

# THE STUDY OF RECENT VERTICAL MOVEMENTS USING VERY PRECISE LEVELLING MEASUREMENTS –

## first results in the central part of Slovakia

XII. Slovak Geophysical Conference

**Miroslava Majkráková<sup>1,2</sup>**

**Juraj Papčo<sup>1</sup>**

**Branislav Droščák<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Theoretical Geodesy, Slovak University of Technology, Bratislava

<sup>2</sup>Geodetic Control Division, Geodetic and Cartographic Institute, Bratislava

Bratislava, September 28. - 29. 2017

# 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

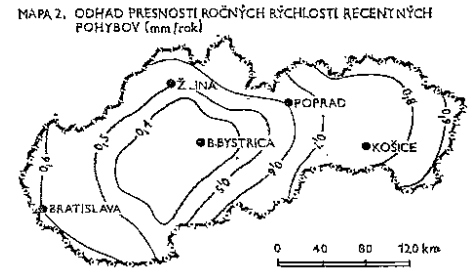
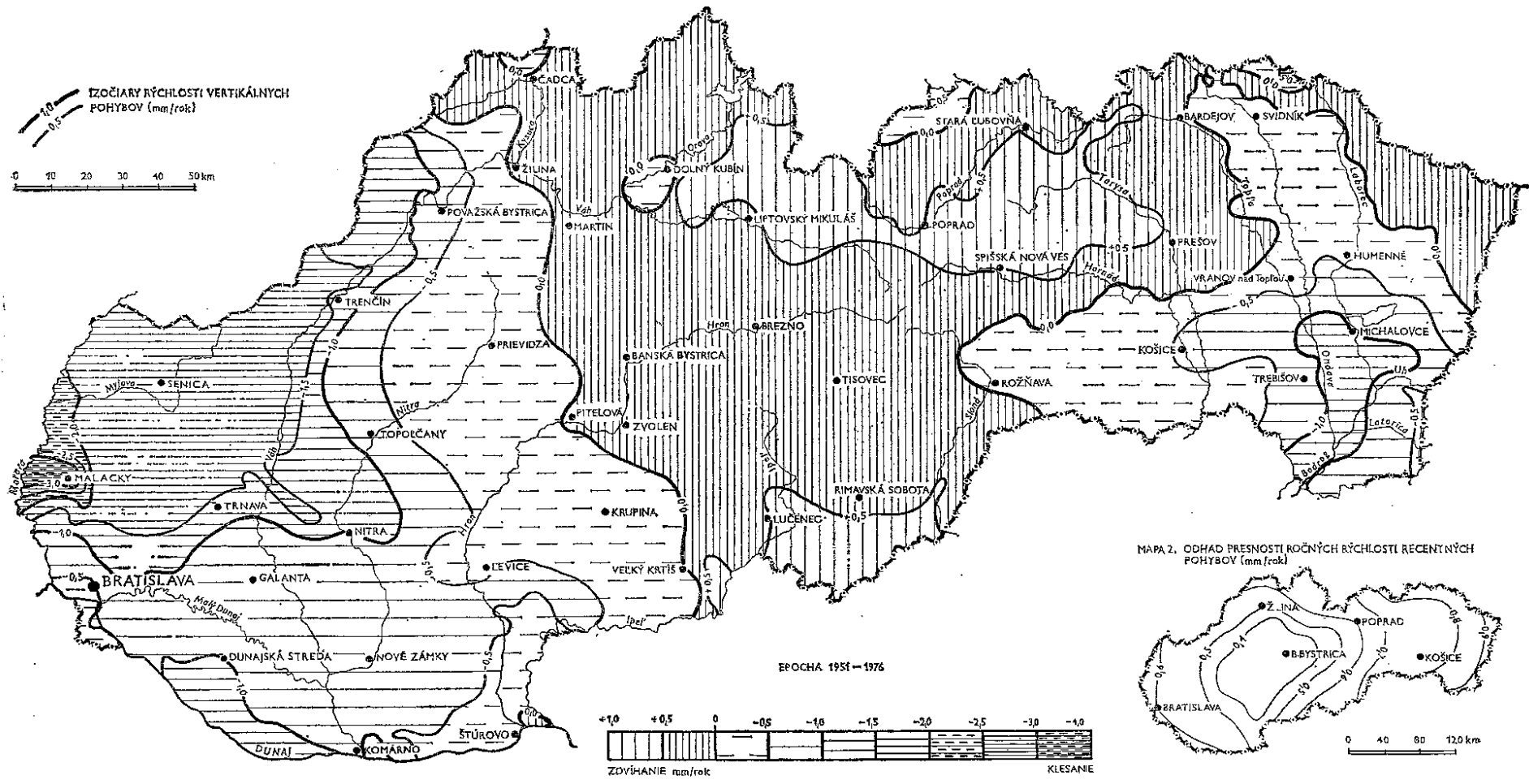
- **Kvitkovič, J., Vanko, J.:** Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951-1976. Geografický časopis (4), str. 345–355. 1990
  - ČSJNS – 2. čsl. nivelácia a sieť 2. československej ON
  - Časový interval  $\Delta t$  sa pohybuje od 16 do 27 rokov
  - Použitých 479 bodov
  - Údaje vytiahnuté 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



Mapa 1. Mapa recentných vertikálnych pohybov Západných Karpát. [J. Kvitkovič, J. Vanko: Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951-1976].

# 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)

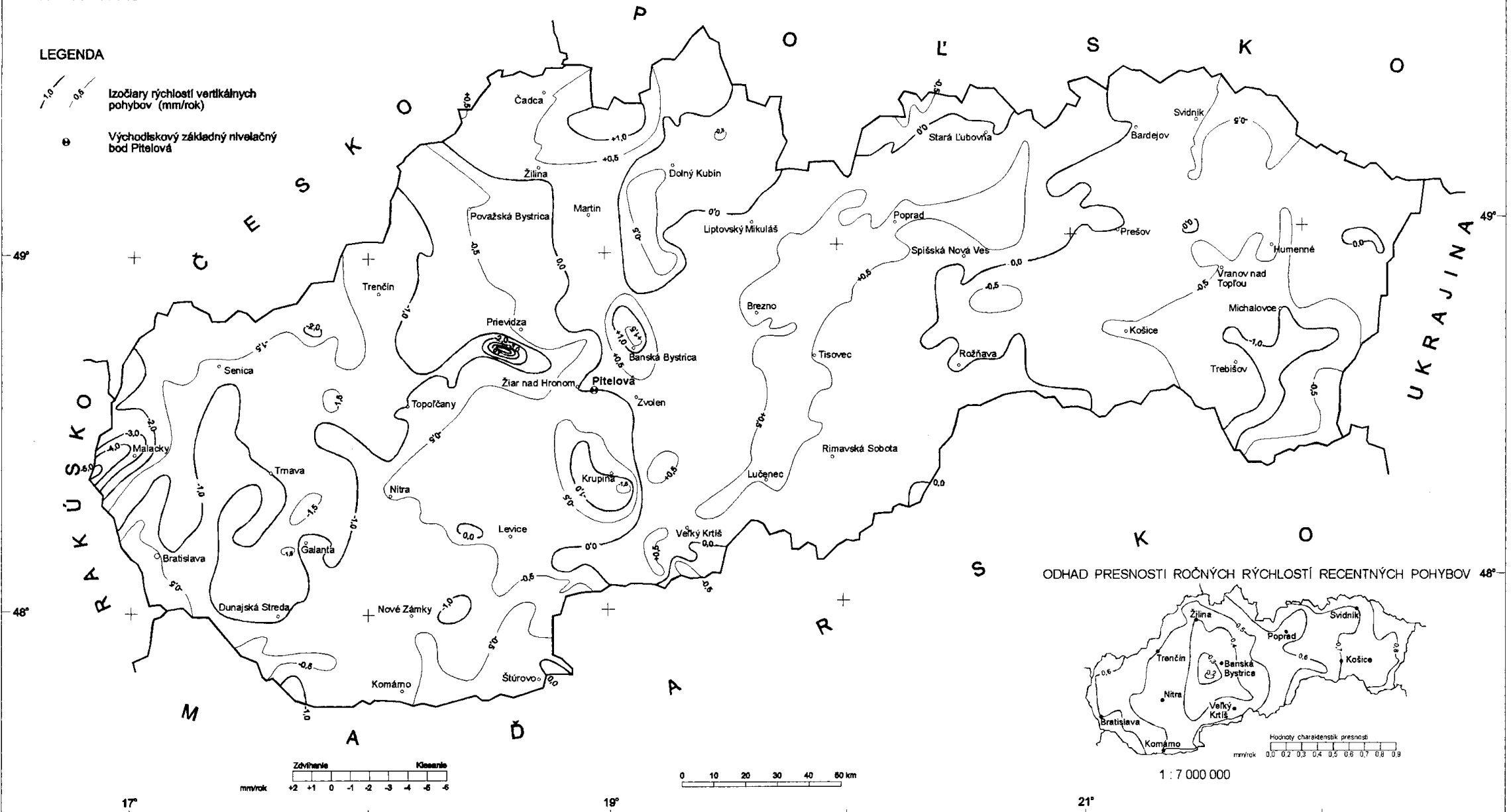
# MAPA RECENTNÝCH VERTIKÁLNYCH POHYBOV ZÁPADNÝCH KARPÁT

Autor: J. VANKO

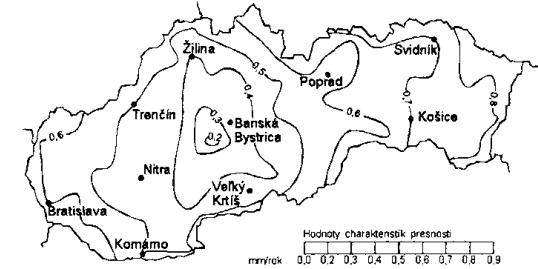
EPOCHA 1952-1979

## LEGENDA

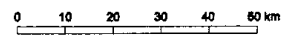
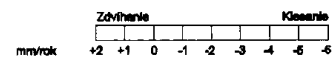
-  Izočiarý rýchlostí vertikálnych pohybov (mm/rok)
-  Východoslovenský základný nivelačný bod Piteľová



ODHAD PRESNOSTI ROČNÝCH RÝCHLOSTÍ RECENTNÝCH POHYBOV 48°



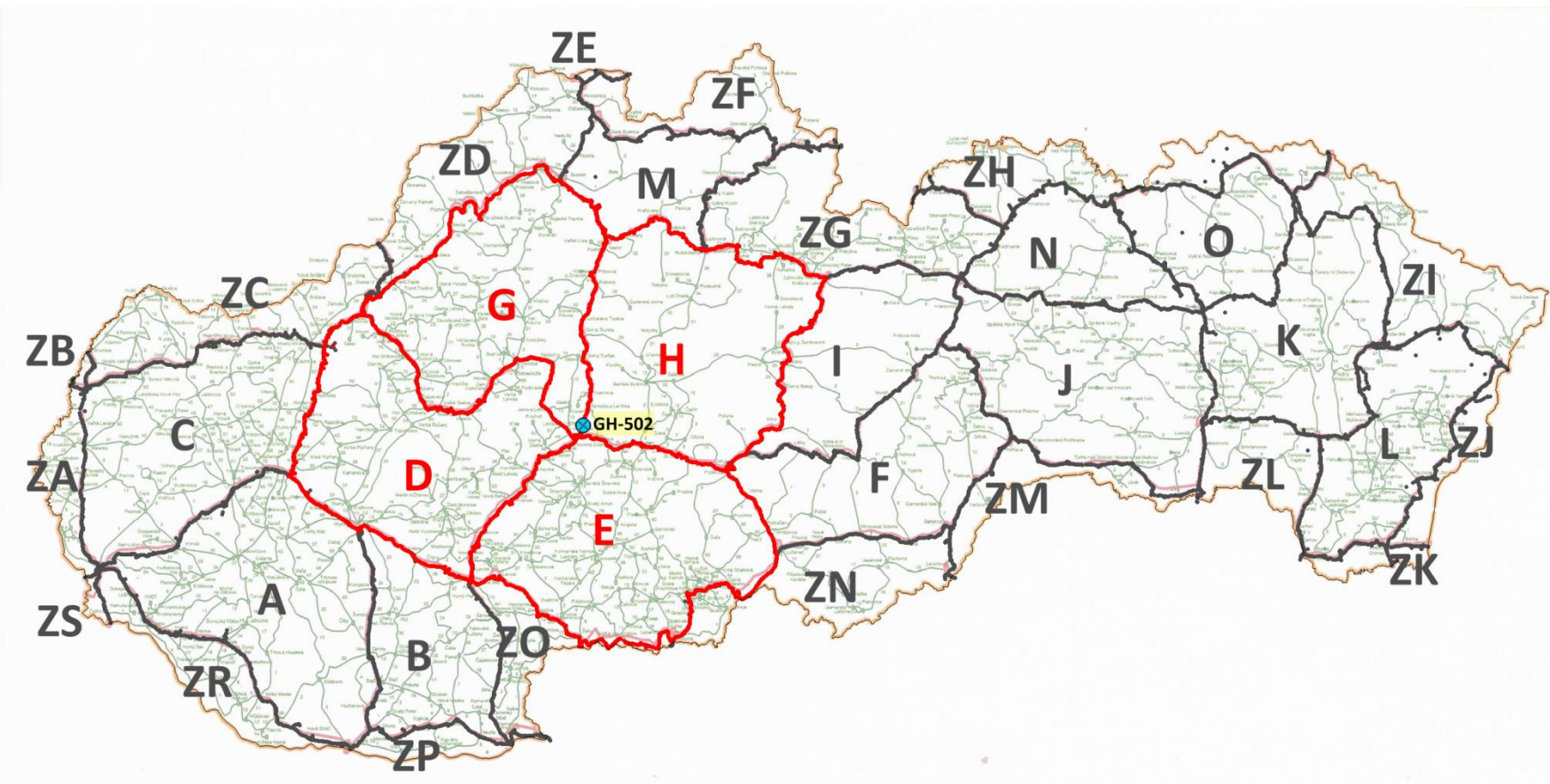
1 : 7 000 000



# 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



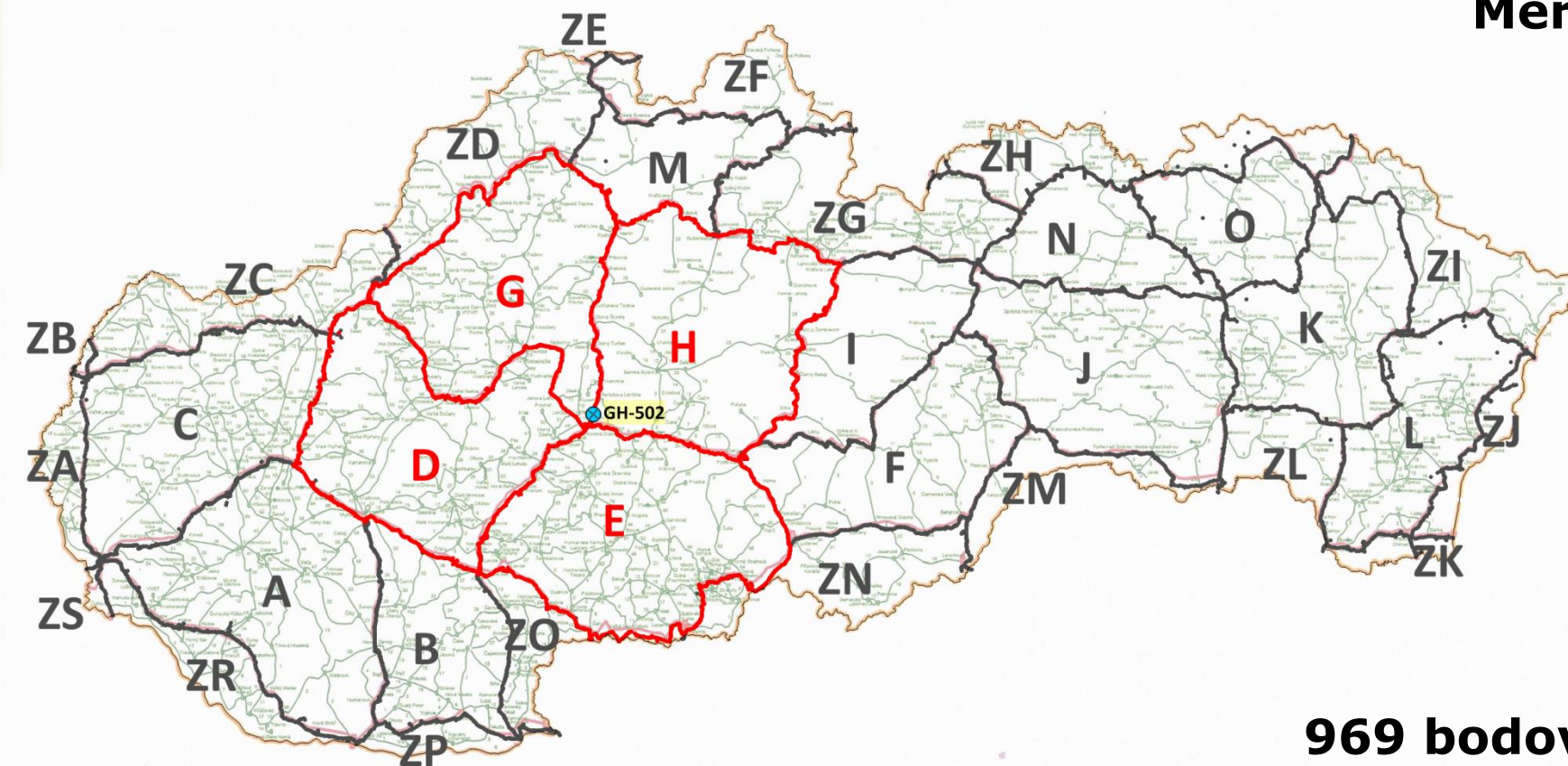
# Výber ťahov a použité údaje

## ▪ 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**



# Výber ťahov a použité údaje

- nivelované prevýšenia v digitálnej forme, súbory VZZ
- oprava o korekciu  $l_0$ 
  - rozťažnosť invarového pásu (vplyv teploty a mierkový faktor)
  - zakrivenie zeme a refrakcia
  - astronomická korekcia
- astronomická korekcia nebola zahrnutá vo výpočtoch v experimente

ULS 2.0 (C) MaKlo 1994 Instalacia-GEODETICKY A KARTOGRAFICKY USTAV, Bratislava Z O S T A U E N I E N I U E L A C N Y C H M E R A N I Dat=25/11/1996 Cas=10.36															
Etapa		SAB													
Nazov		Bylnice-Trenc. Teplá													
Obdobie od-do		0/ 8/50 - 10/ 8/50													
Komunikujúce objekty		:													
Namerane údaje		C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab-0.fnr													
Struktura		C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab-0.fns													
Zoznam bodov		C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab.fnb													
SAB-I<BYLNICE;TRENC.TE			T A M					S P A T					d = TAM+SPAT		
oddiel	R [km]	Cq [mm]	cas	nz	h [m]	lo [mm]	<h+lo+Cq> [m]	cas	nz	h [m]	lo [mm]	<h+lo+Cq> [m]	d(h) [mm]	d(lo) [mm]	d(h+lo+Cq) [mm]
BYLNICE															
1	0.830	.....	.d	10	-9.03266	+0.00	-9.03266	.d	10	+9.03216	+0.00	+9.03216	-0.50	+0.00	-0.50
2	0.442	.....	p.	6	-0.12650	-0.00	-0.12650	.d	6	+0.12610	+0.00	+0.12610	-0.40	+0.00	-0.40
3	1.060	.....	p.	13	-3.66210	-0.14	-3.66224	.d	13	+3.66195	+0.14	+3.66209	-0.15	+0.00	-0.15
4	0.776	.....	.d	16	-6.63872	-0.26	-6.63898	.d	16	+6.63915	+0.26	+6.63941	+0.43	+0.00	+0.43
5	0.518	.....	p.	10	+6.91755	+0.27	+6.91782	.d	10	-6.91770	-0.27	-6.91797	-0.15	+0.00	-0.15
6	0.482	.....	p.	10	-12.77200	-0.50	-12.77250	.d	10	+12.77185	+0.50	+12.77235	-0.15	+0.00	-0.15
7	0.716	.....	p.	10	-4.51938	-0.18	-4.51955	.d	10	+4.51955	+0.18	+4.51973	+0.17	+0.00	+0.17
8	0.666	.....		7	+0.77083	+0.00	+0.77083		7	-0.77158	+0.00	-0.77158	-0.75	+0.00	-0.75
9	0.550	.....		9	+6.24425	+0.00	+6.24425		9	-6.24470	+0.00	-6.24470	-0.45	+0.00	-0.45
10	0.710	.....		9	-11.84687	+0.00	-11.84687		9	+11.84597	+0.00	+11.84597	-0.90	+0.00	-0.90
11	0.190	.....		5	+0.11001	+0.00	+0.11001		5	-0.10940	+0.00	-0.10940	+0.61	+0.00	+0.61
12	0.259	.....		5	+0.89634	+0.00	+0.89634		5	-0.89669	+0.00	-0.89669	-0.35	+0.00	-0.35
13	0.660	.....		8	-10.02210	+0.00	-10.02210		8	+10.02185	+0.00	+10.02185	-0.25	+0.00	-0.25

# Výber ťahov a použité údaje

- nivelované prevýšenia v digitálnej forme, súbory VZZ
- oprava o korekciu  $l_0$ 
  - rozťažnosť invarového pásu (vplyv teploty a mierkový faktor)
  - zakrivenie zeme a refrakcia
  - astronomická korekcia
- astronomická korekcia nebola zahrnutá vo výpočtoch v experimente

ULS 2.0 (C) MaKlo 1994  
 Instalacia-GEODETICKY A KARTOGRAFICKY USTAV, Bratislava  
 Z O S T A U E N I E N I V E L A C N Y C H M E R A N I Dat=25/11/1996 Cas=10.36

Etapa: SAB  
 Nazov: Bylnice-Trenc. Teplá **názov ťahu a čas merania**  
 Obdobie od-do: 0/ 8/50 - 10/ 8/50

Komunikujúce objekty: :  
 Namerane údaje: C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab-0.fnr  
 Struktura: C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab-0.fns **prevýšenie a korekcie lo**  
 Zoznam bodov: C:\241\LYDA\DODATKY\I-RAD\SAB\OPRAVA\sab.fnb

SAB-I<BYLNICE;TRENC.TE			T A M					S P A T					d = TAM+SPAT		
oddiel	R [km]	Cq [mm]	cas	nz	h [m]	lo [mm]	<h+lo+Cq> [m]	cas	nz	h [m]	lo [mm]	<h+lo+Cq> [m]	d(h) [mm]	d(lo) [mm]	d(h+lo+Cq) [mm]
BYLNICE															
1	0.830	.....	.d	10	-9.03266	+0.00	-9.03266	.d	10	+9.03216	+0.00	+9.03216	-0.50	+0.00	-0.50
2	0.442	.....	p.	6	-0.12650	-0.00	-0.12650	.d	6	+0.12610	+0.00	+0.12610	-0.40	+0.00	-0.40
3	1.060	.....	p.	13	-3.66210	-0.14	-3.66224	.d	13	+3.66195	+0.14	+3.66209	-0.15	+0.00	-0.15
4	0.776	.....	.d	16	-6.63872	-0.26	-6.63898	.d	16	+6.63915	+0.26	+6.63941	+0.43	+0.00	+0.43
5	0.518	.....	p.	10	+6.91755	+0.27	+6.91782	.d	10	-6.91770	-0.27	-6.91797	-0.15	+0.00	-0.15
6	0.482	.....	p.	10	-12.77200	-0.50	-12.77250	.d	10	+12.77185	+0.50	+12.77235	-0.15	+0.00	-0.15
7	0.716	.....	p.	10	-4.51938	-0.18	-4.51955	.d	10	+4.51955	+0.18	+4.51973	+0.17	+0.00	+0.17
8	0.666	.....		7	+0.77083	+0.00	+0.77083		7	-0.77158	+0.00	-0.77158	-0.75	+0.00	-0.75
9	0.550	.....		9	+6.24425	+0.00	+6.24425		9	-6.24470	+0.00	-6.24470	-0.45	+0.00	-0.45
10	0.710	.....		9	-11.84687	+0.00	-11.84687		9	+11.84597	+0.00	+11.84597	-0.90	+0.00	-0.90
11	0.190	.....		5	+0.11001	+0.00	+0.11001		5	-0.10940	+0.00	-0.10940	+0.61	+0.00	+0.61
12	0.259	.....		5	+0.89634	+0.00	+0.89634		5	-0.89669	+0.00	-0.89669	-0.35	+0.00	-0.35
13	0.660	.....		8	-10.02210	+0.00	-10.02210		8	+10.02185	+0.00	+10.02185	-0.25	+0.00	-0.25

# 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

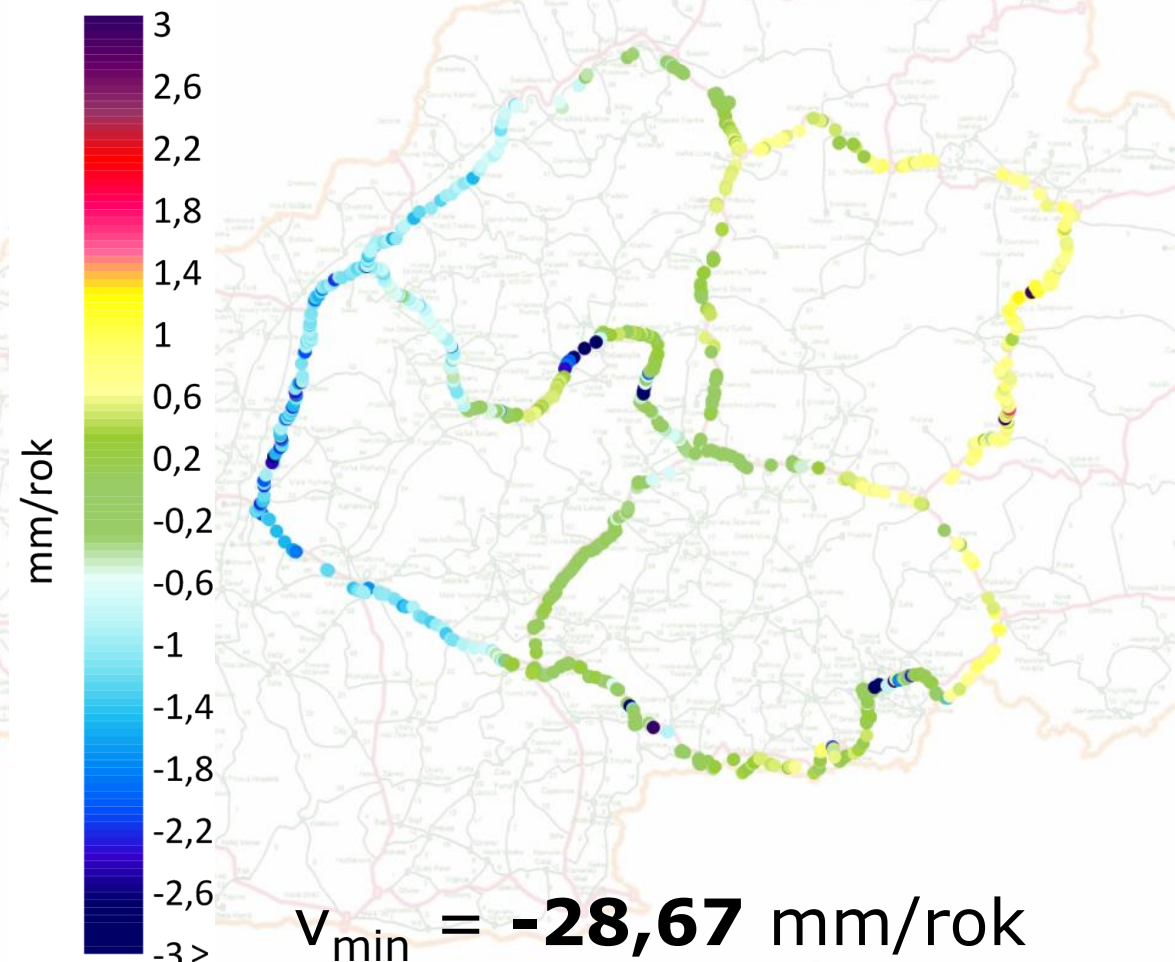
### B. vyrovnané výšky

- 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

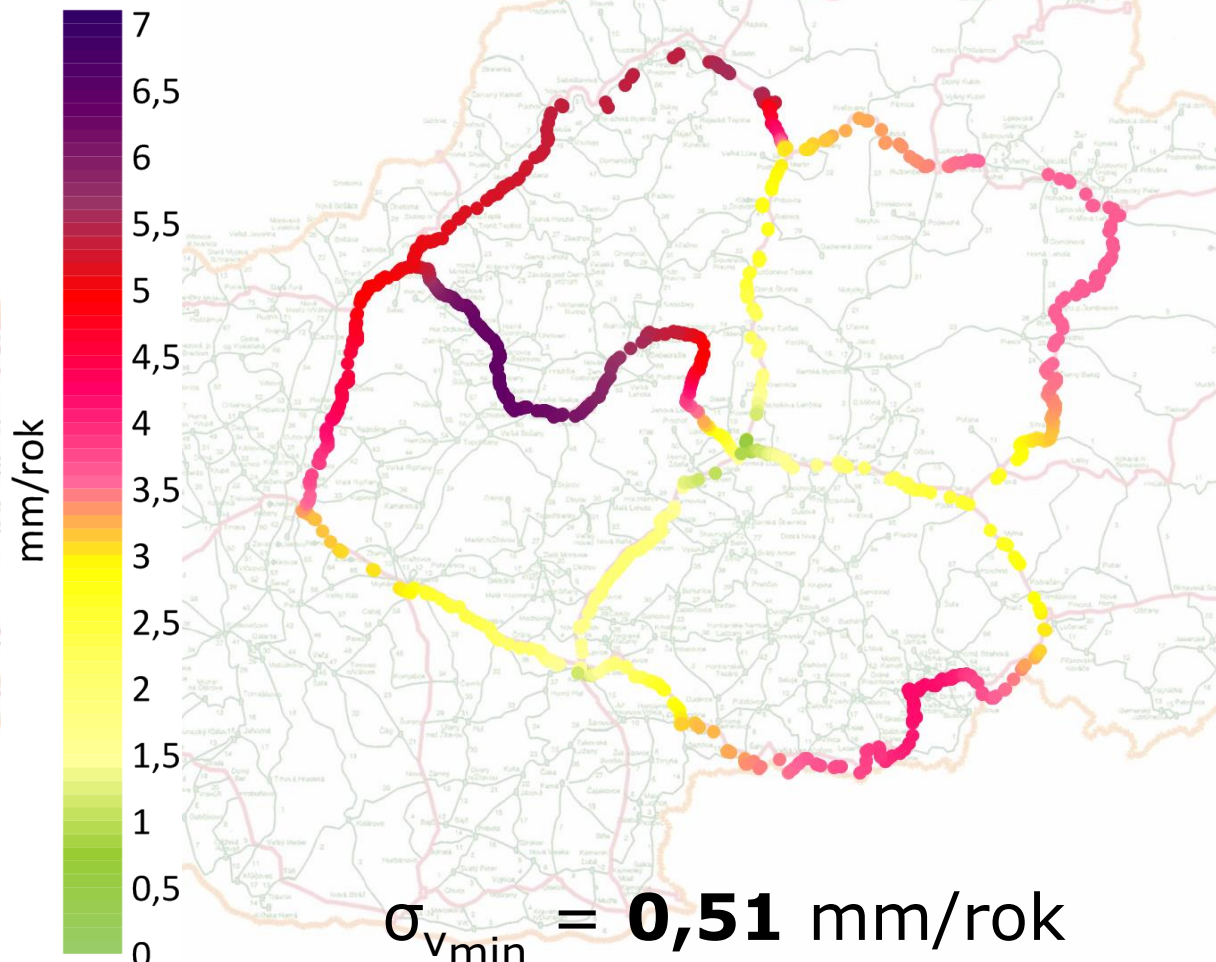
# 1A: odhad rýchlostí z meraných prevýšení



$V_{\min} = -28,67$  mm/rok

$V_{\max} = 9,85$  mm/rok

$V_{\text{mean}} = -0,50$  mm/rok

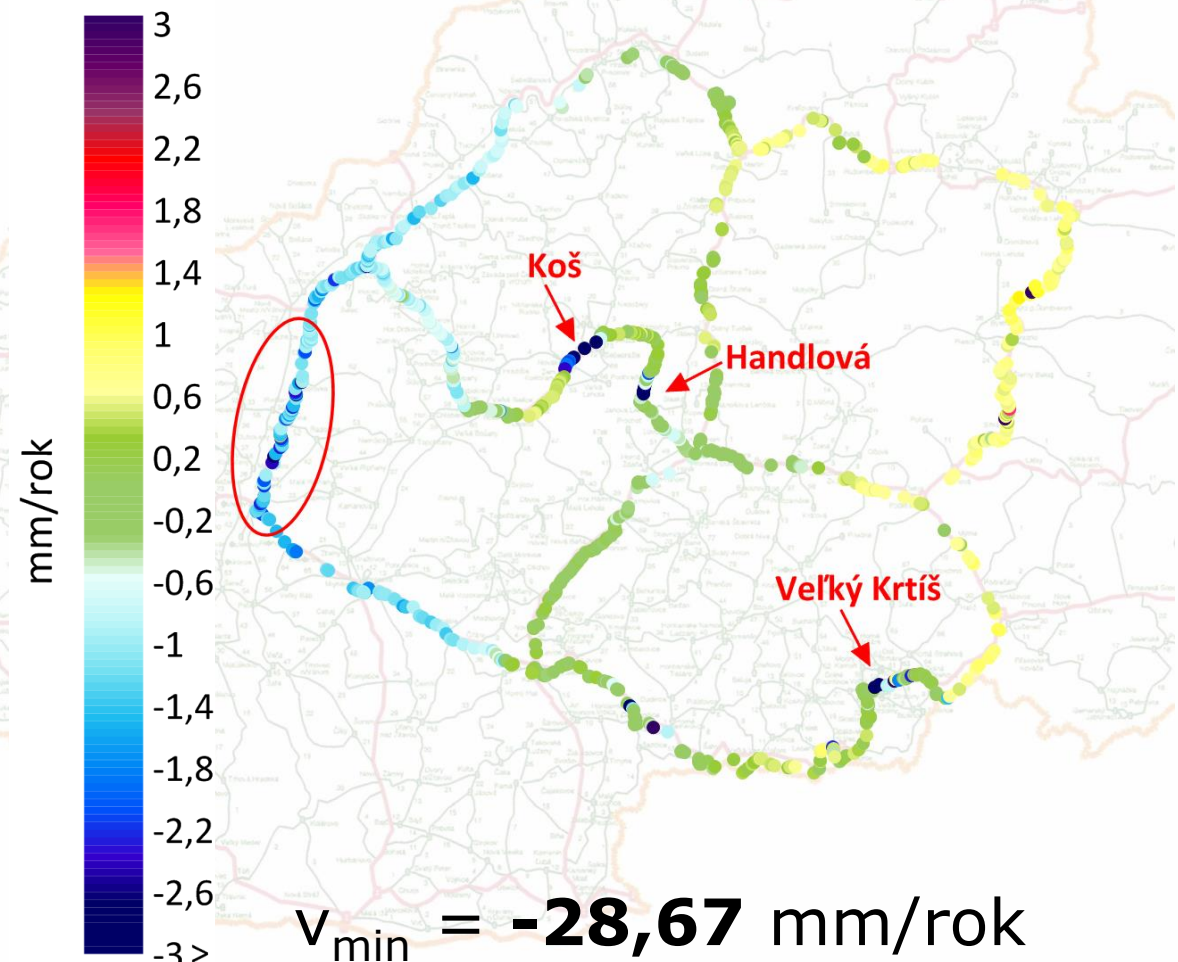


$\sigma_{V_{\min}} = 0,51$  mm/rok

$\sigma_{V_{\max}} = 6,41$  mm/rok

$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 4,21$  mm/rok

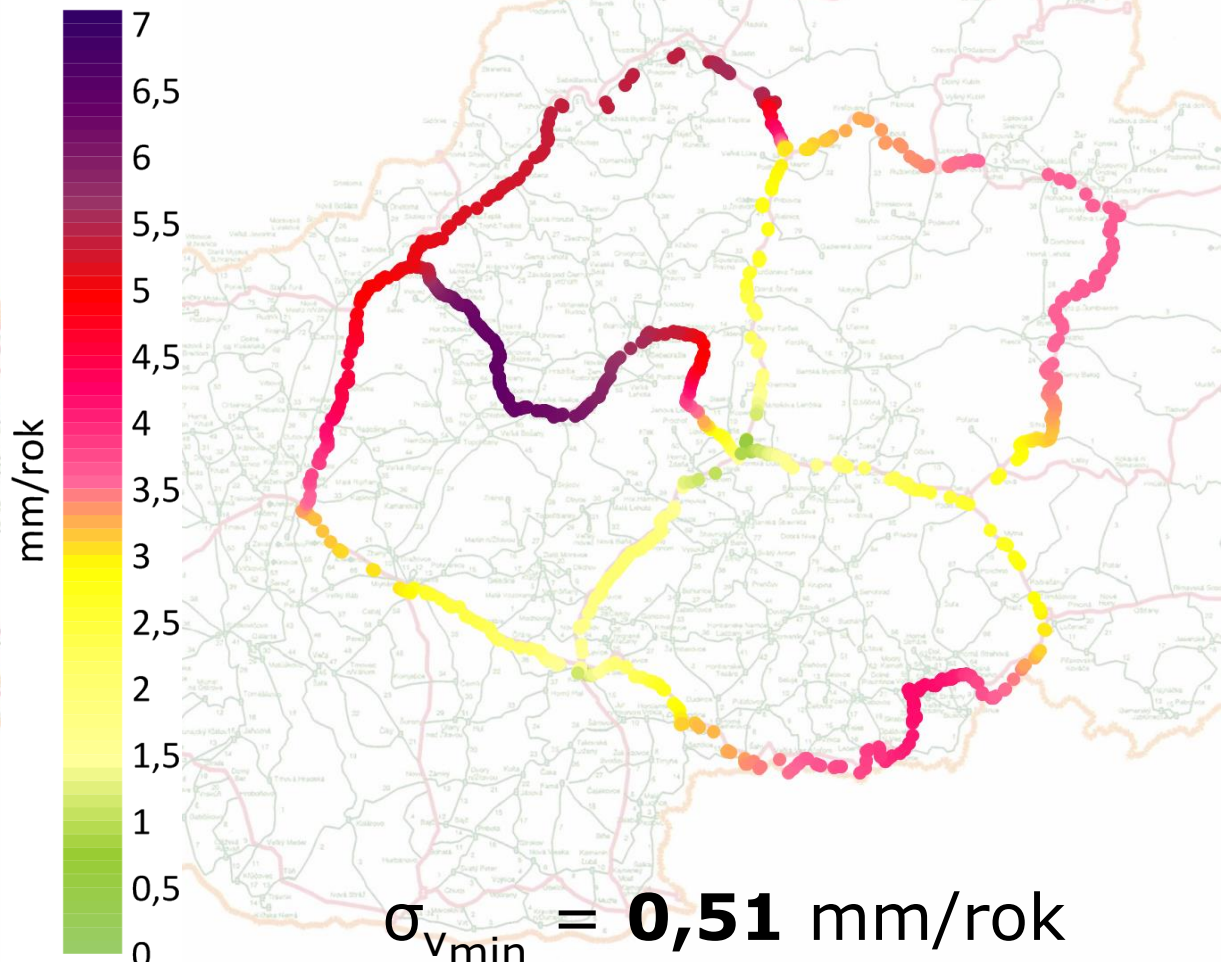
# 1A: odhad rychlostí z MERANÝCH převýšení



$V_{\min} = -28,67$  mm/rok

$V_{\max} = 9,85$  mm/rok

$V_{\text{mean}} = -0,50$  mm/rok

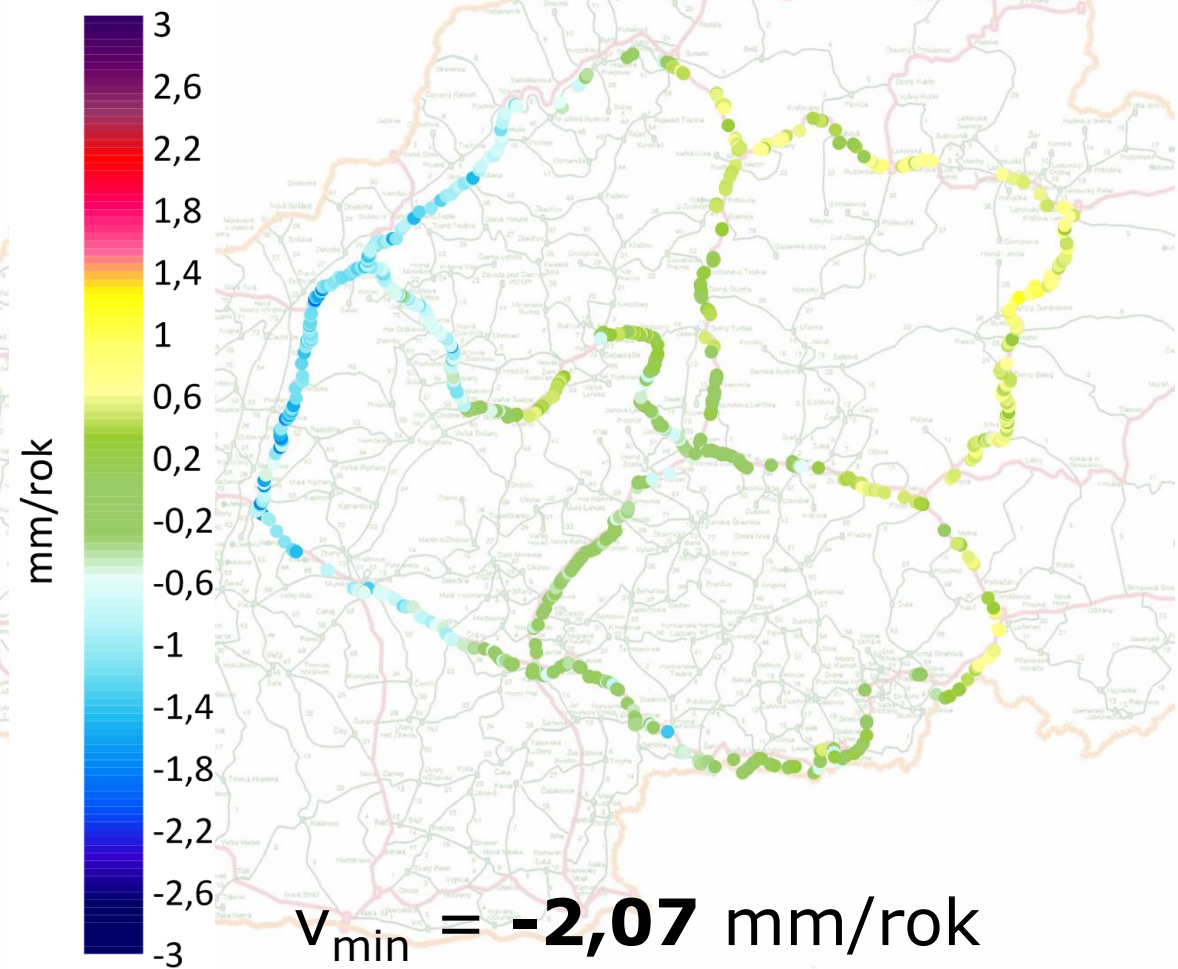


$\sigma_{V_{\min}} = 0,51$  mm/rok

$\sigma_{V_{\max}} = 6,41$  mm/rok

$\sigma_{V_{\text{mean}}} = 4,21$  mm/rok

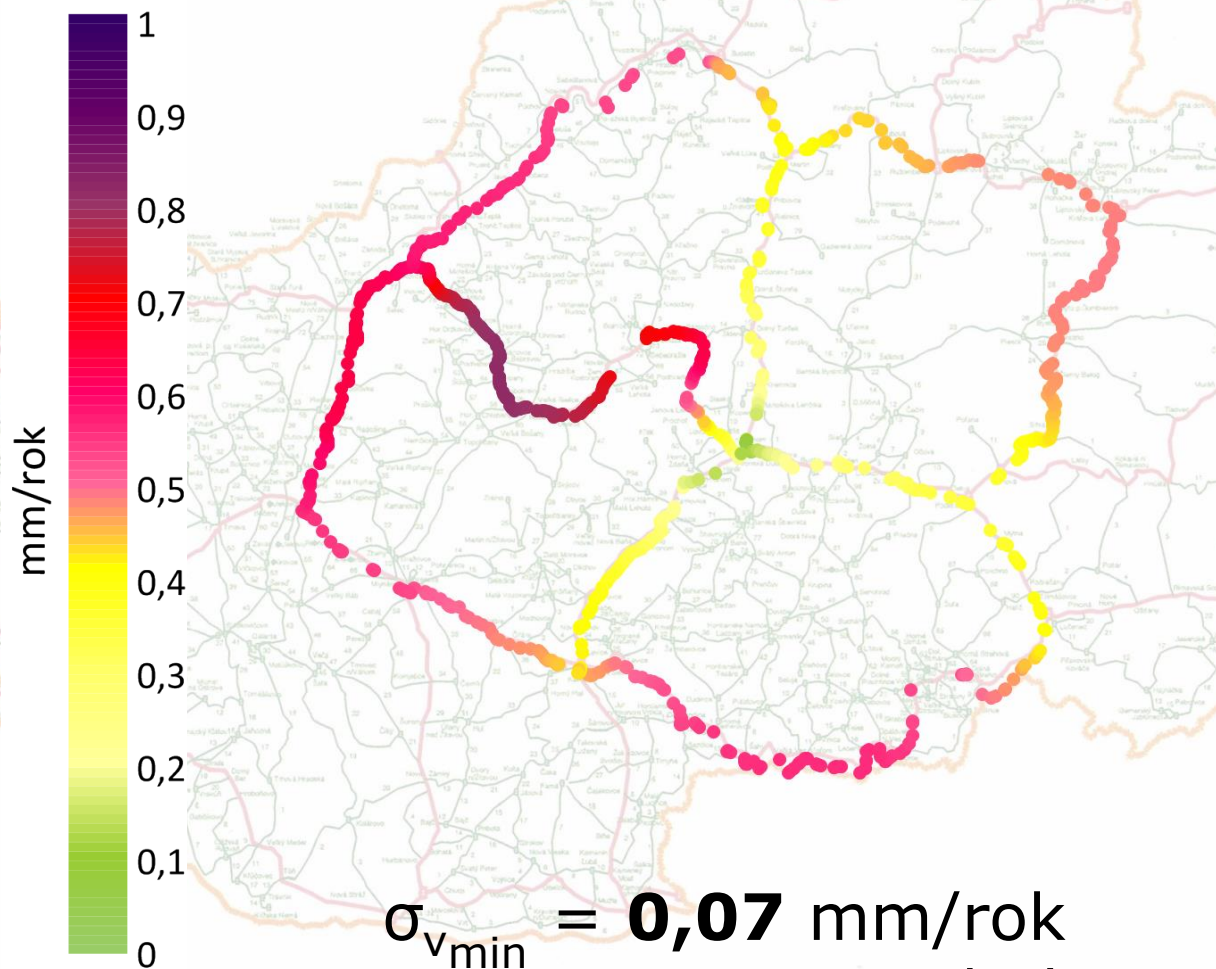
# 1A: odhad rychlostí z MERANÝCH převýšení



$V_{\min} = -2,07$  mm/rok

$V_{\max} = 1,13$  mm/rok

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

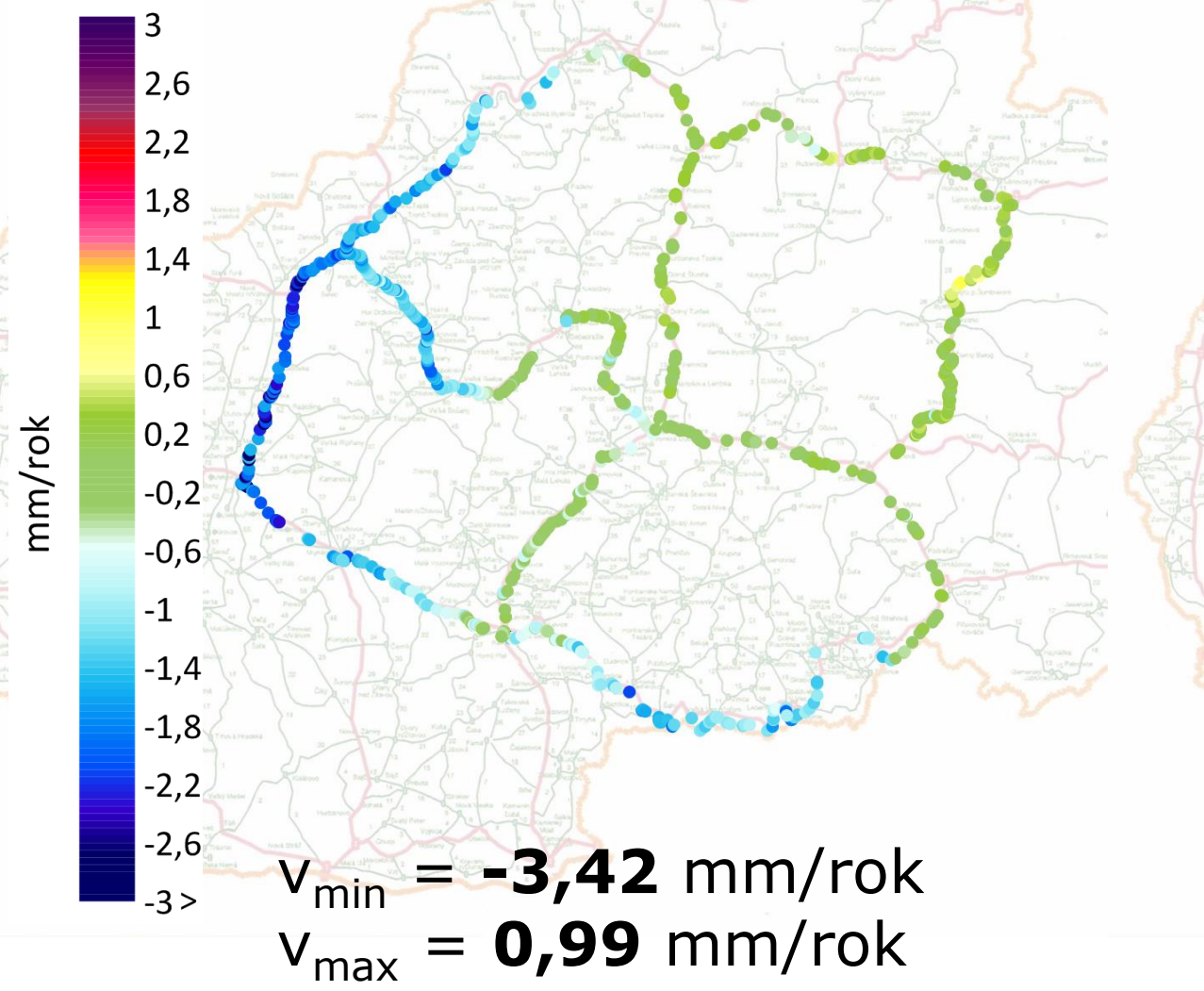


$\sigma_{V_{\min}} = 0,07$  mm/rok

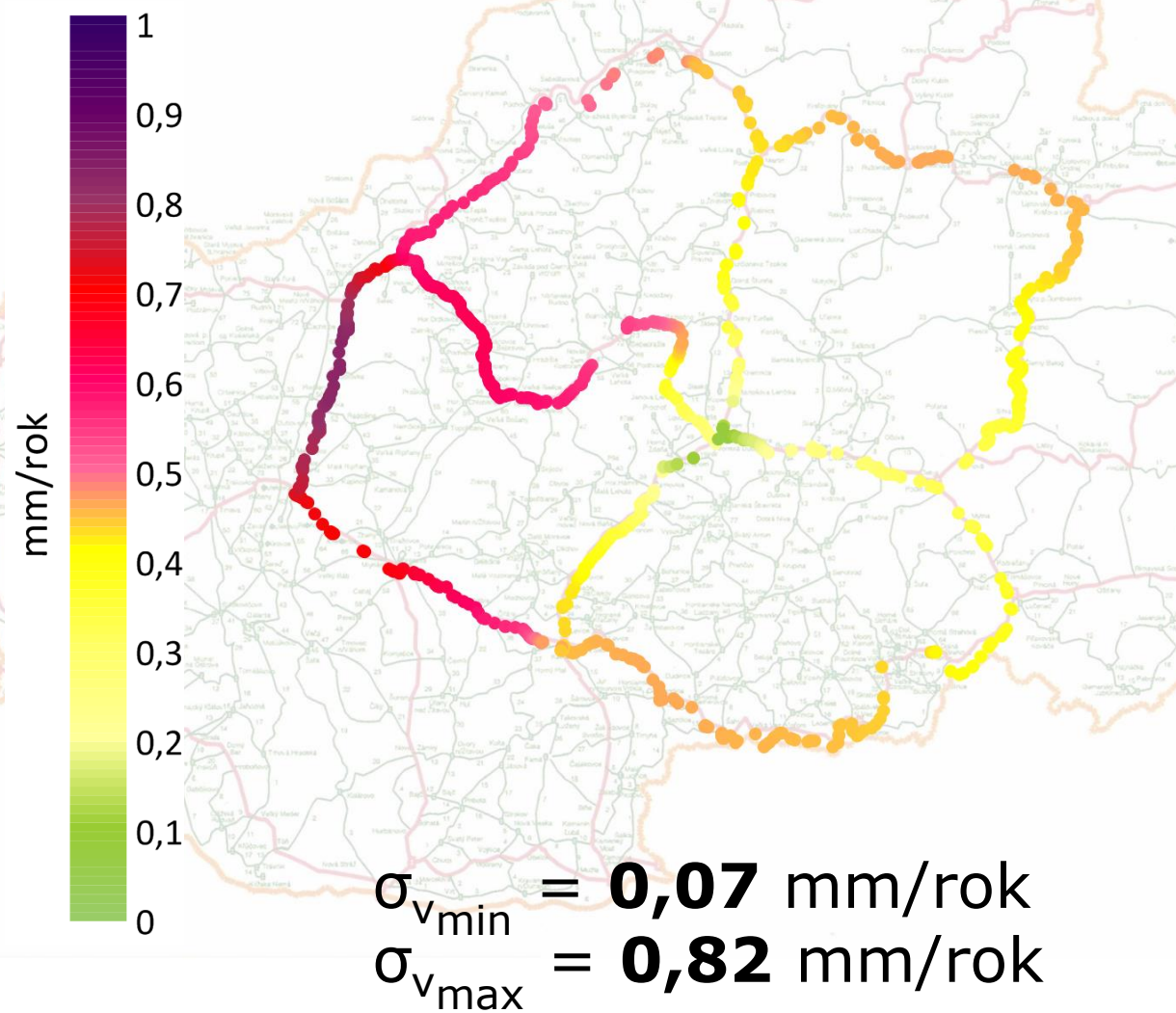
$\sigma_{V_{\max}} = 0,82$  mm/rok

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

# 1B: odhad rychlostí z VYROVNANÝCH převýšení



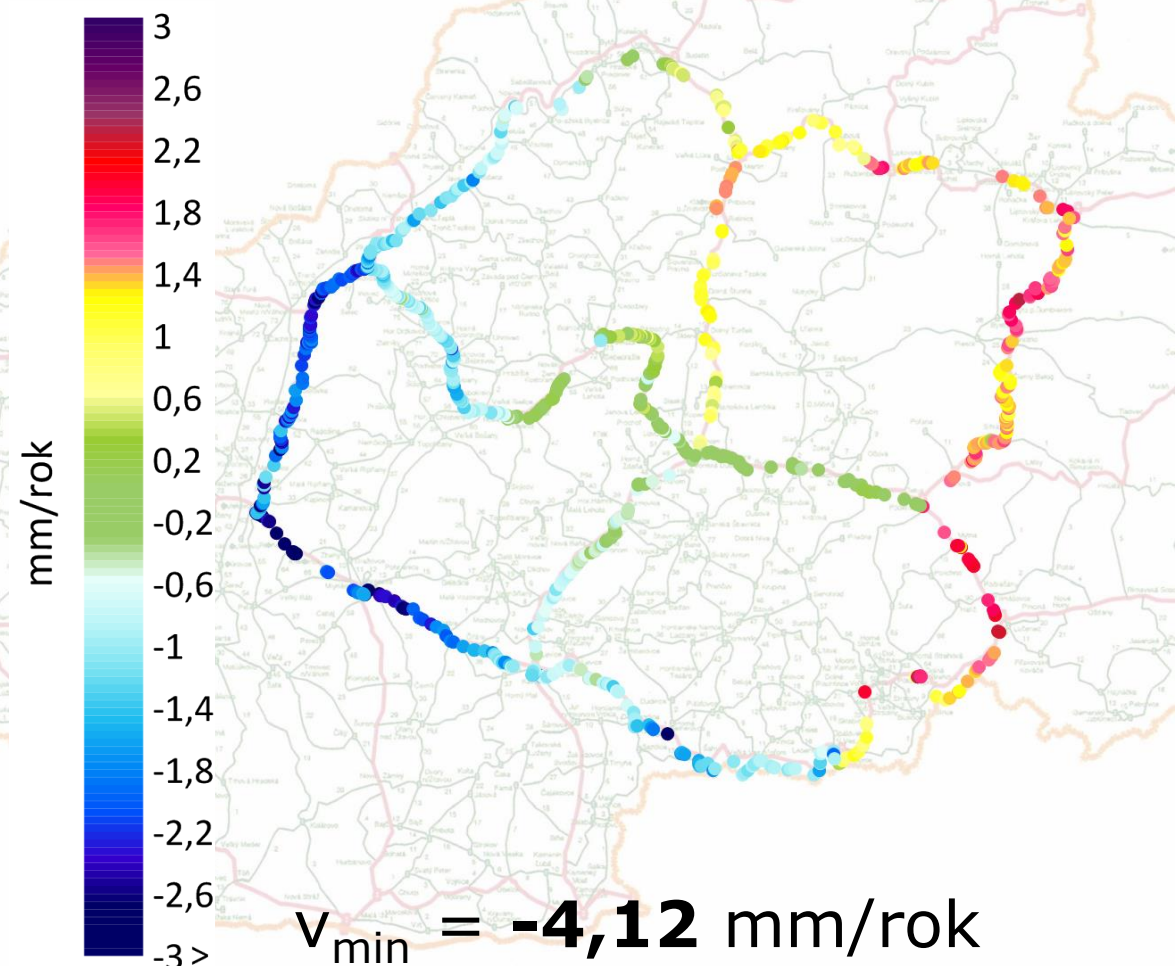
$V_{\text{mean}} = -0,73$  mm/rok



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



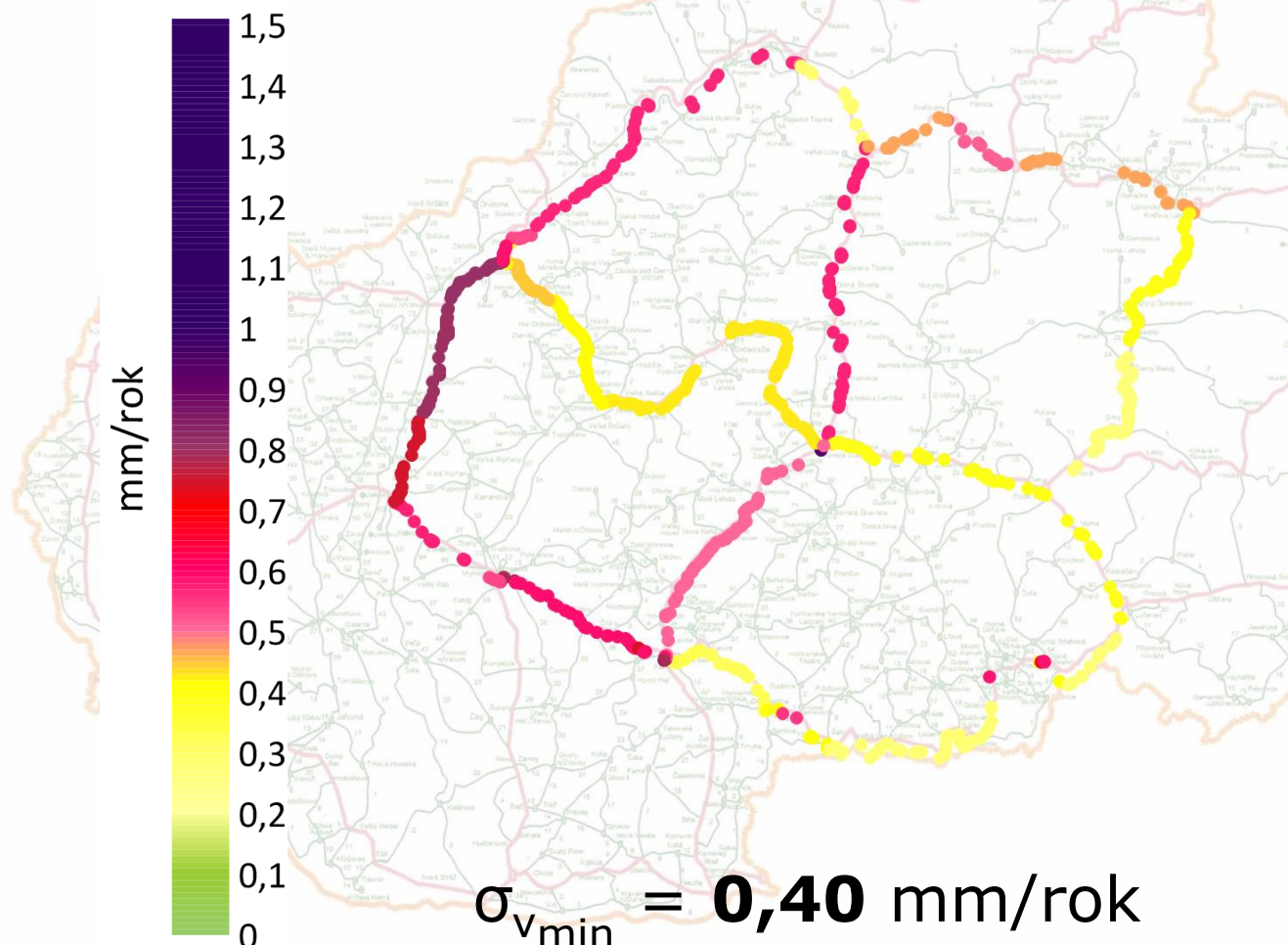
## 2A: odhad rýchlostí z MERANÝCH výšok



$V_{\min} = -4,12$  mm/rok

$V_{\max} = 2,39$  mm/rok

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

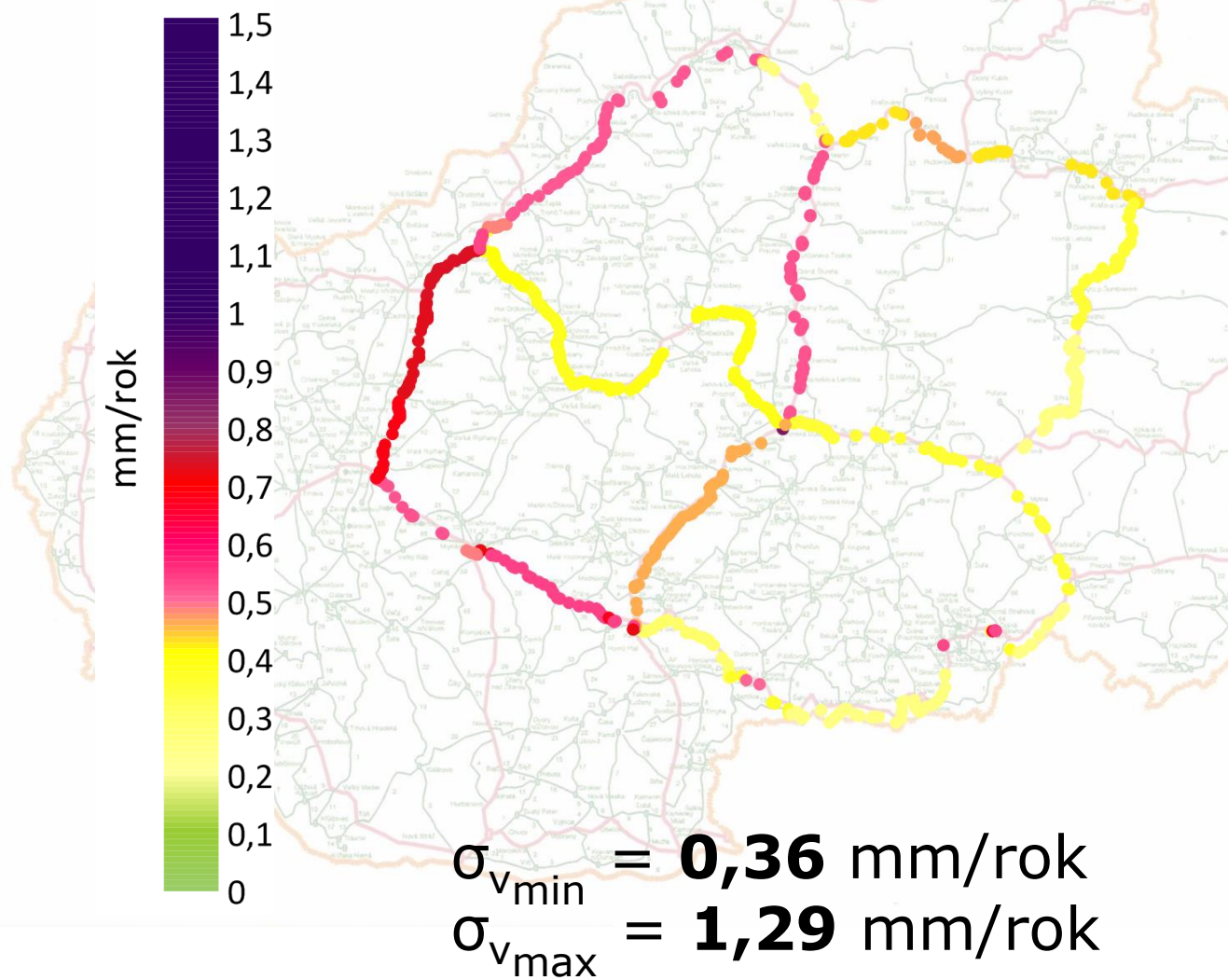
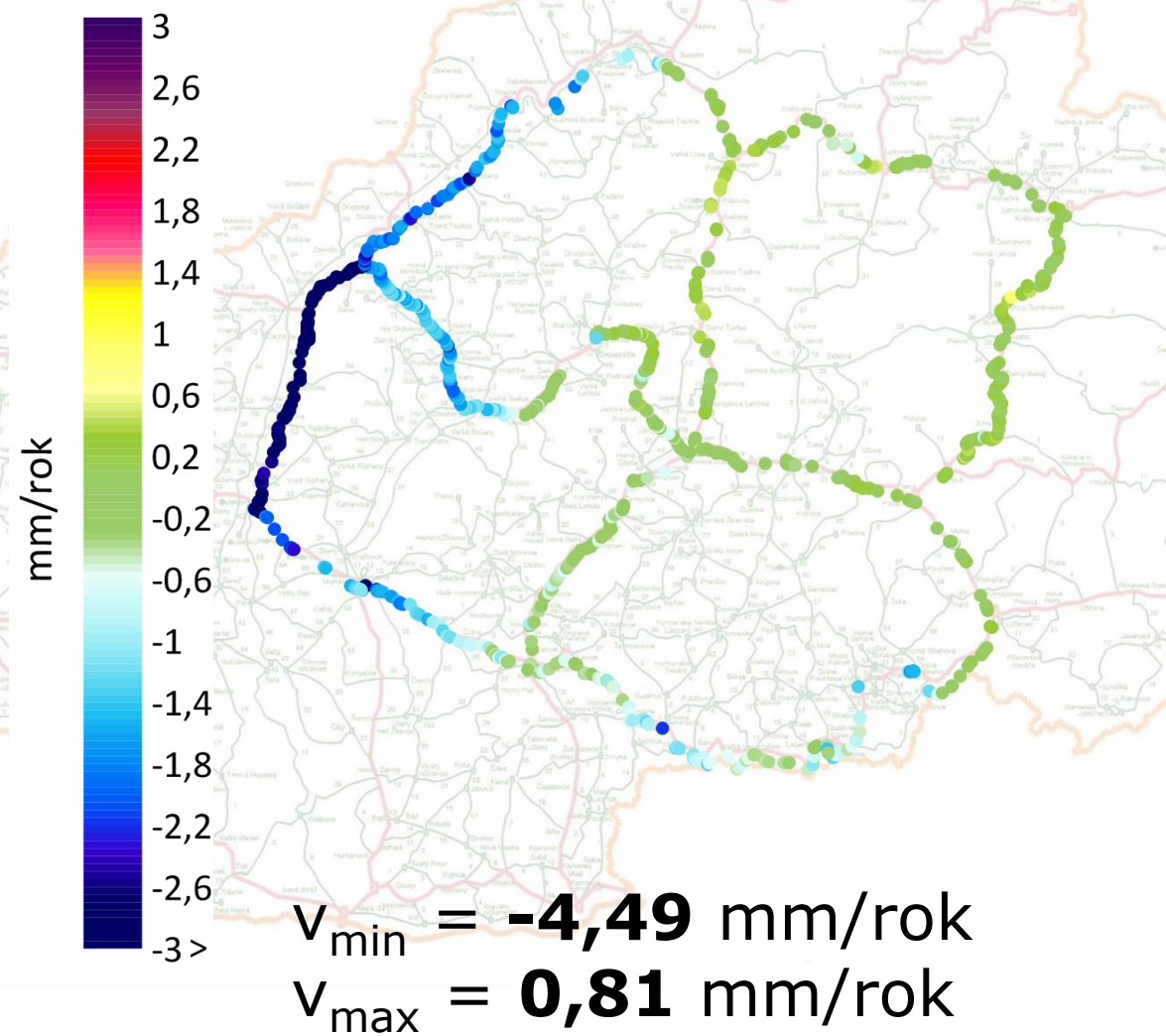


$\sigma_{V_{\min}} = 0,40$  mm/rok

$\sigma_{V_{\max}} = 1,41$  mm/rok

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

## 2B: odhad rychlostí z VYROVNANÝCH výšok



## Zhrnutie výsledkov

- Štatistika pre prevýšenia po vylúčení problematických lokalít

	1A (merané prevýšenia)			1B (vyrovnané prevýšenia)			2A (merané výšky)			2B (vyrovnané výšky)		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
<b>V</b>	-2,07	1,13	-0,26	-3,42	0,99	-0,73	-4,12	2,39	-0,35	-4,49	0,81	-0,89
<b><math>\sigma_v</math></b>	0,07	0,82	0,52	0,07	0,82	0,49	0,40	1,41	0,71	0,36	1,29	0,65
<b><math>\sigma_H</math> (1972)</b>							7,83	15,90	9,64	7,17	14,62	8,81

## Zhrnutie výsledkov

- Štatistika pre prevýšenia po vylúčení problematických lokalít
- Použitie modelu 1A (merané prevýšenia) – rôzne váhy

	p=1			p=1/R			p=n			p=1/√R			p=n/√R		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
$\sigma_v$ (mm/rok)	0,07	0,82	0,52	0,11	0,94	0,72	0,07	0,95	0,57	0,08	0,79	0,55	0,09	0,91	0,60

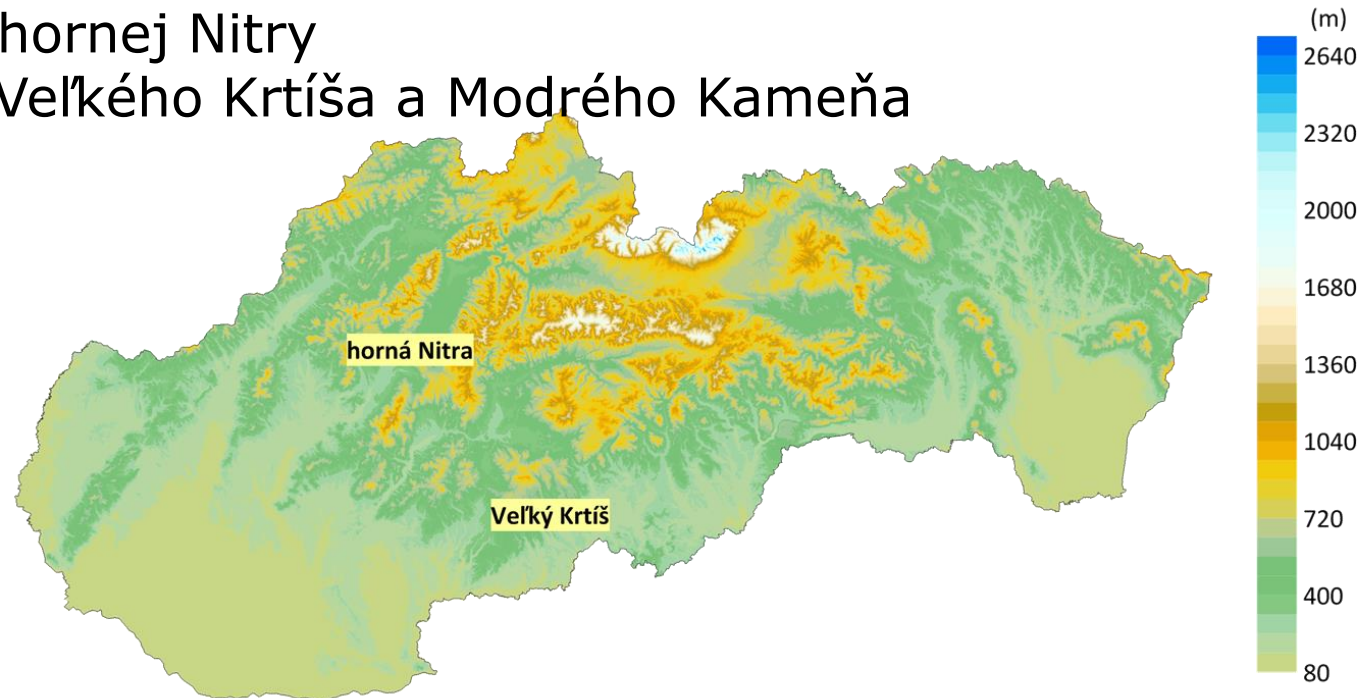
R – dĺžka oddielu

n – počet meraní prevýšenia

# Výpočet pohybov vybraných lokalít

**Kumulované pohyby** – pohyby nahromadené za určité časové obdobie

- 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

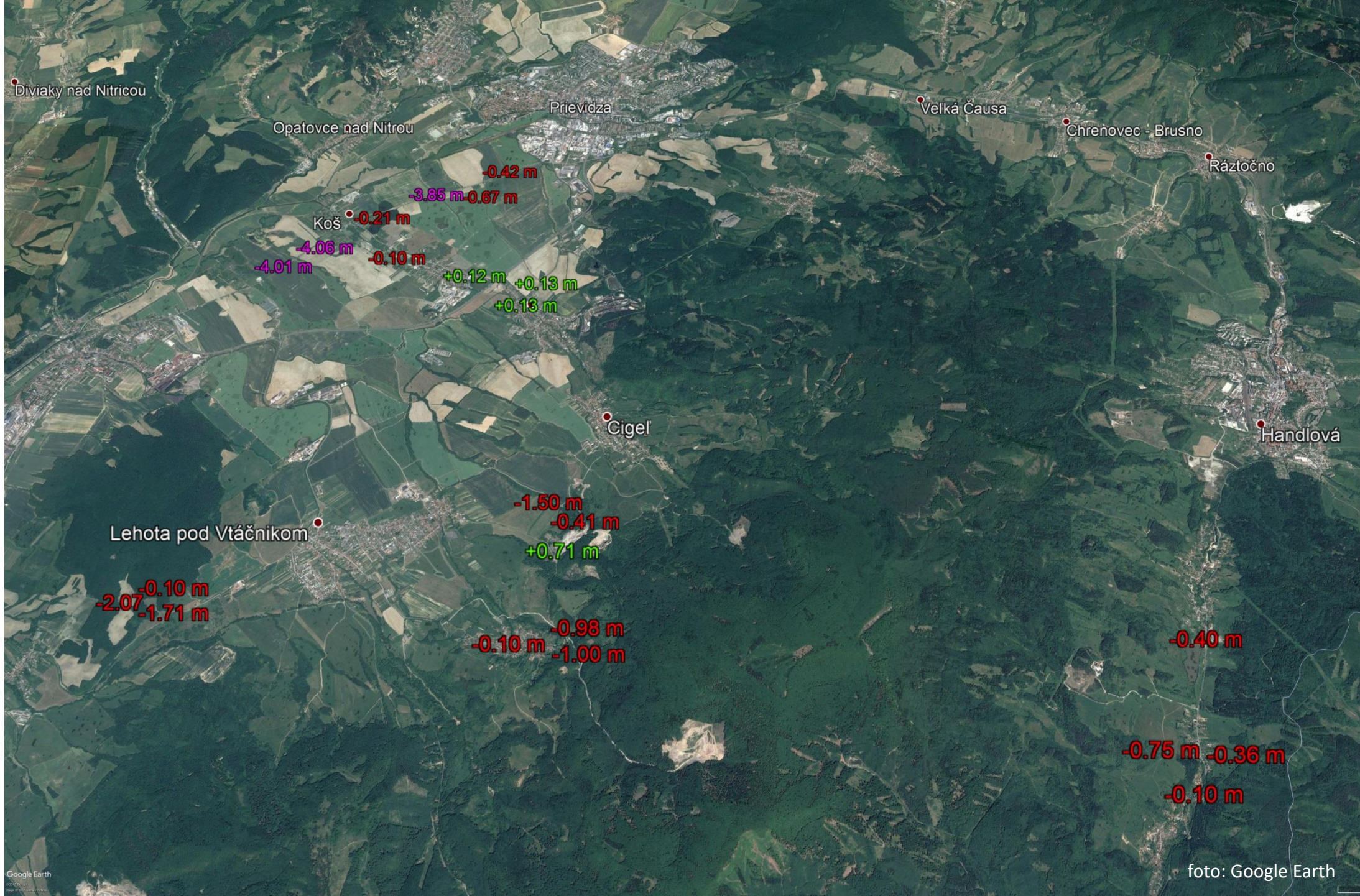


# Horná Nitra

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
- 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 RVP spolu s charakteristikami presnosti
- Vyhľadanie lokalít postihnutých zosuvmi vyvolanými ľudskou činnosťou

**Ďakujem za pozornosť!**