

NADMORSKÉ VÝŠKY GNSS ROVEROM KDEKOL'VEK NA SLOVENSKU NA CENTIMETER?

ÁNO, JE TO MOŽNÉ!

Miroslava JANČOVIČOVÁ, Branislav DROŠČÁK, Ján BUBLAVÝ

Geodetický a kartografický ústav 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

- Kronštadt (Fínsky záliv)
- Normálne výšky
 - Klasický spôsob výpočtu
 - Redukcia z „tiaže“
 - Krasovského elipsoid
- Nové merania → pôvodná Bpv57



Európsky vertikálny referenčný systém (EVRS)

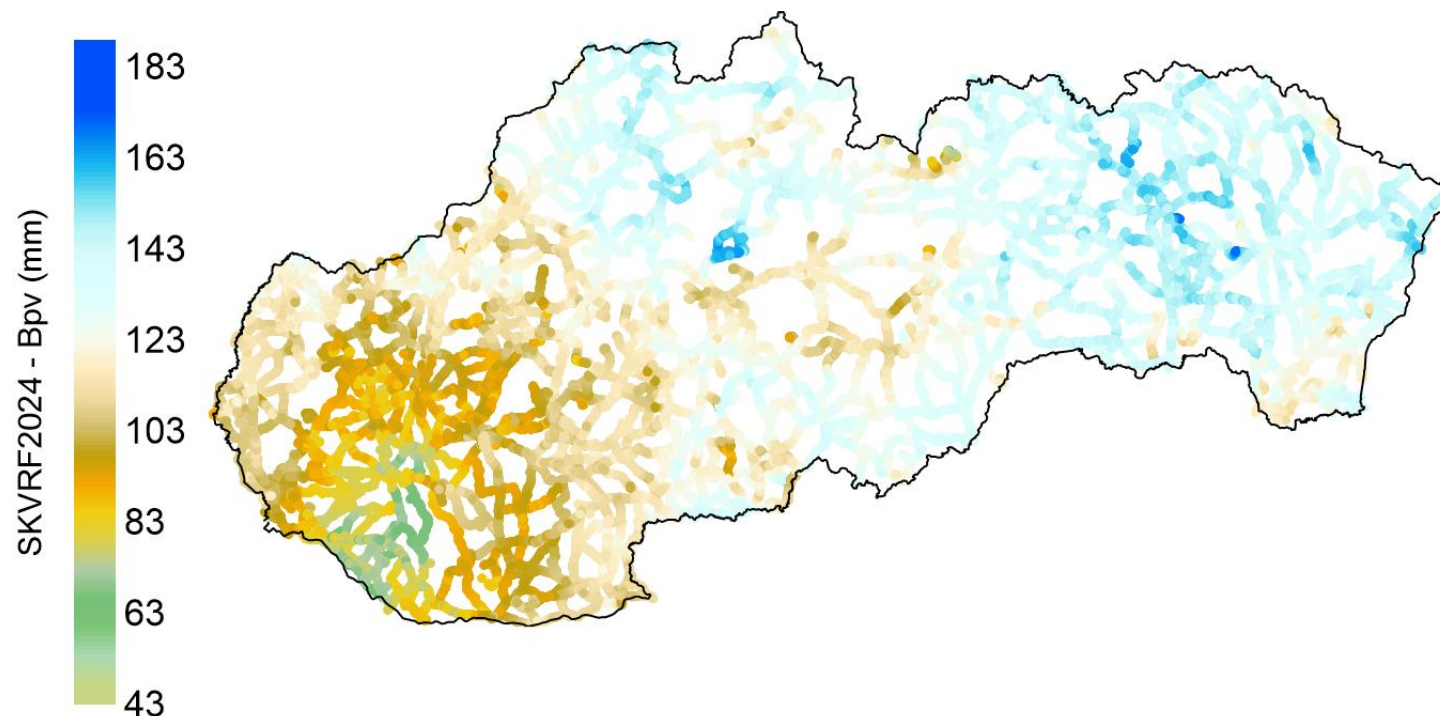


Realizácia **SKVRF2024** – národné zhustenie
EVRF2019; EPSG: 9390

- Amsterdam (NAP) – W_{0E}
- Normálne výšky
 - Výpočet pomocou geopotenciálnych kót
- Elipsoid GRS80
- Napojenie na aktuálnu realizáciu EVRS



Bpv 1957 vs. SKVRF2024



Rozdiely SKVRF2024 – Bpv 1957 reprezentujú:

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

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

Bpv 1957 vs. SKVRF2024

	Nová realizácia (SKVRF2024)	Súčasná realizácia (Bpv 1957)
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

Vývoj EVRS na Slovensku

2007 – Vyrovnanie geopotenciálnych kót v **EVRS (EVRF2000)**

- Nezavedený do vyhlášky ani do praxe

2009 – Zavedenie do vyhlášky ÚGKK č. 300/2009 Z. z. – **EVRS (EVRF2000)**

- Nezavedený do praxe

2014 – Zavedenie do praxe – **EVRS (EVRF2007)**

- RTS – kvázigeoid DMQSK2014-E
- Nezavedený do vyhlášky

2024 – Zmena vo vyhláške ÚGKK č. 300/2009 Z. z. – **EVRS (EVRF2019)**

- **SKVRF2024**, ktorý zodpovedá realizácii EVRF2019

Motivácia

$$h_{\text{ETRS89}} - \text{DVRM05} = H_{\text{Bpv 1957}}$$

$$h_{\text{ETRS89}} - \text{???} = H_{\text{SKVRF2024}}$$



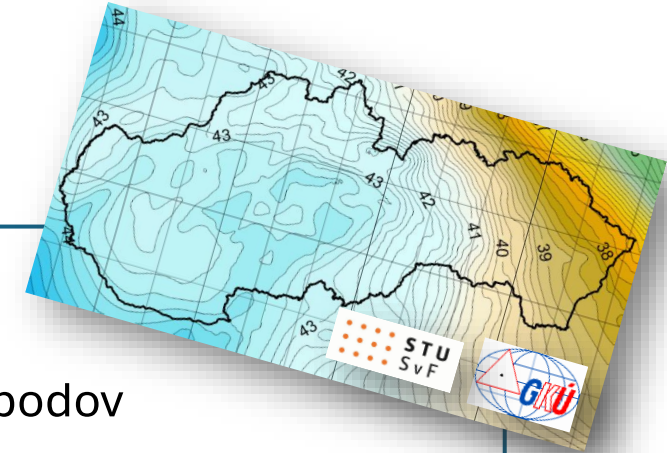
(6) Realizácia Baltského výškového systému po vyrovnaní predstavuje súbor normálnych výšok a charakteristík presností bodov Štátnej nivelačnej siete určených vyrovnaním opakovaných nivelačných meraní vzhľadom na jeden základný alebo množinu viacerých základných nivelačných bodov a označuje sa alfanumerickým 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 Kronštadte. Realizáciou 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 rádov 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.

Transformácia ETRS89 do Bpv a EVRS doterajší stav

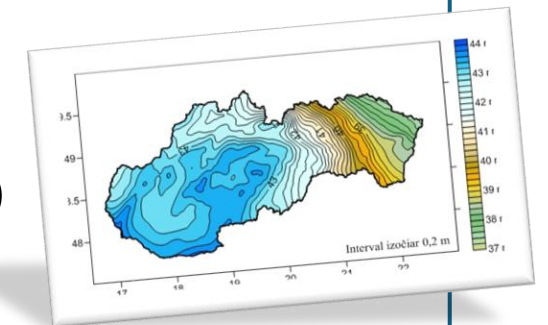
DVRM05

- Bpv ↔ ETRS89
- Fitovaný GMSQ03B (Mojzeš a kol. 2003) na množinu 304 identických bodov (Klobušiak a kol., 2005)
- Závazný od roku 2009 vyhláškou ÚGKK č. 300/2009 Z. z.
- Stredná chyba z testovania na 563 bodoch je 34 mm



DMQSK2014-E

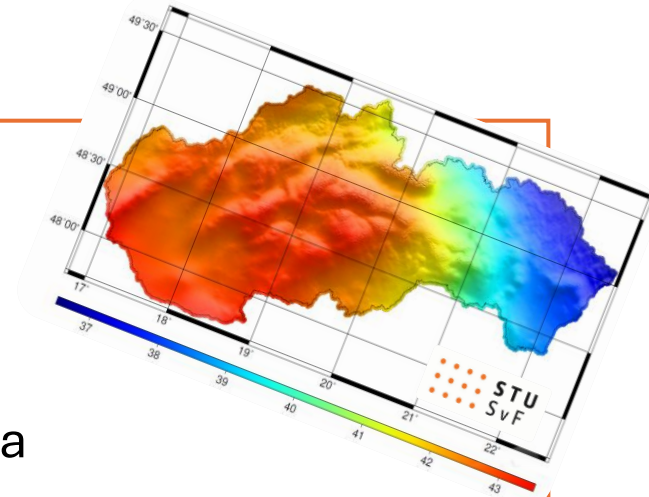
- EVRS (EVRF2007) ↔ ETRS89
- Dostupný v RTS
- Fitovaný DVRM05 na identické body EVRF2007 (Bublavý, Droščák, 2014)
- Nezavedený do vyhlášky
- Presnosť porovnateľná s DVRM05



Výber kvázigeoidu pre novú realizáciu SKVRF2024

2019 – Nový kvázigeoid pre realizáciu SKVRF2024

- **G**ravimetric **M**odel of the **S**lovak **Q**uasigeoid (GMSQ)
- **GMSQ2019** (Bucha a kol., 2019)
- Stredná hodnota rozdielov $-0,5473$ m (Bpv) cca 8 800 test. bodov
- Nefitovaný kvázigeoid – nutnosť vertikálneho posunu, resp. fitovania

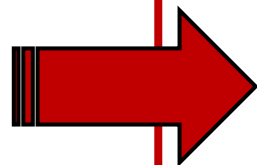


2024 – Spresnené verzie kvázigeoidu

- **GMSQ2024A** (Bucha, 2024)
- **GMSQ2024B** (Bucha, 2024)
- Presnosť podobná ako vo verzii GMSQ2019
- Nefitované kvázigeoidy – nutnosť vertikálneho posunu, resp. fitovania

Výber kvázigeoidu pre novú realizáciu SKVRF2024

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



DMR 5.0 – 1. cyklus LLS (2018 – 2022)
 priestorové rozlíšenie 1 m/pixel
 presnosť bodov mračien: $m_h \leq 0,15 \text{ m}$
 $m_{xy} \leq 0,30 \text{ m}$

Výber kvázigeoidu pre novú realizáciu SKVRF2024

Porovnanie normálnych výšok

- Výpočet normálnych výšok na bodoch ŠPS:

$$H_{kvázig.} = h - \zeta_{kvázig.}$$

- Rozdiel normálnych výšok:

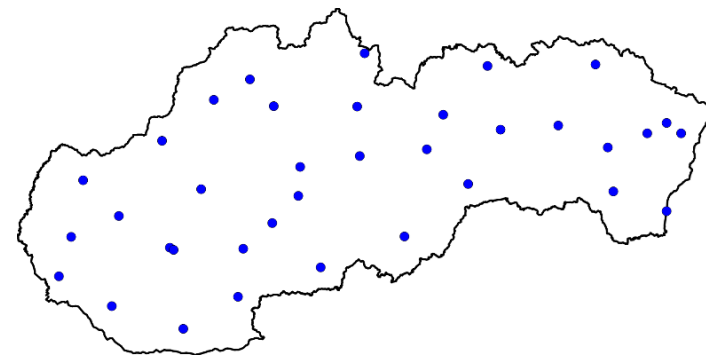
$$\Delta H = H_{SKVRF2024} - H_{kvázig.}$$

Výber kvázigeoidu pre novú realizáciu SKVRF2024

Testovacie množiny bodov ŠPS

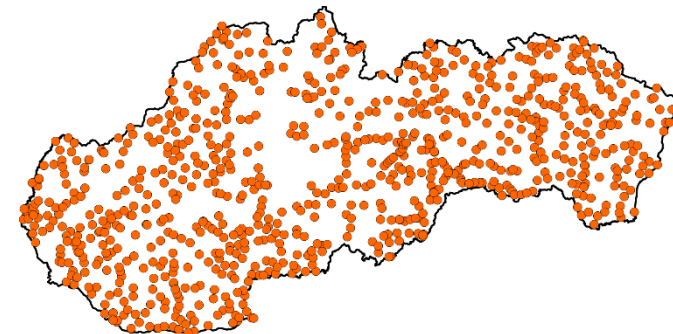
Body ŠPS triedy A

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



Body ŠPS triedy B a C

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



Výber kvázigeoidu pre novú realizáciu SKVRF2024

GMSQ2024A

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

Test na množine bodov ŠPS triedy B a C				
Použitý kvázigeoid	GMSQ2019	GMSQ2024 A	GMSQ2024 B	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

Hodnoty rozdielov sú v mm.

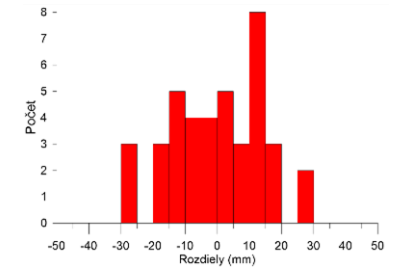
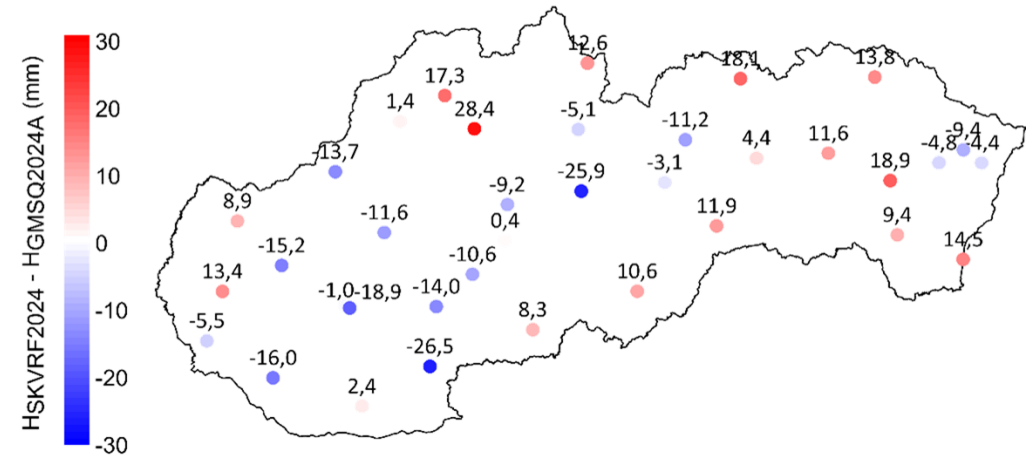
- Najlepšie výsledky pre body SKPOS (najpresnejšia el. výška)
- Pri bodoch triedy B a C podobné výsledky pre všetky kvázigeoidy GMSQ – nižšia kvalita el. výšky
- Použitie najnovšieho DMR5.0
- Bez akéhokoľvek fitovania
- Fitovaním – zlepšenie presnosti určovania nadmorských výšok GNSS meraním

Porovnanie GMSQ2024A s DVRM05

Testovanie na bodoch SKPOS

- 36 bodov
- presnosť elipsoidickej výšky $\sigma \leq 10$ mm

$$\Delta H = H - H_{kvázig.}$$



	Bpv		SKVRF2024	
	DVRM05	GMSQ2024A	DVRM05	GMSQ2024A
Kvázigeoid				
Minimum	-35,70	-38,78	-39,00	-26,49
Maximum	42,40	47,43	40,46	28,38
Priemer	-2,05	0,00	0,00	0,00
Stredná chyba	18,43	19,94	18,08	13,38

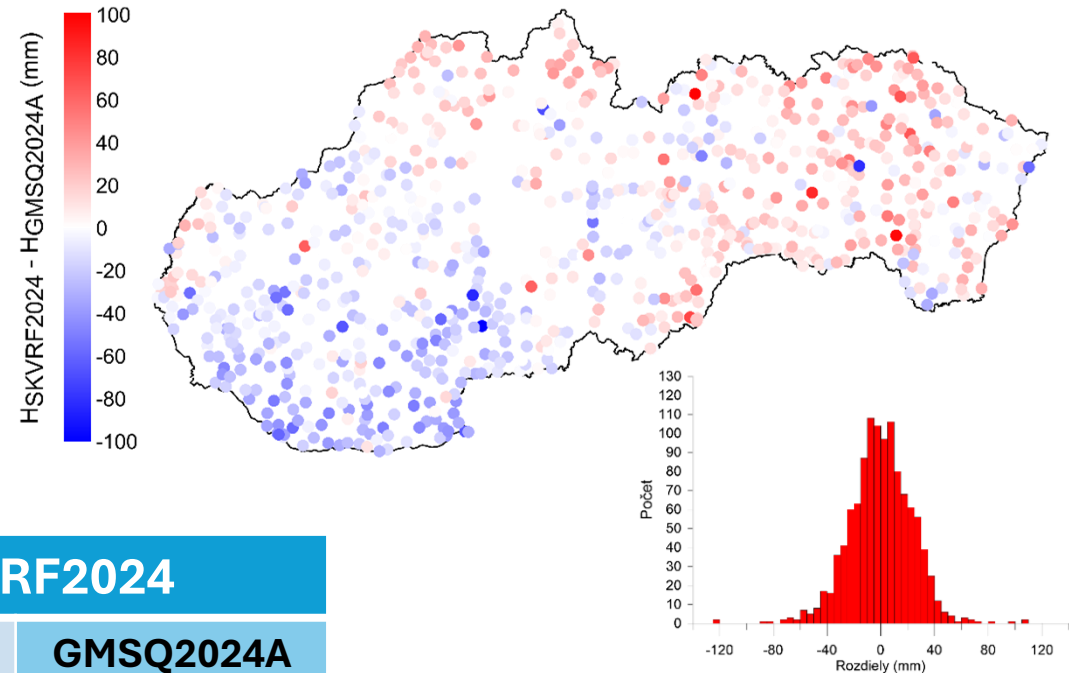
Hodnoty rozdielov sú v mm.

Porovnanie GMSQ2024A s DVRM05

Testovanie na ŠPS trieda B a C

- 851 bodov
- presnosť elipsoidickej výšky $\sigma \leq 25$ mm

$$\Delta H = H - H_{kvázig.}$$



	Bpv		SKVRF2024	
	DVRM05	GMSQ2024A	DVRM05	GMSQ2024A
Kvázigeoid	DVRM05	GMSQ2024A	DVRM05	GMSQ2024A
Minimum	107,20	-123,67	-101,86	-124,63
Maximum	112,80	94,14	124,55	107,72
Priemer	3,00	0,00	0,00	0,00
Stredná chyba	21,81	21,79	28,49	23,07

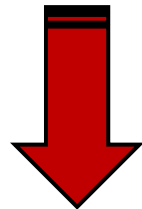
Hodnoty rozdielov sú v mm.

Testovanie kvázigeoidu GMSQ2024A

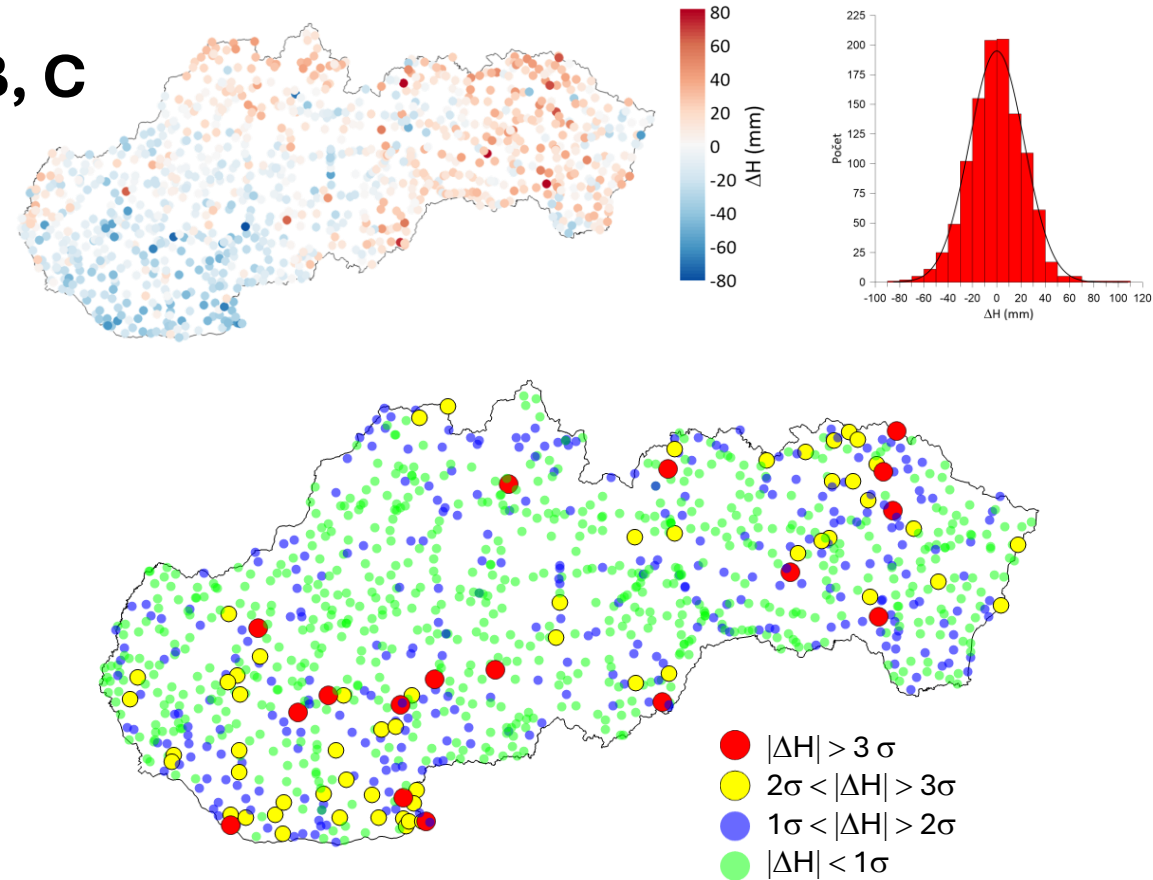
Rozdiely na GMSQ2024A na množine ŠPS A, B, C

$$\Delta H = H_{SKVRF2024} - H_{GMSQ2024A}$$

- Vertikálny posun o cca -0,4 m voči SKVRF2024
- Sklon západ-východ
- 96 % rozdielov spadá do $\pm 2\sigma$
- nad 2σ koncentrované v niektorých oblastiach



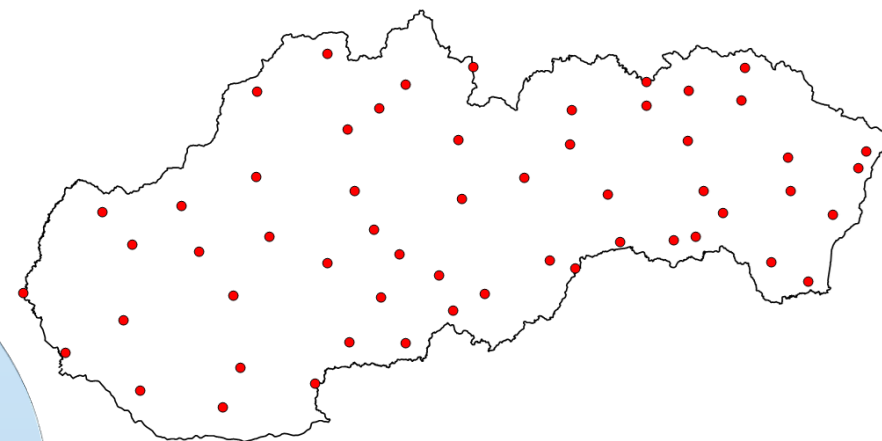
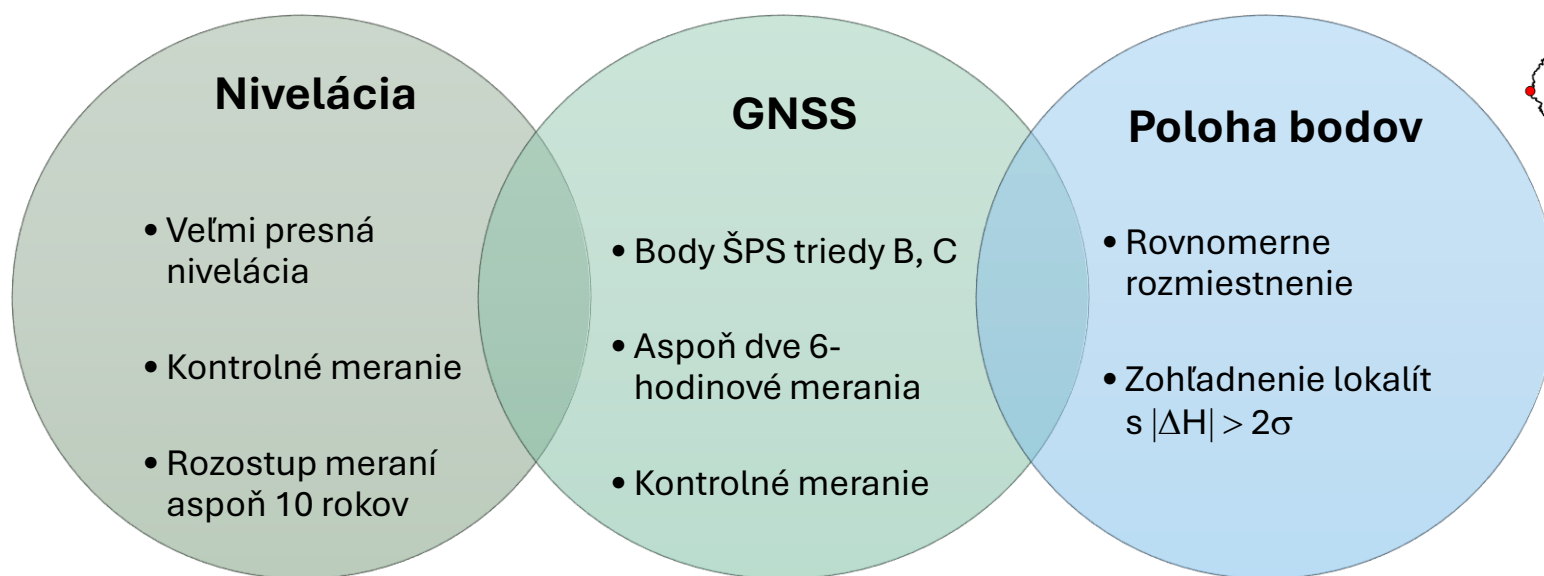
Potreba nafitovania kvázigeoidu



Fitovanie kvázigeoidu GMSQ2024A

Fitovacia plocha

- Plocha z rozdielov ΔH na vybraných GNSS/nivelačných bodoch
- Postup ako pri tvorbe DVRM05 (Klobušiak, 2005)
- Stanovenie kritérií na výber fitovacích bodov



56 fitovacích bodov

Fitovanie kvázigeoidu GMSQ2024A

$$\Delta H_{FIT} = H_{SKVRF2024} - H_{GMSQ2024A}$$



Softvér: Surfer

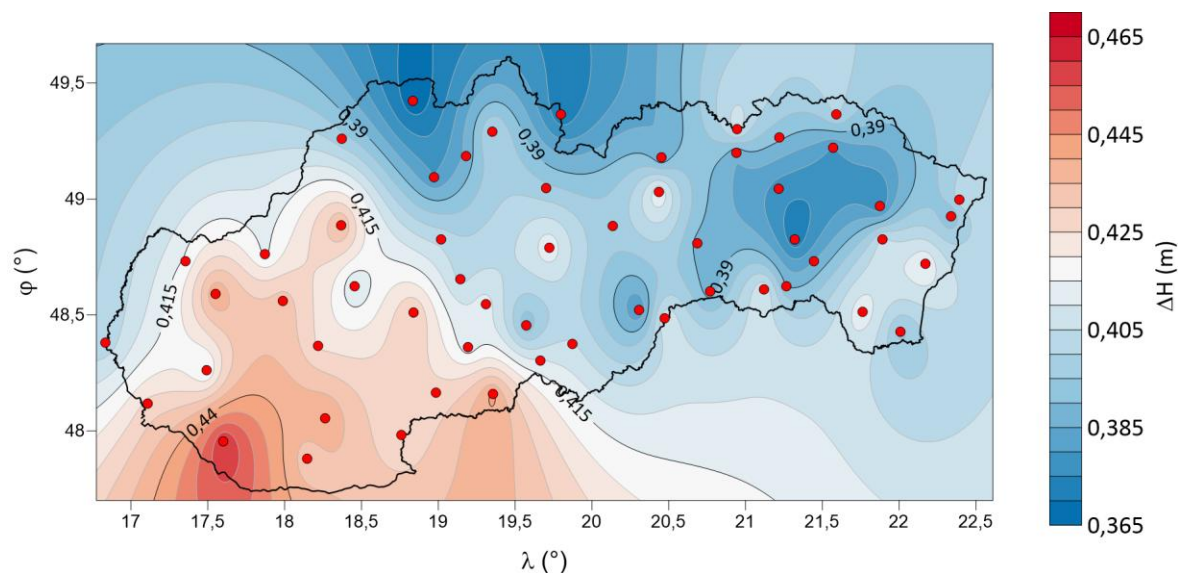
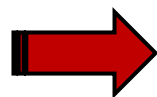
Interpolačná metóda: Kriging

Krok: 1'' x 1''

Oblasť:

49,670 < φ > 47,700

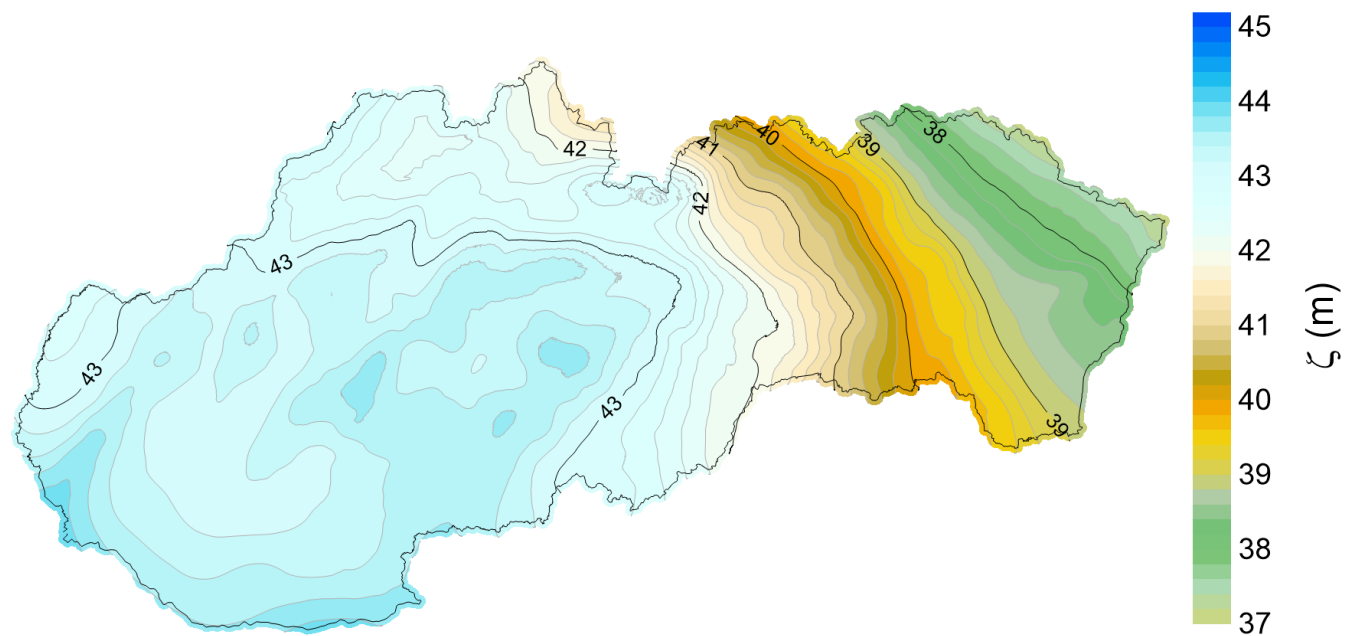
16,775 < λ > 22,610



Digitálny model reziduálnej zložky (DMRZ_{ΔH})

Výpočet DMQSK2024-E

$$\zeta_{DMQSK2024-E} = \zeta_{GMSQ2024A} + DMRZ_{\Delta H}$$



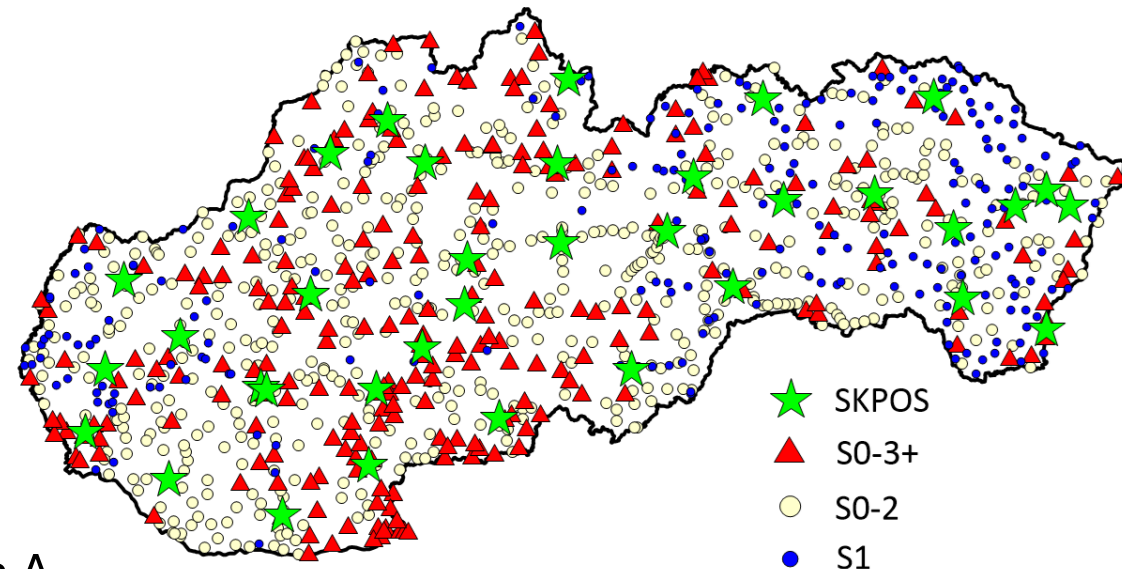
Testovanie DMQSK2024-E

testovacia množina

Body ŠPS triedy A, B, C

SKPOS	36 bodov	– body SKPOS, trieda A
S0-3+	252 bodov	– epochové merania, trieda B – tri a viac 6-hodinových meraní, trieda C
S0-2	581 bodov	– dve 6-hodinové merania, trieda C
S1	233 bodov	– jedno 6-hodinové meranie, trieda C

1102 bodov

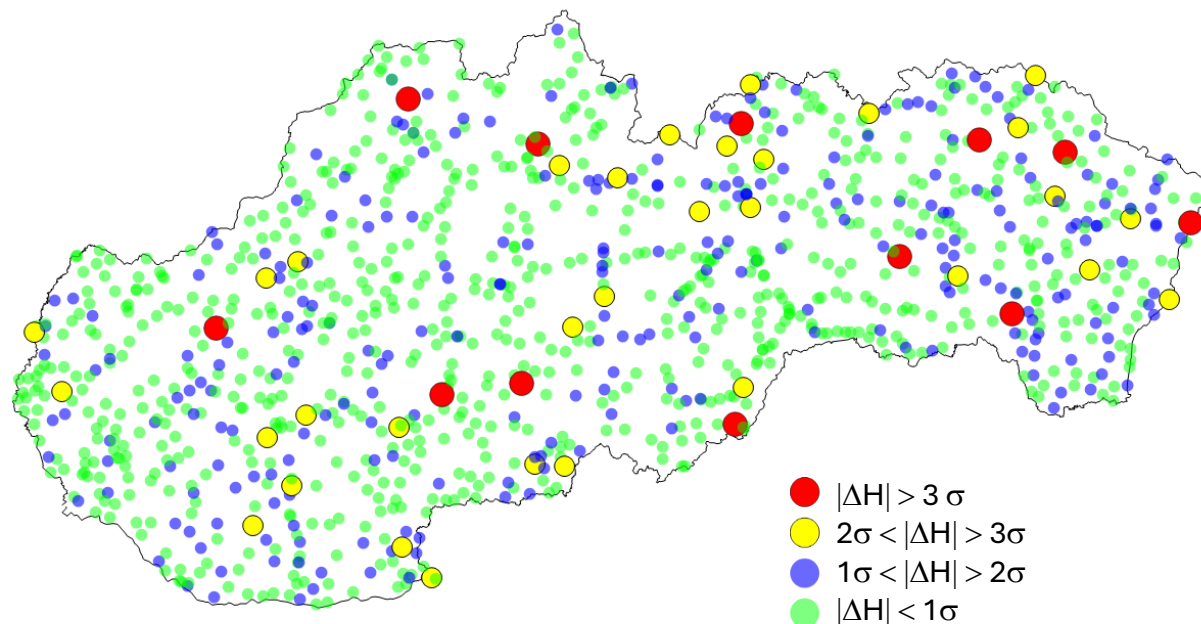
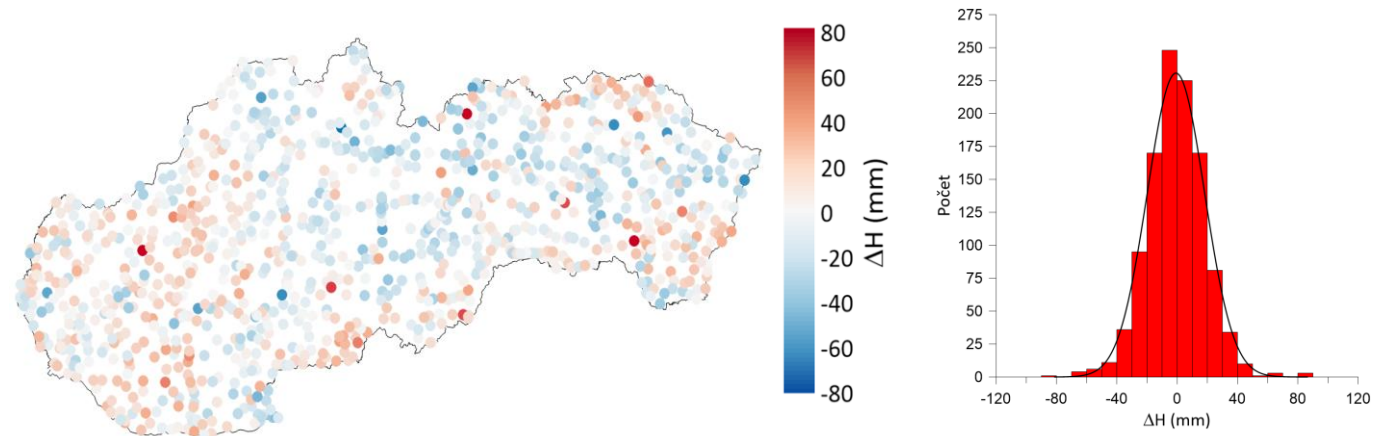


Testovanie DMQSK2024-E

Body ŠPS triedy A, B, C

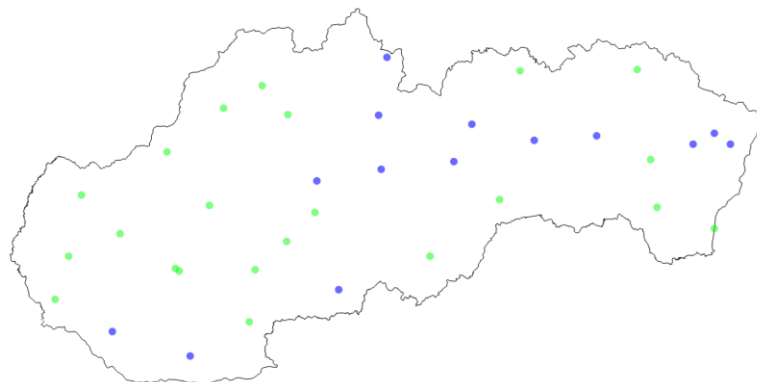
Počet testovacích bodov	1102
Minimum	-81,29
Maximum	86,42
Priemer	-0,81
Stredná chyba	18,97

Hodnoty rozdielov sú v mm.



Testovanie DMQSK2024-E

SKPOS – body SKPOS, trieda A



	SKPOS	S0-3+	S0-2	S1
Počet	36			
Minimum	31,17			
Maximum	27,33			
Priemer	-6,55			
Str. chyba	15,88			
Počet	36			

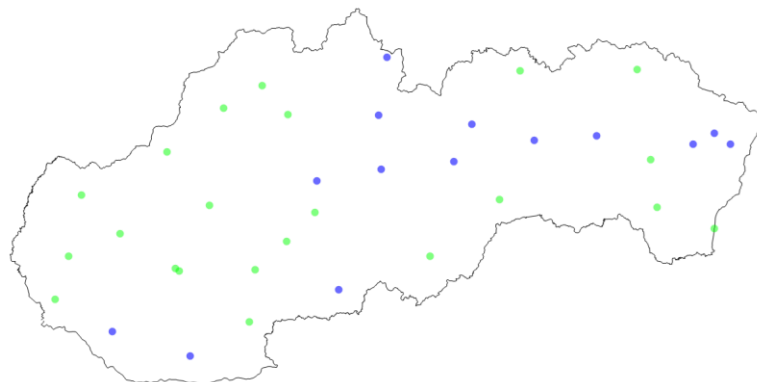
Hodnoty rozdielov sú v mm.

Testovanie DMQSK2024-E

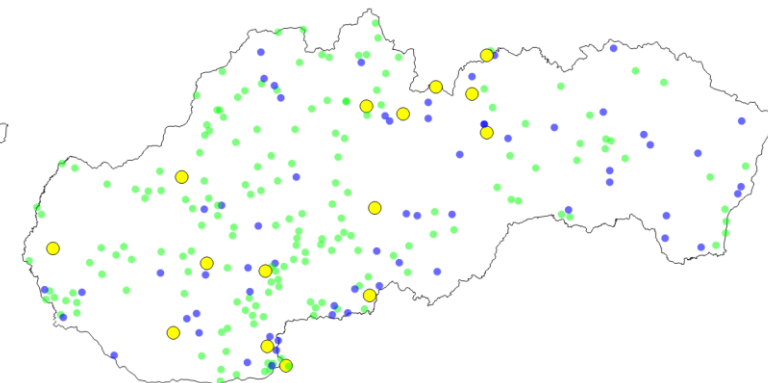
	SKPOS	S0-3+	S0-2	S1
Počet	36	252		
Minimum	31,17	-56,59		
Maximum	27,33	49,36		
Priemer	-6,55	-2,34		
Str. chyba	15,88	19,48		
Počet	36	252		

Hodnoty rozdielov sú v mm.

SKPOS – body SKPOS, trieda A



S0-3+ – tri a viac 6-hodinových meraní + EPOCH

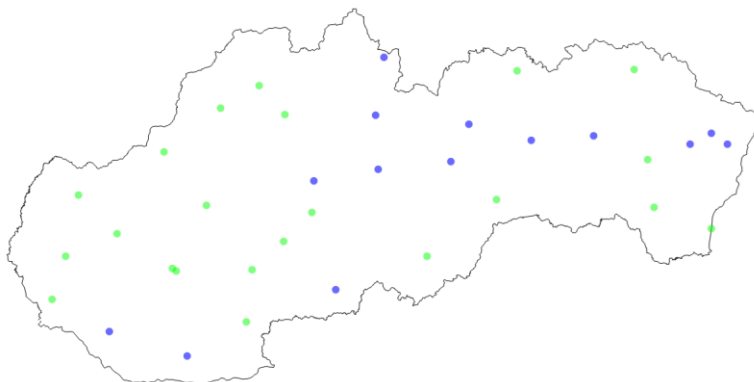


Testovanie DMQSK2024-E

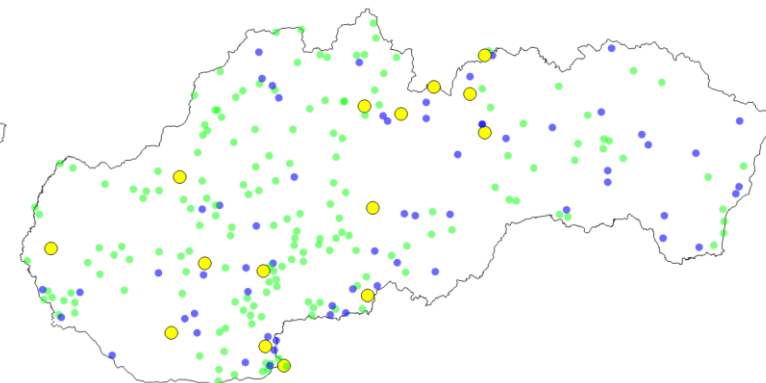
	SKPOS	S0-3+	S0-2	S1
Počet	36	252	581	
Minimum	31,17	-56,59	-81,29	
Maximum	27,33	49,36	62,59	
Priemer	-6,55	-2,34	0,03	
Str. chyba	15,88	19,48	16,91	
Počet	36	252	581	

Hodnoty rozdielov sú v mm.

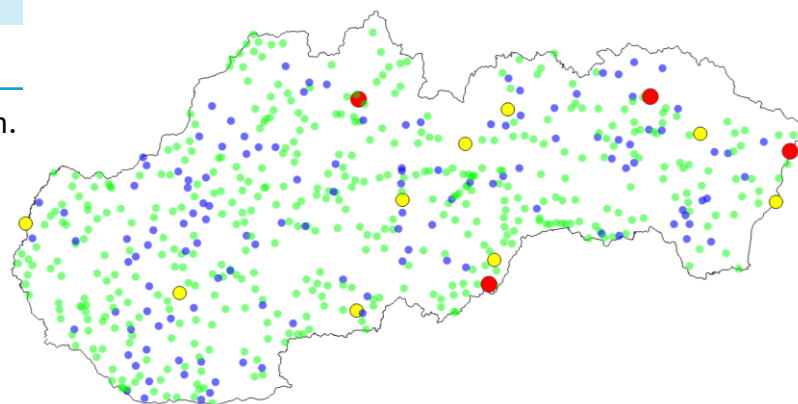
SKPOS – body SKPOS, trieda A



S0-3+ – tri a viac 6-hodinových meraní + EPOCH



S0-2 – dve 6-hodinové merania

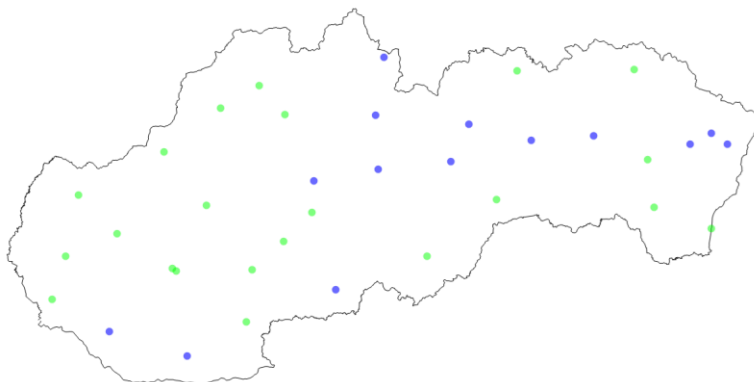


Testovanie DMQSK2024-E

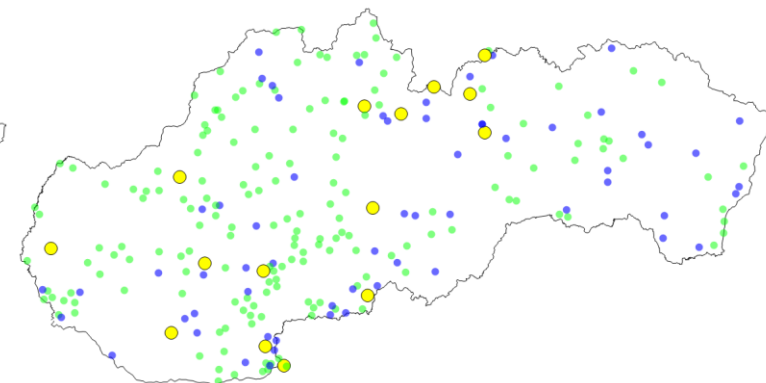
	SKPOS	S0-3+	S0-2	S1
Počet	36	252	581	233
Minimum	31,17	-56,59	-81,29	-66,29
Maximum	27,33	49,36	62,59	86,42
Priemer	-6,55	-2,34	0,03	-0,35
Str. chyba	15,88	19,48	16,91	23,12
Počet	36	252	581	233

Hodnoty rozdielov sú v mm.

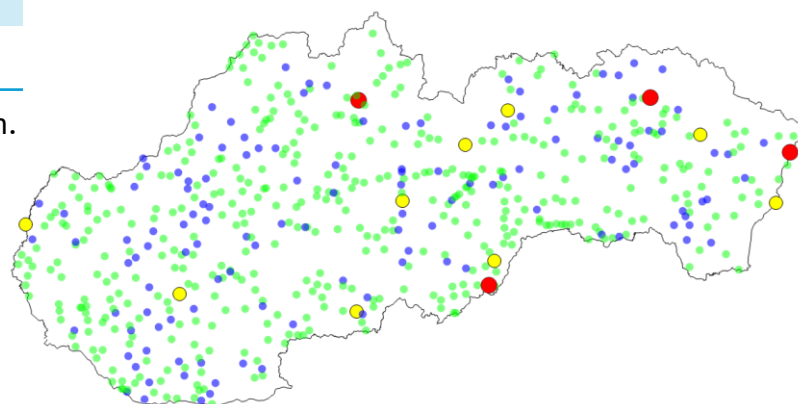
SKPOS – body SKPOS, trieda A



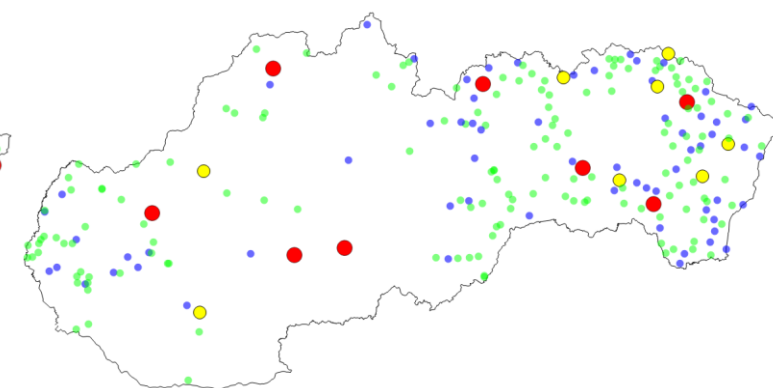
S0-3+ – tri a viac 6-hodinových meraní + EPOCH



S0-2 – dve 6-hodinové merania



S1 – jedno 6-hodinové meranie

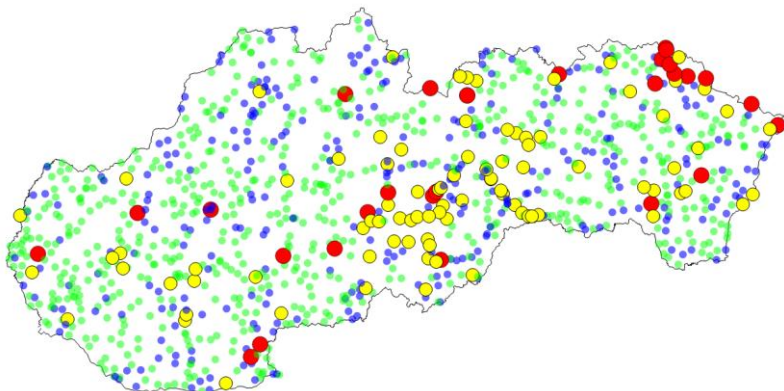


Testovanie DMQSK2024-E

porovnanie s predchádzajúcimi verziami

- $|\Delta H| > 60$ mm
- $40 \text{ mm} < |\Delta H| < 60$ mm
- $20 \text{ mm} < |\Delta H| < 40$ mm
- $|\Delta H| < 20$ mm

DMQSK2014-E



Hodnoty rozdielov sú v mm.

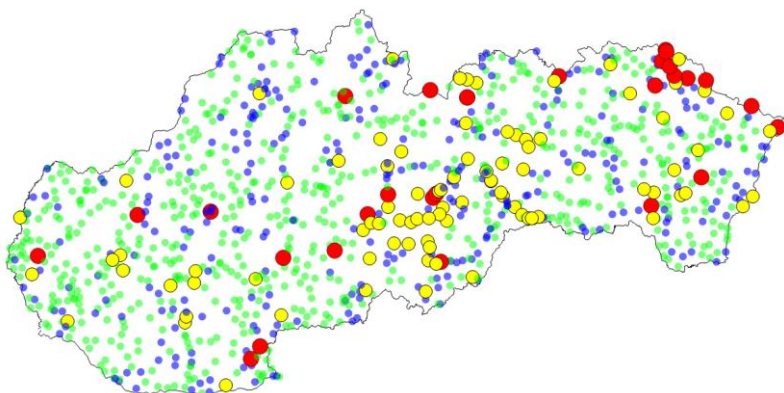
Počet testovacích bodov	1102
Minimum	-113,51
Maximum	109,97
Priemer	1,92
Stredná chyba	25,34

Testovanie DMQSK2024-E

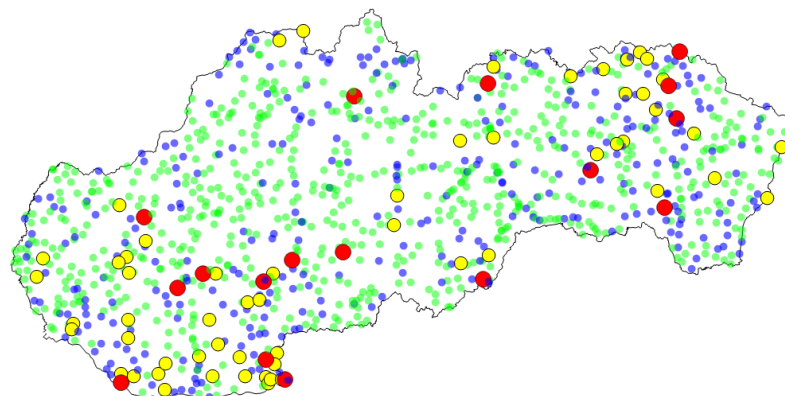
porovnanie s predchádzajúcimi verziami

- $|\Delta H| > 60$ mm
- $40 \text{ mm} < |\Delta H| > 60$ mm
- $20 \text{ mm} < |\Delta H| > 40$ mm
- $|\Delta H| < 20$ mm

DMQSK2014-E



GMSQ2024A (iba posun o konštantu)



Hodnoty rozdielov sú v mm.

Počet testovacích bodov	1102
Minimum	-113,51
Maximum	109,97
Priemer	1,92
Stredná chyba	25,34

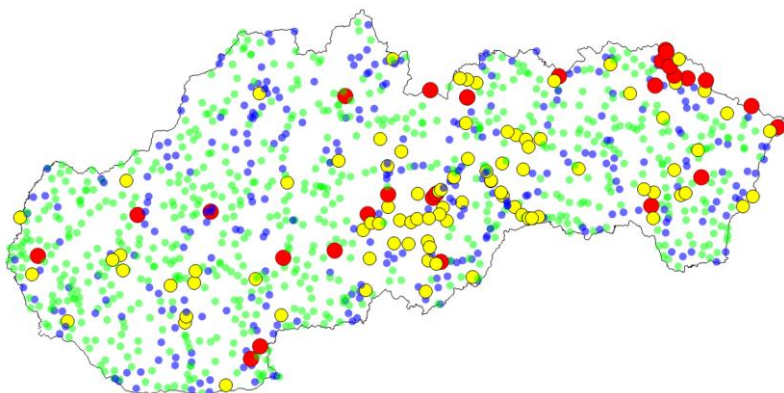
Počet testovacích bodov	1102
Minimum	- 85,10
Maximum	107,90
Priemer	0,00
Stredná chyba	22,55

Testovanie DMQSK2024-E

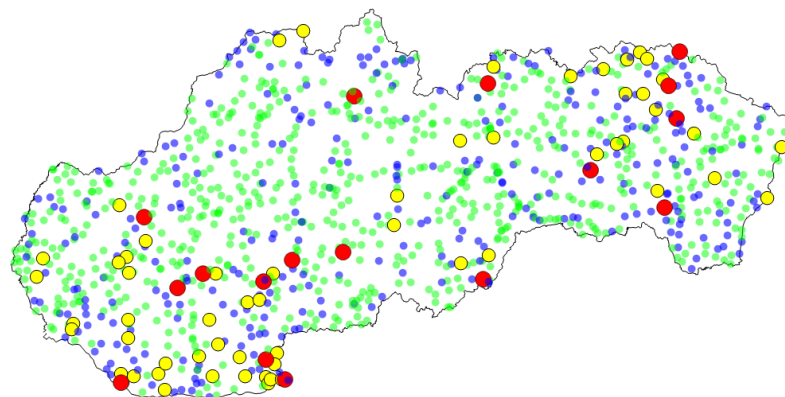
porovnanie s predchádzajúcimi verziami

- $|\Delta H| > 60$ mm
- $40 \text{ mm} < |\Delta H| < 60$ mm
- $20 \text{ mm} < |\Delta H| < 40$ mm
- $|\Delta H| < 20$ mm

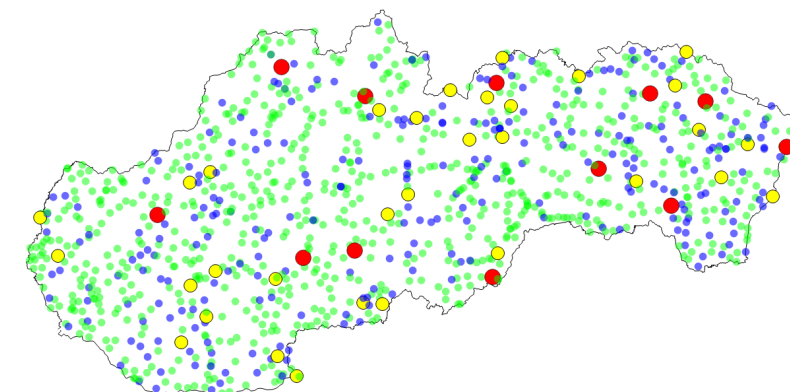
DMQSK2014-E



GMSQ2024A (iba posun o konštantu)



DMQSK2024-E



Hodnoty rozdielov sú v mm.

Počet testovacích bodov	1102
Minimum	-113,51
Maximum	109,97
Priemer	1,92
Stredná chyba	25,34

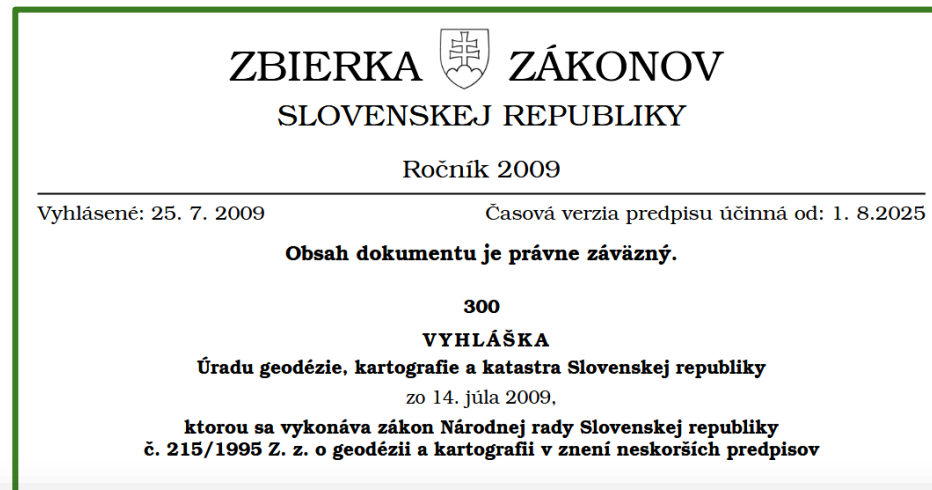
Počet testovacích bodov	1102
Minimum	- 85,10
Maximum	107,90
Priemer	0,00
Stredná chyba	22,55

Počet testovacích bodov	1102
Minimum	-81,29
Maximum	86,42
Priemer	-0,81
Stredná chyba	18,97

Záver

Fitovaný digitálny model kvázigeoidu DMQSK2024-E § 2 vyhlášky ÚGKK č. 300/2009 Z.z.

- Umožňuje transformovať elipsoidické výšky s cm presnosťou do národnej realizácie výškového systému EVRS (EVRF2019)
- DVRM05 – stále v platnosti pre výškový systém Bpv (Bpv1957)
- Implementácia do RTS – plán do blízkej budúcnosti



(11) Na prevod normálnych výšok určených v realizácii Baltského výškového systému po vyrovnaní a elipsoidických výšok určených v realizácii Európskeho terestrického referenčného systému 1989, definovaných nad elipsoidom Geodetického referenčného systému 1980 sa používa digitálny výškový referenčný model s alfanumerickým kódom DVRM05.

(12) Na prevod normálnych výšok určených v národnej realizácii EVRF2019 a elipsoidických výšok určených v realizácii Európskeho terestrického referenčného systému 1989, definovaných nad elipsoidom Geodetického referenčného systému 1980 sa používa **fitovaný digitálny model kvázigeoidu Slovenska s alfanumerickým kódom DMQSK2024-E.**



ZBGIS® Rezortná transformačná služba Konver

Vstupný formát*
TXT/CSV

PREHLADÁVAŤ Vstupný súbor *.zip

Vstupný súradnicový systém*
ETRS89-LatLon [EPSG:4258]

Vstupný výškový systém*
ETRS89-h [EPSG:4937]

Výstupný súradnicový systém*
S-JTSK (JTSK03) [EPSG:8352]

Výstupný výškový systém*
Bpv [EPSG:8357]

Oddelovač stĺpcov*
Bodkočiarka

Súbor obsahuje hlavičku

Bez transformácie výšky
Bpv [EPSG:8357]
EVRS (EVRF2007_AMST) [EPSG:5621]
Jadran (ČSJS/J - ZNB Lišov)

Ďakujem za pozornosť !

miroslava.jancovicova@skgeodesy.sk

