná chyba	23,06	23,07	22,93	<b>28,49</b>
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	18,25	18,36	17,87	<b>23,30</b>

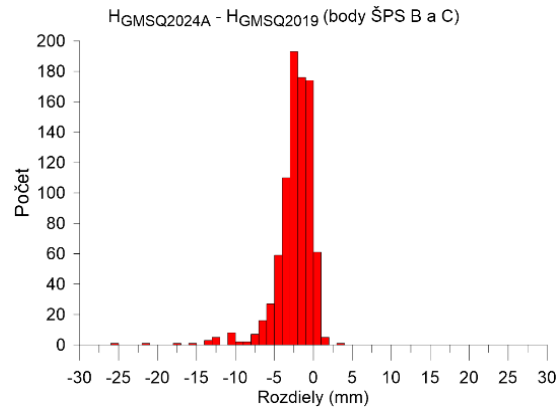
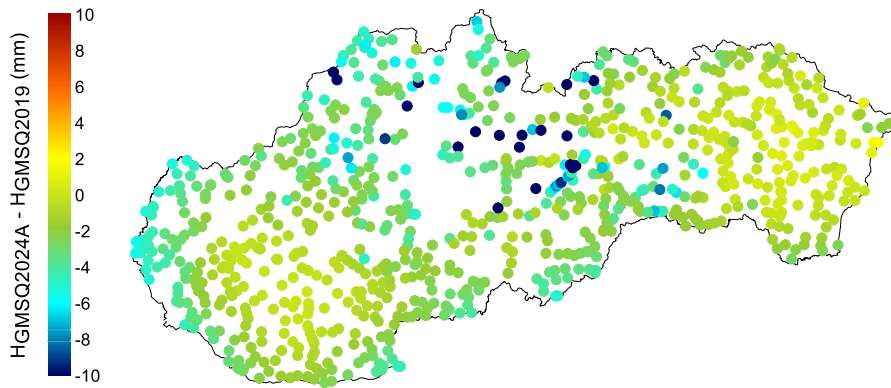
Pozn. Hodnoty rozdielov sú redukované o priemer





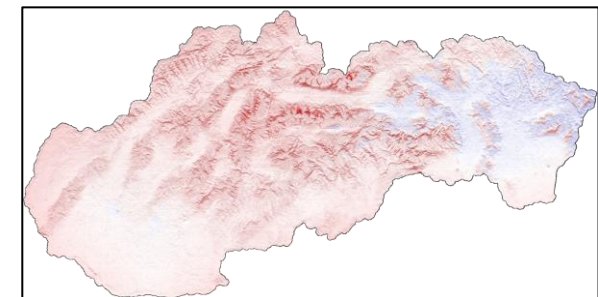
# Porovnanie **GMSQ2024A** a **GMSQ2024B** vs. **GMSQ2019**

## **GMSQ2024A vs. GMSQ2019**



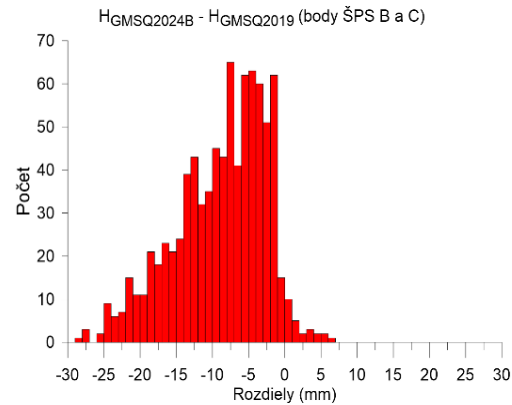
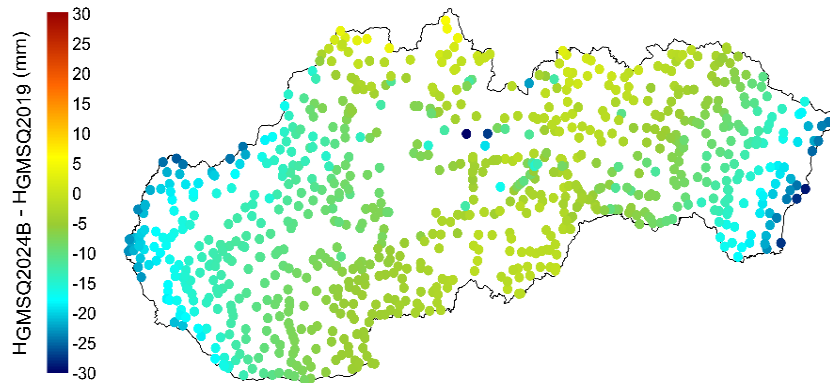
Minimum	Maximum	Priemer	Str.chyba
-52,61 mm	1,88 mm	-2,47 mm	3,04 mm

- Najväčšie odchýlky – body vo vysokohorskom teréne
- Nárast absolútnych hodnôt rozdielov k okrajom územia
- Opačné rozdiely východ a západ SR (Bucha, 2024)



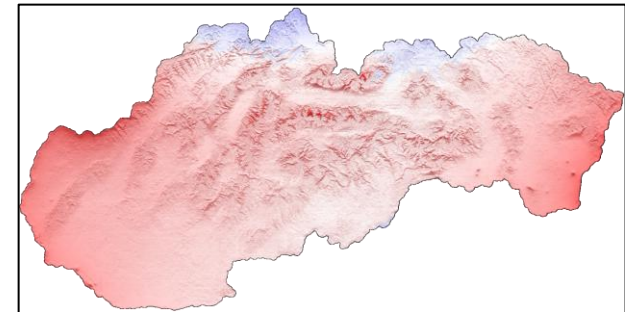
# Porovnanie **GMSQ2024A** a **GMSQ2024B** vs. **GMSQ2019**

## **GMSQ2024B vs. GMSQ2019**



- 2x vyššia stredná chyba rozdielov ako pri GMSQ2024A
- Dlhovlnný trend – použitie rozdielných GGM

Minimum	Maximum	Priemer	Str.chyba
-54,41 mm	5,35 mm	-8,92 mm	6,42 mm



# Výber kvázigeoidu pre realizáciu SKVRF2024

Test na množine bodov SKPOS (36 bodov)				
Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024 A	GMSQ2024B	DVRM05
Minimum	-26,64	<b>-26,49</b>	-31,14	-39,00
Maximum	27,60	<b>28,38</b>	33,81	40,46
Priemer	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00
Stredná chyba	13,56	<b>13,38</b>	14,34	18,08
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	11,68	<b>11,46</b>	11,27	13,90

Test na množine bodov ŠPS triedy B a C (851 bodov)				
Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024A	GMSQ2024B	DVRM05
Minimum	-124,10	-124,63	-128,02	-101,86
Maximum	99,19	107,72	102,17	124,55
Priemer	0,00	0,00	0,00	0,00
Stredná chyba	23,06	23,07	22,93	28,49
Priemer absolútnych hodnôt rozdielov	18,25	18,36	17,87	23,30

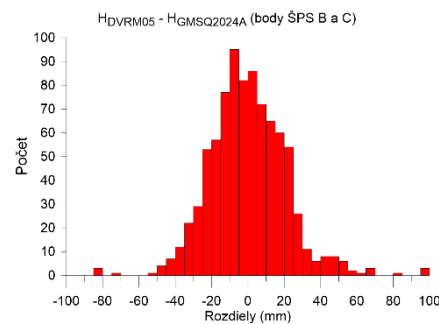
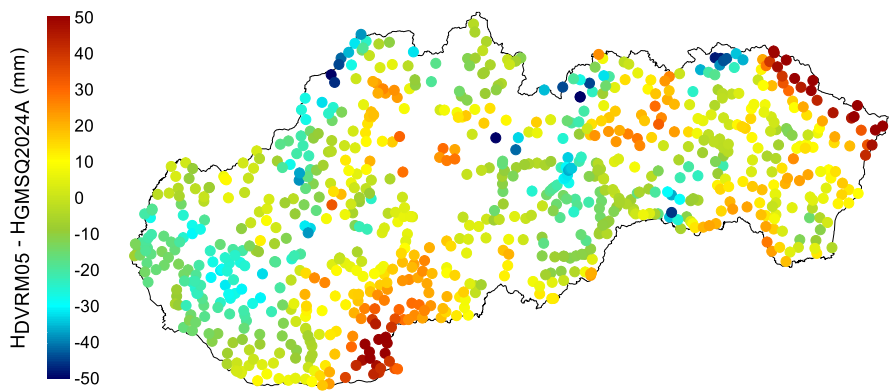
## GMSQ2024A

- Najlepšie výsledky pre body SKPOS (najpresnejšia el. výška)
- Pri bodoch triedy B a C podobné výsledky pre všetky kvázigeoidy GMSQ – nižšia kvalita el. výšky
- Použitie najnovšieho DMR5.0
- Bez akéhokoľvek fitovania
- Fitovaním – zlepšenie presnosti určovania nadmorských výšok GNSS meraním

GMSQ2024A po nafitovaní na SKVRF2024 = **DMQSK2024-E**

# Porovnanie **GMSQ2024A** vs. **DVRM05**

## DVRM05 mínus GMSQ2024A



- Hodnoty rozdielov sú redukované o priemer
- Najviac rozdielov v intervale  $\pm 50$  mm
- DVRM05 – fitovaný na Bpv

Minimum	Maximum	Priemer	Str.chyba
-80,39 mm	95,25 mm	0,00 mm	20,61 mm

# Záver

- DVRM05
  - Najvyššie str.chyby pri testoch na bodoch SKPOS a bodoch ŠPS triedy B a C
  - Fitovaný na Bpv 1957, menej vhodný na použitie s realizáciou SKVRF2024
- GMSQ2024A
  - Najnižšie str.chyby pri testoch na bodoch SKPOS
  - GMSQ2019 a GMSQ2024B porovnateľné výsledky
  - Použitie najnovšieho DMR5.0 pri GMSQ2024A
  - Nie je naitovaný → zlepšenie presnosti určovania normálnych výšok GNSS metódami zabezpečíme fitovaním na realizáciu SKVRF2024 = **DMQSK2024-E**



# Ďakujem za pozornosť.

miroslava.jancovicova@skgeodesy.sk

