



Spracovanie Lokálnej geodynamickej siete TATRY s uvážením rozličného prístrojového vybavenia

Ing. Branislav Droščák, PhD.,

Ing. Emília Havlíková, Ing. Miroslava Kyselicová-Chmátiová

Geodetický a kartografický ústav Bratislava

branislav.droscak@skgeodesy.sk, emilia.havlikova@skgeodesy.sk

Geodetické základy a geodynamika 2015

8-9. október 2015, KGZA SvF STU v Bratislave a GKÚ Bratislava, Kočovce, Slovensko

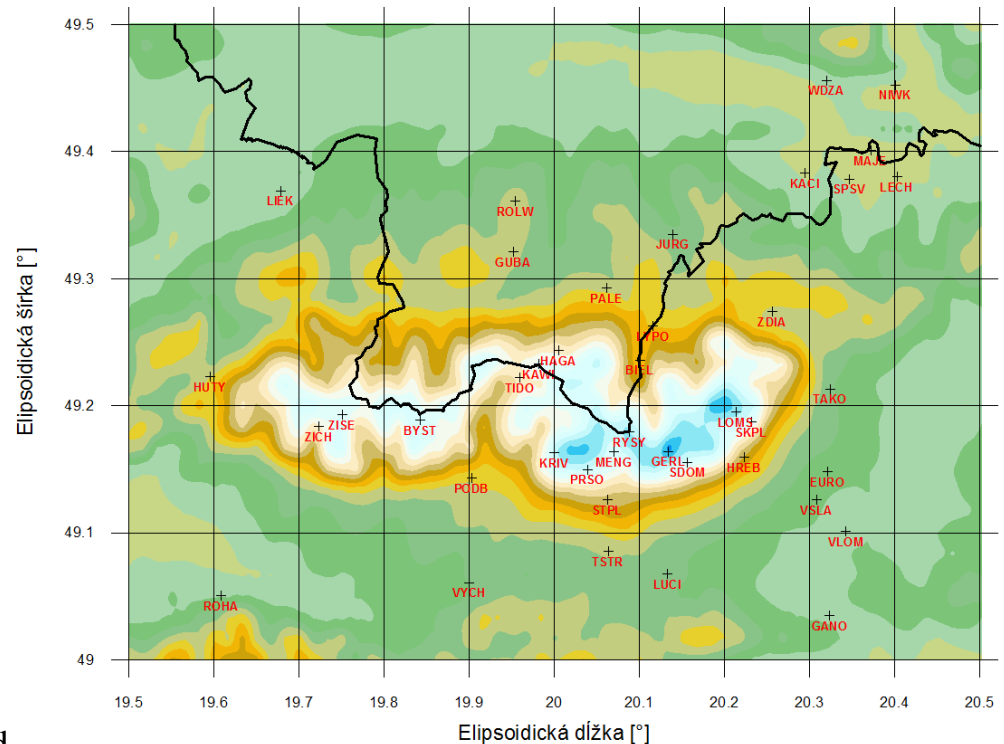


Agenda

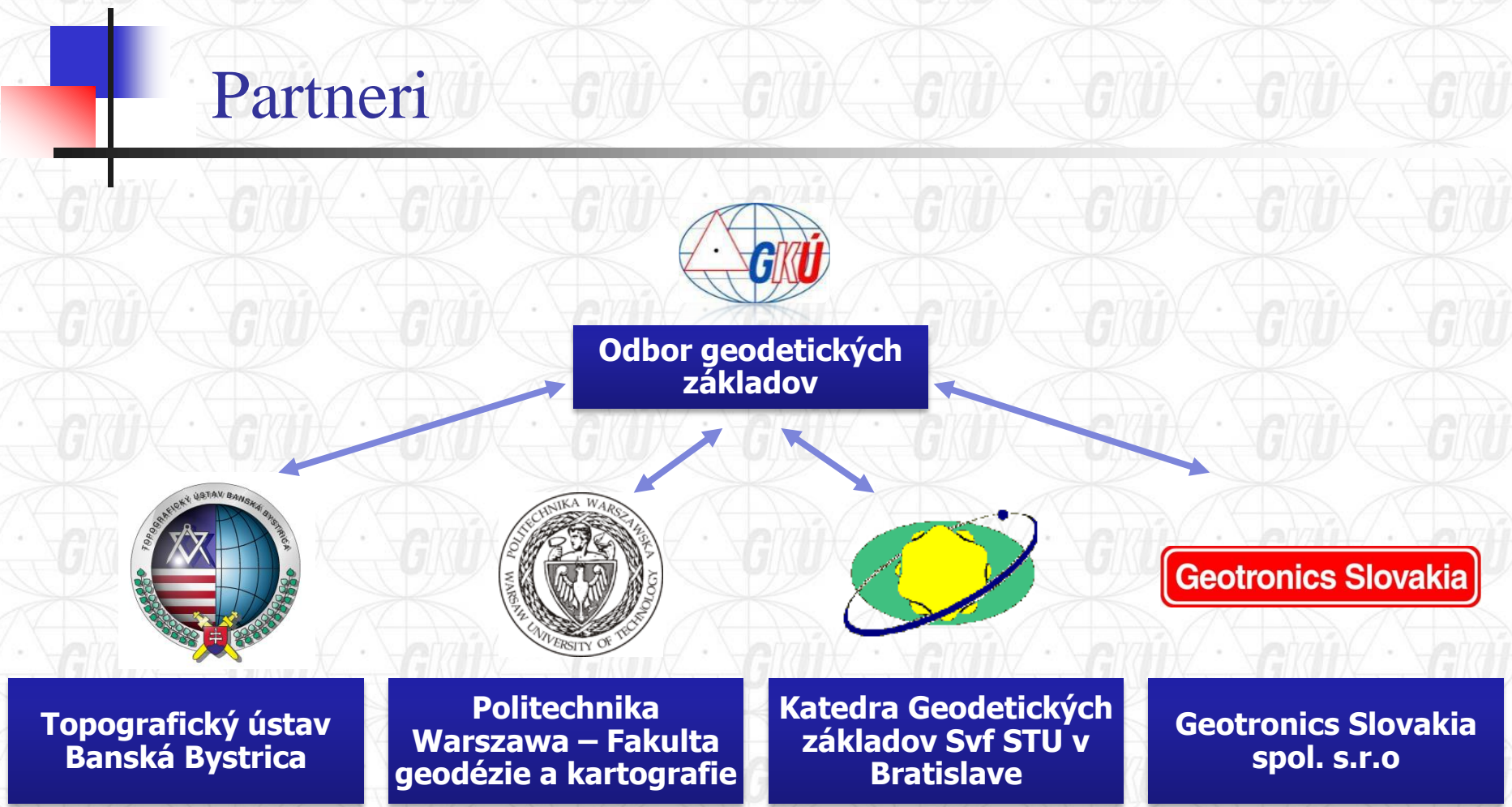
- Lokálna geodynamická sieť Tatry
 - základné informácie
 - partneri
 - prehľad observácií
 - typy stabilizácií
- Spracovanie observácií a odhad ročných zmien súradníc
 - definovanie základných predpokladov a podmienok
- Skúsenosti zo spracovania
 - permanentné verzus epochové observácie
 - problematika výmeny prístrojového vybavenia – skoky, zgrupovanie, ...
- Grafická interpretácia výsledkov
- Záver

Základné informácie

- Slovensko – Poľská geodynamická sieť
- sieť obsahuje cez 36 bodov
 - Slovensko: 30 ; Poľsko: 6
- Typ bodov
 - body na sledovanie geodynamiky (pravidelne observovaných 15-20 bodov)
 - ostatné body (observované jednorázovo)
- Pôvodný cieľ meraní
 - spresniť výšky významným Tatranským štítom
- Súčasný cieľ meraní:
 - štúdium geokinematických vlastností Tatranského masívu
 - opakované merania siete bodov ŠPS
 - zdokonaľovanie spracovateľských zručností
- Typ observácií
 - epochové kontinuálne kampaňové meranie o dĺžke 4-6 dní
- Termín observácií
 - každoročne v prvý septembrový týždeň (od roku 1998)



Partneri

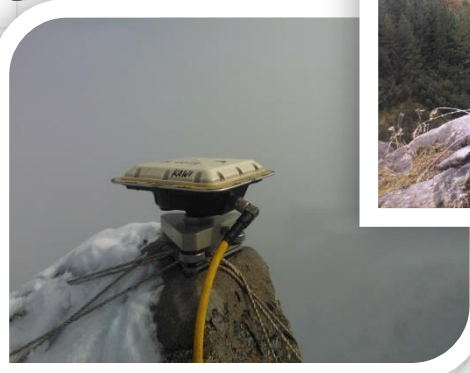


Partneri v rámci niektorých starších ročníkov:



Typy stabilizácii bodov

- slovenské body:
 - špeciálna tyčová stabilizácia pre nútenú centráciu = medený modul so závitom na hliníkovú tyč
- poľské body:
 - klasická centračná podložka + centračná guľôčka
 - špeciálna tyčová stabilizácia pre nútenú centráciu = medený modul so závitom na hliníkovú tyč



Spracovanie observácií

■ Bernský GNSS softvér

■ Verzia 5.0

- kampane 1998 – 2012
- efemeridy IGB05

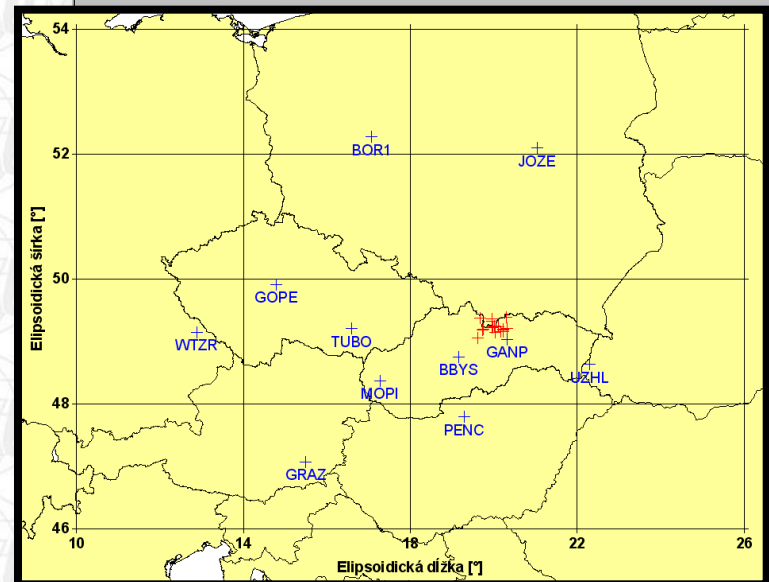
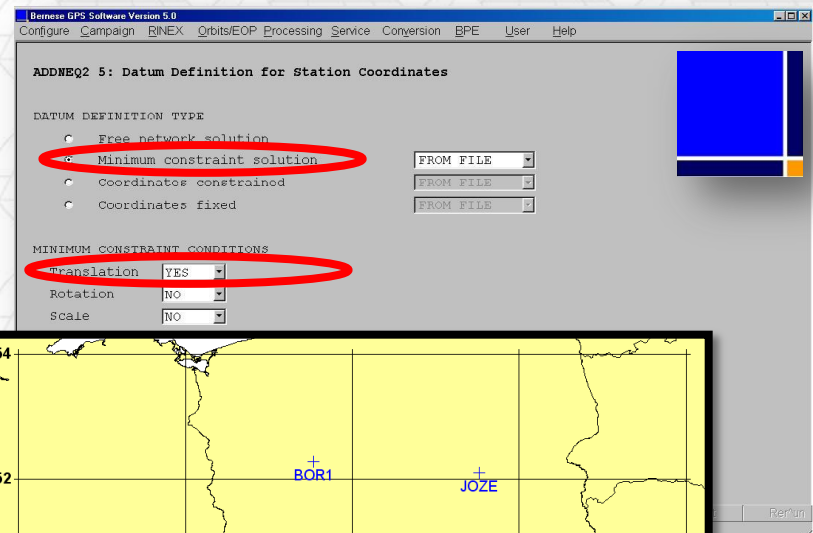
■ Verzia 5.2

- kampane 2013-2014
- efemeridy IGB08

- podmienka Minimal Constraint – no net translation na vybraných bodoch EPN

- Uváženie absolútnych typových a individuálnych variácií fázových centier antén

- systém ITRF2005

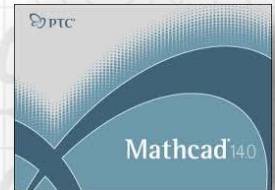


Odhad ročných zmien súradníc – rýchlosti

Postup

■ Mathcad 14:

- 1) Eliminácia ITRF2005 rýchlostného modelu pohybu Euroázijskej tektonickej platne priamou transformáciou ITRF2005 → ETRF2000 pomocou 14-parametrickej transformácie
- 2) Transformácia XYZ → neu
- 3) Eliminácia skokov (predpoklad lineárnej rýchlosti)
- objektívne aj subjektívne určené skoky na základe grafiky
- 4) Eliminácia vybočujúcich meraní (subjektívne na základe grafického vyobrazenia + merania sa anténami použitými iba jeden krát na bode)
- 5) Odhad rýchlostí (lineárna regresia)
- iba zo spoľahlivých meraní



$$y_a = kx_a + q_a$$

$$y_b = kx_b + q_b$$

$$k = \text{konšt.}$$

$$\text{skok} = q_a - q_b$$



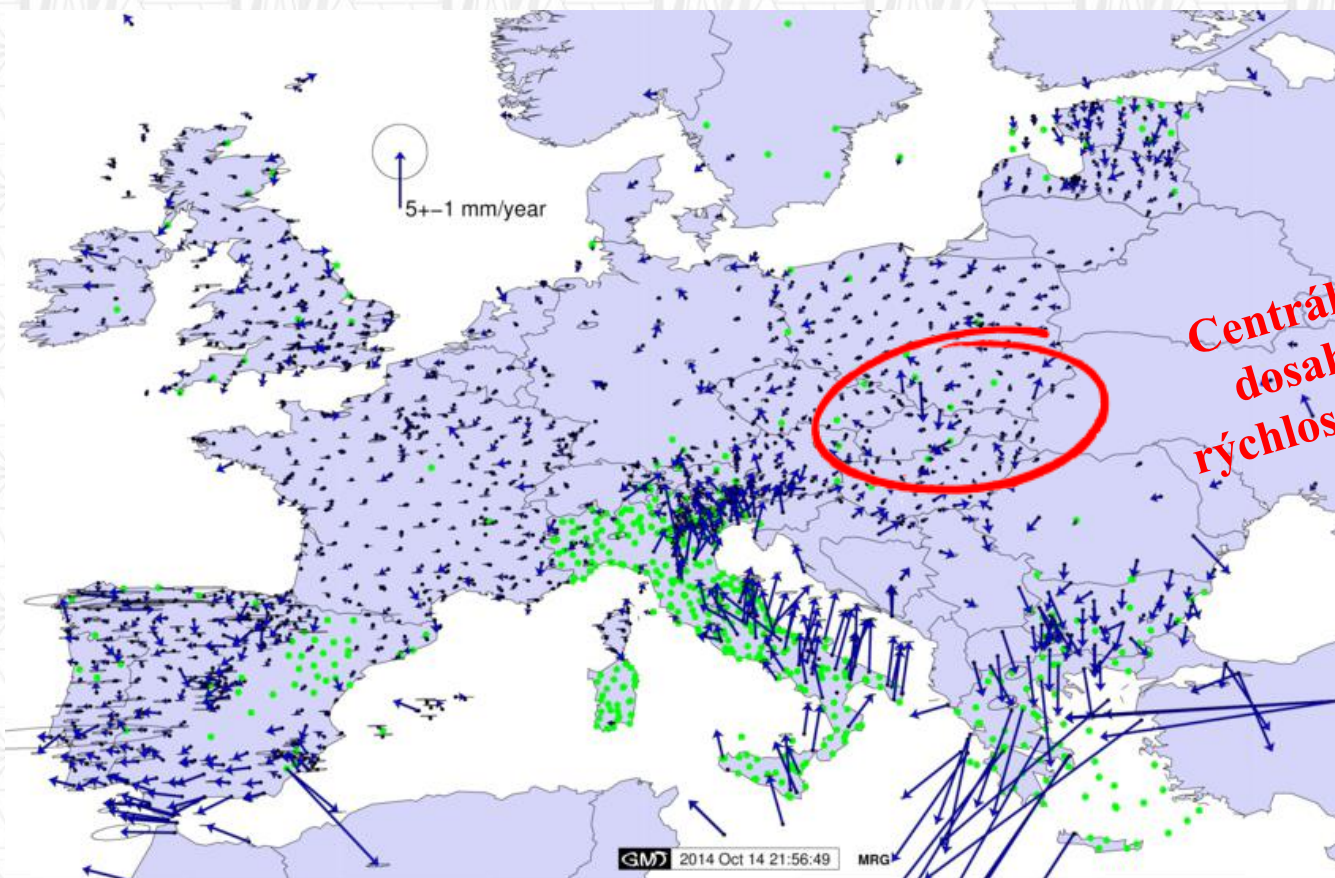
Odhad ročných zmien súradníc – rýchlosti

Základné predpoklady a podmienky

- Záujem o reálne výsledky - uváženie troch základných predpokladov a podmienok:
 - predpoklad minimálnych horizontálnych a vertikálnych rýchlosti na všetkých bodoch LGS Tatry,
 - odhad reálnej štandardnej neistoty odhadu ročných rýchlosti epochových (kampaňových) meraní na základe porovnania s odhadom ročných zmien rýchlosti z permanentných meraní,
 - nutnosť uváženia zmien prístrojového vybavenia na všetkých bodoch (predpoklad skokov).

Predpoklad minimálnych až nulových horizontálnych pohybov na všetkých bodoch

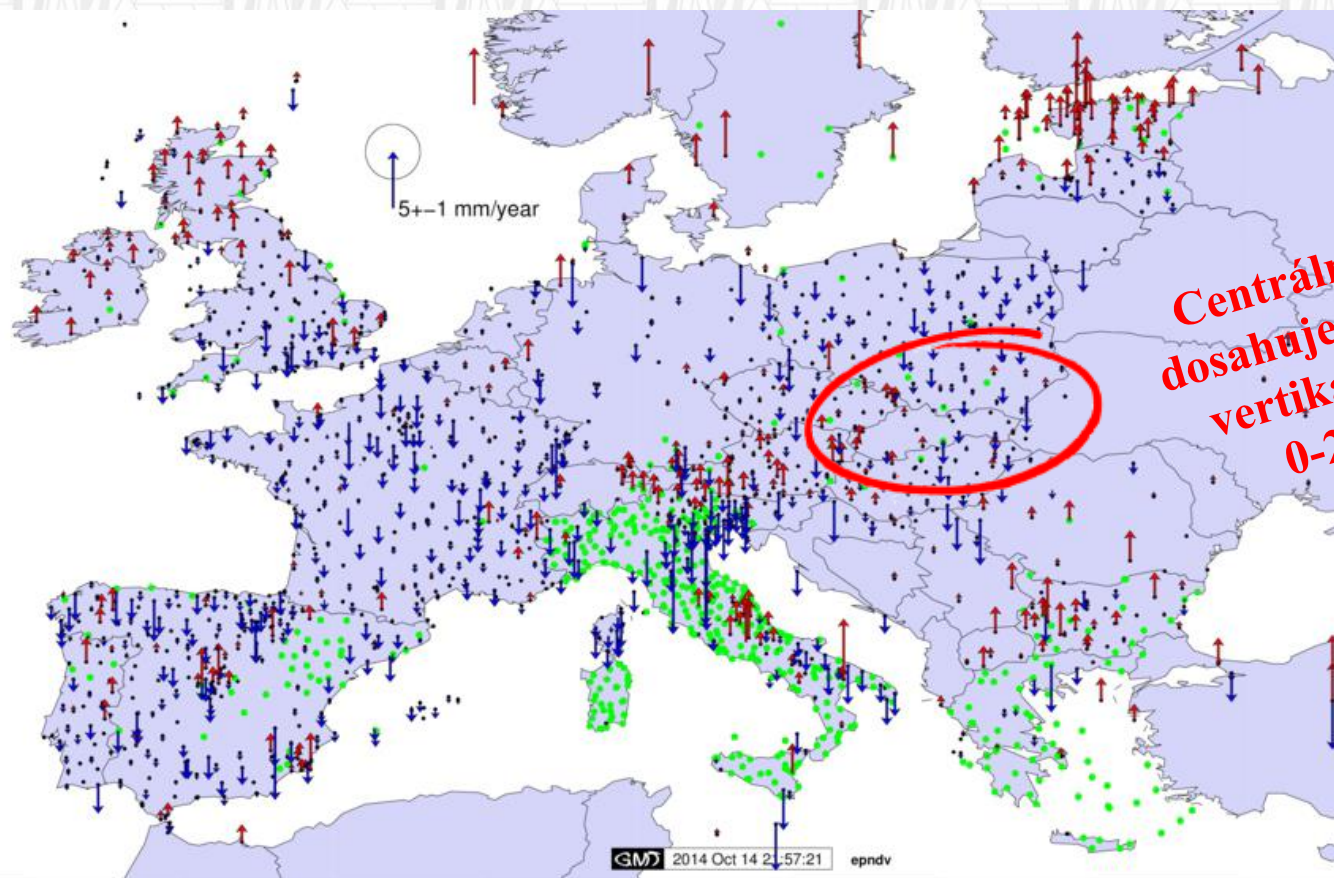
- Horizontálne vnútroplatňové rýchlosti permanentných staníc observujúcich dlhšie ako 3 roky – zdroj: A.Kenyeres (projekt ECC resp. EPN Densification)



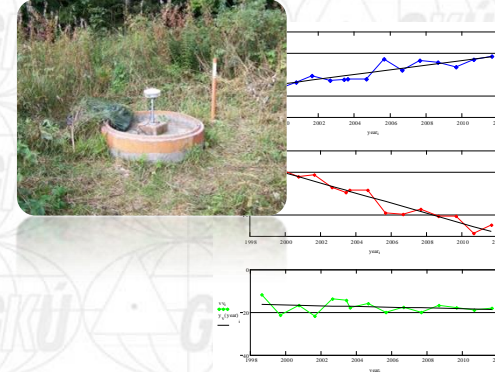
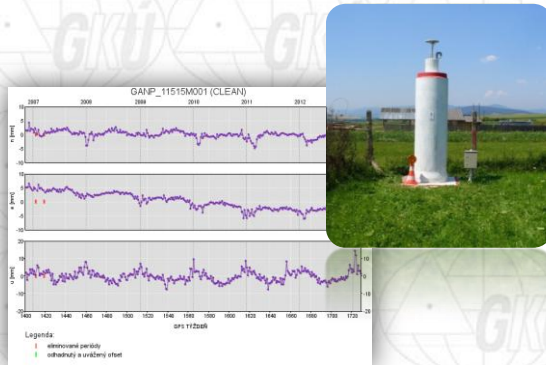
**Centrálne Európa
dosahuje „HZ“
rýchlosti 0-1 mm/rok**

Predpoklad minimálnych až nulových vertikálnych pohybov na všetkých bodoch

- Vertikálne vnútroplatňové rýchlosti permanentných staníc observujúcich dlhšie ako 3 roky – zdroj: A.Kenyeres (projekt ECC resp. EPN Densification)

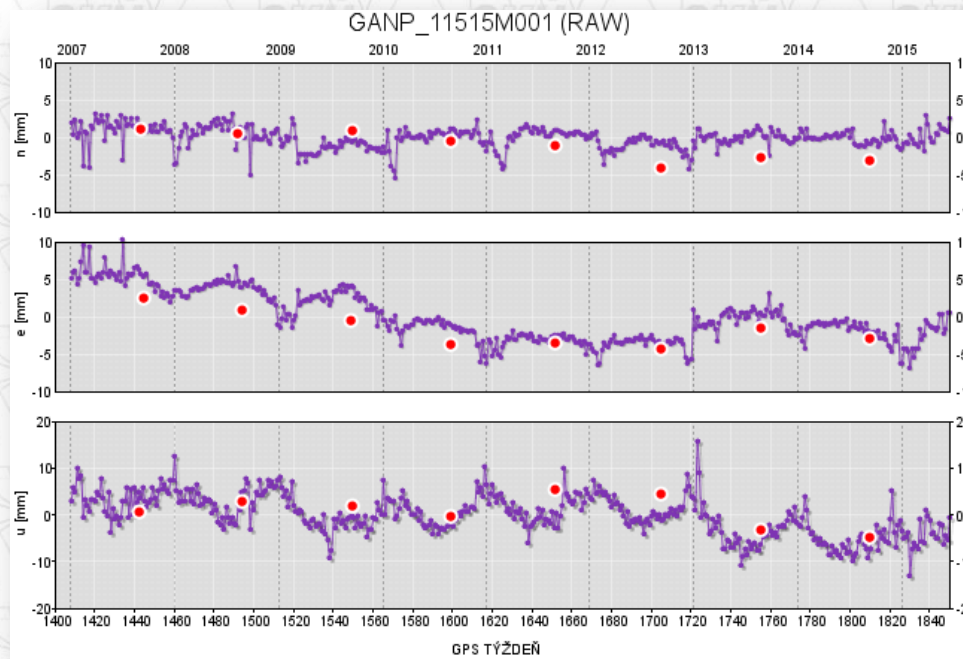


EPOCHOVÉ (KAMPAŇOVÉ) MERANIA VERZUS PERMANENTNÉ MERANIA



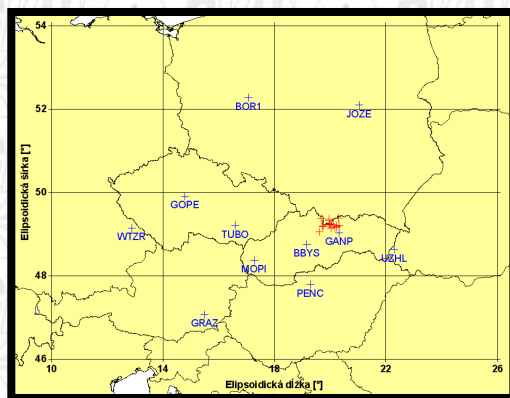
- v regióne Tatier je problém vybudovať permanentné stanice na náročne dostupných miestach => nutnosť epochových meraní
- *Otázka: Je kvalita epochových meraní a spracované výsledky z nich porovnateľná s kvalitou výsledkov z permanentných meraní a ak áno na akej úrovni?*
- Jediná možnosť overenia cez identické epochové/permanentné stanice:
 - porovnanie permanentných observácií počítaných ako epochové pre obdobie kampane
 - porovnanie odhadnutých rýchlostí z epochových meraní voči presným odhadom rýchlostí z permanentných meraní

Porovnanie permanentných observácií počítaných ako



- Odhalené malé rozdiely
- Možné príčiny rozdielov:
 - rozdielne definované základnice,
 - iný počet použitých EPN bodov a ich konfigurácia,
 - rozdiel v orbitách
- Vhodnejšie porovnať odhadnuté polohové zmeny = rýchlosti

Porovnanie odhadnutých rýchlostí z epochových meraní voči presným odhadom rýchlostí z permanentných meraní (EPN)



	LGS Tatry						EPN						EPN - LGS Tatry		
	n (mm/y)	σ_n (mm/y)	e (mm/y)	σ_e (mm/y)	u (mm/y)	σ_u (mm/y)	n (mm/y)	σ_n (mm/y)	e (mm/y)	σ_e (mm/y)	u (mm/y)	σ_u (mm/y)	Δn (mm/y)	Δe (mm/y)	Δu (mm/y)
BBYS	0,2	0,05	-0,6	0,07	-1,3	0,21	0,2	0,01	-0,8	0,02	-0,9	0,26	-0,05	-0,24	0,36
BOR1	0,0	0,05	-0,6	0,05	-1,1	0,11	0,0	0,00	-0,7	0,01	-0,5	0,10	0,08	-0,03	0,60
GANP	0,2	0,24	-1,8	0,13	-1,8	0,71	-0,1	0,01	-1,5	0,01	-2,4	0,16	-0,35	0,31	-0,52
GOPE	0,3	0,06	-0,5	0,06	-0,1	0,18	0,1	0,01	-0,5	0,02	-0,5	0,20	-0,15	0,07	-0,40
GRAZ	0,8	0,04	-0,1	0,05	-1,3	0,16	0,9	0,00	0,0	0,01	-1,1	0,12	0,12	0,05	0,21
JOZE	0,2	0,08	-0,5	0,11	-0,2	0,11	0,3	0,00	-0,6	0,00	0,0	0,07	0,07	-0,09	0,14
MOPI	0,1	0,07	0,1	0,09	-0,8	0,38	0,6	0,00	-0,3	0,00	1,0	0,12	0,48	-0,41	1,85
PENC	0,4	0,08	0,2	0,04	-0,5	0,39	0,3	0,01	0,1	0,01	-1,2	0,13	-0,02	-0,08	-0,72
TUBO	0,2	0,04	-0,1	0,06	1,0	0,18	0,3	0,01	-0,5	0,02	-0,5	0,17	0,07	-0,38	-1,43
UZHL	-0,4	0,05	-1,0	0,05	-1,2	0,14	-0,2	0,00	-0,8	0,00	-1,3	0,15	0,20	0,21	-0,11
WTZR	0,1	0,04	-0,4	0,07	-0,9	0,13	0,3	0,00	-0,4	0,01	-0,8	0,05	0,18	-0,07	0,15

Určenie reálnej štandardnej neistoty odhadu rýchlosti z epochových meraní

	LGS Tatry						EPN						EPN - LGS Tatry		
	n (mm/y)	σ_n (mm/y)	e (mm/y)	σ_e (mm/y)	u (mm/y)	σ_u (mm/y)	n (mm/y)	σ_n (mm/y)	e (mm/y)	σ_e (mm/y)	u (mm/y)	σ_u (mm/y)	Δn (mm/y)	Δe (mm/y)	Δu (mm/y)
BBYS	0,2	0,05	-0,6	0,07	-1,3	0,21	0,2	0,01	-0,8	0,02	-0,9	0,26	-0,05	-0,24	0,36
BOR1	0,0	0,05	-0,6	0,05	-1,1	0,11	0,0	0,00	-0,7	0,01	-0,5	0,10	0,08	-0,03	0,60
GANP	0,2	0,24	-1,8	0,13	-1,8	0,71	-0,1	0,01	-1,5	0,01	-2,4	0,16	-0,35	0,31	-0,52
GOPE	0,3	0,06	-0,5	0,06	-0,1	0,18	0,1	0,01	-0,5	0,02	-0,5	0,20	-0,15	0,07	-0,40
GRAZ	0,8	0,04	-0,1	0,05	-1,3	0,16	0,9	0,00	0,0	0,01	-1,1	0,12	0,12	0,05	0,21
JOZE	0,2	0,08	-0,5	0,11	-0,2	0,11	0,3	0,00	-0,6	0,00	0,0	0,07	0,07	-0,09	0,14
MOPI	0,1	0,07	0,1	0,09	-0,8	0,38	0,6	0,00	-0,3	0,00	1,0	0,12	0,48	-0,41	1,85
PENC	0,4	0,08	0,2	0,04	-0,5	0,39	0,3	0,01	0,1	0,01	-1,2	0,13	-0,02	-0,08	-0,72
TUBO	0,2	0,04	-0,1	0,06	1,0	0,18	0,3	0,01	-0,5	0,02	-0,5	0,17	0,07	-0,38	-1,43
UZHL	-0,4	0,05	-1,0	0,05	-1,2	0,14	-0,2	0,00	-0,8	0,00	-1,3	0,15	0,20	0,21	-0,11
WTZR	0,1	0,04	-0,4	0,07	-0,9	0,13	0,3	0,00	-0,4	0,01	-0,8	0,05	0,18	-0,07	0,15

- Rozdiely „EPN – LGS Tatry“ považujeme za skutočné chyby $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon}{n}}$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum \Delta n \Delta n}{n}} \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{\sum \Delta e \Delta e}{n}} \quad \sigma_u = \sqrt{\frac{\sum \Delta u \Delta u}{n}}$$

- Štandardné neistoty odhadnutých rýchlostí z epochových meraní potom sú:
 $\sigma_n = 0.21 \text{ mm/rok}$, $\sigma_e = 0.22 \text{ mm/rok}$, $\sigma_u = 0.80 \text{ mm/rok}$

Zmeny prístrojového vybavenia

- na každom bode LGS Tatry došlo v priebehu doterajších kampaní k zmene, alebo viacerým zmenám v použitom type prijímača a antény



Hrebienok



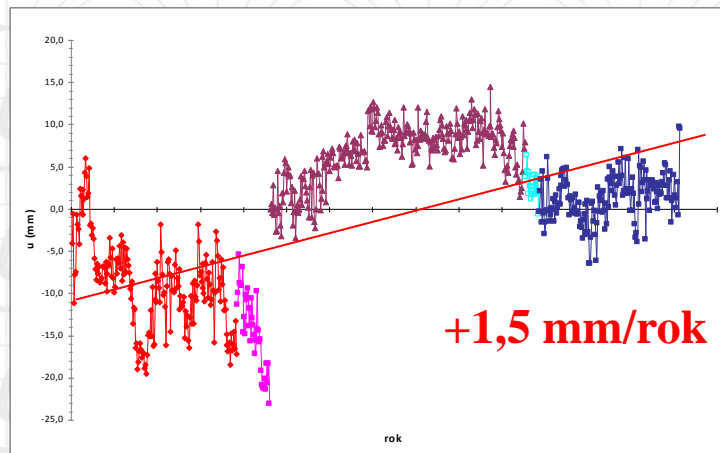
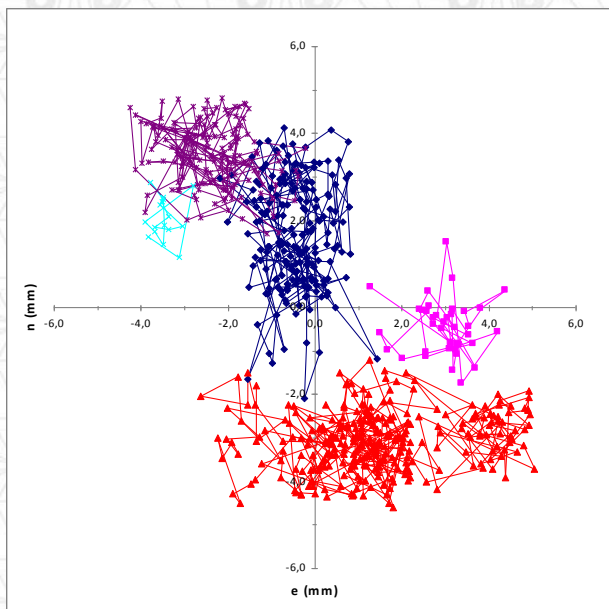
rok	GPS week	anténa	č. antény
1998	973	TRM22020.00+GP	3601
1999	1028	TRM22020.00+GP	3530
2000	1083	TRM22020.00+GP	1129
2001	1130	TRM22020.00+GP	1129
2002	1182	TRM22020.00+GP	3530
2003	1223	TRM22020.00+GP	1129
2004	1287	TRM22020.00+GP	5088
2005	1339	TRM22020.00+GP	3530
2006	1391	TRM14532.00	1
2007	1443	TRM22020.00+GP	37
2008	1495	TRM22020.00+GP	3601
2009	1548	TRM22020.00+GP	3601
2010	1600	TRM22020.00+GP	3601
2011	1652	TRMR8_GNSS	8788
2012	1704	TRMR8_GNSS	8788
2013	1756	TRMR8_GNSS	8788
2014	1808	TRMR8_GNSS	8788

- je nutné uvážiť tejto zmeny pri odhade ročných rýchlostí, aby nedošlo k skresleniu výsledkov a ich interpretácie

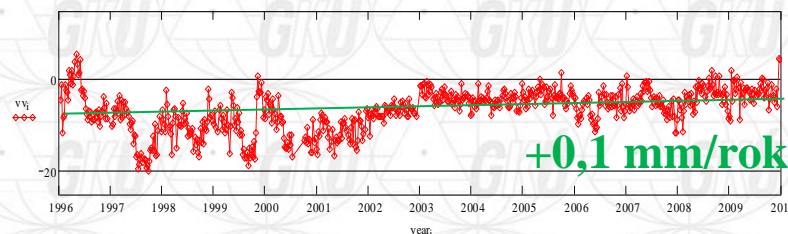
Ako sa prejavujú zmeny prístrojového vybavenia

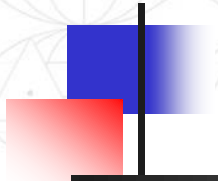
- Ukážka vplyvu zmeny prístrojového vybavenia na EPN permanentnej stanici GOPE (Pecný)

TRM14532.00	NONE
ASH701073.3	SNOW
ASH701946.3	SNOW
TPSCR3_GGD	CONE
TPSCR.G3	CONE



- po odstránení skokov:



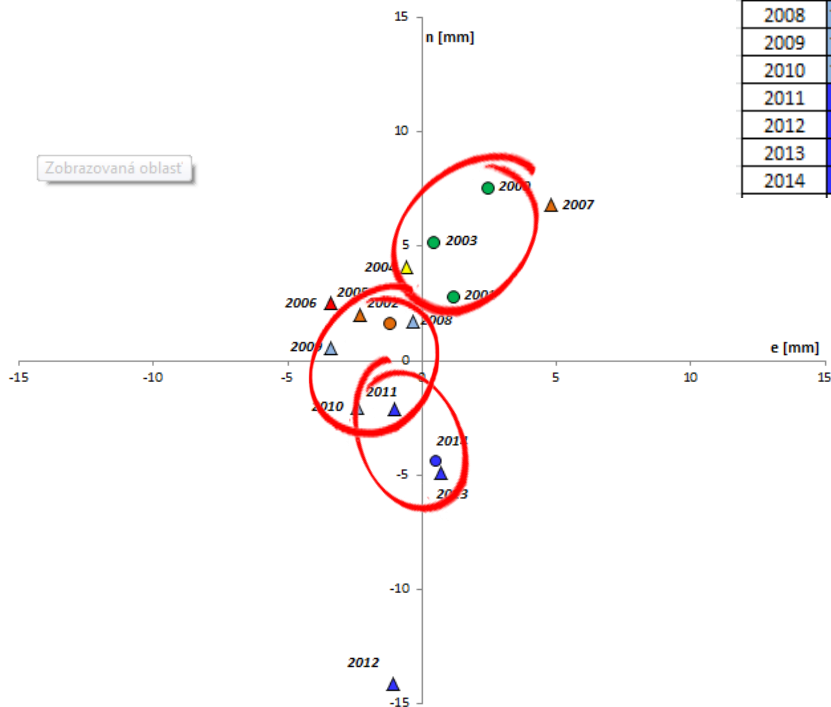


Skúsenosti zo spracovania

Očakávaný „efekt zgrupovania“ výsledných polôh a výšok pri rovnakých typoch antén

Hrebienok

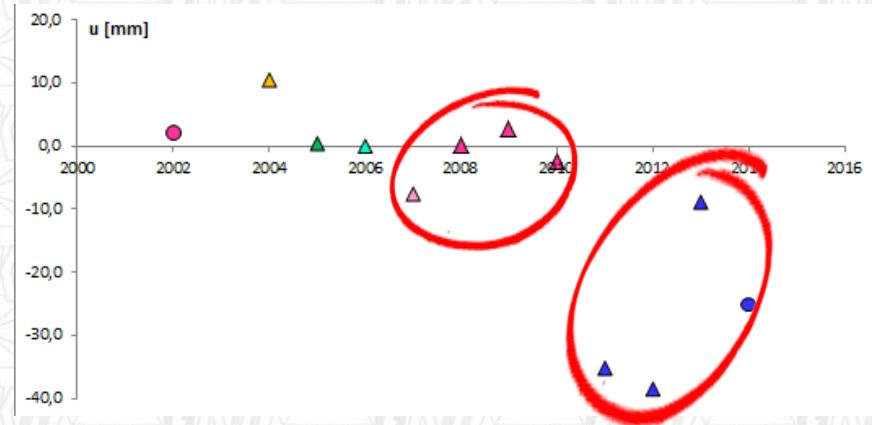
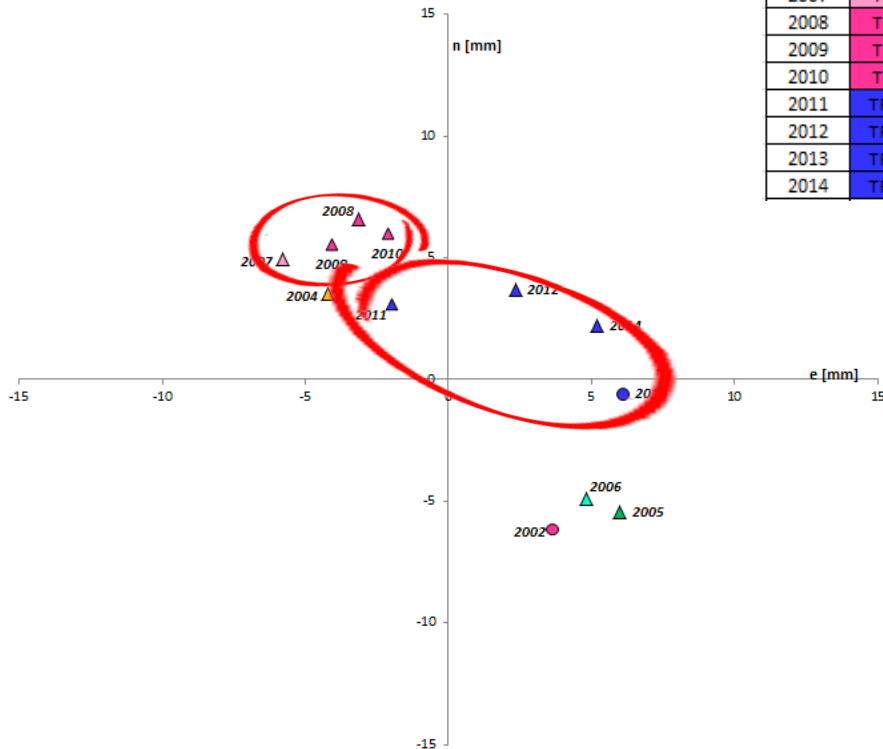
2000	TRM22020.00+GP	1129
2001	TRM22020.00+GP	1129
2002	TRM22020.00+GP	3530
2003	TRM22020.00+GP	1129
2004	TRM22020.00+GP	5088
2005	TRM22020.00+GP	3530
2006	TRM14532.00	1
2007	TRM22020.00+GP	37
2008	TRM22020.00+GP	3601
2009	TRM22020.00+GP	3601
2010	TRM22020.00+GP	3601
2011	TRMR8_GNSS	8788
2012	TRMR8_GNSS	8788
2013	TRMR8_GNSS	8788
2014	TRMR8_GNSS	8788



Očakávaný „efekt zgrupovania“ výsledných polôh a výšok pri rovnakých typoch antén

Tatranská Kotlina

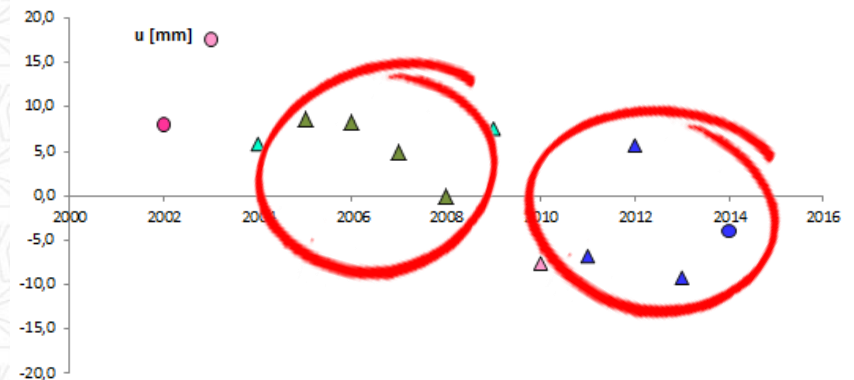
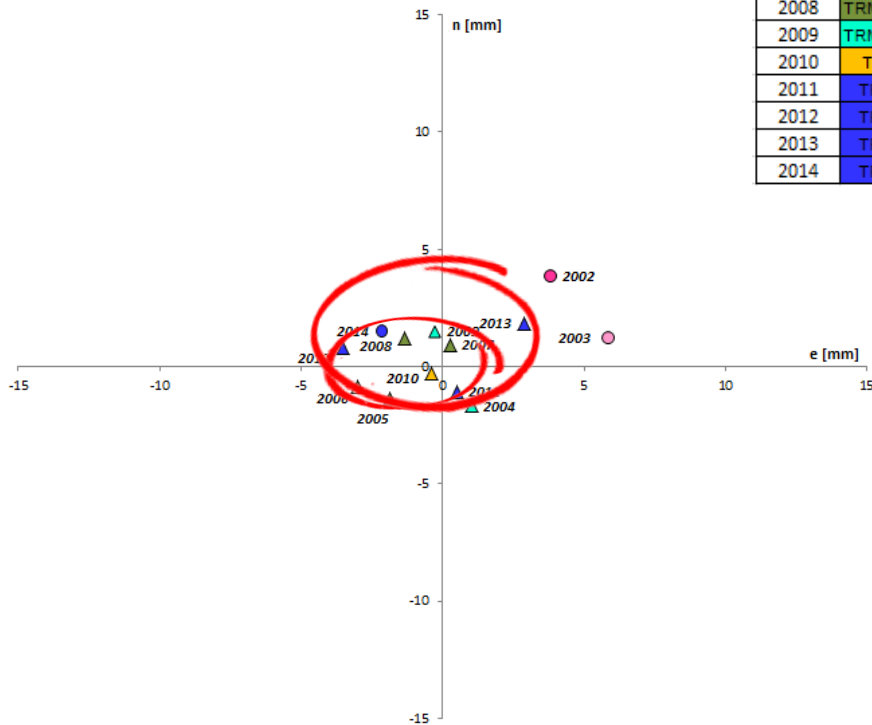
2002	TRM14532.00	1
2003	TRM14532.00	1
2004	TRM33429.00-GP	2120
2005	TRM33429.00+GP	3840
2006	TRM22020.00+GP	1129
2007	TRM14532.00	2
2008	TRM14532.00	1
2009	TRM14532.00	1
2010	TRM14532.00	1
2011	TRMR8_GNSS	6113
2012	TRMR8_GNSS	6113
2013	TRMR8_GNSS	6113
2014	TRMR8_GNSS	6113



Očakávaný „efekt zgrupovania“ výsledných polôh a výšok pri rovnakých typoch antén

Bielovodská dolina

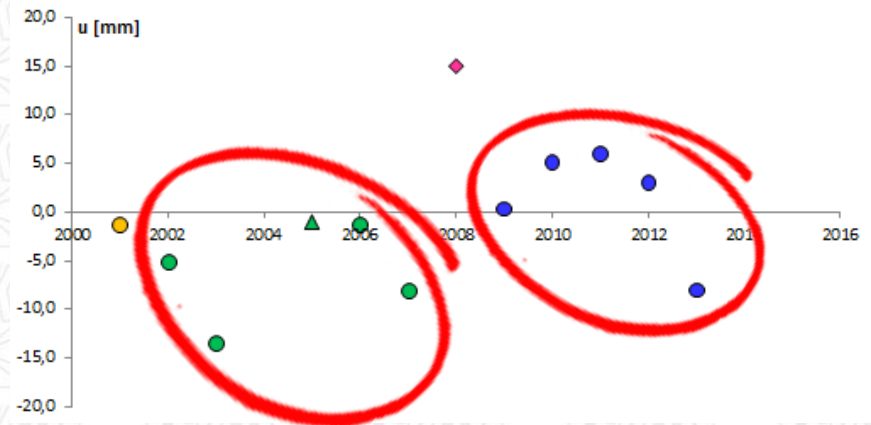
2002	TRM22020.00+GP	3801
2003	TRM22020.00+GP	5088
2004	TRM33429.00+GP	3839
2005	TRM33429.00+GP	3841
2006	TRM33429.00+GP	3841
2007	TRM33429.00+GP	3841
2008	TRM33429.00+GP	3841
2009	TRM33429.00+GP	3839
2010	TRM41249.00	79113
2011	TRMR8_GNSS	6140
2012	TRMR8_GNSS	6140
2013	TRMR8_GNSS	6140
2014	TRMR8_GNSS	6140



Očakávaný „efekt zgrupovania“ výsledných polôh a výšok pri rovnakých typoch antén

Niwky

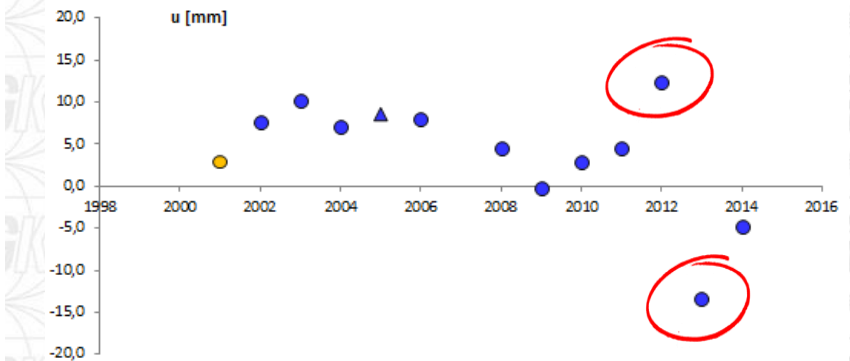
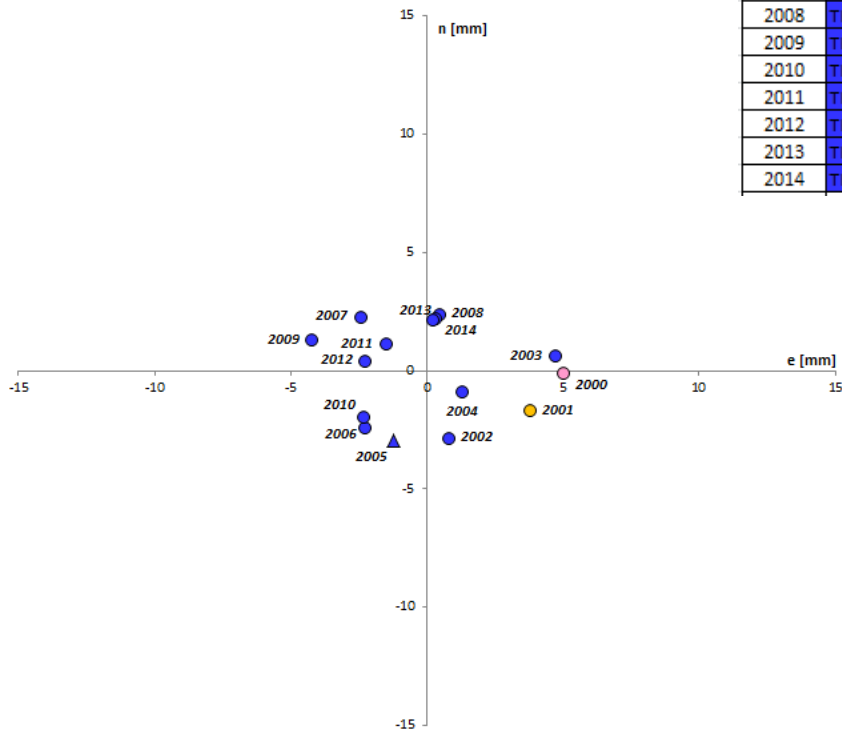
2001	TRM33429.00+GP	5367
2002	TRM33429.00+GP	2843
2003	TRM33429.00+GP	2843
2004	TRM33429.00+GP	2843
2005	TRM33429.00+GP	2843
2006	TRM33429.00+GP	2843
2007	TRM33429.00+GP	2843
2008	LEIATX1230GG	-
2009	TRM33429.00+GP	5367
2010	TRM33429.00+GP	5367
2011	TRM33429.00+GP	5367
2012	TRM33429.00+GP	5367
2013	TRM33429.00+GP	5367
2014	TRM33429.00+GP	5367



Výskyt odláhlých meraní („u“ komponent)

Hala Gasienicowa

2000	TRM22020.00+GP	0
2001	TRM33429.00+GP	5363
2002	TRM33429.00+GP	1828
2003	TRM33429.00+GP	1828
2004	TRM33429.00+GP	1828
2005	TRM33429.00+GP	1828
2006	TRM33429.00+GP	1828
2007	TRM33429.00+GP	1828
2008	TRM33429.00+GP	1828
2009	TRM33429.00+GP	1828
2010	TRM33429.00+GP	1828
2011	TRM33429.00+GP	1828
2012	TRM33429.00+GP	1828
2013	TRM33429.00+GP	1828
2014	TRM33429.00+GP	1828

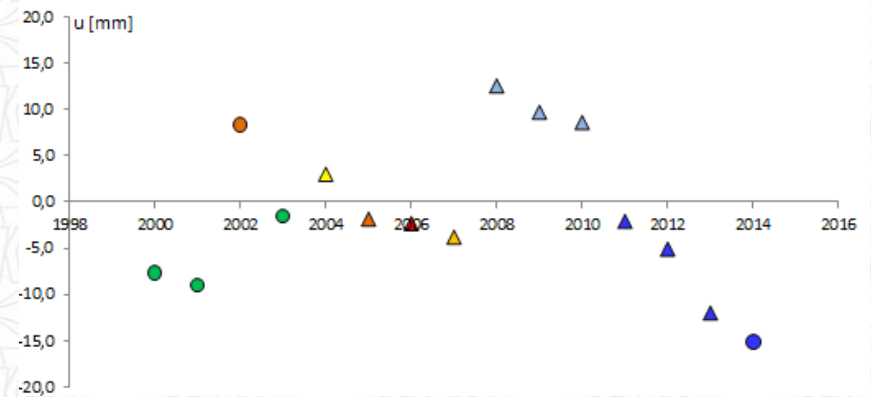
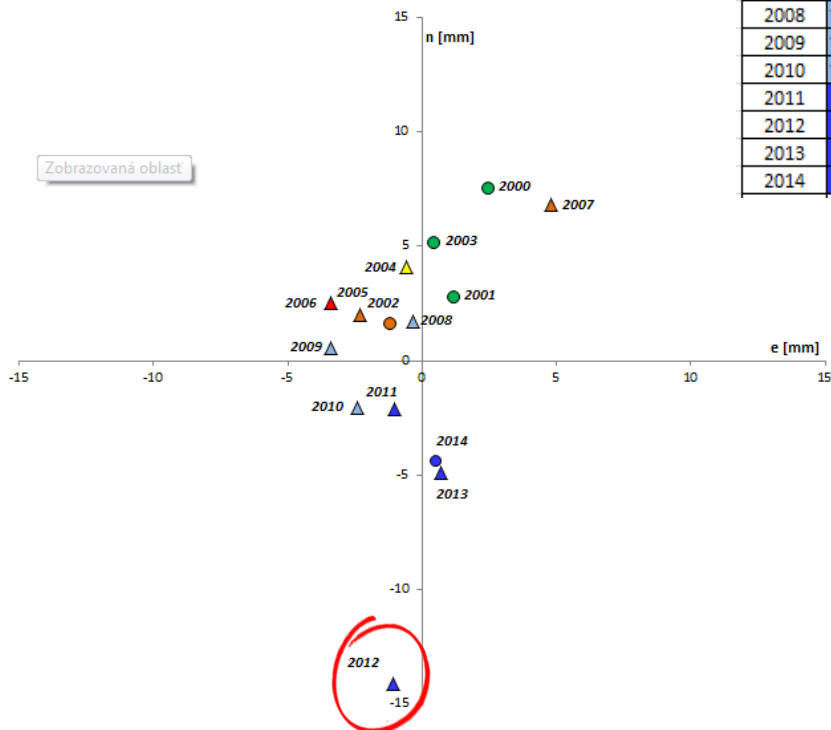


príčina neznáma

Výskyt odláhlých meraní („ne“ komponent)

Hrebienok

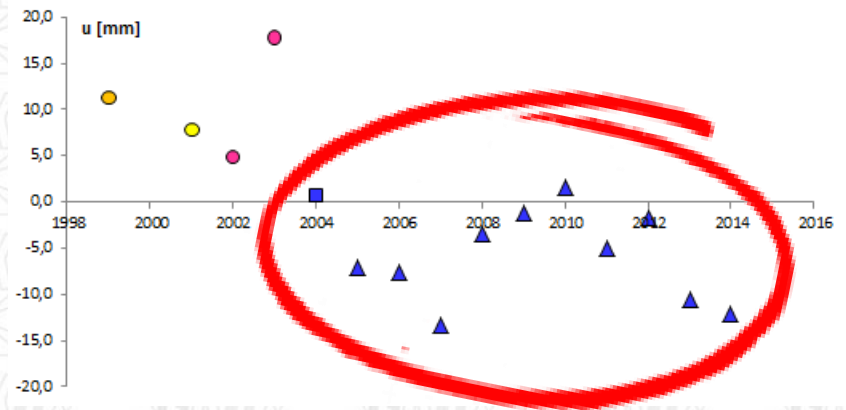
2000	TRM22020.00+GP	1129
2001	TRM22020.00+GP	1129
2002	TRM22020.00+GP	3530
2003	TRM22020.00+GP	1129
2004	TRM22020.00+GP	5088
2005	TRM22020.00+GP	3530
2006	TRM14532.00	1
2007	TRM22020.00+GP	37
2008	TRM22020.00+GP	3601
2009	TRM22020.00+GP	3601
2010	TRM22020.00+GP	3601
2011	TRMR8_GNSS	8788
2012	TRMR8_GNSS	8788
2013	TRMR8_GNSS	8788
2014	TRMR8_GNSS	8788



Vysoká stabilita meraní permanentných staníc vystupujúcich epochovo

Lomnický štít

1998	TRM22020.00+GP	5148
1999	TRM22020.00+GP	5154
2001	TRM22020.00+GP	5148
2002	TRM33429.00+GP	3839
2003	TRM33429.00+GP	3839
2004	TRM41249.00	6394
2005	TRM41249.00	6394
2006	TRM41249.00	6394
2007	TRM41249.00	6394
2008	TRM41249.00	6394
2009	TRM41249.00	6394
2010	TRM41249.00	6394
2011	TRM41249.00	6394
2012	TRM41249.00	6394
2013	TRM41249.00	6394
2014	TRM41249.00	6394

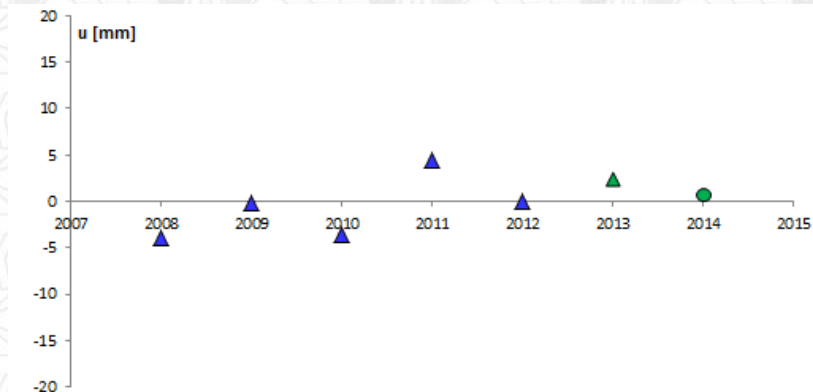
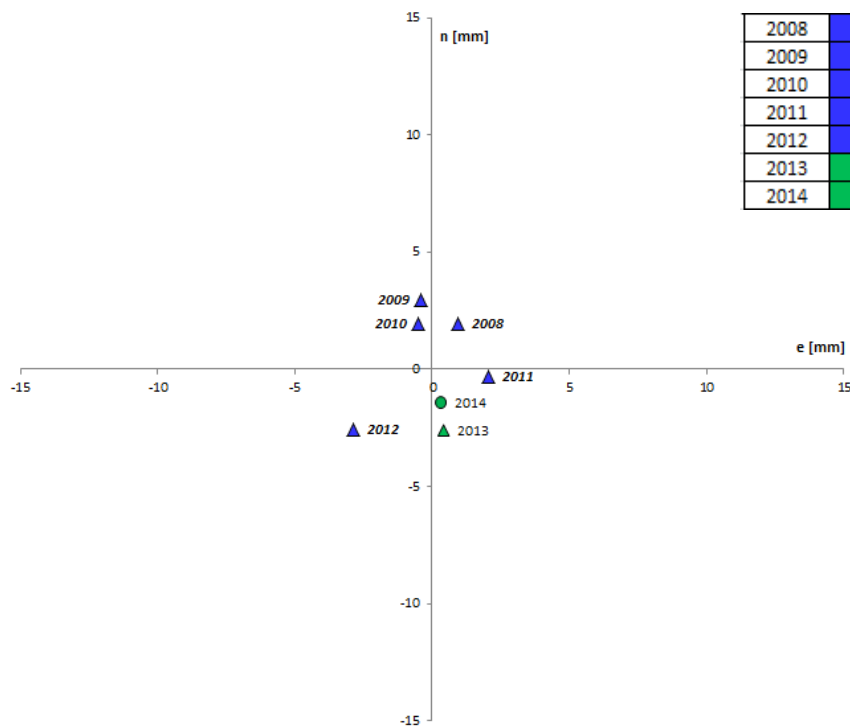


Vysoká stabilita meraní permanentných staníc vystupujúcich epochovo

Liesek



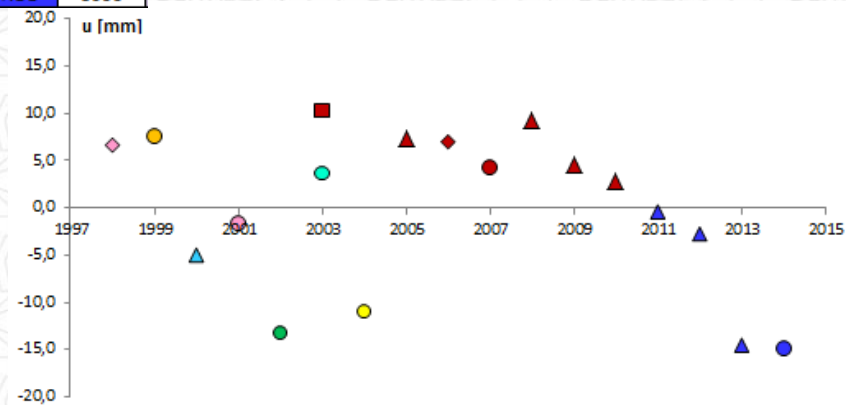
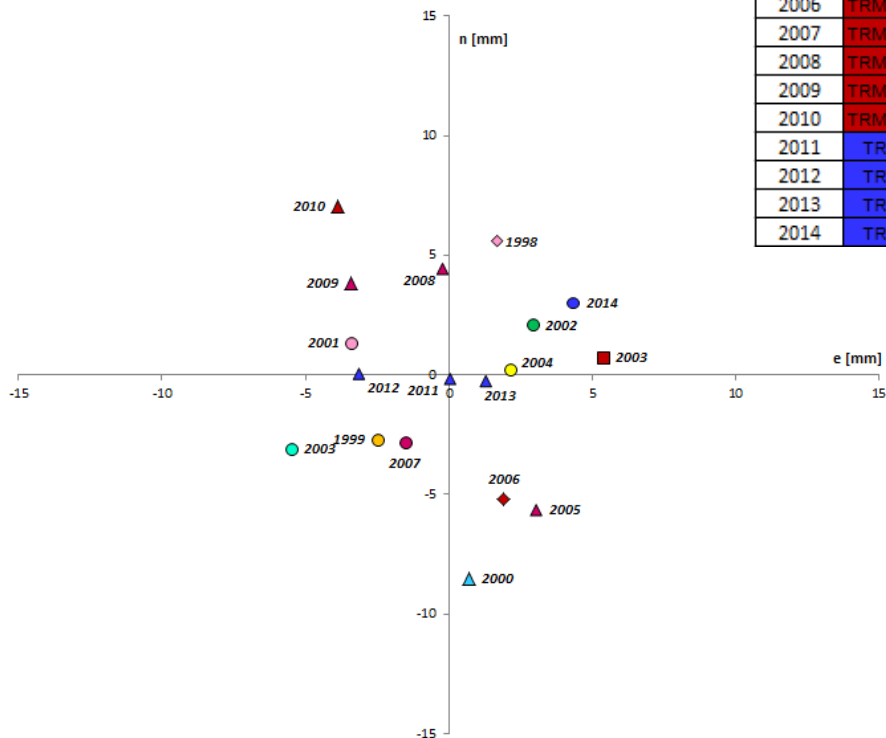
2008	TRM55971.00	7208
2009	TRM55971.00	7208
2010	TRM55971.00	7208
2011	TRM55971.00	7208
2012	TRM55971.00	7208
2013	TRM29659.00	7208
2014	TRM29659.00	7208



Efekt „veľakrát zmenené príslušenstvo = veľký rozptyl“

Skalnaté pleso

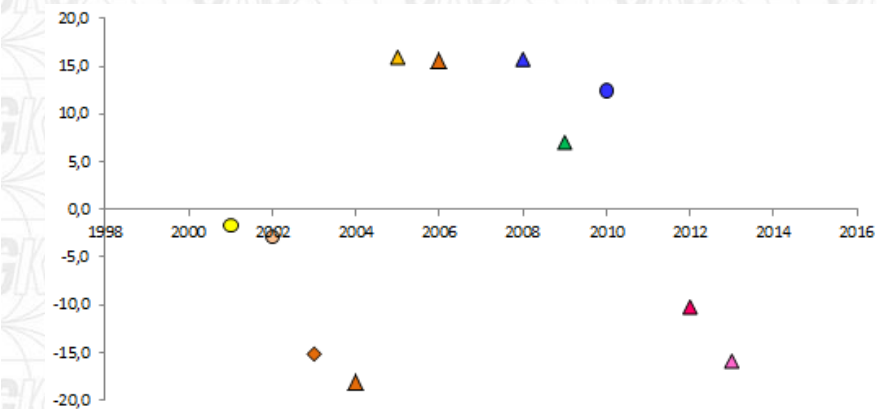
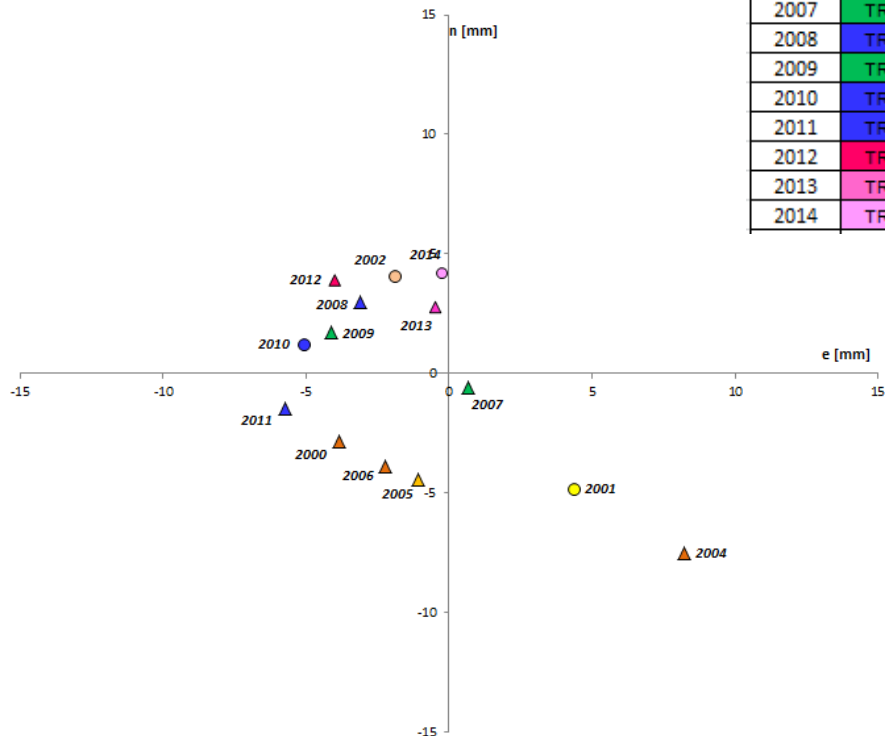
1998	TRM22020.00+GP	5154
1999	TRM22020.00+GP	5148
2000	TRM22020.00+GP	23601
2001	TRM22020.00+GP	5154
2002	TRM33429.00+GP	3840
2003	TRM22020.00+GP	62899
2003	TRM33429.00-GP	2120
2004	TRM41249.00	9900
2005	TRM22020.00+GP	62899
2006	TRM22020.00+GP	62899
2007	TRM22020.00+GP	62899
2008	TRM22020.00+GP	62899
2009	TRM22020.00+GP	62899
2010	TRM22020.00+GP	62899
2011	TRMR8_GNSS	3985
2012	TRMR8_GNSS	3985
2013	TRMR8_GNSS	3985
2014	TRMR8_GNSS	3985



Efekt „veľakrát zmenené príslušenstvo = veľký rozptyl“

Sliezsky dom

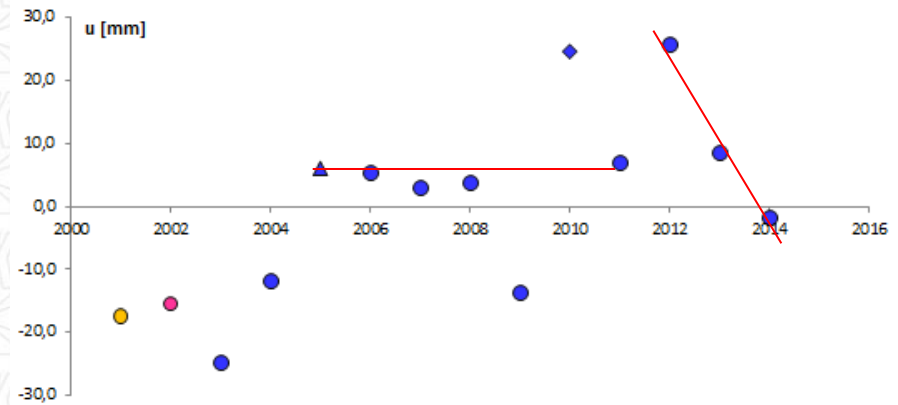
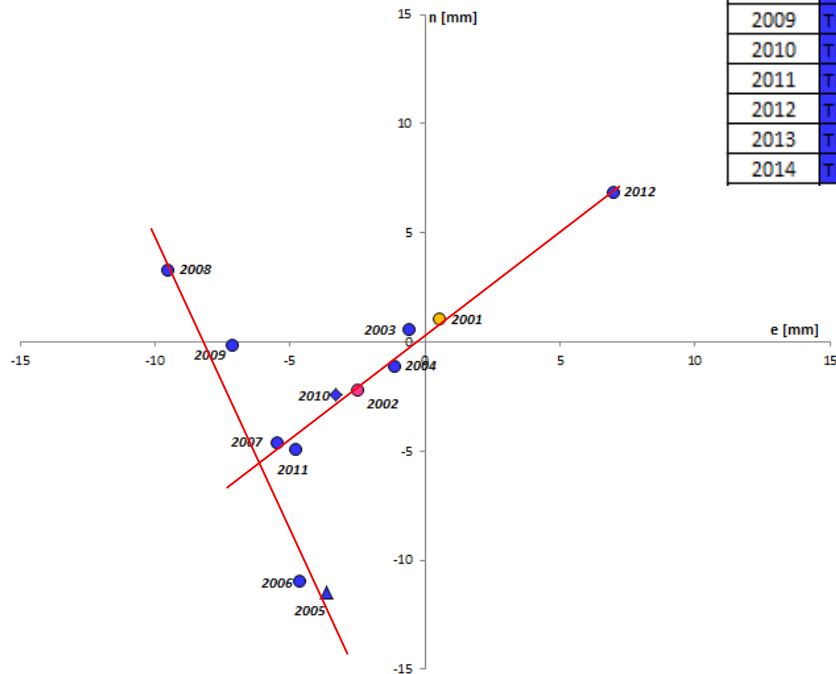
1998	ASHTech	648
1999	TRM22020.00+GP	1129
2000	TRM22020.00+GP	3530
2001	TRM22020.00+GP	5088
2002	TRM22020.00+GP	1129
2003	TRM22020.00+GP	3530
2004	TRM22020.00+GP	3530
2005	TRM22020.00+GP	3601
2006	TRM22020.00+GP	3530
2007	TRM29659.00	5985
2008	TRM29659.00	7436
2009	TRM29659.00	5985
2010	TRM29659.00	7436
2011	TRM29659.00	7436
2012	TRM55971.00	6860
2013	TRM55971.00	7391
2014	TRM55971.00	1945



Anomálne správanie („ne“ komponent)

Gubalowka

2001	TRM33429.00+GP	2843
2002	TRM33429.00+GP	2545
2003	TRM33429.00+GP	2542
2004	TRM33429.00+GP	2542
2005	TRM33429.00+GP	2542
2006	TRM33429.00+GP	2542
2007	TRM33429.00+GP	2542
2008	TRM33429.00+GP	2542
2009	TRM33429.00+GP	2542
2010	TRM33429.00+GP	2542
2011	TRM33429.00+GP	2542
2012	TRM33429.00+GP	2542
2013	TRM33429.00+GP	2542
2014	TRM33429.00+GP	2542



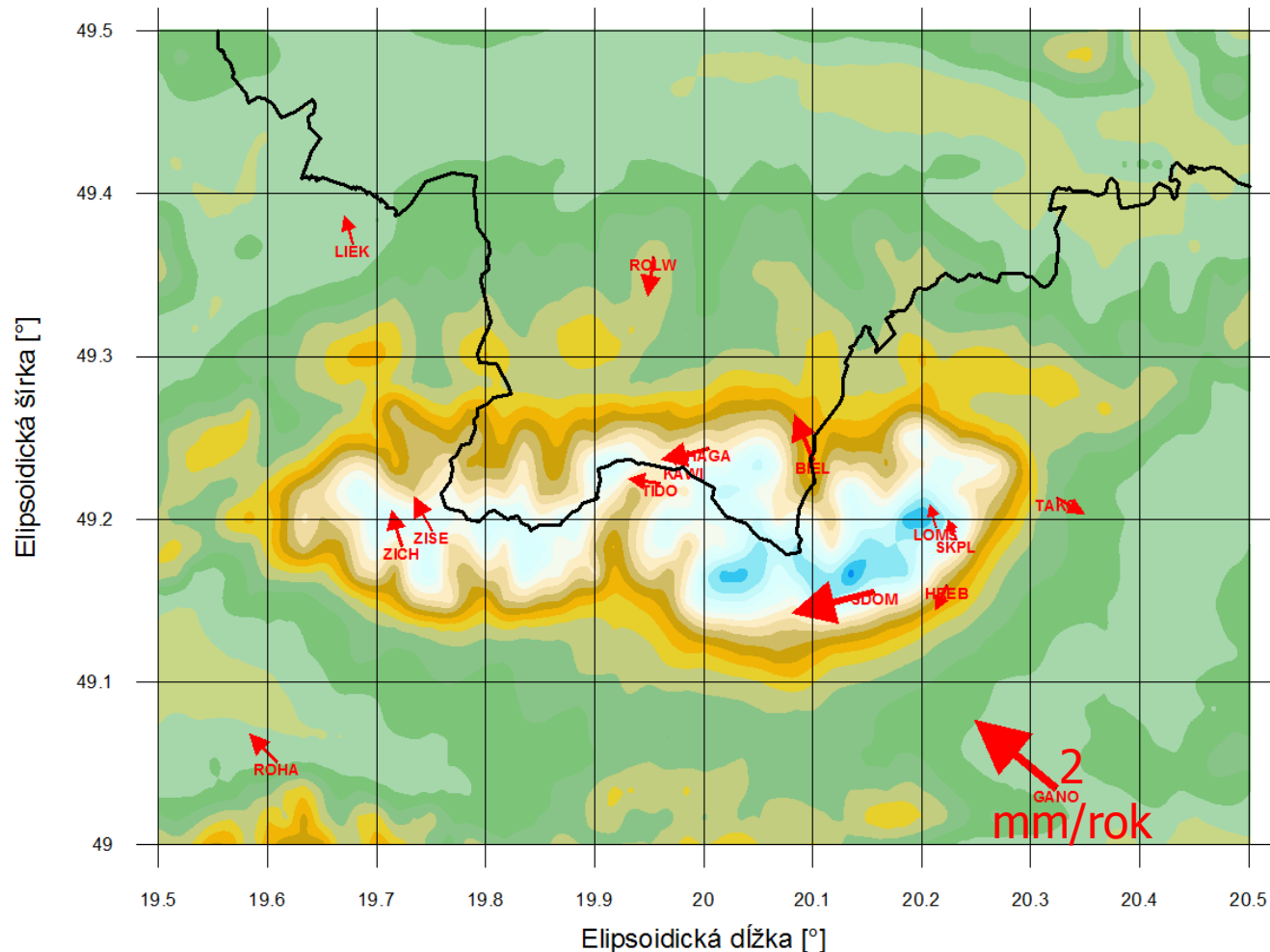
Odhadnuté horizontálne rýchlosti (použitie iba spoľahlivé merania)

	n (mm/y)	σ_n (mm/y)	e (mm/y)	σ_e (mm/y)
BIEL	0,8	0,09	-0,3	0,37
GANO	1,2	0,13	-1,5	0,11
HAGA	-0,2	0,11	-0,9	0,13
HREB	-0,4	0,24	-0,2	0,27
KAWI	0,1	0,14	-0,2	0,24
LIEK	0,5	0,18	-0,2	0,11
LOMS	0,4	0,25	-0,1	0,24
ROHA	0,5	0,09	-0,5	0,13
ROLW	-0,7	1,66	-0,1	2,92
SDOM	-0,4	1,39	-1,5	0,77
SKPL	0,4	0,39	-0,1	0,18
TAKO	-0,3	0,73	0,5	1,45
TIDO	0,1	0,14	-0,6	0,14
ZICH	0,7	0,28	-0,2	0,14
ZISE	0,6	0,28	-0,3	0,18

Odhadnuté štandardné
neistoty

$$\sigma_n = 0.21 \text{ mm/rok}$$

$$\sigma_e = 0.22 \text{ mm/rok}$$

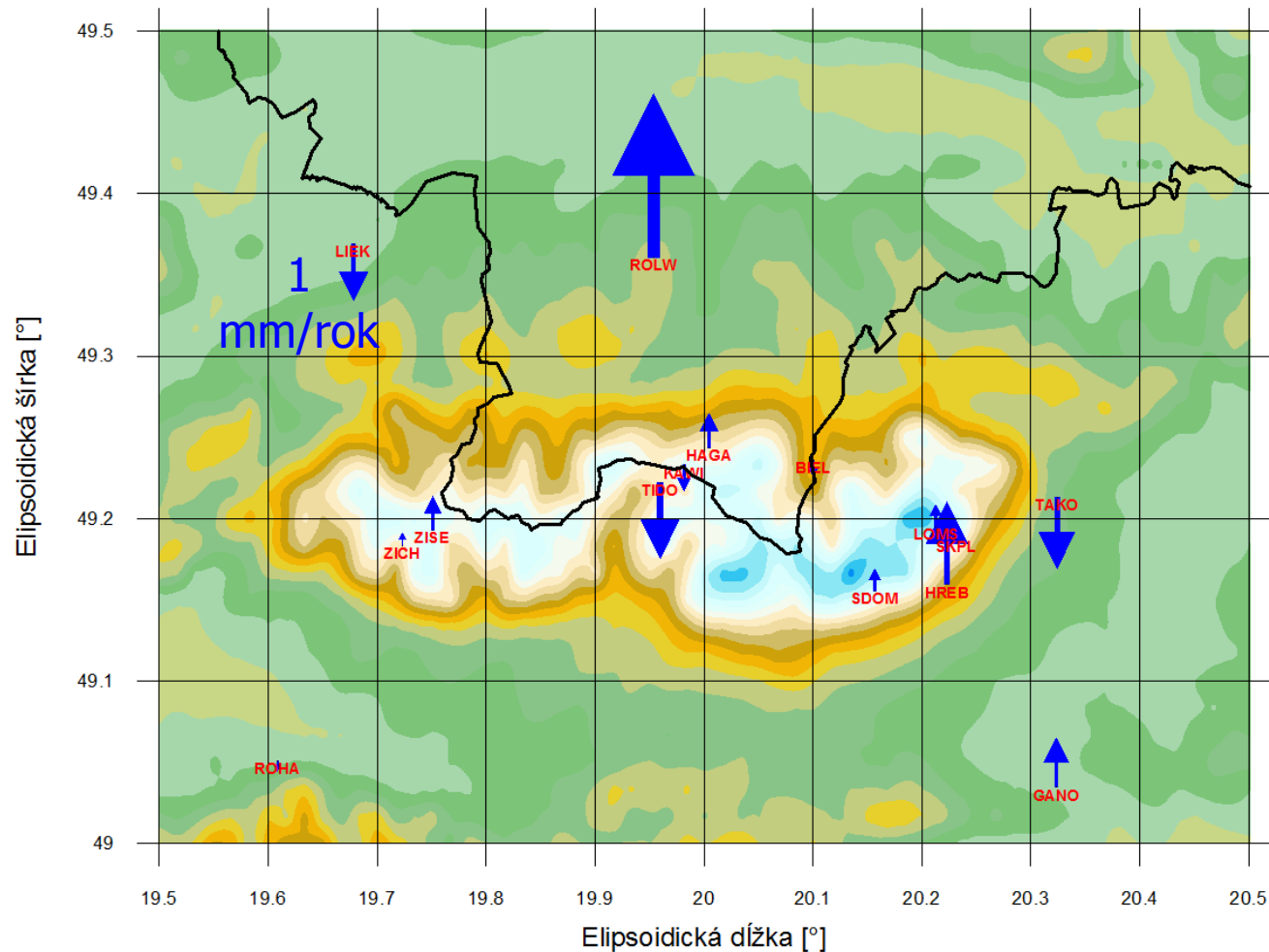


Odhadnuté vertikálne rýchlosti (použité iba spoľahlivé merania)

	u (mm/y)	σ_u (mm/y)
BIEL	-0,3	0,36
GANO	0,9	0,26
HAGA	0,6	0,19
HREB	1,5	0,58
KAWI	-0,5	0,31
LIEK	-1,0	0,47
LOMS	0,4	0,81
ROHA	-0,2	0,36
ROLW	3,0	10,91
SDOM	0,4	5,87
SKPL	0,2	0,33
TAKO	-1,3	3,8
TIDO	-1,4	0,18
ZICH	0,2	1,00
ZISE	0,6	0,96

Odhadnutá štandardná
neistota

$$\sigma_u = 0.8 \text{ mm/rok}$$





Záver

- odhadnuté rýchlosti a ich štandardné neistoty po eliminácii skokov a odľahlých meraní (na výnimky) plne korešpondujú s očakávaním predpokladom vysokej polohovej stability celej centrálnej časti Európy a s odhadnutými štandardnými neistotami z permanentných staníc,
- bolo dokázané, že časté zmeny príslušenstva (najmä antén) na bodoch LGS Tatry významne ovplyvňujú presnosť odhadu výsledných rýchlosti a treba s nimi pri korektnom spracovaní počítať,
- na niektorých bodoch bude možné odhadnúť korektnú rýchlosť až v budúcnosti po zopakovaní viacerých kampaní rovnakým typom príslušenstva, nakoľko súčasné údaje s častou zmenou antén korektný odhad neumožňujú,
- zvláštnosťou zostáva pomerne vysoká horizontálna ročná rýchlosť bodu GANO/GANP,
- prezentované výsledky by sa žiadalo prediskutovať aj s odborníkmi z odboru geológia.



Ďakujem za pozornosť!

branislav.droscak@skgeodesy.sk