

VÝSKUM RECENTNÝCH VERTIKÁLNYCH POHYBOV NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

Družicové metody v geodezii a katastru

Miroslava Majkráková^{1,2}

Juraj Papčo¹

Branislav Droščák²

¹Katedra geodetických základov STU, Radlinského 11, 850 05 Bratislava

²Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava

Brno, 1. február 2018

Recentné vertikálne pohyby

- **Recentné pohyby** – prirodzené pokračovanie dynamických tektonických procesov prebiehajúcich v súčasnej dobe vo vnútri Zeme
 - Ďalšie činitele – pohyby vyvolané ľudskou činnosťou, oblasti ťažby nerastných surovín a pod.
- **Veľmi presná nivelácia** – jeden z hlavných zdrojov získania týchto poznatkov
 - Štátna nivelačná sieť, siete opakovaných nivelácií I. a II. rádu a ČSJNS
- Na území Slovenska sú recentné vertikálne pohyby geodetickými metódami skúmané od 2. polovice 50. rokov minulého storočia
- **Podmienky** pre dosiahnutie spoľahlivých výsledkov
 - Dodržiavanie zásad platných pre VPN, dôsledné zhodnotenie presností vykonaných meraní, identifikácia bodov ON, vhodná voľba stabilných bodov (TS, hĺbková stabilizácia, NK, čapová NZ), dostatočne dlhý časový interval ON, ak je to možné, tak dodržanie rovnakého ročného obdobia

Doterajšie výskumy RVP na území Slovenska

- **Kvitkovič, J., Vanko, J.:** Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951-1976. Geografický časopis (4), str. 345–355. 1990
 - ČSJNS – 2. čsl. nivelácia a sieť 2. československej ON
 - Časový interval Δt sa pohybuje od 16 do 27 rokov
 - Použitých 479 bodov
 - Údaje vytiahnuté ku stredným epochám 1951,4 a 1975,5 (24,1 roka)
 - Matematický model spracovania výsledkov opakovaných nivelácií

$$v_{ij} = \frac{{}_2h_{ij} - {}_1h_{ij}}{\Delta t}$$

- Vyrovnávanie ročných zmien prevýšení

$$p_i = \frac{1}{L_i}, \quad L_i \text{ – vzdialenosti medzi bodmi v km}$$

- Postupným načítaním hodnôt v_{ij} k ZNB Pitelová boli získané relatívne ročné rýchlosti všetkých bodov siete

Doterajšie výskumy RVP na území Slovenska



- **Hefty, J., Vanko, J.:** Výsledky geodetických meraní využiteľných na štúdium neotektonických pohybov na území Slovenska. GaKO (9), str. 185–195. 2005
 - prejav neotektoniky – výsledky GPS a VPN
 - GPS merania na bodoch CEGRN a SGRN od roku 1994, resp. 1993
 - detekcia horizontálnych pohybov s presnosťou 0,5 až 1,5 mm/rok
 - vertikálne zmeny – presnosť <2 mm nie je postačujúca
 - VPN – detekcia vertikálnych pohybov
 - vytvorenie mapy RVP pre epochu 1952 až 1979
 - pohyby do +2,0 mm/rok (zdvihy), -6,0 mm/rok (poklesy)

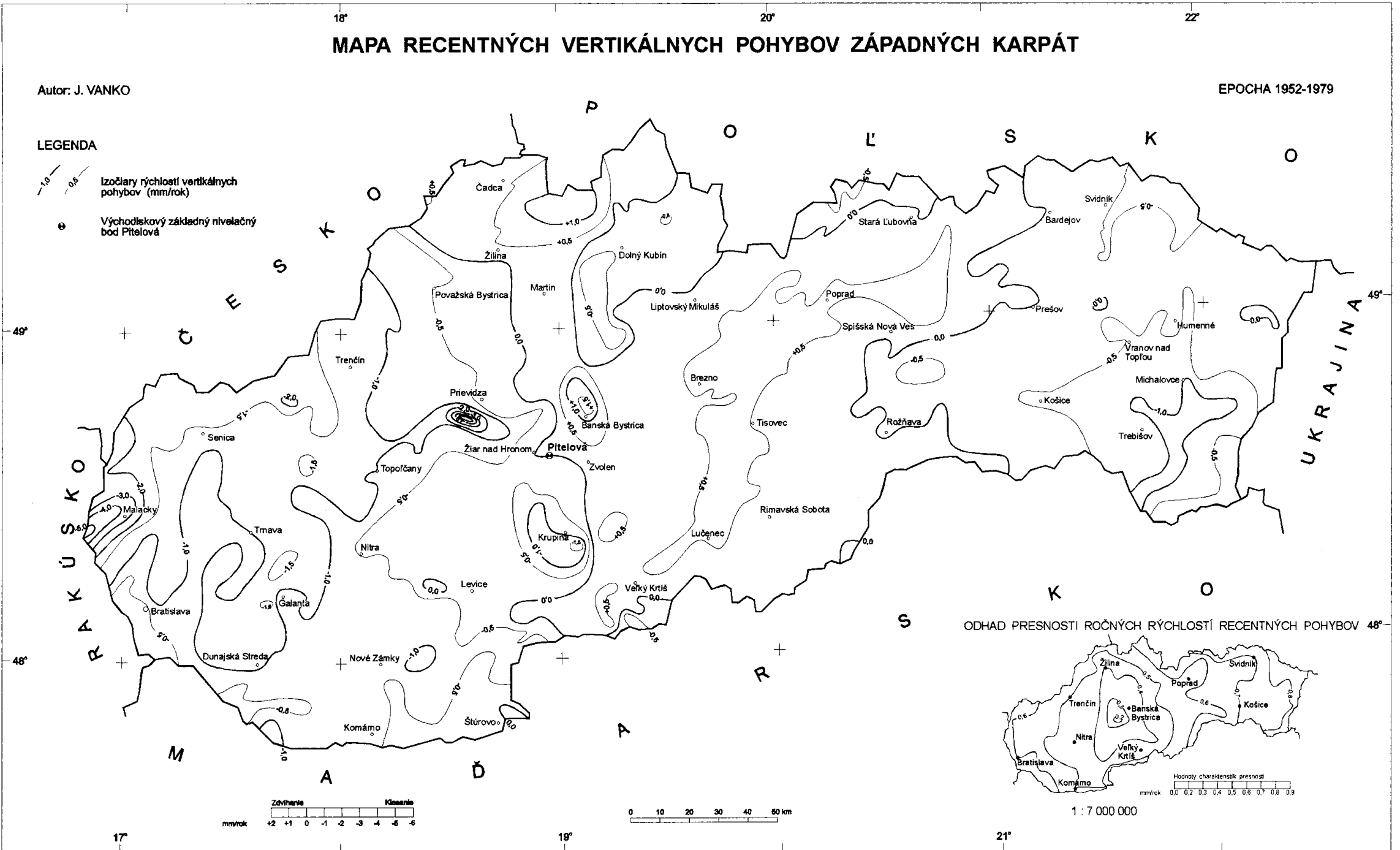
MAPA RECENTNÝCH VERTIKÁLNYCH POHYBOV ZÁPADNÝCH KARPÁT

Autor: J. VANKO

EPOCHA 1952-1979

LEGENDA

-  Izočiarý rýchlostí vertikálnych pohybov (mm/rok)
-  Východiskový základný nivelačný bod Piteľová



ODHAD PRESNOSTI ROČNÝCH RÝCHLOSTÍ RECENTNÝCH POHYBOV 48°

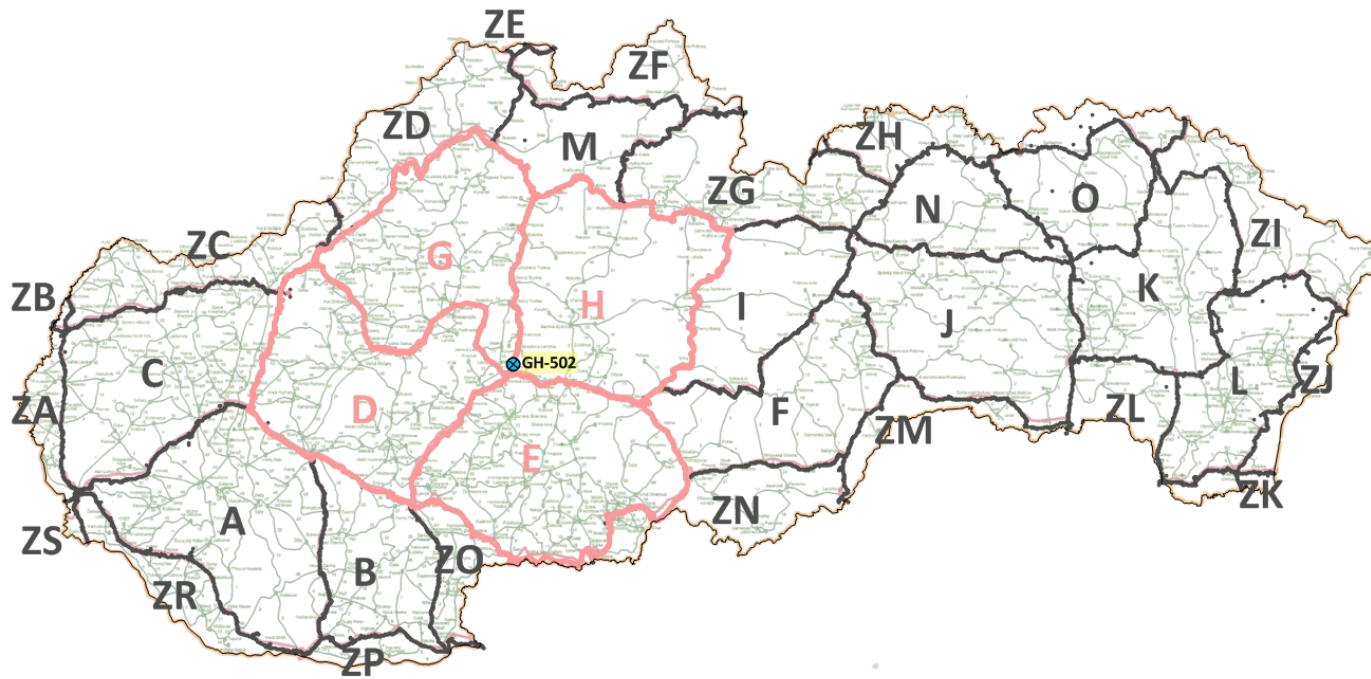
Hodnoty charakteristik presnosti
mm/rok 0.0 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

1 : 7 000 000

Výber ťahov a použité údaje

▪ 1. rád ŠNS

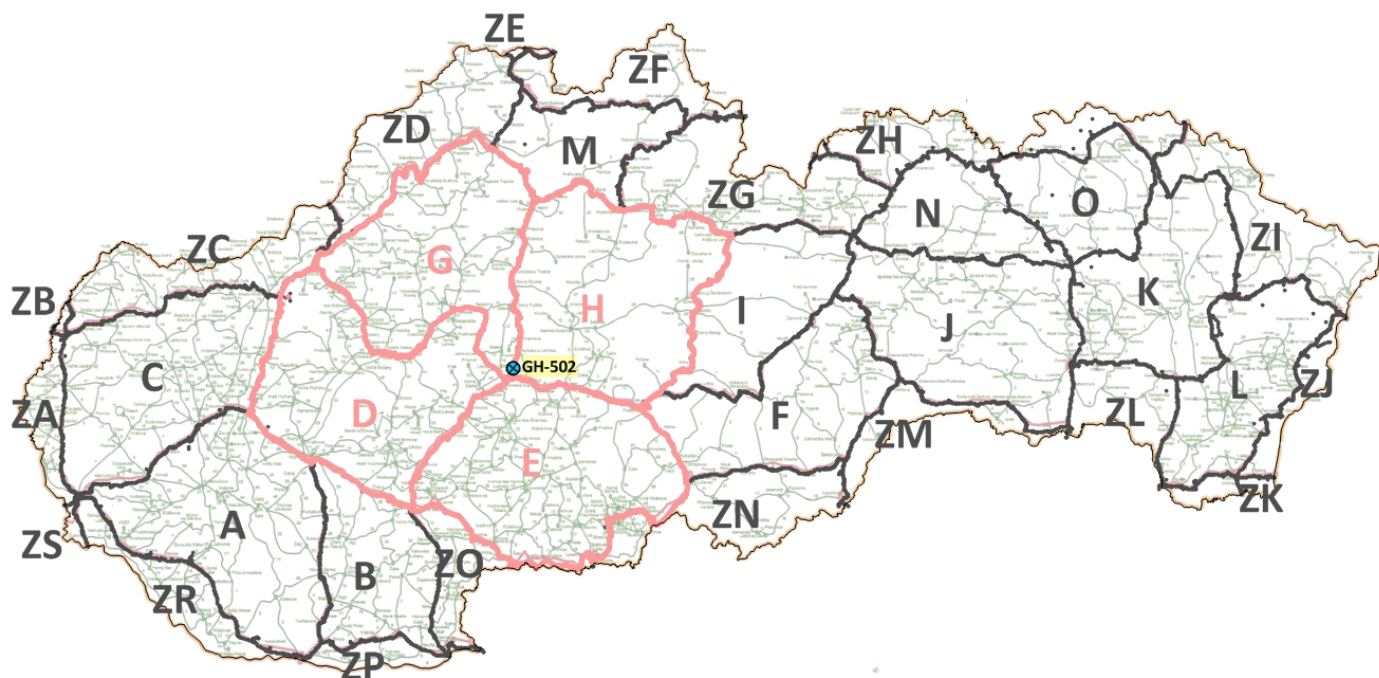
- polygóny D, E, G, H – v blízkosti ZNB V – Pitelová
- bod GH-502 (Žiar nad Hronom) – vzťažný bod pre vertikálne pohyby
- výber bodov, na ktorých bolo minimálne 3x merané prevýšenie



Výber ťahov a použité údaje

▪ 1. rád ŠNS

- polygóny D, E, G, H – v blízkosti ZNB V – Pitelová
- bod GH-502 (Žiar nad Hronom) – vzťažný bod pre vertikálne pohyby
- výber bodov, na ktorých bolo minimálne 3x merané prevýšenie

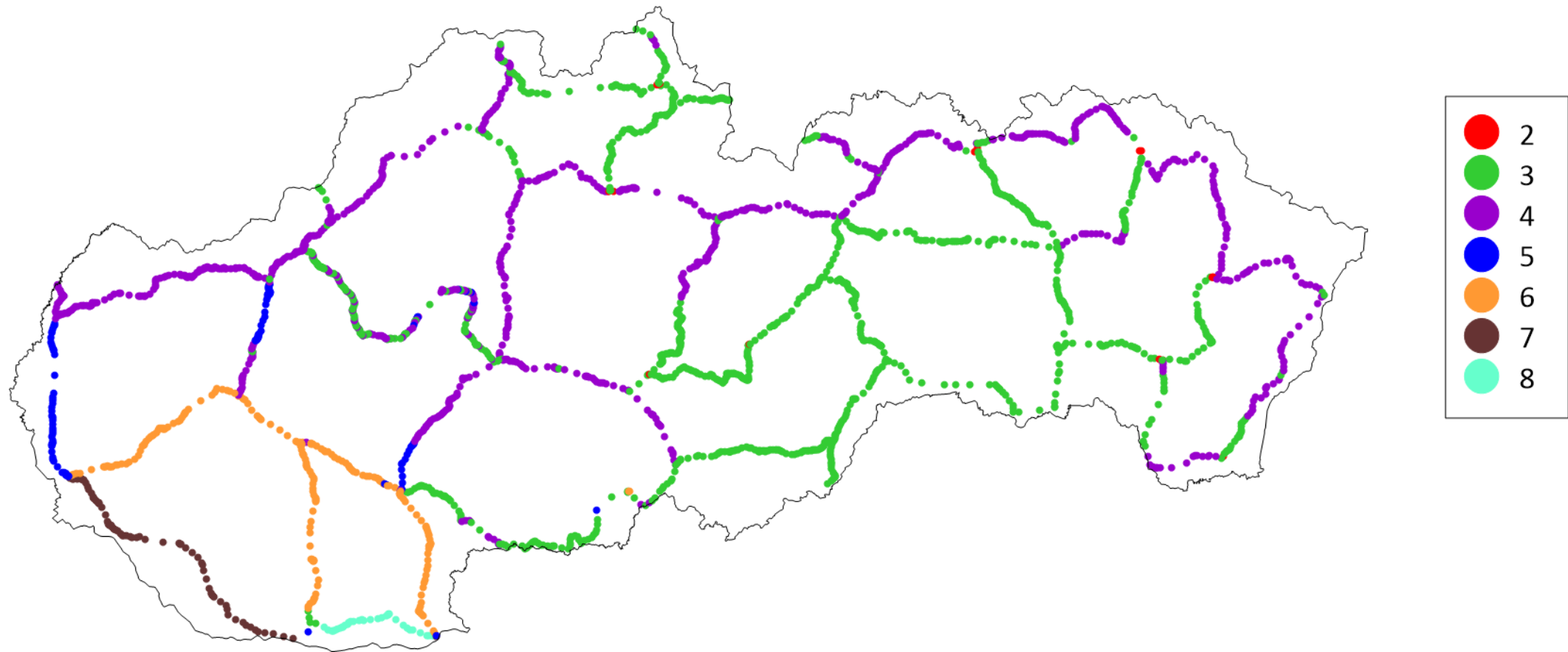


Merané prevýšenia:

- 2. čs. nivelácia – ČSJNS (1949-1957),
- 1. čs. opakovaná nivelácia (1961-1972),
- 2. čs. opakovaná nivelácie (1973-1978)
- ŠNS (1996-2002)
- doplňujúce merania

969 bodov

Prehľad počtu meraní prevýšení 1.rádu ŠNS



Matematický model odhadu rýchlostí bodov

1. odhad rýchlostí bodov z prevýšení

- A. nivelované** prevýšenia – použitie všetkých prevýšení (min. 3)
- predpokladaný lineárny pohyb bodov

$$\Delta H_{AB}^0 - \Delta H_{AB}^I = v_B(t^I - t^0) - v_A(t^I - t^0) \quad (1)$$

- B. vyrovnané** prevýšenia – použitie iba 3 meraní
- podmienka nulových uzáverov polygónov
 - použitie váh $1/R$
 - pri chýbajúcom prevýšení doplnené z predchádzajúcej epochy
 - použitie modelu (1)

Výhoda – 1A spôsob: rôzny počet epoch, nemusí byť rovnaký pri všetkých prevýšeníach; 1B spôsob: získame nulové uzávěry polygónov

Nevýhoda – neodhadujeme výšky v jednotnej epoche; 1B spôsob: potrebujeme kompletne realizácie, kvôli vyrovnaniu na uzávěry

Matematický model odhadu rýchlostí bodov

2. odhad rýchlostí bodov z výšok

A. nivelované výšky

$$H_A^I = H_A^0 + v_A(t^I - t^0) \quad (2)$$

- odhad normálnej výšky vo zvolenej (strednej) epoche a jej rýchlosti
- pri chýbajúcom prevýšení doplnené z predchádzajúcej epochy
- použitie iba 3 meraní

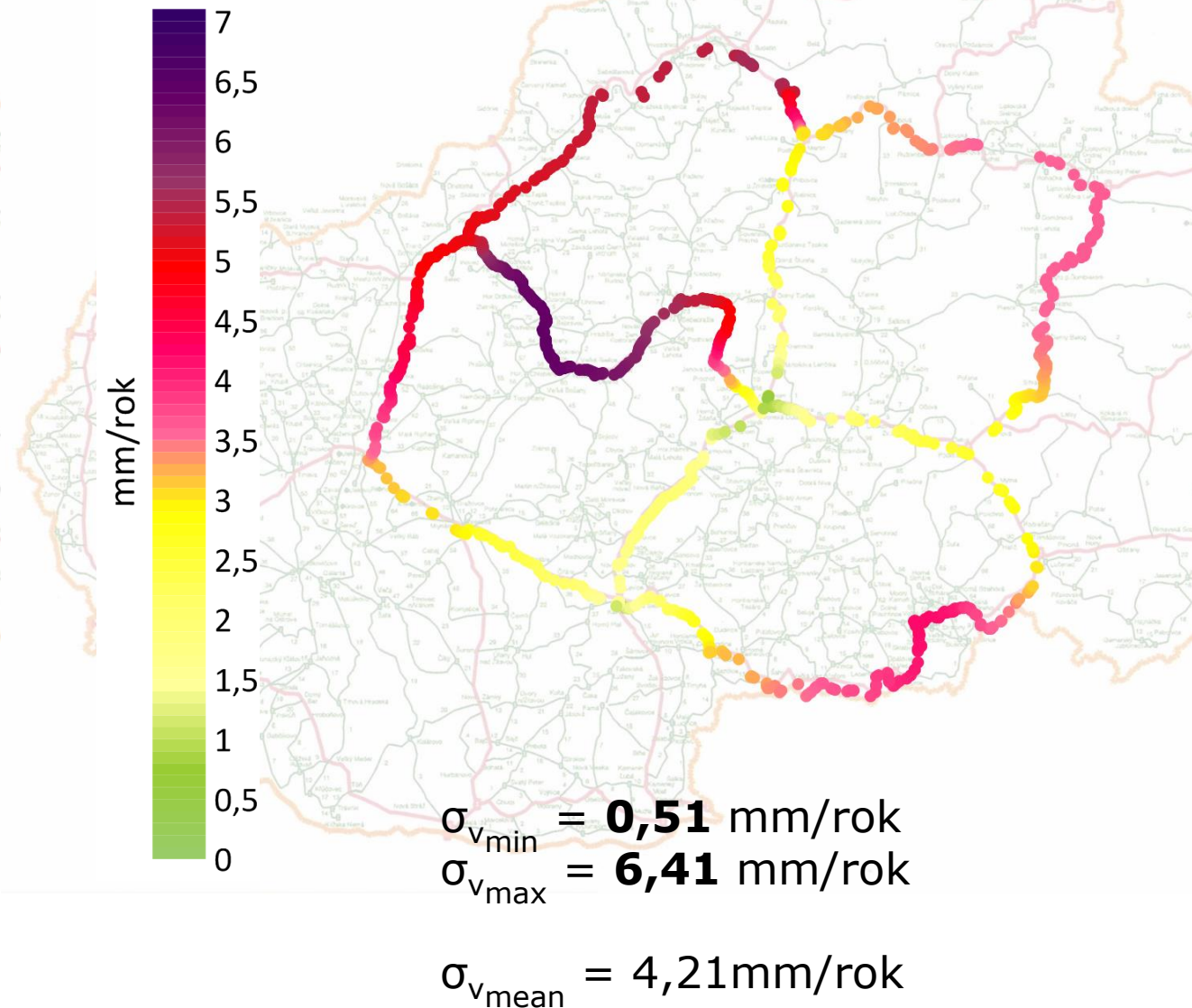
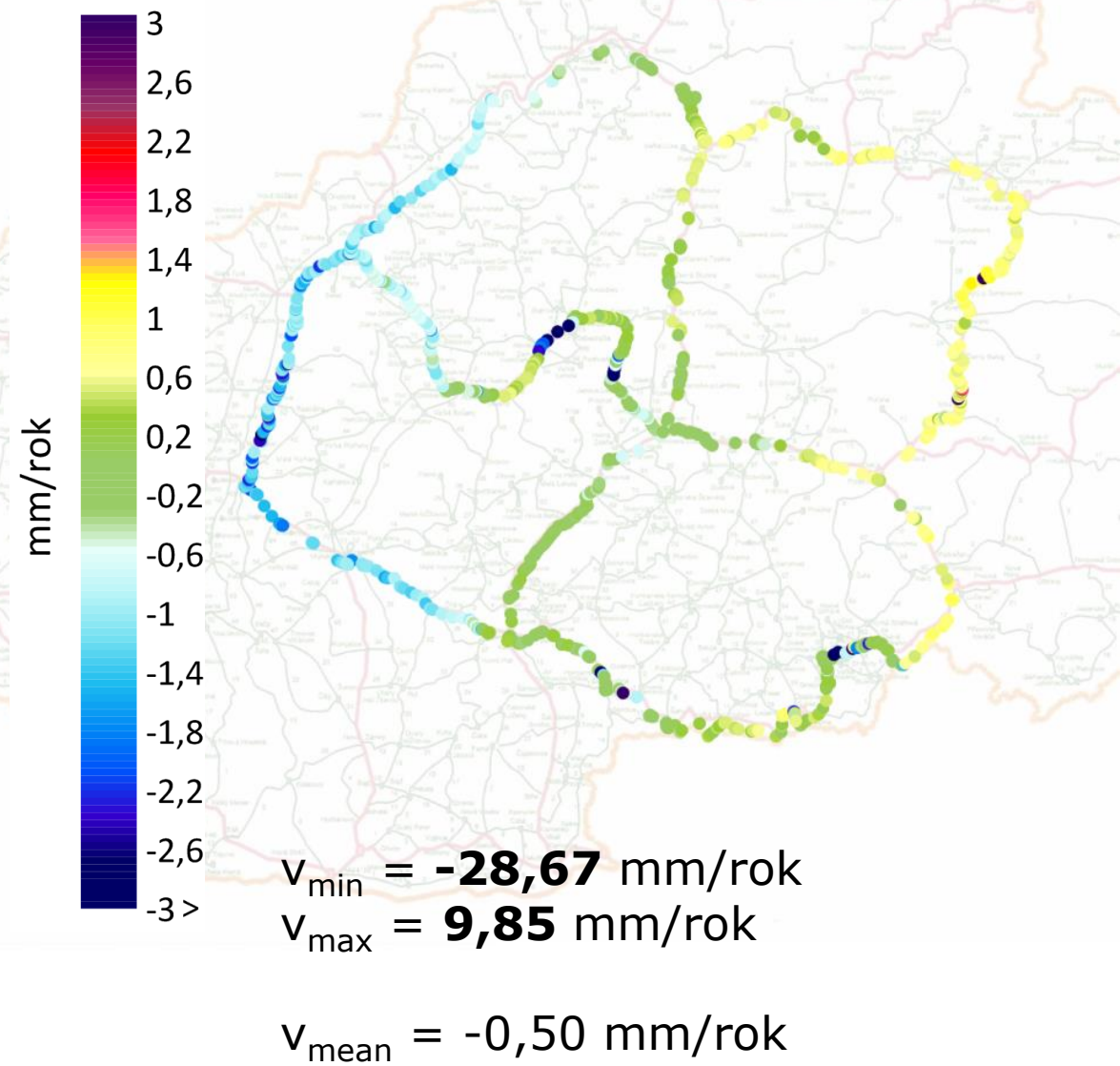
B. vyrovnané výšky

- použité prevýšenia vyrovnané na nulový uzáver v polygónoch
- pri chýbajúcom prevýšení doplnené z predchádzajúcej epochy
- použitie modelu (2)

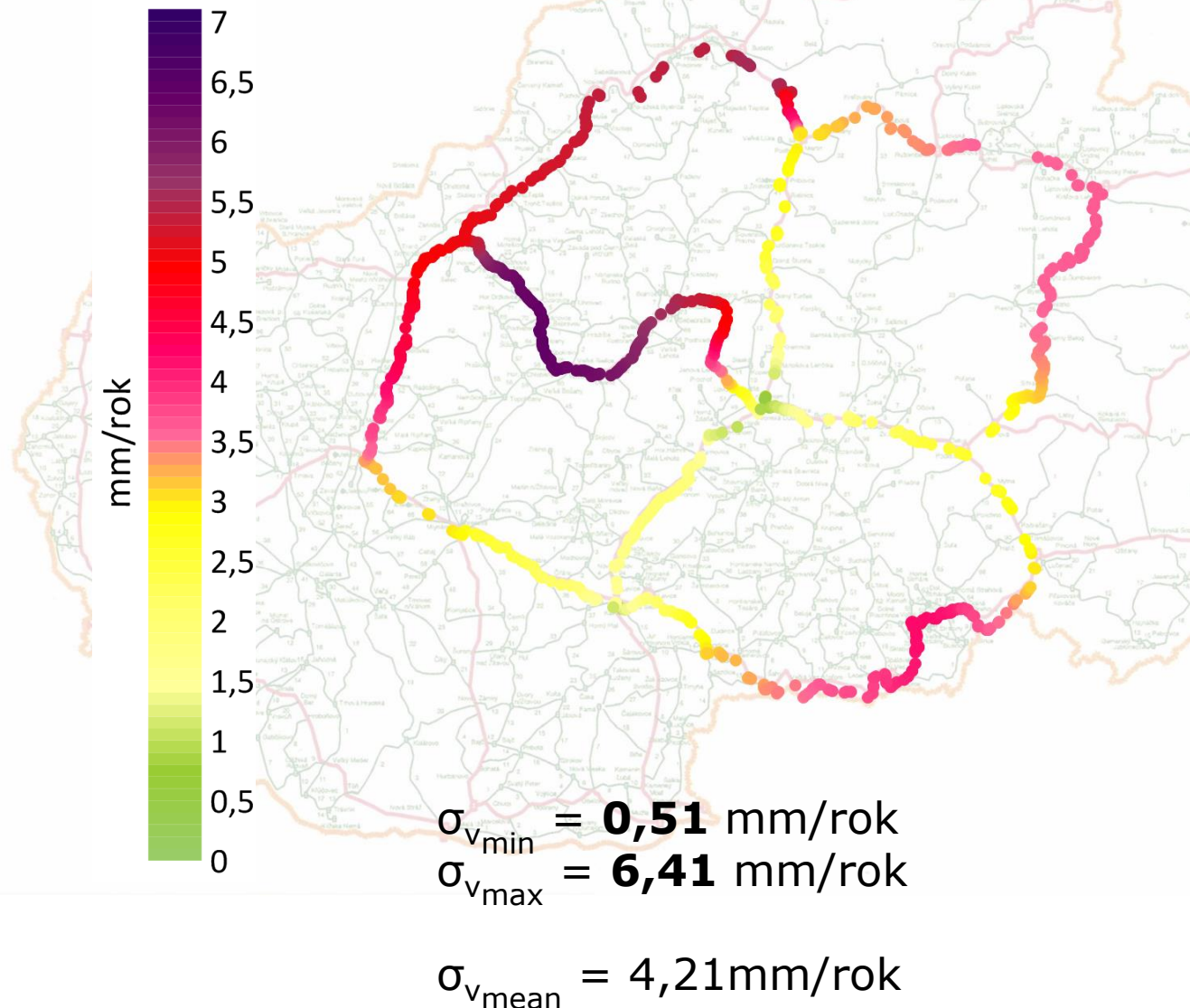
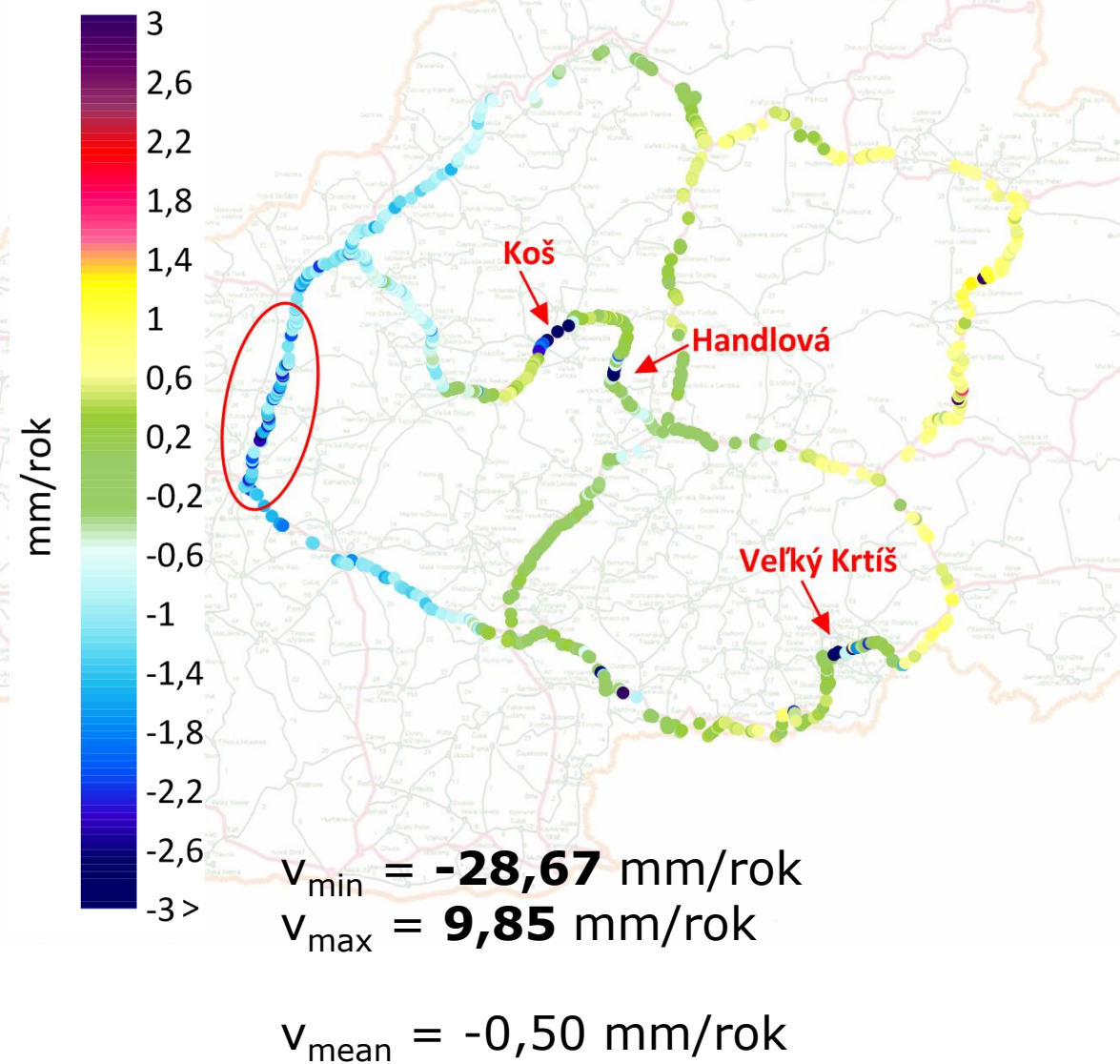
Výhoda: odhad normálnych výšok v rovnakej epoche, nulové uzávěry v B prípade

Nevýhoda: potrebná následnosť meraní v každej epoche

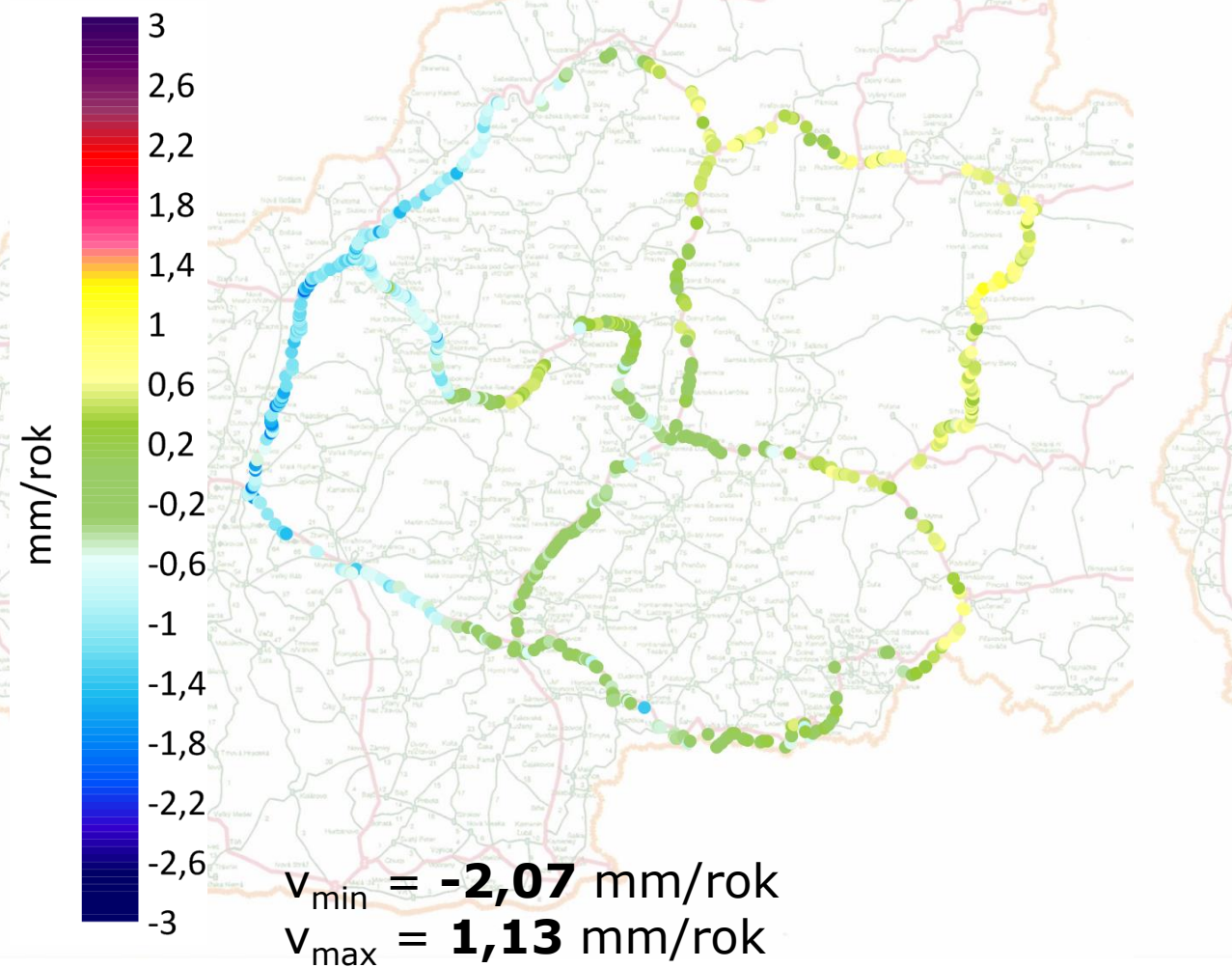
1A: odhad rychlostí z meraných převýšení



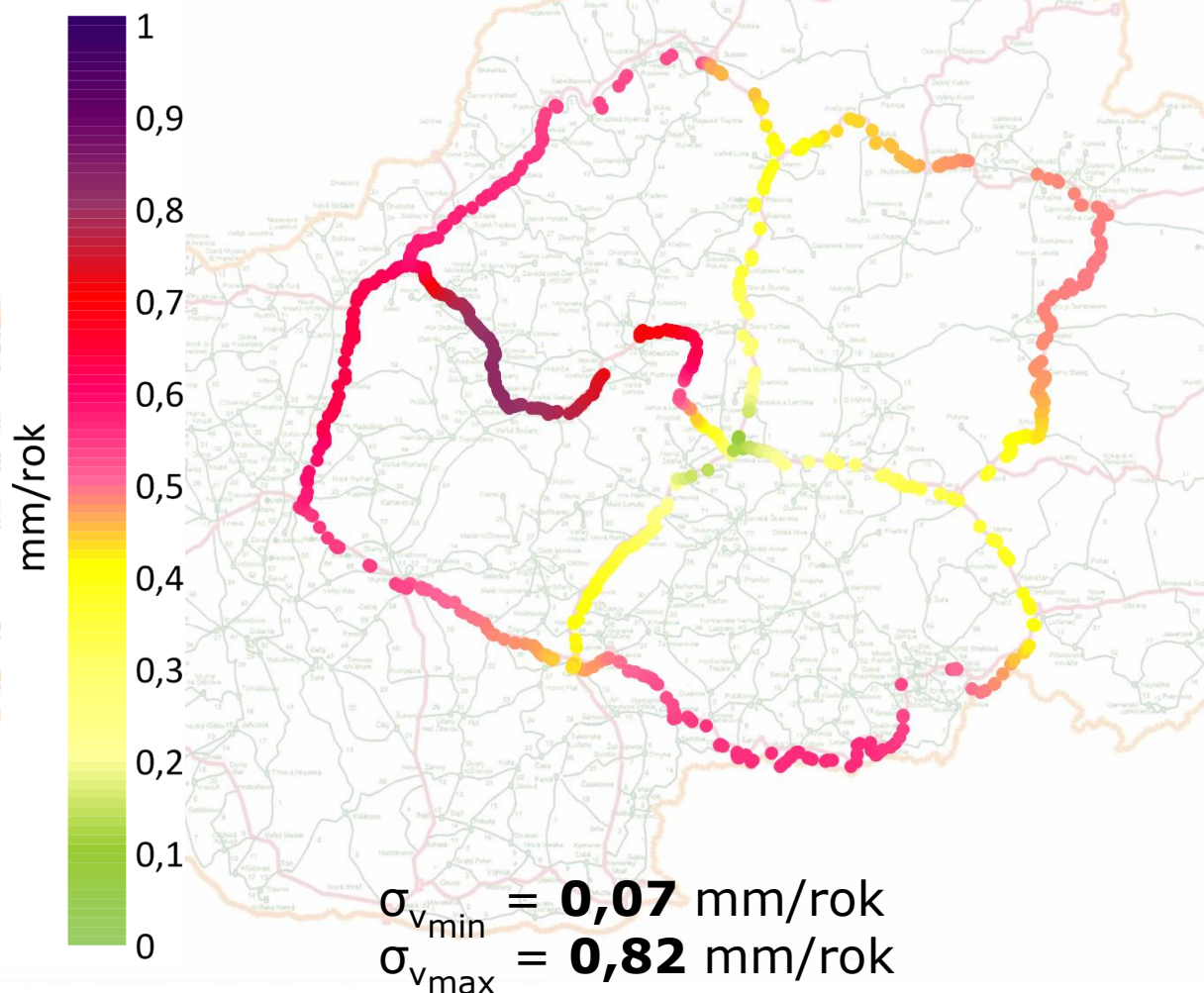
1A: odhad rychlostí z MERANÝCH převýšení



1A: odhad rychlostí z MERANÝCH převýšení

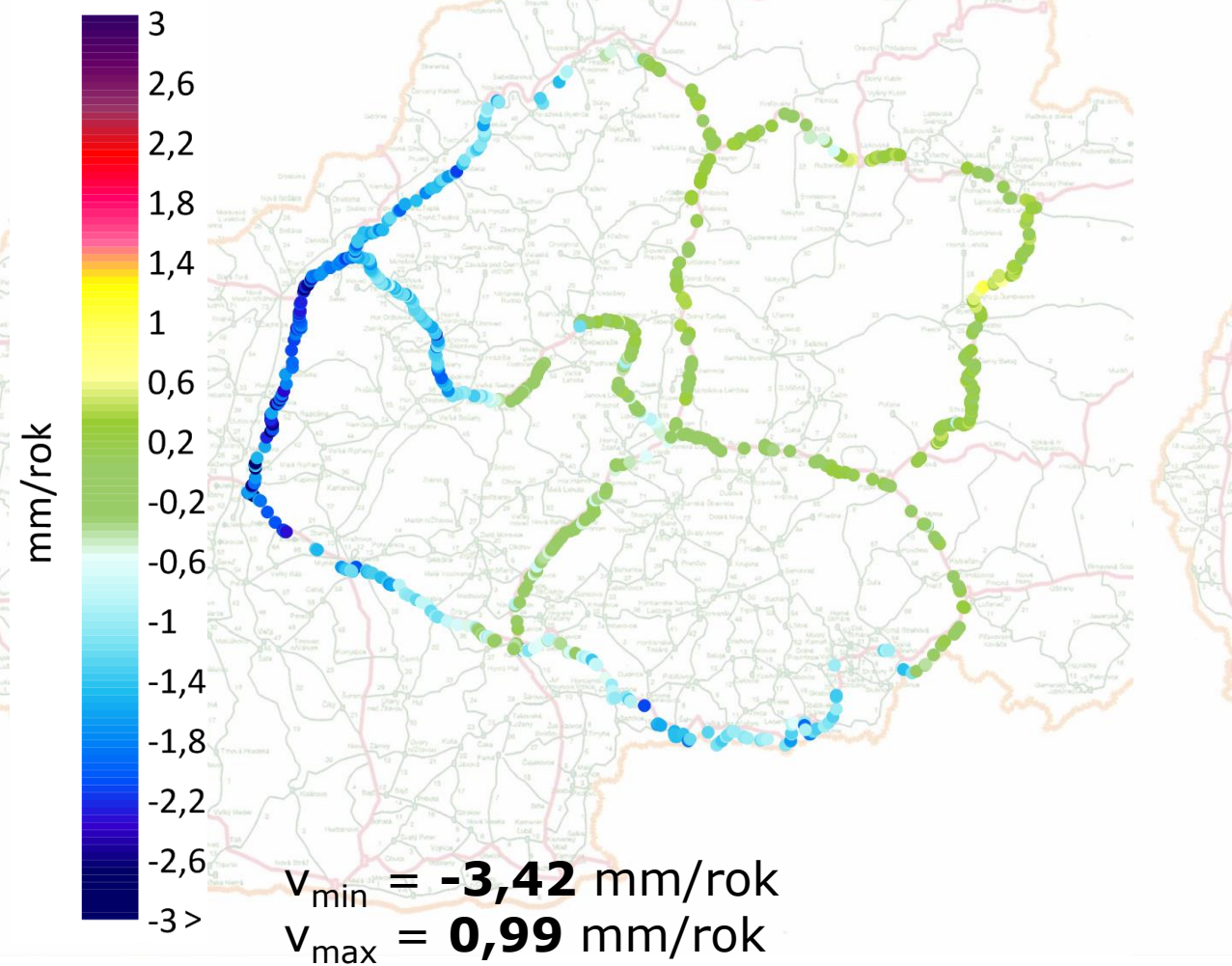


$V_{\text{mean}} = -0,26$ mm/rok

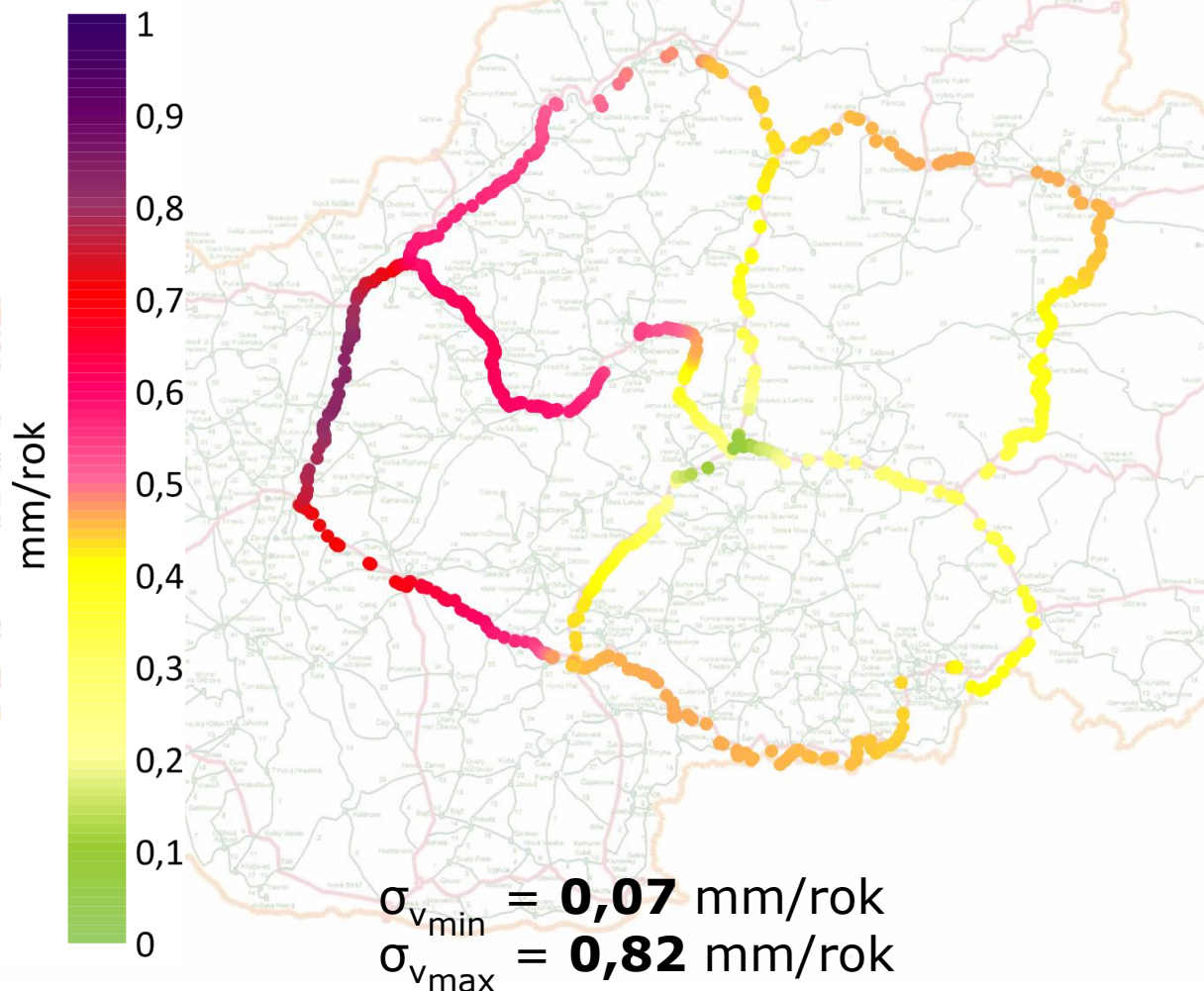


$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 0,52$ mm/rok

1B: odhad rychlostí z VYROVNANÝCH převýšení

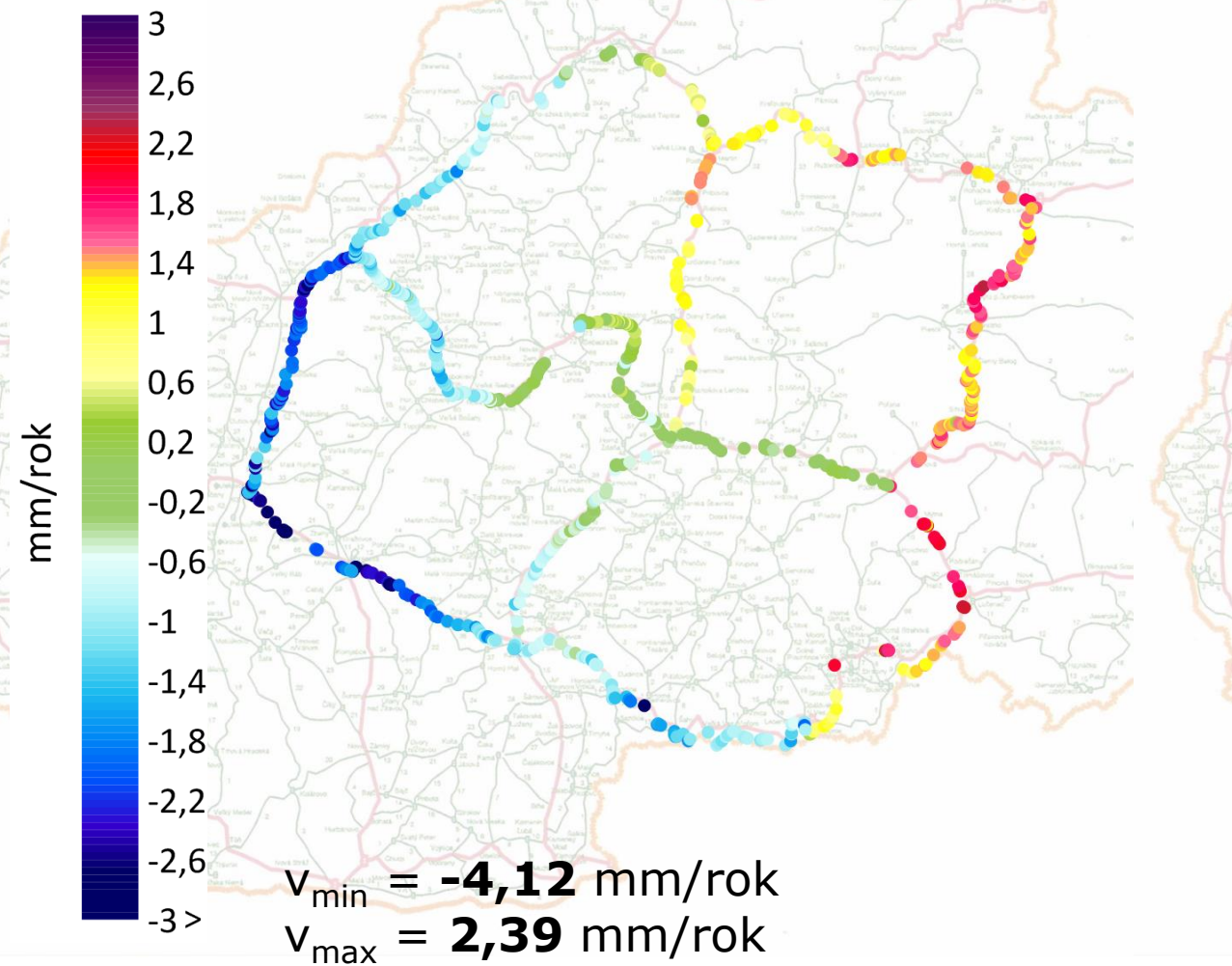


$V_{\text{mean}} = -0,73$ mm/rok

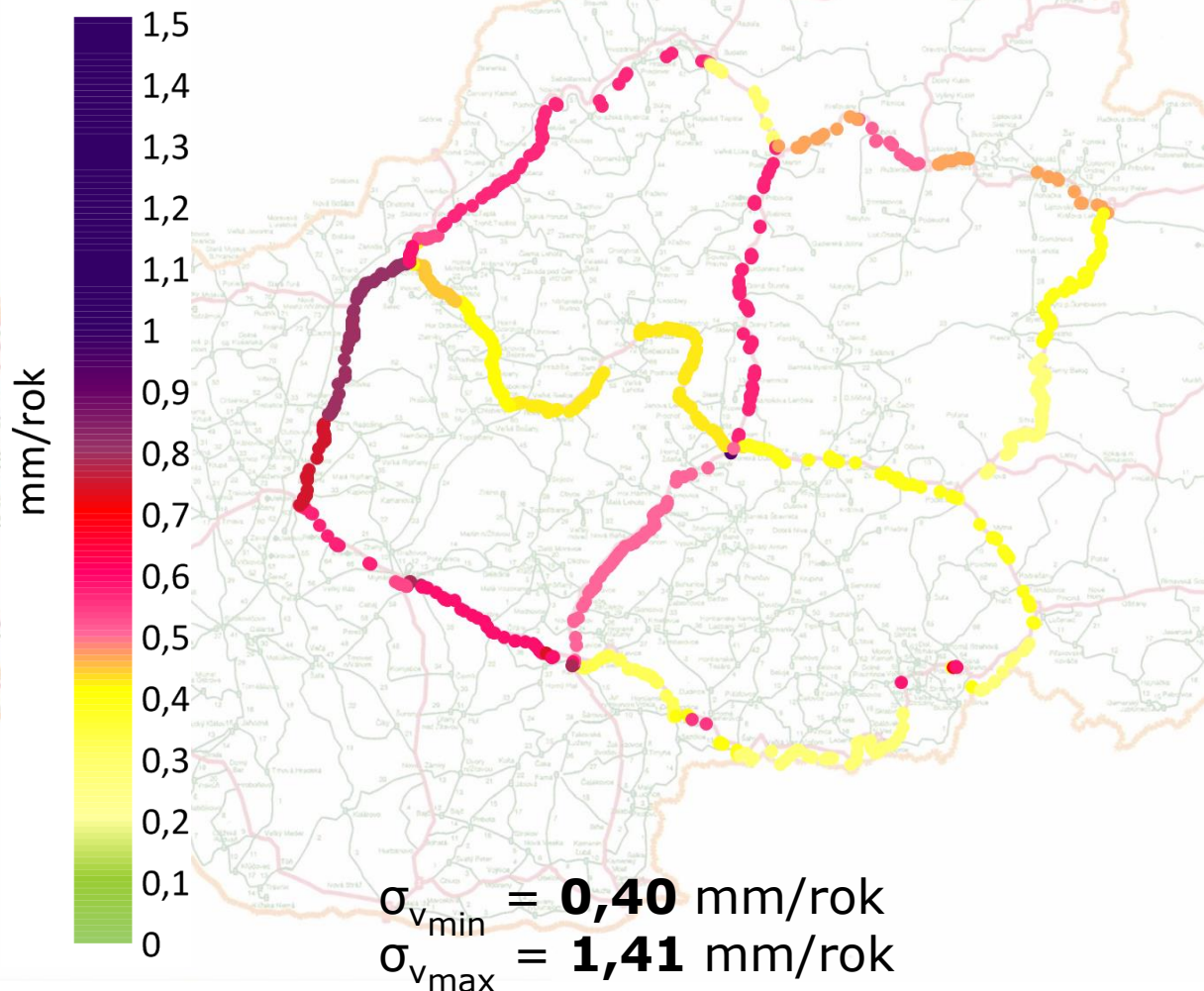


$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 0,49$ mm/rok

2A: odhad rychlostí z MERANÝCH výšok

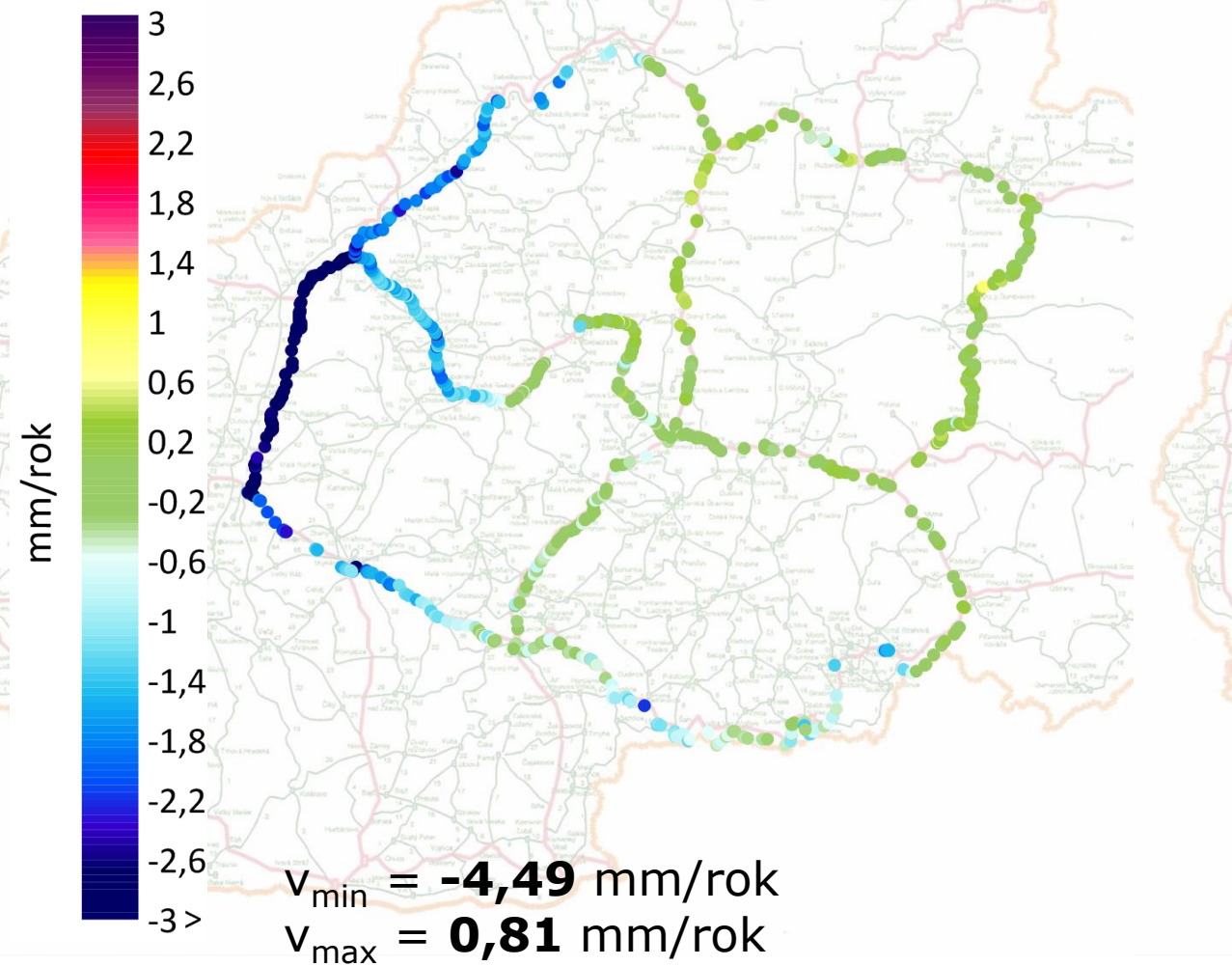


$V_{\text{mean}} = -0,35$ mm/rok

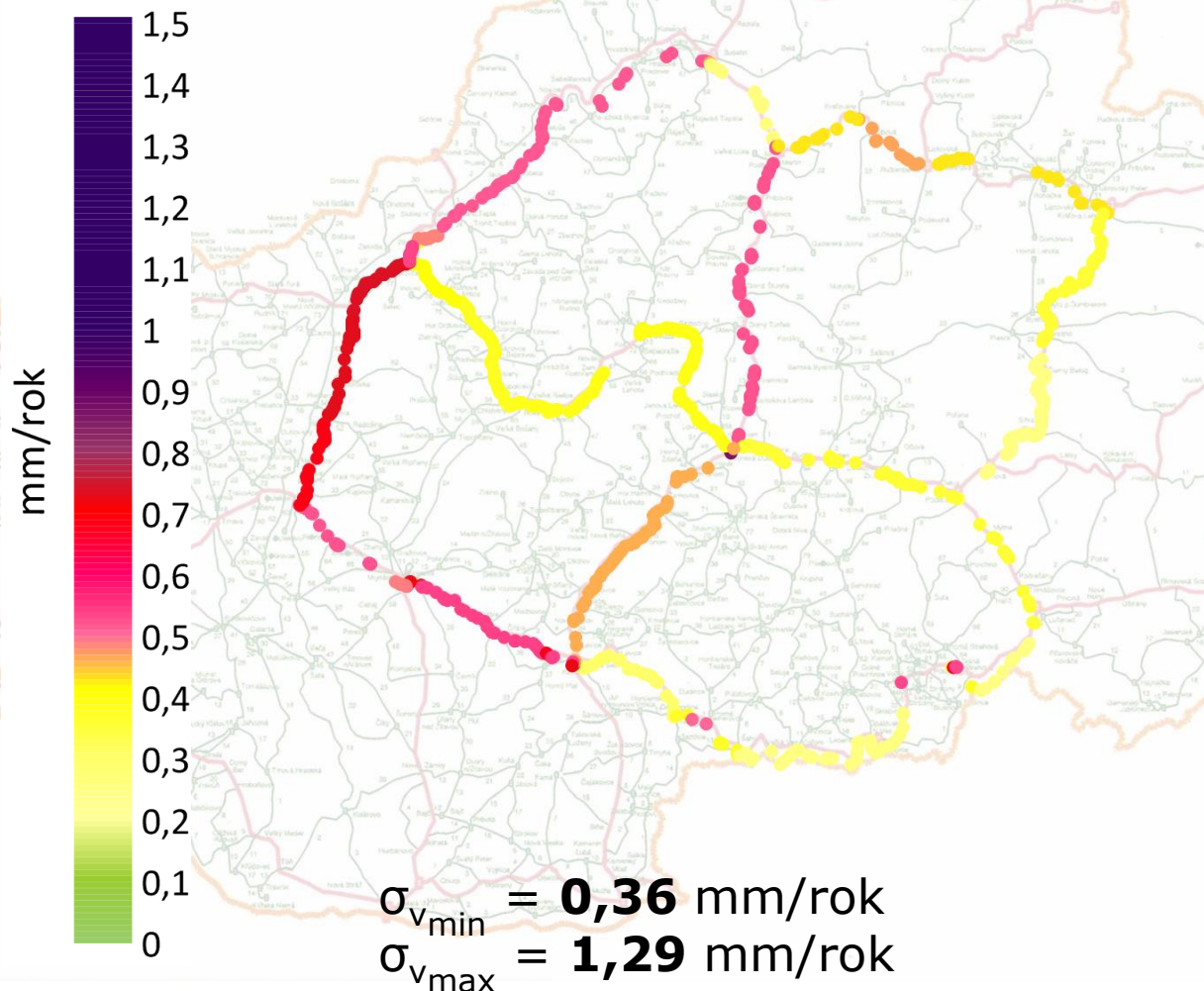


$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 0,71$ mm/rok

2B: odhad rýchlostí z VYROVNANÝCH výšok



$V_{\text{mean}} = -0,89$ mm/rok



$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 0,65$ mm/rok

Zhrnutie výsledkov

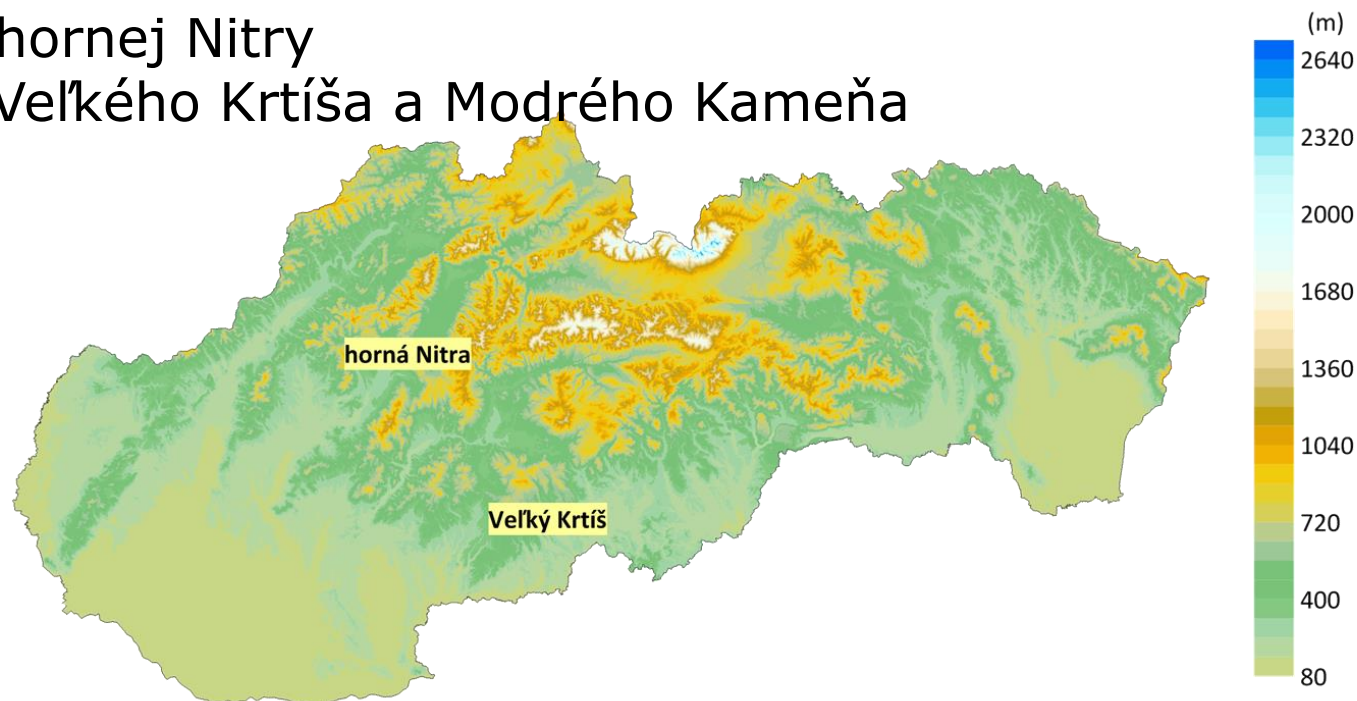
- Štatistika pre prevýšenia po vylúčení problematických lokalít
- Výsledky s použitím rovnakých váh

	1.a) merané prevýšenia			1.b) vyrovnané prevýšenia			2.a) merané výšky			1.b) vyrovnané výšky		
	min	max	stred	min	max	stred	min	max	stred	min	max	stred
v (mm/rok)	-2,07	1,13	-0,26	-3,42	0,99	-0,73	-4,12	2,39	-0,35	-4,49	0,81	-0,89
σ_v (mm/rok)	0,07	0,82	0,52	0,07	0,82	0,49	0,40	1,41	0,71	0,36	1,29	0,65
σ_H 3.8.1972 (mm)							7,83	15,90	9,64	7,17	14,62	8,81

Výpočet pohybů vybraných lokalit

Kumulované pohyby – pohyby nahromadené za určité časové období

- Výpočet rozdielov nivelovaných výšok medzi rozdielnymi epochami merania
 - hodnoty, o ktoré kleslo, resp. stúplo územie za určitý časový interval
 - použité boli aj okolité ťahy 2. rádu
- Územia poškodené zosuvmi a banskou činnosťou:
 - oblasť hornej Nitry
 - okolie Veľkého Krtíša a Modrého Kameňa

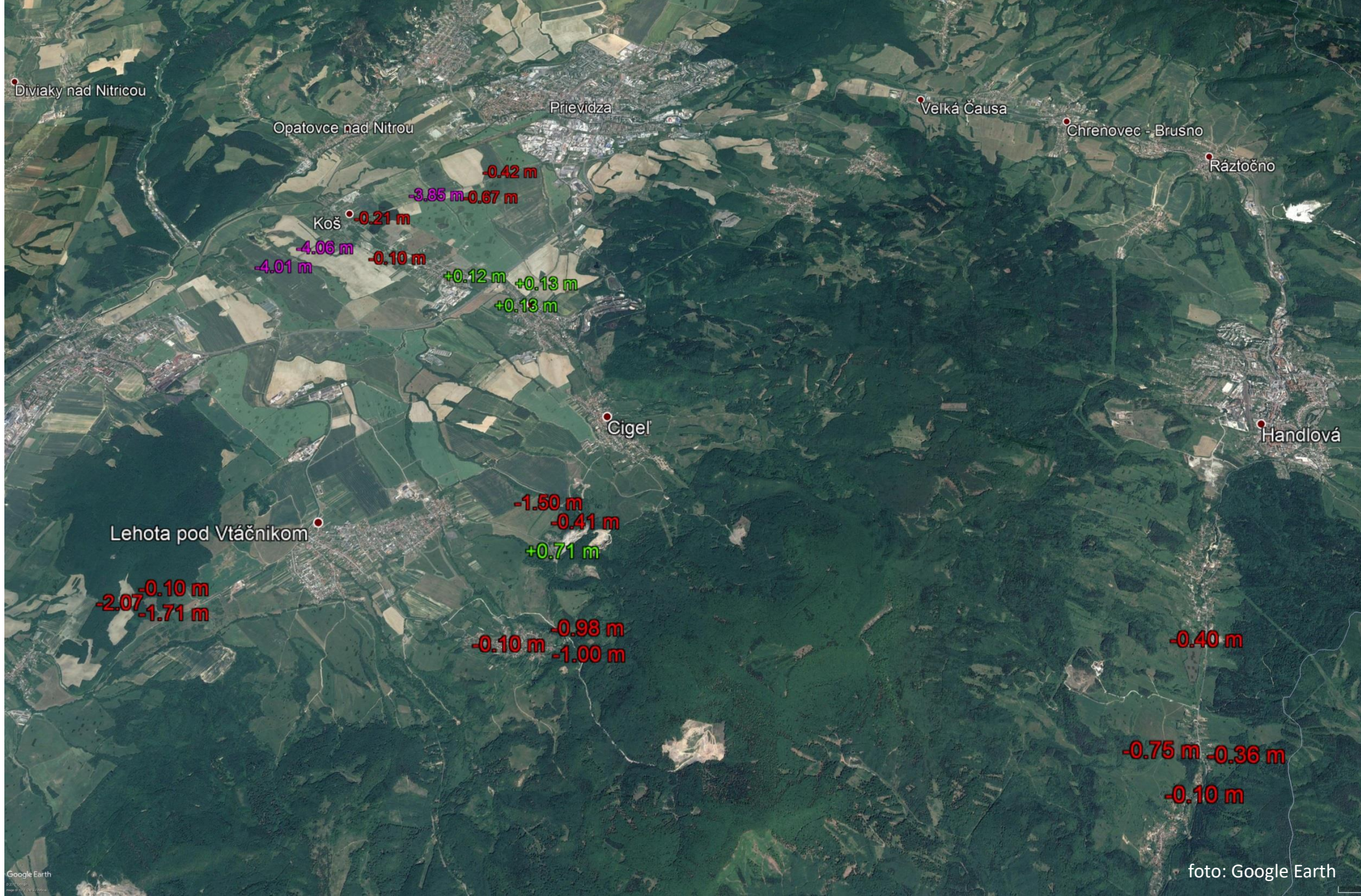


Horná Nitra

kumulované
pohyby
nad 10 cm

1952 – 2005

max. pokles
obec Koš
-4,06 m



Horná Nitra

kumulované
pohyby
nad 10 cm

1952 – 2005

max. pokles
obec Koš
-4,06 m



Velký Krtíš

kumulované
pohyby
nad 10 cm

1974 – 2009

max. pokles
-1,26 m



- Použitie prevýšení (niveľovaných a vyrovnaných)
 - Výhody: pri 1A spôsobe – možnosť využiť aj doplnkové merania ťahov, nie len komplet realizácie
 - Nevýhoda: Nevieme získať výšky v rovnakej epoche
- Použitie výšok (niveľovaných a vyrovnaných)
 - Výhody: možnosť získania výšok v jednotnej epoche, pri 2B spôsobe možnosť využiť charakteristiky presnosti vyrovnania prevýšení pri výpočte RVP
 - Nevýhoda: použitie iba kompletných realizácií
- Pokračovanie vo výpočte recentných vertikálnych pohybov pre celé územie SR
 - použitie rôznych váh, príp. kovariančnej matice z vyrovnania prevýšení
- Zostavenie mapy izočiar RVP spolu s charakteristikami presnosti
- Vyhľadanie lokalít postihnutých zosuvmi vyvolanými ľudskou činnosťou

Prvý výsledok RVP pre územie SR, spôsob 1A



Ďakujeme za pozornosť!

miroslava.majkrakova@skgeodesy.sk

juraj.papco@stuba.sk

branislav.droscak@skgeodesy.sk