

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
Regionálne centrum Košice



Tektonická a seizmická aktivita územia

Názov geologickej úlohy: **ČMS Geologické faktory**
Podsystem 02: Tektonická a seizmická aktivita územia

Číslo geologickej úlohy: 207

Správa za obdobie: rok 2016

Zodpovedný riešiteľ: **RNDr. Pavel Liščák, CSc.**

Správu vypracoval: **Ing. Ľubomír Petro, CSc.**

Spolupracovali: **Ing. Juraj Papčo, PhD., Stavebná fakulta STU Bratislava**
RNDr. Andrej Cipciar, Geofyzikálny odbor, ÚVZ SAV Bratislava
Mgr. Kristian Csicsay, PhD., Geofyzikálny odbor, ÚVZ SAV Bratislava
Mgr. Miriam Kristeková, PhD., Geofyzikálny odbor, ÚVZ SAV Bratislava
Ing. Martin Bednárík, PhD., Geofyzikálny odbor, ÚVZ SAV Bratislava
Mgr. Miloš Briestenský, PhD., ÚSMH AV ČR, v. v. i. Praha
Doc. RNDr. Pavel Bella, PhD., Katedra geografie, PF KU Ružomberok
Správa slovenských jaskýň, ŠOP, L. Mikuláš

November 2017

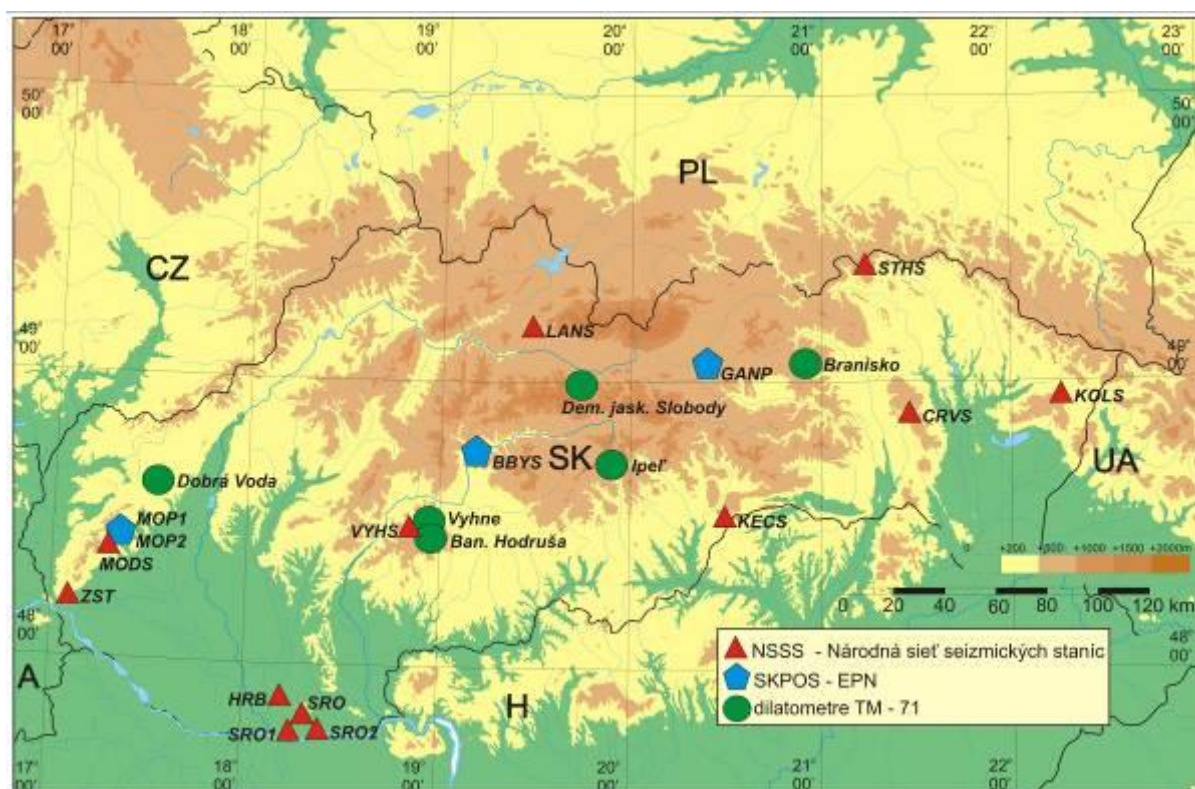
OBSAH

OBSAH

1. Úvod	2
2. Pohyby povrchu územia (J. Papčo)	2
2.1 Permanentný monitoring zmien na geodetických bodoch technológiou GNSS v EPN... ..	5
3. Pohyby pozdĺž zlomov (L. Petro, M. Briestenský)	13
3.1 Základná charakteristika monitorovacej siete	13
3.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia.....	17
3.3 Výsledky monitorovania	18
3.4 Diskusia	26
4. Monitorovanie seizmických javov (A. Cipciar, M. Kristeková).....	26
4.1 Dátové a spracovateľské centrum	28
4.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenskej republiky.....	28
4.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky	31
5. Literatúra	33

1. Úvod

V rámci sledovania tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska (obr. 1) boli v roku 2016 monitorované pohyby povrchu aj s využitím globálnych navigačných družicových systémov (GNSS) pre určenie globálnej priestorovej polohy na vybraných hĺbkovo stabilizovaných geodetických bodoch (Slovenská technická univerzita v Bratislave – STU a Geodetický a kartografický ústav Bratislava - GKÚ). Pohyby pozdĺž zlomov boli monitorované na vybratých lokalitách pomocou dilatometrov typu *TM-71* (Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Košice). Seizmická aktivita územia Slovenska bola zhodnotená Geofyzikálnym odborom Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied (ÚVZ SAV) na základe meraní za rok 2016.



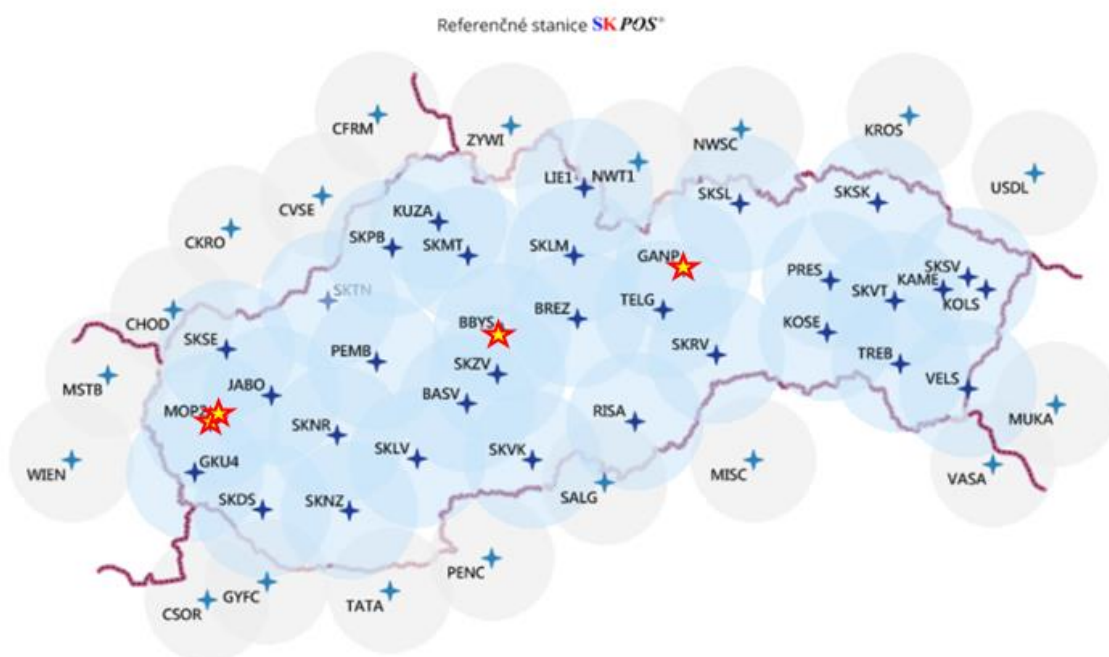
Obr. 1 Schéma rozmiestnenia lokalít monitorovaných na Slovensku v rámci geologickej úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, subsystém 02 Tektonická a seizmická aktivita územia

2. Pohyby povrchu územia

Monitorovanie geodynamických prejavov vrchnej vrstvy zemskej kôry geodetickými metódami umožnili vysoko presné geodetické prístroje vybavené kvalitnou elektronikou, zvyčajne plne automatizované s objektívnym záznamom údajov vylučujúcim z procesu merania

merača s jeho osobnou chybou. Na presné určenie lokalizačných parametrov (súradníc) bodov v referenčných súradnicových systémoch sa využívajú geodetické merania, a to najmä technológia na určovanie priestorovej polohy bodom pomocou globálnych navigačných družicových systémov (GNSS), geometrická nivelácia a relatívne i absolútne určenie tiažového zrýchlenia. Technológia GNSS je efektívna metóda na relatívne určovanie polohy bodov s uvádzanou horizontálnou neistotou (x, y) 2 – 3 mm a s neistotou vo výške (z) asi 4 – 9 mm pri dodatočnom spracovaní.

Geodetický a kartografický ústav Bratislava (GKÚ) je prevádzkovateľom a správcom slovenskej observačnej služby GNSS označenej menom SKPOS, ktorá zabezpečuje od jesene 2006 permanentné meranie GNSS s príjmom signálov z družíc amerického systému NAVSTAR GPS, ruského systému GLONASS, ale už aj európskeho systému GALILEO, resp. čínskeho systému BeiDou. Na presnú lokalizáciu, výpočet súradníc sa zatiaľ využívajú iba údaje zo systémov NAVSTAR GPS a GLONASS. SKPOS v súčasnosti tvorí sieť 34 geodetických bodov, referenčných staníc GNSS, realizujúcich geodetický referenčný systém ETRS-89 na Slovensku. ETRS-89 – Európsky terestrický referenčný systém 1989 – je systém priestorových súradníc označovaný karteziánskymi súradnicami X, Y, Z alebo parametrami φ, λ, h . Bol zavedený na návrh Európskej subkomisie pre referenčné rámce (EUREF) pri Medzinárodnej federácii geodetov (FIG) Európskou úniou a direktívach INSPIRE. STU a GKÚ (SKPOS) poskytuje do spracovania Európskej permanentnej siete (EPN) v reálnom čase údaje zo 4 bodov (obr. 2) a z ďalších bodov aj do projektu zoskupenia EUPOS.



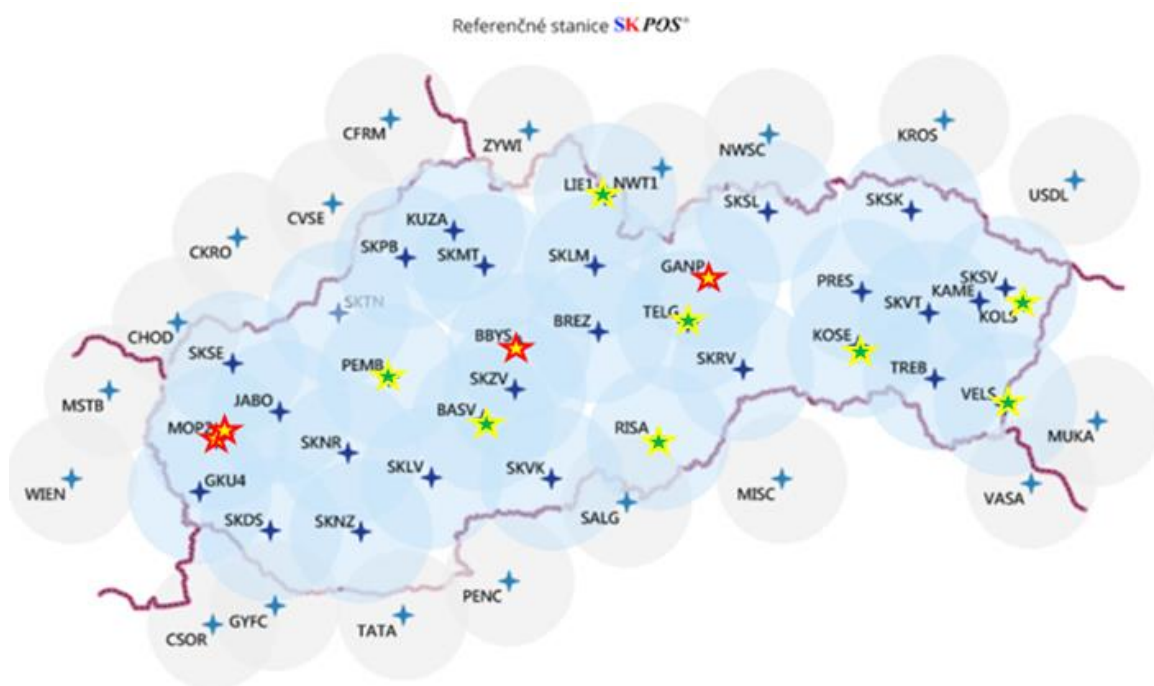
Obr. 2 Rozmiestnenie bodov EPN a SKPOS na území Slovenska

Spracovanie vybratej množiny špeciálne stabilizovaných bodov (pevne spojených so zemským povrchom) prebieha aj na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave, kde je realizovaný projekt Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska (Mojzeš et al., 2015).

Prvoradou úlohou SKPOS je zabezpečiť realizáciu súradnicového systému *ETRS89* pre subjekty využívajúce technológiu *GNSS*. Merané údaje *GNSS* z bodov špeciálne stabilizovaných je možné využiť aj na geodynamický monitoring.

Rozmiestnenie a vybudovanie bodov bolo realizované najmä na dosiahnutie požadovanej presnosti pri geodetických meraniach na mapovacie a katastrálne geodetické činnosti. Výsledky z dlhodobých meraní, ktoré sú prezentované v nasledujúcich grafoch a tabuľkách, nám potvrdzujú, že vybrané lokality na stabilizáciu bodov preukazujú vysokú stabilitu a zmeny majú zvyčajne sezónny charakter.

Z 34 geodetických bodov zaradených do SKPOS bolo v roku 2016 už 13 bodov (obr. 3) stabilizovaných spôsobom umožňujúcim merané údaje využiť aj pre výskum (monitoring) prejavov geodynamiky na povrchu Zeme. Do siete je zaradených 8 špecializovaných geodetických bodov, ktoré sú realizované ako hĺbkové pilierové stabilizácie ukotvené do hĺbky od 3 až do 10 m so stabilizovanou geodetickou značkou. Ďalších 5 geodetických bodov realizovaných hĺbkovou tyčovou stabilizáciou podľa vzoru UNAVCO ukotvených do hĺbky 5 m. V roku 2016 boli vybudované ešte dva špecializované geodetické body s hĺbkovou pilierovou stabilizáciou. Ide o body v lokalite Hurbanovo a Dolné Plachtince, ktoré budú zaradené do



Obr. 3 Rozmiestnenie špeciálnych stabilizácií na území Slovenska

operačnej činnosti v roku 2017. Je predpoklad, že po viacročnom permanentnom meraní na týchto bodoch by sa dali získať spoľahlivé údaje o rýchlostnej charakteristike týchto bodov (lokality).

Najstarším bodom – stanicou *GNSS* je *MOPI* (obr. 4), v lokalite Modra – Piesok, stabilizovaný na skalnom hrebeni Tisových skál, a to od 17.11.1996 (880. GPS týždeň).

GPS týždeň (*GPS WEEK*) je oficiálne datovanie týždňov od spustenia NAVSTAR GPS, používané na ukladanie údajov a riešenia. Od 24.8.2008 (1494. GPS týždeň) je permanentne meraný bod MOP2, stabilizovaný vedľa pôvodného bodu na skale pilierom. Tieto body spravuje Katedra geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Rezortný (GKÚ) bod je v lokalite Gánovce pri Poprade (obr. 5) a observácie sú vykonávané od 16.11.2003 (1245. GPS týždeň). Bod BBYS v lokalite Banská Bystrica, ktorý pracuje od 4.02.2007 (1413. GPS týždeň), je štvrtým bodom, z ktorého sú údaje v reálnom čase zasielané aj do Európskej permanentnej siete (*EPN* - Euref Permanent Network), ktorú riadi Európska komisia pre referenčné rámce (*EUREF*) pracujúca v Medzinárodnej asociácii geodetov (*IAG*). Pre body MOPI, MOPI2, GANP a BBYS sú monitoring a určenie rýchlostí spracovávané v rámci *EPN*.



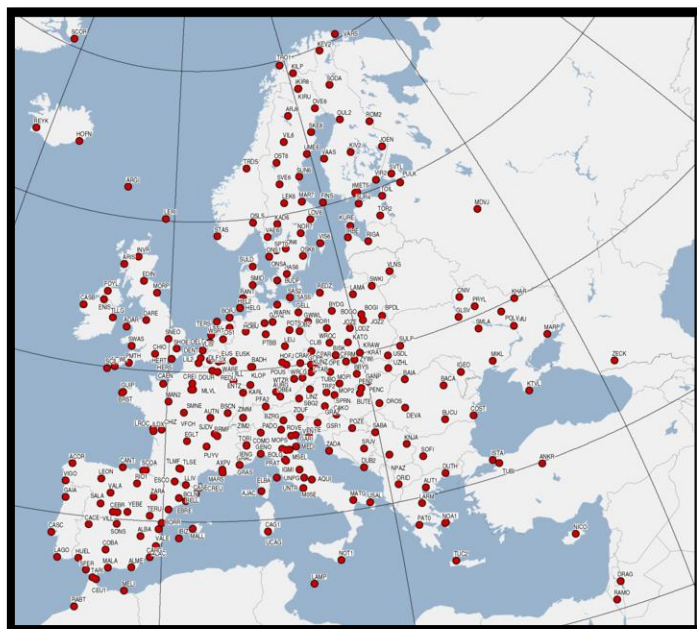
Obr. 4 Body MOPI, MOP2, GANP a BBYS

2.1 Permanentný monitoring zmien na geodetických bodoch technológiou GNSS v EPN

Európska sieť permanentných staníc *GNSS* dnes spracováva údaje z cca 280 staníc *GNSS*. Na obr. 5 je schéma rozmiestnenia staníc *EPN* zo stredoeurópskej časti, z ktorých viaceré sú zaradené i do svetovej siete (<http://www.epncb.oma.be/networkdata/stationmaps.php>) permanentných staníc IGS (obr. 6).

Výsledky monitoringu sú spracované pre jednotlivé body *EPN* vzhľadom na Medzinárodný (svetový) terestrický referenčný rámec - *ITRF2008* (*IGb08*), Európsky terestrický referenčný rámec – *ETRF2000*. Časové rady polohových zmien upravených o skoky zo sloven-

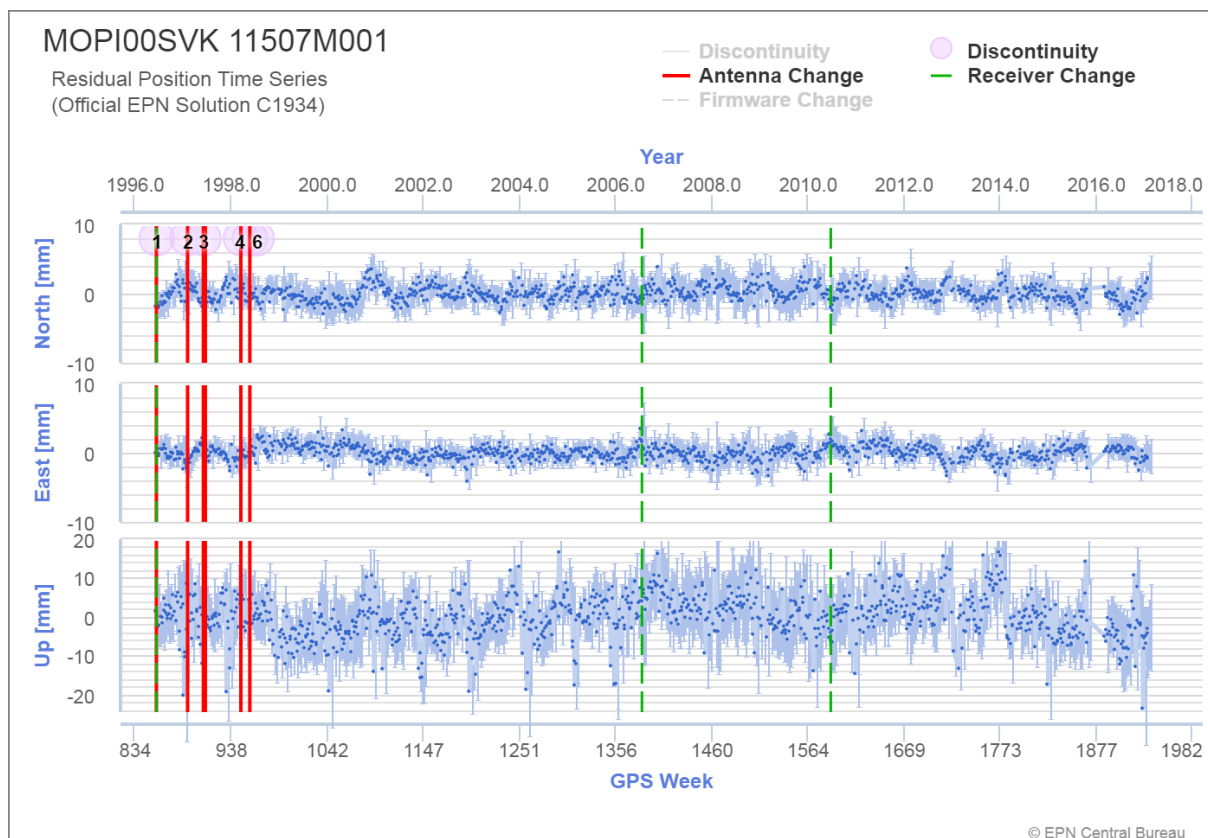
ských staníc v Modre - Piesku (*MOPI, MOP2*), v Gánovciach pri Poprade (*GANP*) a Banskej Bystrici (*BBYS*) sú prezentované v grafoch na obr. 7 až 10. Na obr. 11 až 14 sú grafy pohybu bodov v globálnom priestorovom systéme *ITRS*, realizácia *ITRF2008* (*IGb08*). (http://www.epncb.oma.be/products_services/timeseries/)



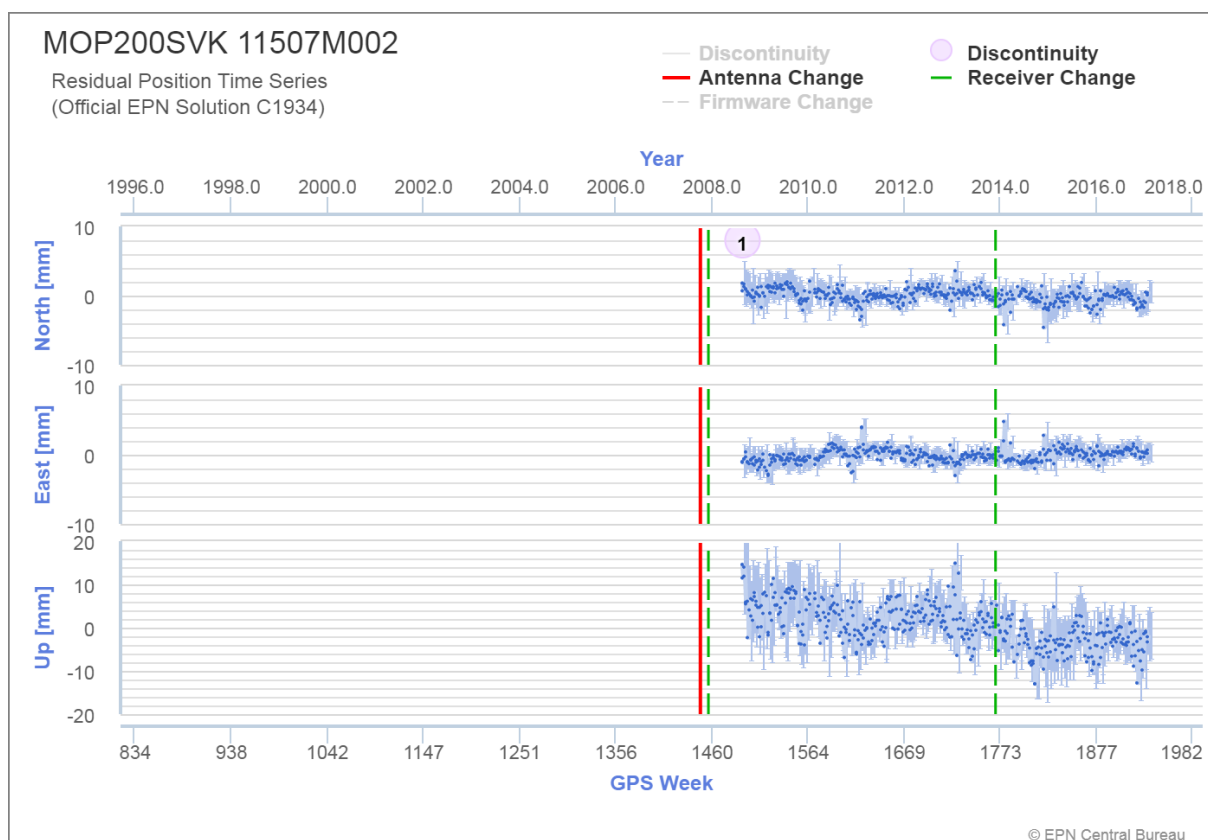
Obr. 5 Rozmiestnenie permanentných staníc EPN k 31.12.2016



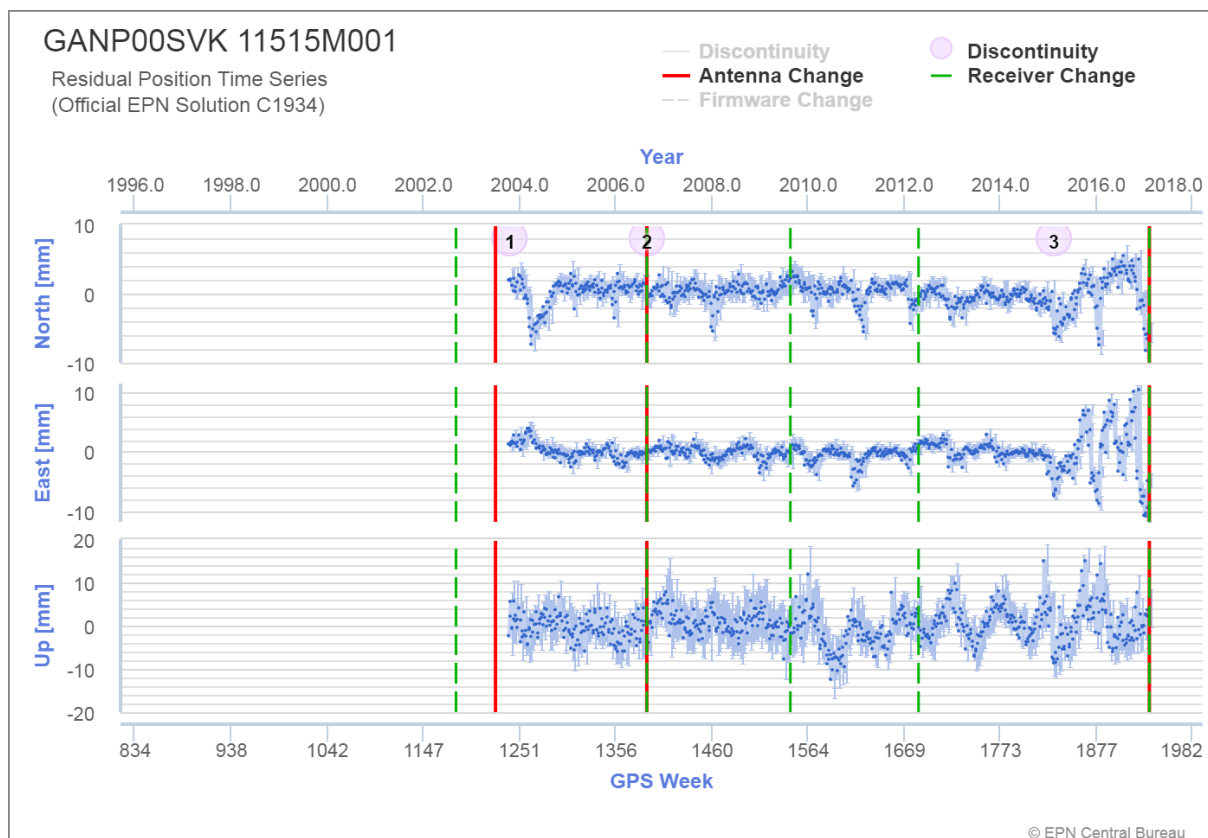
Obr. 6 Rozmiestnenie permanentných staníc EPN k 31.12.2015 a výber staníc EPN zaradených do svetovej siete IGS.



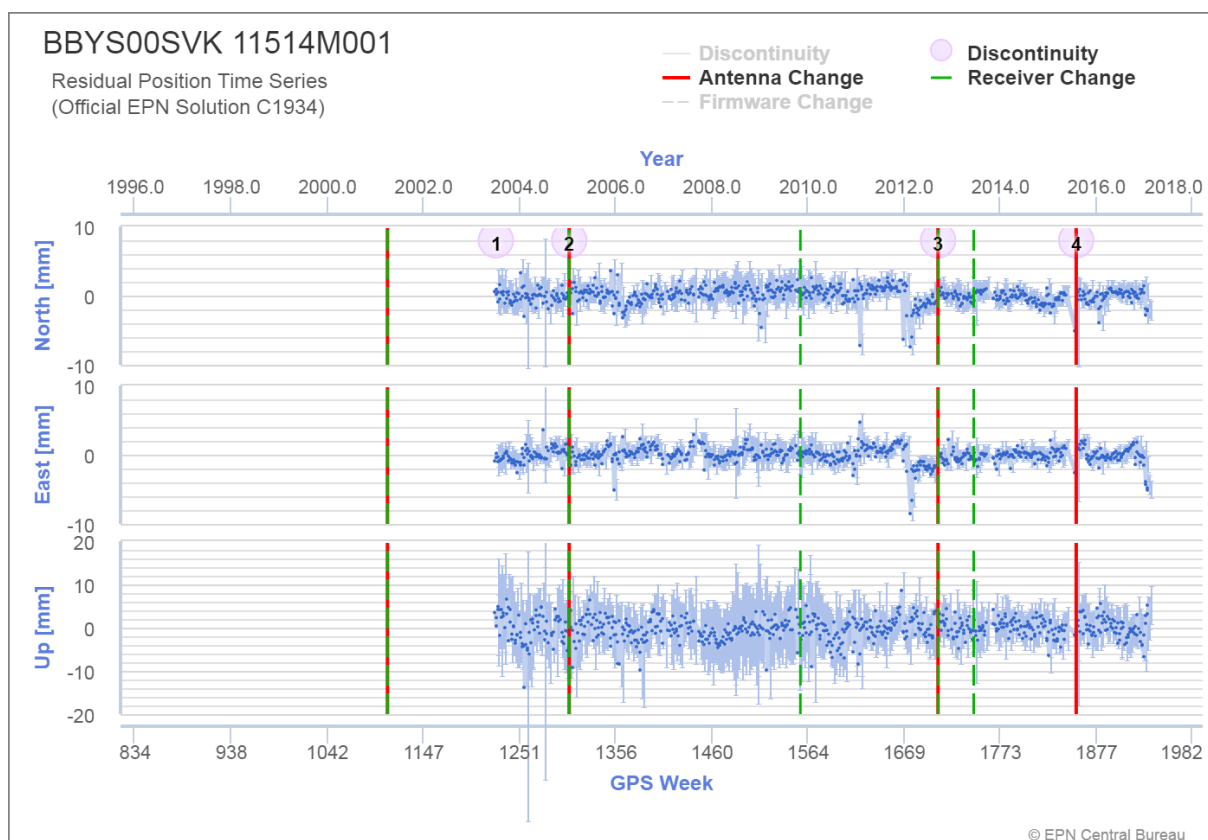
Obr. 7 Znáznornenie pohybu bodu MOPI



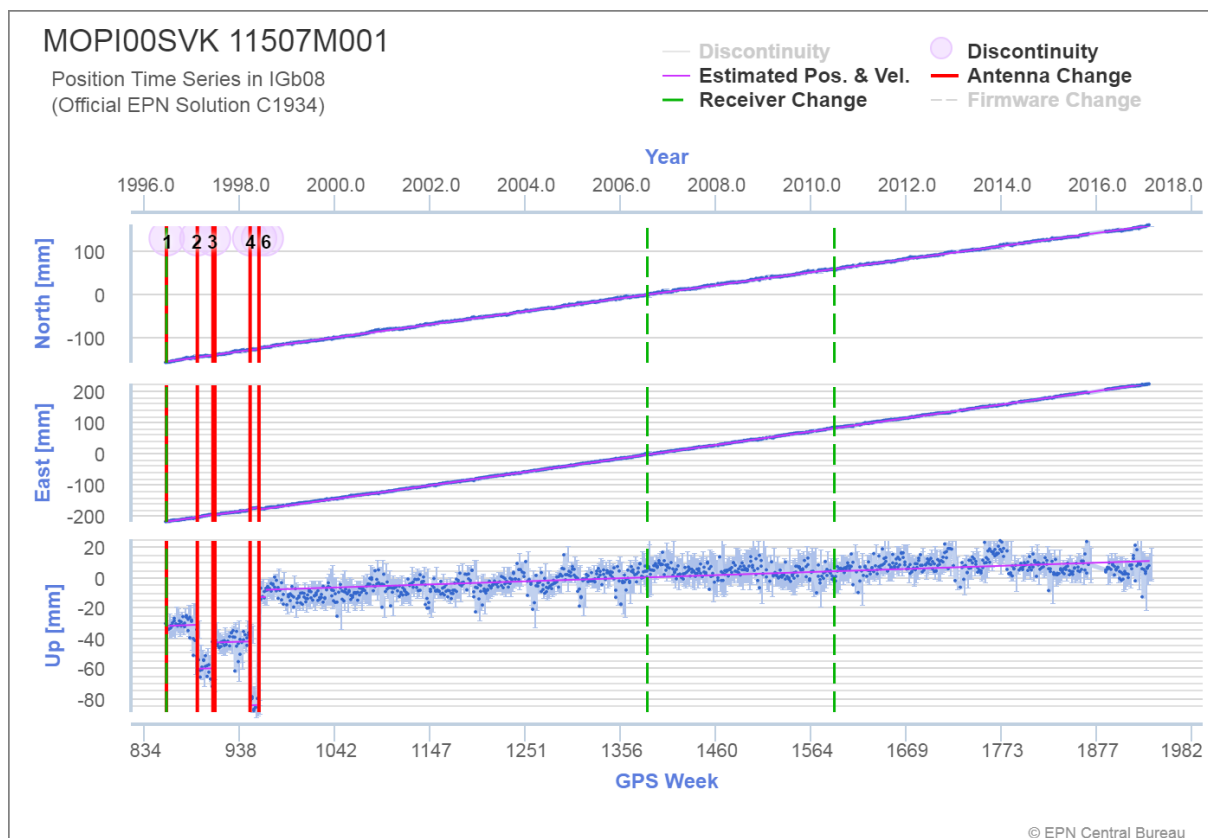
Obr. 8 Znáznornenie pohybu bodu MOP2



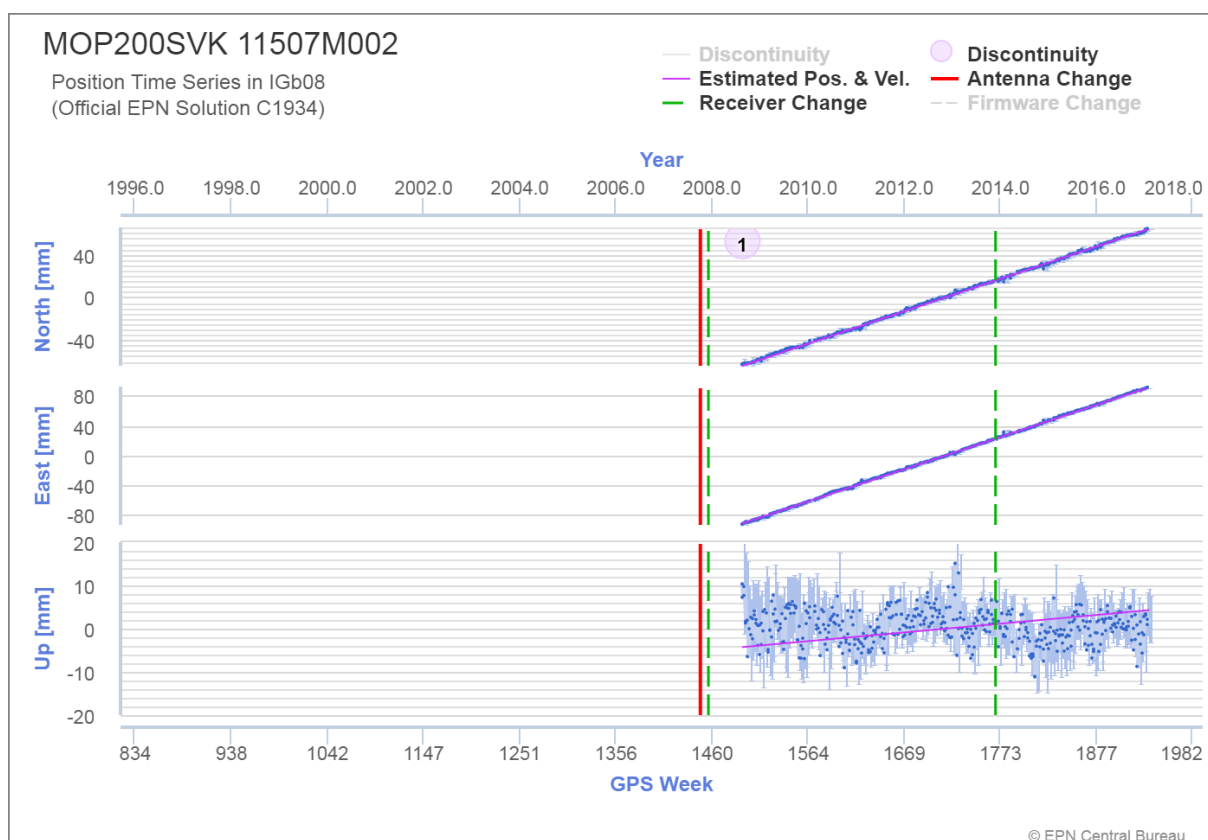
Obr. 9 Znáozornenie pohybu bodu GANP



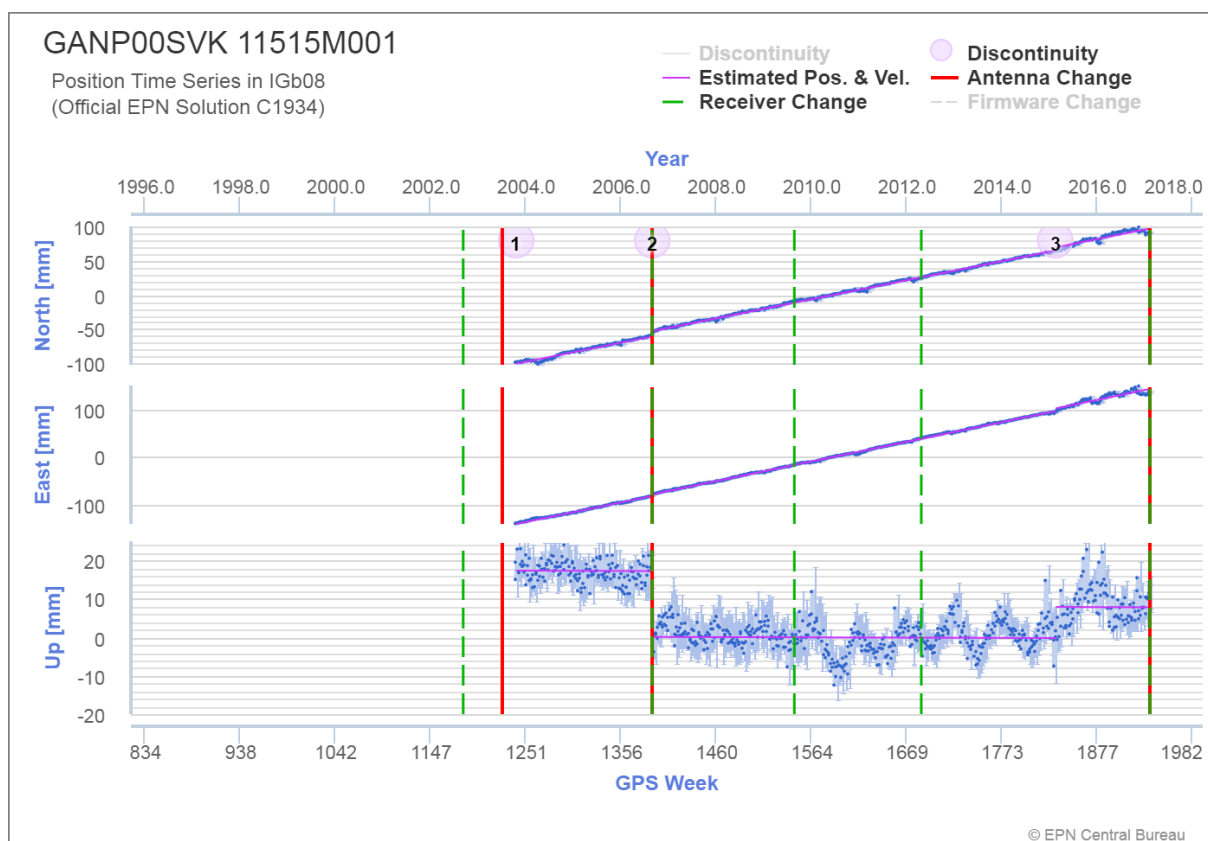
Obr. 10 Znáozornenie pohybu bodu BBYS v ETRS89



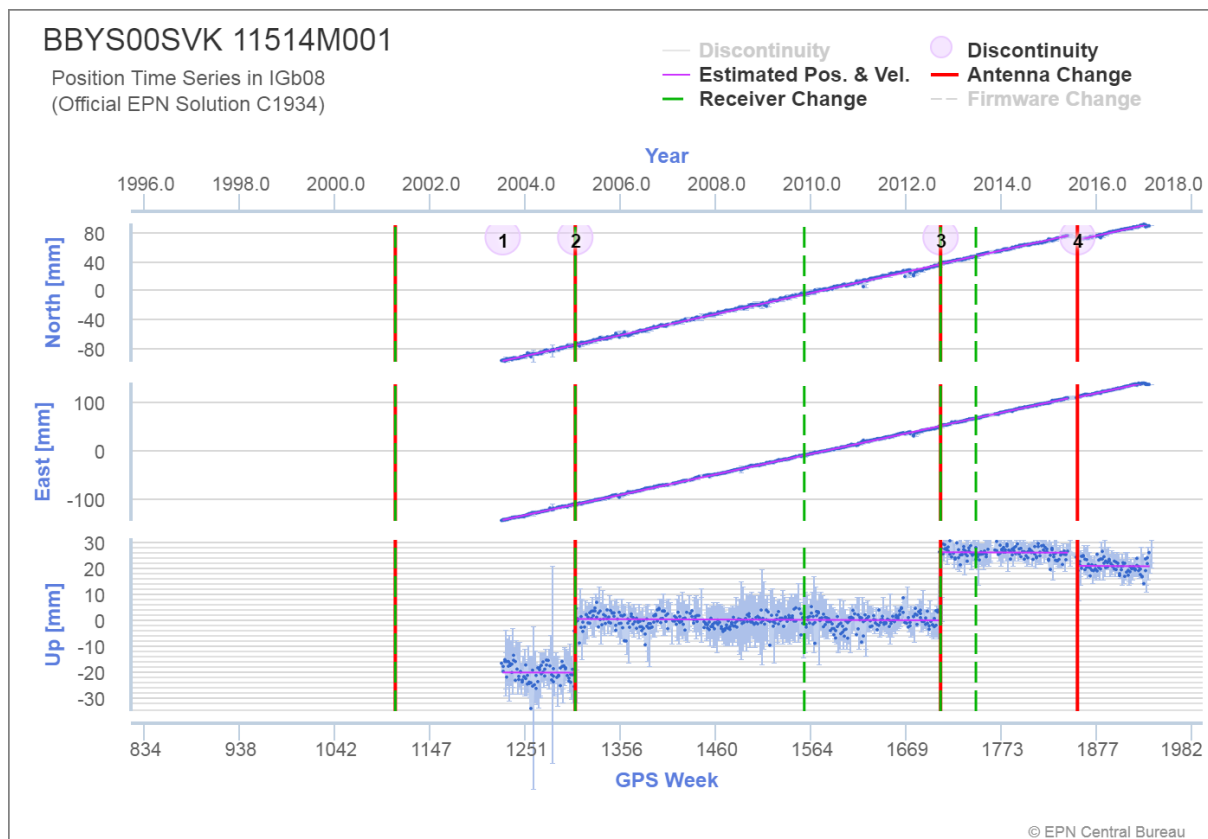
Obr. 11 Znáznorenie pohybu bodu MOPI v ITRS



Obr. 12 Znáznorenie pohybu bodu MOP2 v ITRS



Obr. 13 Znáozornenie pohybu bodu GANP v ITRS



Obr. 14 Znáozornenie pohybu bodu BBYS v ITRS

Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené vo forme grafu zmeny polohy bodu – stanice uvedenej v mm, a to v smere sever – juh (North), východ – západ (East) a vo výške (Up). Vodorovná os predstavuje časovú os datovanú v týždňoch GPS, zvislá os predstavuje v optimalizovanej mierke zmenu bodu v mm. Zobrazované hodnoty v grafoch sú vždy z týždenných riešení. Zvislé priamky v tabuľkách určujú dôvody skokov v časovom rade: zmenu referenčného rámca, zmenu antény alebo prijímača, resp. zmenu jeho riadiaceho softvéru (firmware).

Grafy znázornenia pohybov bodov (*MOPI*, *MOP2*, *GANP*, *BBYS*) v medzinárodnom terestrickom referenčnom systéme (*ITRS*) majú zhodný severovýchodný trend na našom území ako na väčšine staníc *EPN*. Za obdobie posledných 10 rokov sme v tomto SV smere zaznamenali pohyb približne 25 cm. Tento trend majú aj ostatné permanentné stanice *SKPOS*. Výšková zložka má väčšie variácie v rámci roka ale celkový trend je relatívne vyrovnaný. To je i dôvod na používanie *ETRS* pri monitoringu v rámci Európy.

Z jednotlivých upravených týždenných riešení sú odhadnuté priestorové súradnice *X*, *Y*, *Z* a ich časové zmeny (ročné rýchlosti pohybu) v príslušnom globálnom súradnicovom systéme (systém *ETRS-89*, realizácia *ETRF2000* a systém *ITRS*, realizácia *ITRF2008/IGb08*). Tieto údaje sa vzťahujú k dohodnutej strednej epoche spracovávaného obdobia. Spracovanie je vykonané pre dve kategórie bodov „A – spoľahlivý bod“ a „B – bod s výskytom väčšieho šumu“.

Na základe súčasných výsledkov môžeme vidieť, že pozorované body sú stabilné v rámci euroázijskej platne (tab. 1) a ich vnútroplatňová rýchlosť nepresahuje 1 mm/rok v rámci Eurázijskej platne.

Tab. 1 Referenčné súradnice a rýchlosti na staniciach *EPN* z územia Slovenska

MOPI00SVK - 11507M001 - trieda „B“

ETRF2000	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
193/1998 - 035/2017	308/2006	4053738.201 ± 0.000	1260571.378 ± 0.000	4744940.660 ± 0.000	NA	NA	NA
144/1998 - 192/1998	049/1999	4053738.198 ± 0.001	1260571.376 ± 0.001	4744940.654 ± 0.002	NA	NA	NA
074/1998 - 136/1998	322/1998	4053738.152 ± 0.001	1260571.369 ± 0.000	4744940.599 ± 0.001	NA	NA	NA
159/1997 - 073/1998	119/1998	4053738.180 ± 0.001	1260571.373 ± 0.000	4744940.631 ± 0.001	NA	NA	NA
040/1997 - 158/1997	294/1997	4053738.169 ± 0.001	1260571.371 ± 0.000	4744940.617 ± 0.001	NA	NA	NA
162/1996 - 039/1997	089/1997	4053738.188 ± 0.001	1260571.376 ± 0.000	4744940.639 ± 0.001	NA	NA	NA
IGb08	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		

		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
193/1998 - 035/2017	308/2006	4053737.853 ± 0.000	1260571.636 ± 0.000	4744940.885 ± 0.000	NA	NA	NA
144/1998 - 192/1998	049/1999	4053737.977 ± 0.001	1260571.502 ± 0.001	4744940.797 ± 0.002	NA	NA	NA
074/1998 - 136/1998	322/1998	4053737.936 ± 0.001	1260571.490 ± 0.000	4744940.740 ± 0.001	NA	NA	NA
159/1997 - 073/1998	119/1998	4053737.973 ± 0.001	1260571.485 ± 0.000	4744940.766 ± 0.001	NA	NA	NA
040/1997 - 158/1997	294/1997	4053737.970 ± 0.001	1260571.474 ± 0.000	4744940.747 ± 0.001	NA	NA	NA
162/1996 - 039/1997	089/1997	4053737.999 ± 0.001	1260571.469 ± 0.000	4744940.763 ± 0.001	NA	NA	NA

MOP200SVK - 11507M002 - trieda „A“

ETRF2000	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
230/2008 - 035/2017	001/2005	4053742.962 ± 0.000	1260569.436 ± 0.000	4744939.947 ± 0.000	0.0000 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
IGb08	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
230/2008 - 035/2017	001/2005	4053742.644 ± 0.000	1260569.663 ± 0.000	4744940.153 ± 0.000	-0.0166 ± 0.0000	0.0174 ± 0.0000	0.0108 ± 0.0000

GANP00SVK - 11515M001 - trieda „A“

ETRF2000	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
046/2015 - 198/2016	001/2005	3929181.848 ± 0.001	1455236.520 ± 0.000	4793653.712 ± 0.001	0.0003 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0001
239/2006 - 045/2015	001/2005	3929181.848 ± 0.000	1455236.515 ± 0.000	4793653.703 ± 0.000	0.0003 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0001
286/2003 - 232/2006	001/2005	3929181.865 ± 0.000	1455236.517 ± 0.000	4793653.711 ± 0.000	0.0003 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0000	-0.0010 ± 0.0001
IGb08	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
046/2015 - 198/2016	001/2005	3929181.517 ± 0.001	1455236.740 ± 0.000	4793653.911 ± 0.001	-0.0171 ± 0.0000	0.0157 ± 0.0000	0.0091 ± 0.0001
239/2006 - 045/2015	001/2005	3929181.517 ± 0.000	1455236.734 ± 0.000	4793653.902 ± 0.000	-0.0171 ± 0.0000	0.0157 ± 0.0000	0.0091 ± 0.0001
286/2003 - 232/2006	001/2005	3929181.534 ± 0.000	1455236.736 ± 0.000	4793653.910 ± 0.000	-0.0171 ± 0.0000	0.0157 ± 0.0000	0.0091 ± 0.0001

BBYS00SVK - 11514M001 - trieda „A“

ETRF2000	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
214/2015 - 035/2017	001/2005	3980359.147 ± 0.001	1382291.873 ± 0.000	4772771.761 ± 0.001	-0.0003 ± 0.0001	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001
260/2012 - 140/2015	001/2005	3980359.143 ± 0.001	1382291.874 ± 0.000	4772771.771 ± 0.001	-0.0003 ± 0.0001	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001

016/2005 - 252/2012	001/2005	3980359.128 ± 0.000	1382291.867 ± 0.000	4772771.750 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0001	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001
185/2003 - 015/2005	001/2005	3980359.114 ± 0.000	1382291.863 ± 0.000	4772771.735 ± 0.001	-0.0003 ± 0.0001	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001
<u>IGb08</u>	epocha to	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
214/2015 - 035/2017	001/2005	3980358.821 ± 0.001	1382292.095 ± 0.000	4772771.963 ± 0.001	-0.0174 ± 0.0001	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001
260/2012 - 140/2015	001/2005	3980358.817 ± 0.001	1382292.096 ± 0.000	4772771.972 ± 0.001	-0.0174 ± 0.0001	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001
016/2005 - 252/2012	001/2005	3980358.802 ± 0.000	1382292.090 ± 0.000	4772771.952 ± 0.000	-0.0174 ± 0.0001	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001
185/2003 - 015/2005	001/2005	3980358.788 ± 0.000	1382292.085 ± 0.000	4772771.937 ± 0.001	-0.0174 ± 0.0001	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001

3. Pohyby pozdĺž zlomov

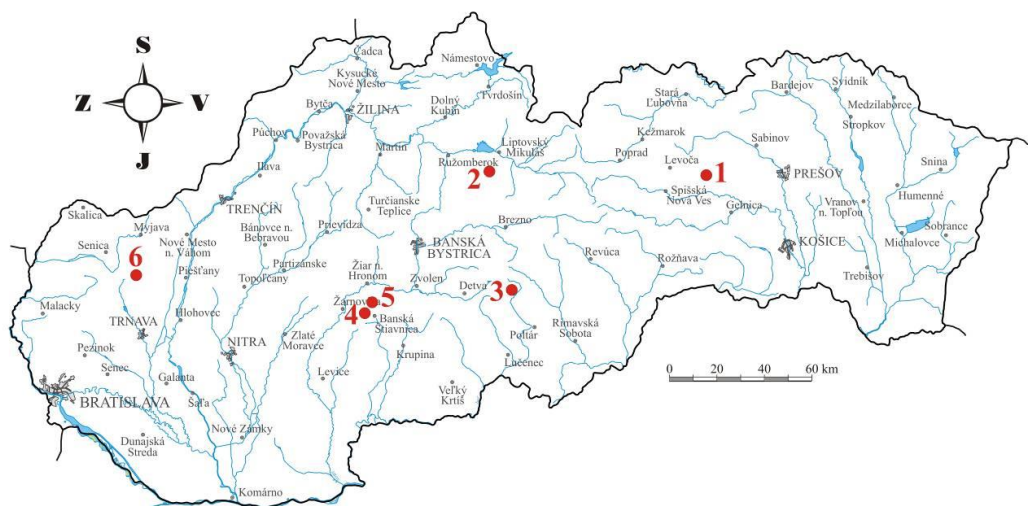
Mechanicko-optický dilatometer *TM-71* (Košťák, 1969) je prístroj schopný zaznamenávať 3D mikroposuny v prípade svahových porúch typu plazenia a zosúvania (napr. Košťák & Rybář, 1978; Kostak & Cruden, 1990; Petro et al., 1999), ale aj historických objektov (napr. Vlčko, 2002; Vlčko & Petro, 2002; Vlčko, 2004; Vlčko et al., 2009). Použitie dilatometrov na sledovanie mikroposunov na aktívnych tektonických poruchách začalo pred viac než 30-timi rokmi v Bulharsku (Avramova-Tacheva et al., 1984) a pokračovalo v Českej republike (napr. Košťák, 1998; Štepančíková et al., 2008), Slovenskej republike (napr. Petro et al., 2004; Briestenský & Stemberk, 2008; Briestenský et al., 2007, 2010, 2011, 2014), Poľsku (napr. Kontny et al., 2005), Taliansku (Borre et al., 2003), Peru (Košťák et al., 2002), Grécku (napr. Drakatos et al., 2005; Stemberk & Košťák, 2007), Slovinsku (napr. Šebela et al., 2005; Gosar et al., 2009), Nemecku, Kirgizsku a na Špicbergoch (Stemberk et al., 2015).

3.1 Základná charakteristika monitorovacej siete

Pohyby pozdĺž zlomov boli v roku 2016 sledované pomocou dilatometrov typu *TM-71* osadených v 6 lokalitách: Branisko, Demänovská jaskyňa, Ipel', Banská Hodruša, Vyhne a Dobrá Voda (obr. 15).

Branisko

Lokalitu reprezentuje úniková štôlna tunela Branisko, presnejšie šindliarsky zlom, ktorý prechádza východným okrajom pohoria Branisko. Zlom má smer SSV – JJZ a oddeľuje sedimenty centrálneokarpatského paleogénu (podtatranská skupina) od kryštalinika tatrika – severného veporika (Polák a Jacko, 1996). Na tomto styku bol koncom roka 2000 inštalovaný jeden dilatometer *TM-71* (obr. 16).



Obr. 15 Prehľad lokalít, na ktorých boli v roku 2016 monitorované neotektonické poruchy na území SR dilatometrami TM-71. 1 – Branisko, 2 – Demänovská jaskyňa Slobody, 3 – Ipeľ, 4 – Banská Hodruša- Hámre, 5 – Vyhne, 6 – Dobrá Voda

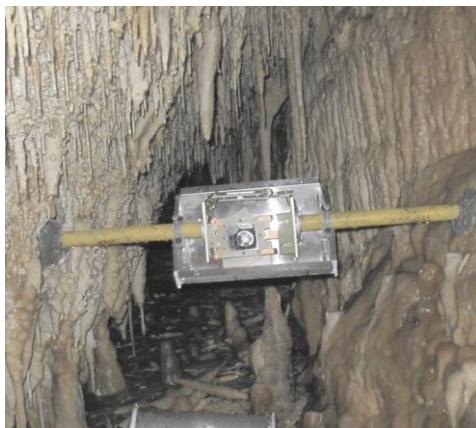


Obr. 16 Inštalácia dilatometra TM-71 v únikovej štólňi tunela Branisko

Demänovská jaskyňa Slobody

Jaskyňa je súčasťou takmer 40 km dlhého, niekoľkoúrovňového krasového systému nachádzajúceho sa na pravej strane doliny riečky Demänovka. Jaskynný systém je najdlhší na Slovensku. Morfológicky je okolie jaskyne súčasťou Nízkych Tatier, ktorých územie je dnes národným parkom. Pohorie je budované tromi tektonickými jednotkami – tatrikom, fatrikom a hronikom (Biely et al., 1992). Tatrikum ako subautochtónna jednotka zahŕňa kryštallický fundament a obalové mezozoické jednotky. Ďalšie dve príkrovové štruktúry sú v príkrovej pozícii a sú tvorené väčšinou vápencami a dolomitmi. Paleogénne sedimenty v širšom okolí jaskyne sú súčasťou posttektonickej výplne Liptovskej kotliny. Jaskyňa vznikla v strednotriasových vápencoch krížňanského príkrovu fatrika dlhodobým podpovrchovým pôsobením riečky Demänovka. Podzemné chodby a priestory sa viažu na dva zlomové systémy s orientáciou SZ-JV a SV-JZ (Droppa, 1957 a 1972). Prvý systém je kvázi-paralelný s hlavným jalo-

veckým zlomom (Hók et al., 2000) prechádzajúcim dnom údolia. Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v tzv. Čarovnej chodbe (obr. 17), ktorá má približne smer SZ-JV.



Obr. 17 Inštalácia dilatometra TM-71 v Čarovnej chodbe (Demänovská jaskyňa Slobody)

Ipeľ

Lokalitu reprezentuje dolina horného toku Ipľa nad obcou Ipeľ, ktorá geomorfologicky patrí do Stolických vrchov. Dolinou rieky prechádza jeden z najvýznamnejších zlomových systémov Západných Karpát – muránsko-malcovský systém (Pospíšil et al., 1986; Dvořák et al., 2005), resp. jeho južnejšia časť v podobe muránsko - divínskeho systému, ktorý pozostáva z niekoľkých paralelných SV-JZ zlomov (Pospíšil et al., 1989). Dolina Ipľa je budovaná staropaleozoickými metamorfovanými (pararuly, ortoruly a migmatity) a magmatickými (granity, granodiority, tonality a aplity) horninami kryštallického jadra veporika (Bezák et al., 1999). Horniny vo vnútri zlomového pásma širokého viac než 600 m sú silno tektonicky porušené a mylonitizované (Ondrášek et al., 1987). Na jednom zlome systému, v bývalej prieskumnej štôlni Izabela, bol v roku 2002 inštalovaný dilatometer TM-71 (obr. 18).



Obr. 18 Inštalácia dilatometra TM-71 v prieskumnej štôlni Izabela na lokalite Ipeľ

Banská Hodruša (Hámre)

Lokalita sa nachádza v Štiavnických vrchoch, asi 9 km na Z od Banskej Štiavnice. Na inštaláciu dilatometra TM-71 (obr. 19) bolo vybraté miesto križovania dvoch zlomov (SV-JZ a



Obr. 19 Inštalácia dilatometra TM-71 v opustenej štôlni Vŕechsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša (Hámre)

SZ-JV) vo vnútri štôlne Vŕechsvätých (stará). Štôlna je vyrazená v kremenno-dioritových porfýroch reprezentujúcich strednú stratovulkanickú štruktúru (Konečný et al., 1998). Orientácia zlomov a horninových dajok v banskoštiavnickom stratovulkáne odráža zmeny v smeroch paleonapätí počas neogénu (Nemčok et al., 2000). Väčšina zlomov má orientáciu SSV-JJZ.

Vyhne

Lokalita sa nachádza asi 9 km na SZ od Banskej Štiavnice a je súčasťou banskoštiavnického stratovulkánu. Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v roku 2005 na S-J zlomovej poruche vo vnútri opustenej štôlne sv. Anton Paduánsky (obr. 20). Štôlna bola vyrazená v tektonicky porušených porfýrických granodioritoch (tzv. vyhnianska drvená žula). Výhodou tejto lokality okrem vhodných mikroklimatických podmienok (stabilná teplota a vlhkosť) je prítomnosť seizmometra (Geofyzikálny ústav SAV / od 1. 7. 2015 Geofyzikálny odbor ÚVZ SAV), čo umožňuje koreláciu výsledkov monitoringu so seizmickými udalosťami v regióne a jeho širšom okolí. Zber údajov bol realizovaný v spolupráci s Geofyzikálnym odborom ÚVZ SAV.



Obr. 20 Inštalácia dilatometra TM-71 v opustenej štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne

Dobrá Voda

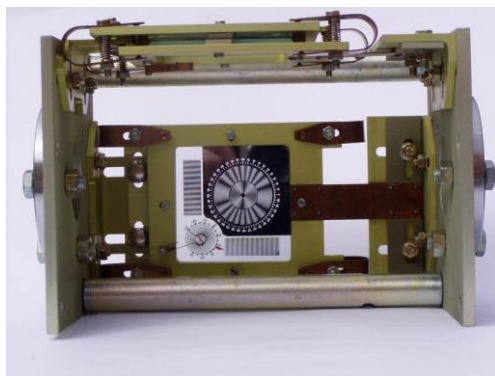
Lokalita sa nachádza v severnej časti Malých Karpát južne od Brezovej pod Bradlom. Morfológicky ide o dobrovodskú depresiu, ktorou prechádza zlom smeru SV-JZ. Podľa [Maglay et al. \(1999\)](#) bol zlom aktívny od stredného pleistocénu do holocénu. Oblasť Dobrej Vody je známa ako seizmicky aktívna. V minulosti tu bolo zaznamenané jedno z najsilnejších zemetrasení na našom území. Najsilnejšie známe zemetrasenie z 9. 1. 1906 v okolí Dobrej Vody malo epicentrálnu intenzitu $I_0 = 8,5^\circ$ MSK-64 (23 hod 07 min, $48,58^\circ$ N, $17,46^\circ$ E, $h = 10$ km, $M_L = 5,7$). V máji roku 2004 bol Ústavom štruktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR, v. v. i. Praha (ÚSMH AV ČR) na zlome inštalovaný jeden dilatometer TM-71 ([obr. 21](#)).



Obr. 21 Inštalácia dilatometra TM-71 na tektonickej poruche na lokalite Dobrá Voda

3.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Na monitorovanie posunov na vybratých neotektonických poruchách sa v rámci danej úlohy aj v roku 2016 používali mechanicko-optické dilatometre typu *TM-71* (obr. 22). Prístrojom je možné merať veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,01$ mm a rotácie 0,01 gr. Merania sa rea-



lizujú v dvoch na seba kolmých rovinách, takže výpočtami možno zistiť priestorový pohyb (3D) oboch monitorovaných blokov. Na spracovanie nameraných údajov sa používa špeciálna aplikácia *MSDilat* (Stercz, 2004) programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows.

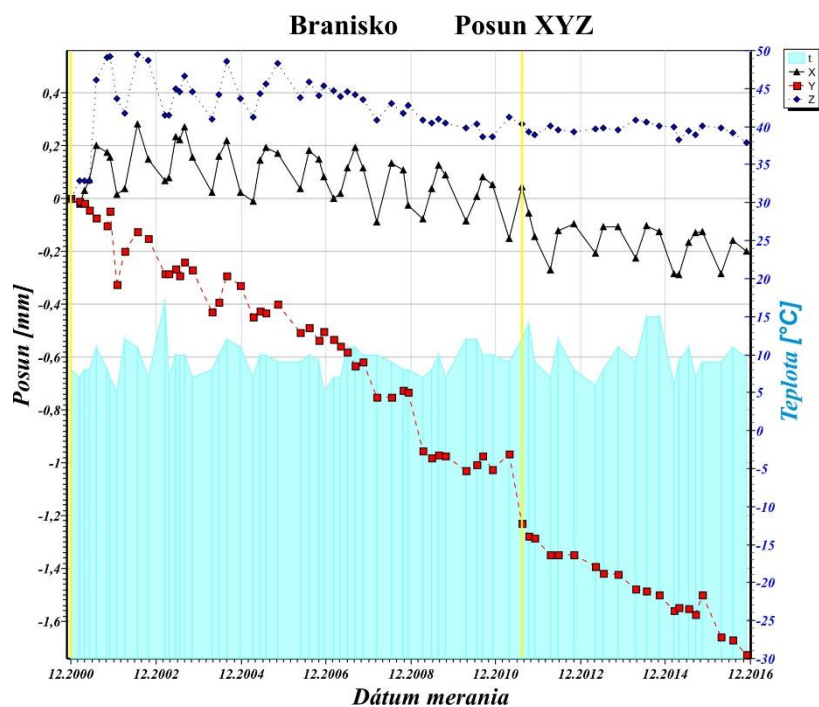
Obr. 22 Mechanicko-optický dilatometer typu *TM-71*

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2016 zabezpečoval zber údajov na všetkých lokalitách vizuálnym odčítaním, resp. fotograficky s frekvenciou 9x (Vyhne), 3x (Branisko, Demänovská jaskyňa Slobody, Banská Hodruša – Hámre a Ipeľ) a 5x Dobrá Voda. Odčítanie údajov na lokalite Dobrá Voda bolo aj v roku 2016 zabezpečované českými kolegami z ÚSMH AV ČR. Treba uviesť, že 4 merania ročne sa pre daný typ prístroja považujú za minimálne kvôli dostatočne presnej interpretácii výsledkov vzhľadom na sezónnu dilatáciu masívu a koreláciu výsledkov so seizmickými udalosťami. Z tohto dôvodu by bolo vhodné plánovať v budúcnosti na všetkých lokalitách najmenej 4 merania ročne.

3.3 Výsledky monitorovania

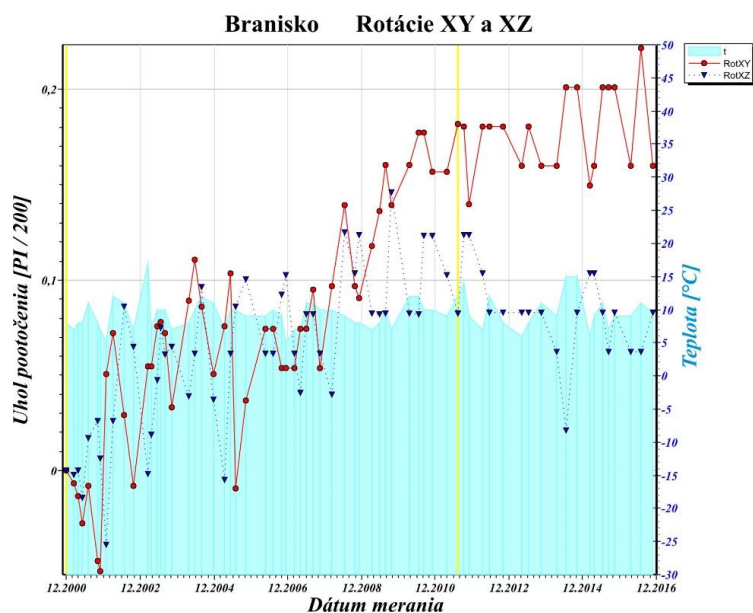
Branisko

Výsledky meraní potvrdili aj v roku 2016 pretrvávajúci a zreteľný trend narastania šmykového pohybu pozdĺž šindliarskeho zlomu (v smere osi *y*). Berúc do úvahy vzájomnú priestorovú orientáciu dilatometra a monitorovaného zlomu je tento pohyb interpretovaný ako pravostranný. Jeho celková hodnota dosiahla v novembri hodnotu 1,726 mm (obr. 23). Oproti roku 2015 narástol posun o 0,126 mm. Pohyb je progresívny a jeho priemerná rýchlosť je $0,108 \text{ mm.rok}^{-1}$. Šmykový pohyb už v minulosti spôsobil vznik niekoľkých trhlín po oboch stranách zlomu v samotnej tunelovej rúre. Otváranie trhliny (pohyb v smere osi *x*) je veľmi pomalé, avšak jeho dlhodobý trend je zrejмый. Celkové otvorenie na konci roku 2016 dosiahlo 0,201 mm.



Obr. 23 Posun tektonických blokov pozdĺž šindliarskeho zlomu (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 za obdobie rokov 2000 – 2016

V porovnaní s rokom 2015 sa posun zväčšil o 0,054 mm. Kým pokles východného bloku (hanging wall) v roku 2015 stagnoval, v roku 2016 narástol o 0,061 mm na celkových 0,212 mm. Hoci trend rotačného pohybu v oboch rovinách (XY, XZ) je zrejмый (obr. 24), ide o zanedbateľné hodnoty (cca 0,2 gr). Rotácia východného bloku prebieha proti smeru pohybu hodinových ručičiek, t. j. na JJZ.



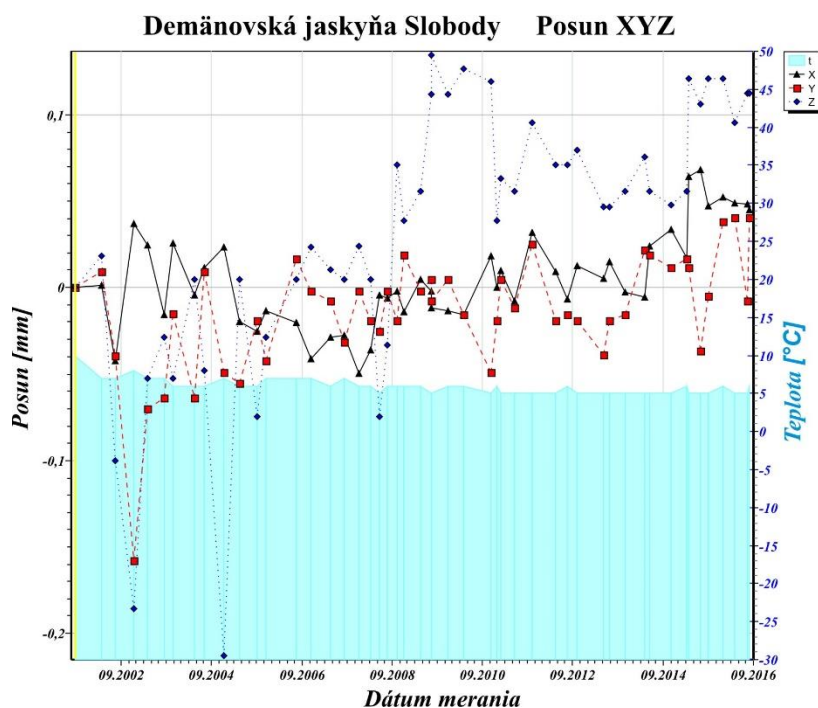
Obr. 24 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na šindliarskom zlome za obdobie rokov 2000 – 2016.

Vzhľadom na významnosť lokality je potrebné ďalšie sledovanie pohybu na zlome. Národná diaľničná spoločnosť (NDS), ako prevádzkovateľ tunela, je každoročne oboznamovaná formou krátkej správy o vývoji pohybov na zlome. V prípade výrazného zvýšenia pohybovej aktivity bude NDS okamžite poskytnutá príslušná informácia.

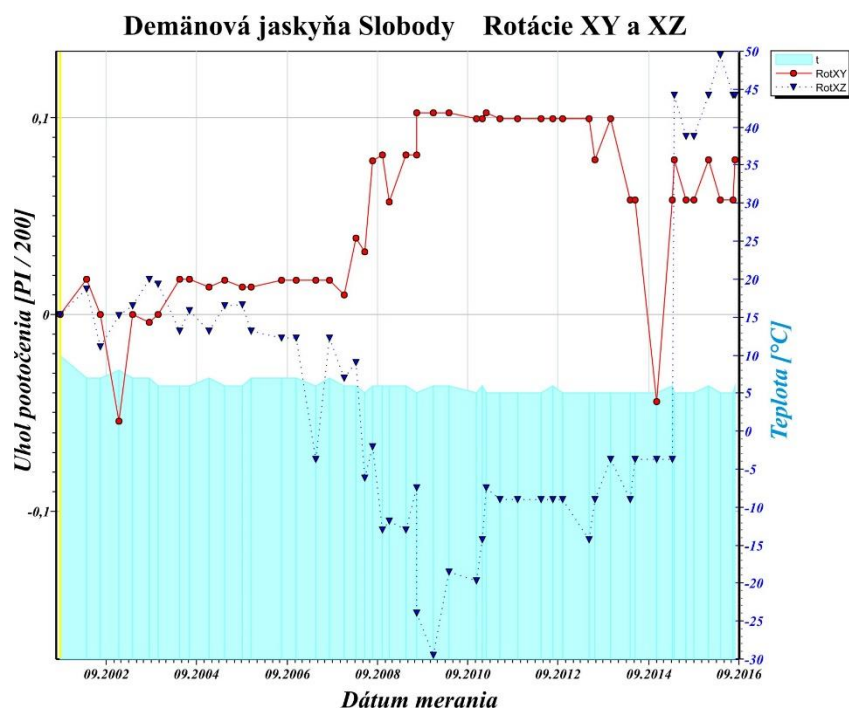
Demänovská jaskyňa Slobody

Od inštalácie dilatometra (august 2001) na zlome SZ-JV smeru je zrejímavá mierna pohybová aktivita pozdĺž všetkých troch osí x , y a z (obr. 25). Slabý, ale najvýznamnejší pohyb, bol zistený v smere osi z (vertikálny pohyb pozdĺž zlomovej poruchy), ktorý je interpretovaný ako pokles východného bloku (hanging wall). V roku 2015 sa opäť zmenil trend pohybu oproti obdobiu 2010 – 2014. Z dlhodobého hľadiska ide o typické oscilácie v pohybovej aktivite (roky 2008, 2011). Celkový pokles koncom roka 2016 dosiahol 0,112 mm. Otváranie trhliny (posun

v smere osi x) aj šmykový pohyb pozdĺž zlomovej poruchy (os y) v roku 2016 stagnovali na úrovni cca 0,05 a 0,04 mm. Z dlhodobého hľadiska je trend nárastu pohybu pozdĺž oboch osí napriek malým hodnotám zrejímavý. Šmykový pohyb sa interpretuje ako pravostranný. Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zatiaľ zanedbateľné (obr. 26). V priestore indikujú rotácie pravotočivý pohyb východného bloku.



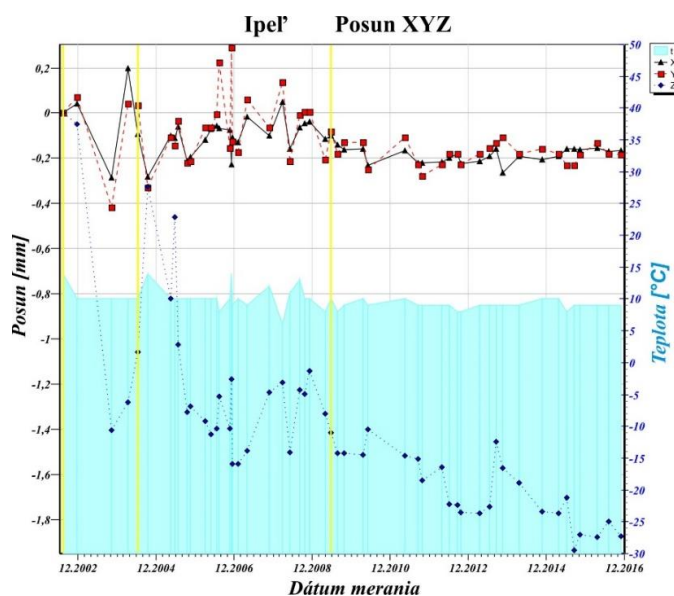
Obr. 25 Posun tektonických blokov pozdĺž jaloveckého zlomu (osi x , y a z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Demänovská jaskyňa Slobody za obdobie rokov 2001 – 2016.



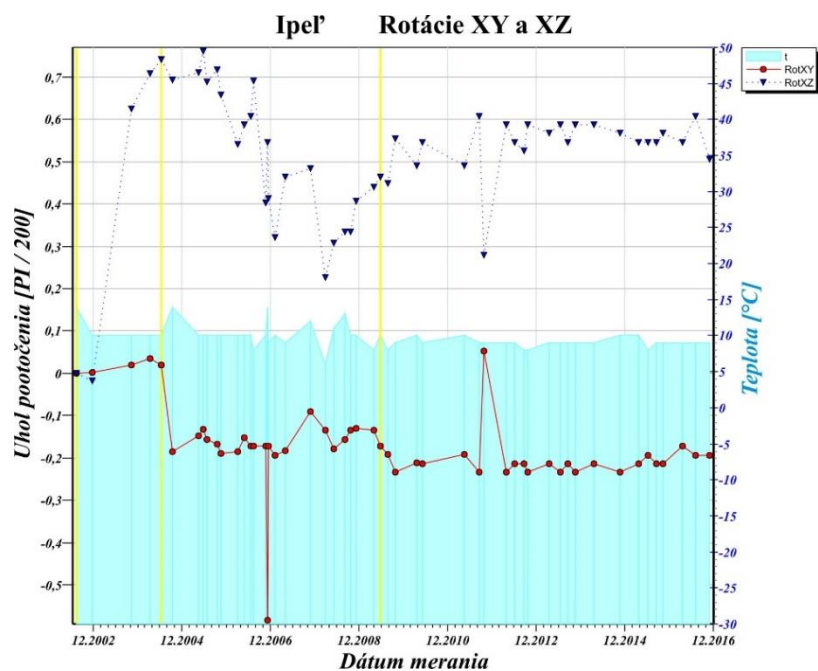
Obr. 26 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na jaloveckom zlome za obdobie rokov 2001 – 2016.

Ipeľ

Trend dlhodobého pomalého poklesávania JV bloku je zreteľný (obr. 27). V roku 2016 dosiahol celkový pokles hodnotu 1,872 mm (v septembri až 1,936 mm), čo predstavuje nárast oproti roku 2015 o 0,005 mm. Pomalý šmykový pohyb pozdĺž zlomu (os y), ako aj otváranie trhliny (os x) stagnujú od konca roku 2009. Celkové doterajšie posuny pozdĺž týchto osí sa pohybujú okolo 0,2 mm. Rotácie blokov v rovinách XY a XZ sú zanedbateľné (obr. 28).



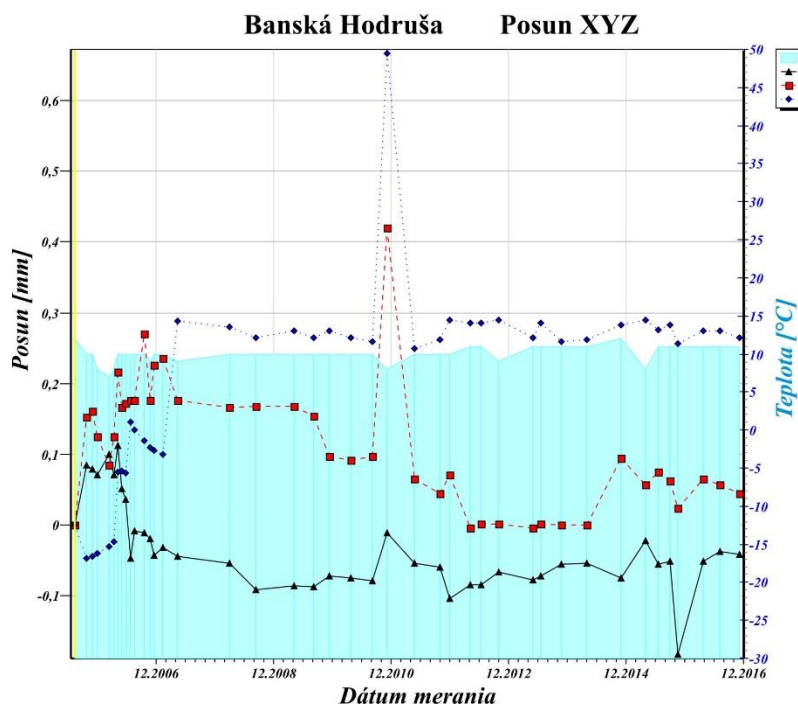
Obr. 27 Posun tektonických blokov pozdĺž jedného z muránskych zlomov (osi x, y, z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2016



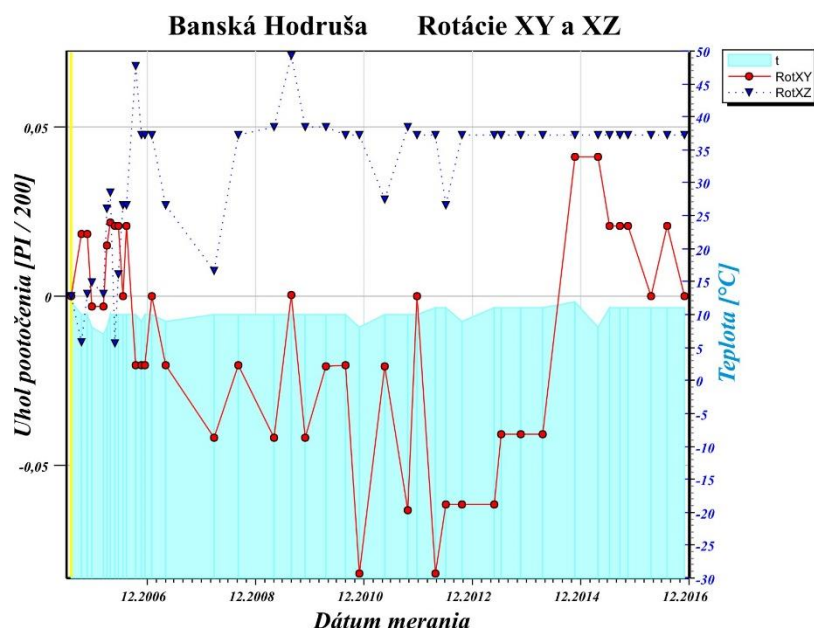
Obr. 28 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štólňi Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2016

Banská Hodruša – Hámre

Merania mikroposunov na danej lokalite nepreukázali ani v roku 2016 žiadny významnejší pohyb blokov v smere osí z (pokles) a y (šmykový posun) (obr. 29). Koncom roka 2015 (október) bol zaznamenaný istý pohyb (0,15 mm) v smere osi x (otváranie tektonickej poruchy). Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zanedbateľné (obr. 30).



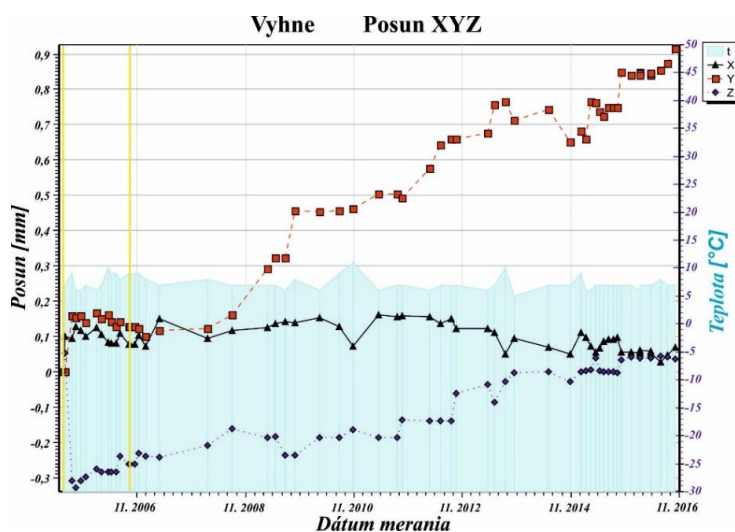
Obr. 29 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x, y z) zistený dilatometrom TM-71 v štólňi Všetechsvätých (stará) lokalite Banská Hodruša - Hámre za obdobie rokov 2005 – 2016



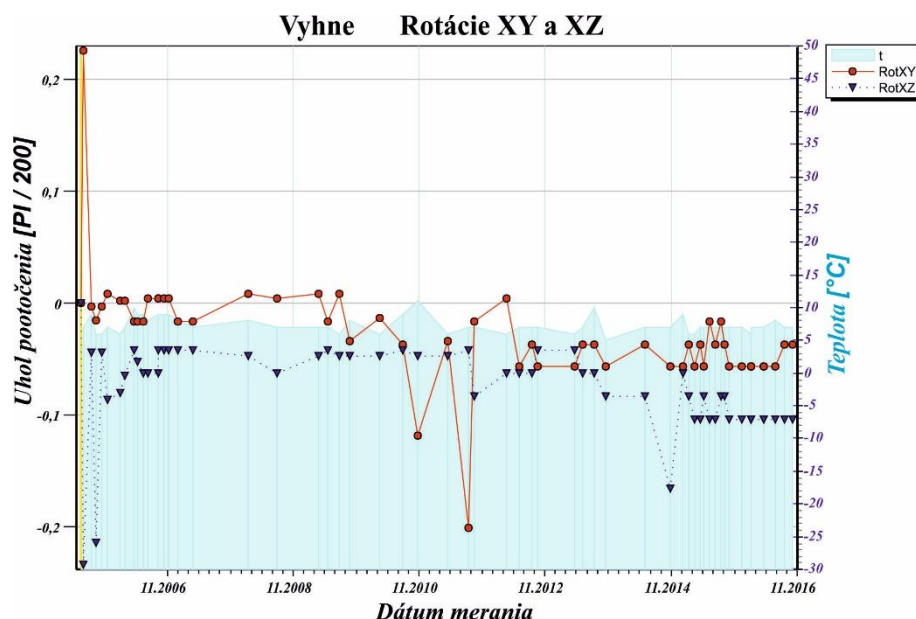
Obr. 30 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zistené dilatometrom TM-71 v štôlni Všetehsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša-Hámre za obdobie rokov 2005 – 2016

Vyhne

V roku 2016 sa opäť potvrdil trend narastania ľavostranného šmykového pohybu (os y), t. j. pohybu pozdĺž zlomovej poruchy (obr. 31). Celkový posun v tomto smere dosiahol 0,915 mm, čo predstavuje nárast oproti roku 2015 o 0,066 mm. Priemerná rýchlosť posunu za rok je 0,081 mm. Aj v roku 2016 pokračovala stagnácia otvárania trhliny (os x). Hodnota celkového otvorenia dosiahla 0,070 mm. Poklesávanie (os z) jedného z blokov v roku 2015 i 2016 bolo minimálne (0,007 a 0,002 mm). Doposiaľ namerané rotácie blokov v oboch rovinách (XY a XZ) sú bezvýznamné (obr. 32).



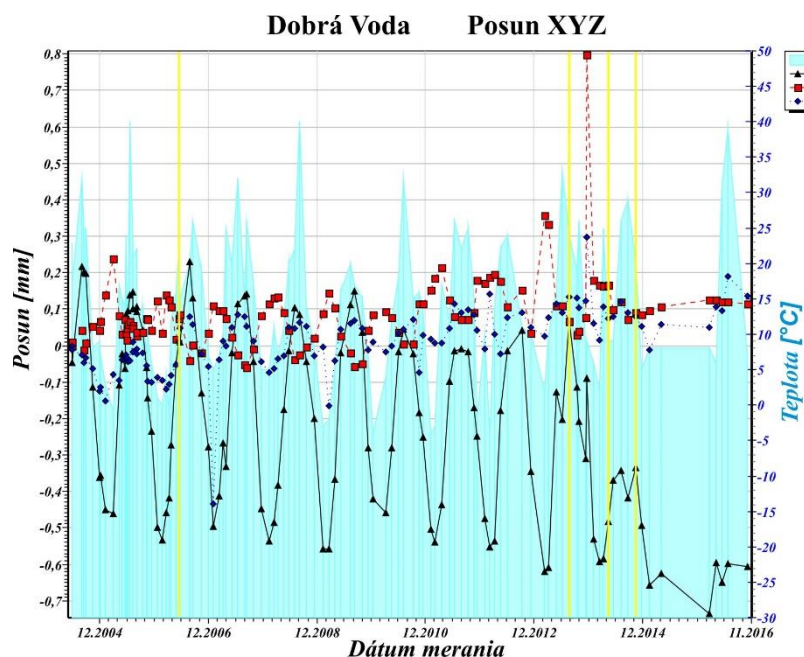
Obr. 31 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x, y, z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne za obdobie rokov 2005 – 2016



Obr. 32 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne za obdobie rokov 2005 – 2016

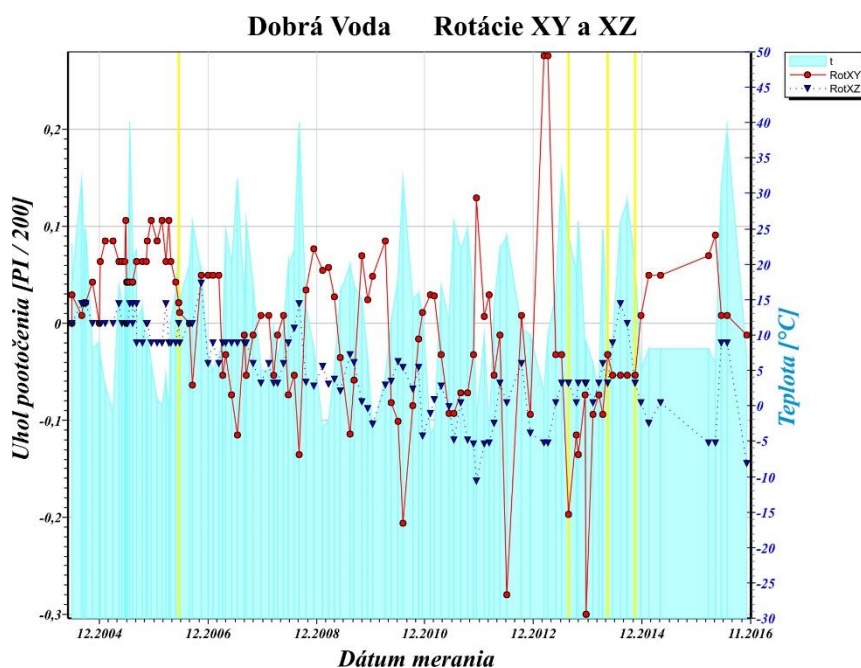
Dobrá Voda

Aj v roku 2016 pokračovala na tejto lokalite spolupráca s Ústavom struktúry a mechaniky hornín Akadémie vied ČR v Prahe. Českí kolegovia uskutočnili 5 odčítaní hodnôt nameraných dilatometrom TM-71. Z interpretácie poskytnutých údajov je zrejmé, že po stagnácii v roku 2015 pokračoval dlhodobý trend poklesu (os z) jedného z monitorovaných blokov. Pokles sa v roku 2016 zvýšil o 0,085 mm na celkových 0,135 mm. Hoci otváranie trhliny (os x) a šmykový posun pozdĺž zlomu (os y) v roku 2016 stagnovali, dlhodobý trend pozvoľného rozširovania trhliny a pomalého ľavostranného šmykového posunu sú zreteľné (obr. 33). Celkové otvorenie trhliny od roku 2004 dosiahlo 0,607 mm, šmykový posun 0,115 mm. Trendy pohybov sú zrejmé aj napriek silnému kolísaniu hodnôt spôsobenému sezónnymi výkyvmi teploty. Priemerný ročný nárast otvárania trhliny dosahuje cca 0,049 mm.



Obr. 33 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2016

Z grafu rotácií (obr. 34) je evidentný pokračujúci trend otáčania v oboch navzájom kolmých rovinách (XY a XZ), ktorý však dosahuje iba minimálne hodnoty. Výkyv v rotácii v rovine XY na konci roka 2012 veľmi dobre korešponduje so slabým zemetrasením ($M = 1,6$) zaznamenaným 18. 11. 2012 pri Chltnici. Jeho epicentrum bolo iba pár kilometrov na SZ od obce, teda v smere k Dobrej Vode.



Obr. 34 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2016

Výsledky meraní posunov a súvislosť so seizmickou aktivitou územia do roku 2010 v oblasti Malých Karpát boli sumarizované v publikáciách [Briestenský et al. 2007](#) a [2010](#).

3.4 Diskusia

Výsledky dlhodobého monitorovania posunov na vybratých neotektonických poruchách na území SR, resp. v roku 2016 dilatometrami typu *TM-71* možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Na väčšine lokalít sa v roku 2016 prejavili recentné tektonické pohyby, avšak rôznej intenzity. Najvýraznejší pohyb bol zaznamenaný na lokalitách Branisko, Dobrá Voda a Vyhne. Menšie posuny boli zistené na lokalitách Demänová a Ipeľ. Na lokalite Banská Hodruša – Hámre pretrváva od roku 2015 stagnácia pohybu vo všetkých troch osiach.
2. Výsledky monitoringu majú veľký praktický význam z hľadiska stability najmä na lokalitách Ipeľ (plánovaná výstavba prečerpávacej vodnej elektrárne s výkonom cca 700 MW), Branisko (diaľničný tunel v prevádzke) a Demänovská jaskyňa Slobody (národná prírodná pamiatka, jeden z najnavštevovanejších turistických objektov v SR).

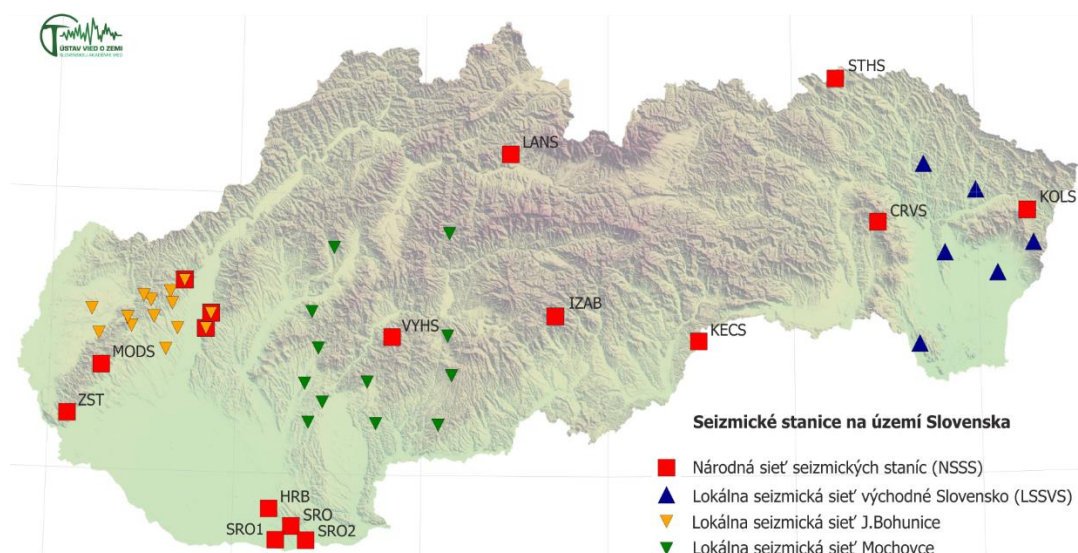
Vzhľadom na uvedenú dôležitosť lokalít navrhujeme s pokračovaním monitorovacích prác aj v roku 2017 a s frekvenciou meraní minimálne 4x za rok.

4. Monitorovanie seizmických javov

Seizmické javy na území Slovenskej republiky sú monitorované seizmickými stanicami Národnej siete seizmických staníc (NSSS), ktorej prevádzkovateľom je Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied. Národná sieť seizmických staníc je tvorená 13 seizmickými stanicami ([tab. 2](#), [obr. 35](#)):

Tab. 2 Národná sieť seizmických staníc na území SR (stav v roku 2016)

Bratislava - Železná studnička (ZST)	Kolonické sedlo (KOLS)
Červenica (CRVS)	Liptovská Anna (LANS)
Vyhne (VYHS)	Izabela (IZAB)
Modra – Piesok (MODS)	Moča (SRO2)
Hurbanovo (HRB)	Stebnícka Huta (STHS)
Iža (SRO1)	Šrobárová (SRO)
Kečovo (KECS)	



Obr. 35 Seizmické stanice na území Slovenska - stav v roku 2016.

Na seizmických staniciach sa pomocou seizmometrov zaznamenáva rýchlosť pohybu pôdy. Všetky seizmické stanice sú registrované v International Seismological Centre (ISC) vo Veľkej Británii. Na staniciach ZST, CRVS, VYHS, KOLS a MODS sú nainštalované širokopásmové seizmometre, ostatné seizmické stanice sú vybavené krátkoperiodickými seizmometrami, seizmická stanica HRB strednoperiodickým seizmometrom.

Na území Slovenska sú okrem NSSS v prevádzke aj lokálne seizmické siete v okolí atómových elektrární Mochovce a Jaslovské Bohunice, ktoré prevádzkuje spoločnosť Progseis v Trnave. Na východnom Slovensku bola vybudovaná lokálna sieť seizmických staníc, ktorú prevádzkuje FMFI UK v Bratislave.

Zemepisné súradnice jednotlivých seizmických staníc NSSS, spolu s nadmorskou výškou a technickými parametrami a pokrytie územia Slovenskej republiky seizmickými stanicami, sú znázornené v tab. 3.

Tab. 3 Charakteristiky seizmických staníc Národnej siete seizmických staníc SR (stav v roku 2016)

Stanica	ISC kód	Zem. šírka [°N]	Zem. dĺžka [°E]	Nadm. výška [m]	Seizmometer	DAS	Vzorkovacia frekvencia [údaj/sek.]	Registrácia, prenos údajov	Dátový formát
Bratislava Žel. Stud.	ZST	48.196	17.102	250	3x SKD	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Červenica	CRVS	48.902	21.461	476	STS-2	Wave24	100		
Vyhne	VYHS	48.493	18.836	450	Gurapl-6T-30s	Wave24	100		
Modra - Piesok	MODS	48.373	17.277	520	STS-2	SEMS	100		
Hurbanovo	HRB	47.873	18.192	115	2x Mainka	Analog	-	začadený papier, off-line	-
Iža	SRO1	47.762	18.238	111	LE3D	PCM	20	tinuálna, v reálnom čase	mSEED
Kečovo	KECS	48.483	20.486	345	Gurapl-40T-1s	Wave24	100		

Kolonické sedlo	KOLS	48.933	22.273	460	STS-2	Wave32	100		
Izabela	IZAB	48.569	19.713	450	3x SM3	Wave24	100		
Liptovská Anna	LANS	49.151	19.468	710	LE3D	SEMS	100		
Moča	SRO2	47.763	18.394	109	Gurapl-40T-1s	Wave24	100		
Stebnícka Huta	STHS	49.417	21.244	534	LE3D	Wave24	100		
Šrobárová	SRO	47.813	18.313	150	3x SKM-3	Wave24	100		

4.1 Dátové a spracovateľské centrum

Dátové a spracovateľské centrum Národnej siete seizmických staníc je v ÚVZ SAV Bratislava. Centrum v reálnom čase zhromažďuje zaznamenané údaje zo staníc Národnej siete a z vybraných staníc okolitých krajín. Celkovo sú v reálnom čase k dispozícii údaje z cca 55 seizmických staníc tvoriacich Regionálnu virtuálnu seizmickú sieť ÚVZ SAV.

Dátové a spracovateľské centrum vykonáva automatické lokalizácie, ktoré sú k dispozícii do 10 minút po zaznamenaní seizmického javu. V ďalšom kroku je vykonávaná manuálna analýza, v rámci ktorej sú pre každý seizmický jav určené časy príchodov jednotlivých druhov seizmických vln (fáz) a pre vybrané zemetrasenia sú určené amplitúdy a periódy vybraných fáz, vypočítané magnitúda a vykonaná lokalizácia. ***V roku 2016 bolo zo záznamov seizmických staníc interpretovaných 10888 teleseizmických, regionálnych alebo lokálnych seizmických javov a určených bolo viac ako 40600 seizmických fáz.***

Ústav vied o Zemi SAV zhromažďuje a analyzuje okrem seizmometrických údajov aj makroseizmické údaje o zemetraseniach. Makroseizmické údaje charakterizujú účinky zemetrasenia na ľuďoch, predmetoch, stavbách a prírode. Ak má zemetrasenie makroseizmické účinky na území Slovenska, ÚVZ SAV vykonáva zber makroseizmických pozorovaní od občanov formou vyplnených makroseizmických dotazníkov prostredníctvom internetu, e-mailovej komunikácie alebo poštou.

Údaje obsiahnuté v makroseizmických dotazníkoch a prípadné ďalšie údaje sú vyhodnocované podľa 12 stupňovej makroseismickej stupnice EMS-98. Pre každú lokalitu, z ktorej sú dostupné makroseizmické údaje, je určená makroseizmická intenzita.

4.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území SR

V roku 2016 bolo na základe záznamov seizmických staníc NSSS seizmometricky lokalizovaných 87 zemetrasení s epicentrom na území Slovenskej republiky. Parametre týchto zemetrasení boli určené na základe interpretácií seizmických záznamov zo staníc NSSS a ďalších staníc Virtuálnej siete seizmických staníc ÚVZ SAV využitím softvérového balíka Seismic-Handler. Interpretácie záznamov zo seizmických staníc NSSS (určené seizmické fázy,

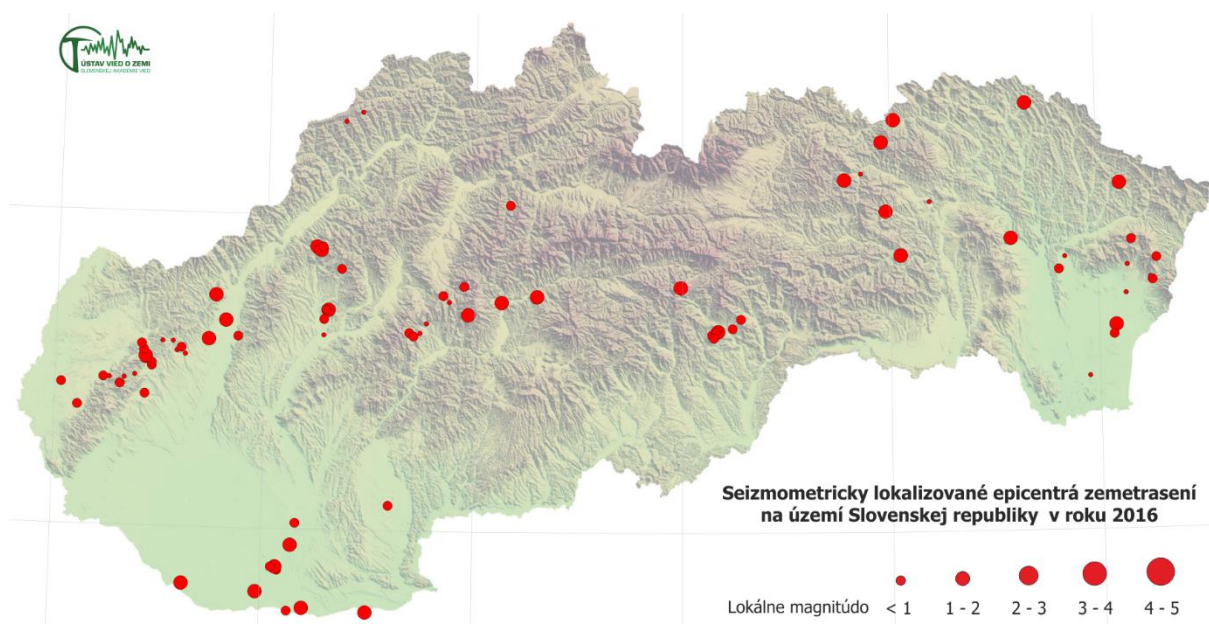
časy príchodov a epicentrálna vzdialenosť pre danú seizmickú stanicu) sú archivované v databáze ÚVZ SAV.

Výsledné parametre lokalizovaných zemetrasení s epicentrom na území Slovenskej republiky a zobrazenie geografických polôh epicentier týchto zemetrasení sú v [tab. 4](#) a na [obr. 36](#).

Tab. 4 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území SR

Deň	Čas (UTC) hh:mm:sec	Geografické súradnice		Hĺbka (km)	M _L	I ₀ (EMS)	Lokalita / oblasť
dĺžka šírka							
Január							
8	05:08:43.97	48.90 N	21.95 E	0	-		Východoslovenská nížina
9	10:05:46.76	48.45 N	17.31 E	1.5	0.3		Malé Karpaty
24	22:18:56.83	48.64 N	20.17 E	0	1.6		Revúcka vrchovina
24	22:24:28.74	48.63 N	20.14 E	0	0.5		Revúcka vrchovina
24	22:34:11.60	48.65 N	20.18 E	0	-		Revúcka vrchovina
31	17:16:28.81	48.64 N	20.16 E	0	0.7		Revúcka vrchovina
28	01:02:16.33	48.73 N	18.88 E	0	-		Vtáčnik
28	01:02:18.82	48.66 N	18.77 E	0	-		Vtáčnik
31	04:40:18.13	48.59 N	17.51 E	1.7	-		Malé Karpaty
Február							
13	02:25:58.47	48.61 N	17.87 E	0.3	0.3		Považský Inovec
13	21:34:17.90	48.75 N	19.30 E	0	1		Horehronie
13	05:13:35.54	48.87 N	21.84 E	5.8	0.2		Vihorlatské vrchy
Marec							
31	09:10:51.76	47.74 N	18.50 E	0	1.2		Šamorín-Komárno-Štúrovo
Apríl							
15	12:56:16.97	48.65 N	22.08 E	2.4	1.5		Východoslovenská nížina
15	17:30:25.25	48.70 N	18.30 E	0.2	1		Strážovské vrchy
15	17:46:52.13	48.70 N	18.29 E	0	0.5		Strážovské vrchy
15	19:08:48.19	48.70 N	18.29 E	0.4	0.7		Strážovské vrchy
16	21:14:08.04	48.67 N	18.28 E	0.2	0.3		Strážovské vrchy
17	08:09:52.31	48.62 N	18.28 E	0	-		Strážovské vrchy
17	10:43:27.59	47.87 N	18.08 E	6.8	0.8		Šamorín-Komárno-Štúrovo
18	13:20:39.86	49.24 N	20.96 E	0	1.9		Čergov
19	23:58:38.83	48.62 N	22.07 E	0	0.5		Východoslovenská nížina
23	17:46:20.25	48.78 N	18.95 E	0	0.5		Kremnické vrchy
29	00:02:40.40	48.47 N	17.33 E	0.8	-		Malé Karpaty
29	22:59:10.41	48.62 N	20.15 E	0	0.8		Revúcka vrchovina
29	22:59:43.95	48.59 N	17.56 E	2.8	-		Malé Karpaty
Máj							
1	22:23:09.64	48.63 N	18.69 E	0	0.8		Vtáčnik
3	05:12:59.03	47.88 N	18.07 E	0	0		Šamorín-Komárno-Štúrovo
3	17:25:21.98	48.79 N	22.26 E	6.1	6.1		Vihorlatské vrchy
5	08:18:20.67	49.36 N	21.66 E	21.6	21.6		Laborecká vrchovina
13	21:12:53.50	48.86 N	22.28 E	4.2	4.2		Vihorlatské vrchy
14	23:42:41.73	49.04 N	19.17 E	0	0		Veľká Fatra
19	03:36:21.27	48.56 N	17.58 E	5.4	5.4		Malé Karpaty
20	19:36:41.80	48.65 N	20.24 E	0	0		Revúcka vrchovina
20	21:36:01.47	48.51 N	17.46 E	1.1	1.1		Malé Karpaty
20	22:07:17.90	48.53 N	17.43 E	2.4	2.4		Malé Karpaty
22	14:14:20.40	48.52 N	17.46 E	1.6	1.6		Malé Karpaty
29	08:26:21.82	47.80 N	17.98 E	1.5	1.5		Šamorín-Komárno-Štúrovo
Jún							
1	05:34:50.91	48.54 N	17.43 E	1.9	1.1		Malé Karpaty
2	14:28:44.85	48.51 N	17.46 E	1.7	-		Malé Karpaty

7	08:35:22.67	48.92 N	22.16 E	9.3	0.1	Vihorlatské vrchy
10	07:43:05.26	48.88 N	21.05 E	0	1.1	Šariš
13	17:20:21.88	48.45 N	17.31 E	1.7	0.2	Malé Karpaty
17	10:29:38.84	47.74 N	18.13 E	7	0.9	Šamorín-Komárno-Štúrovo
22	14:29:21.67	48.55 N	17.62 E	0	-	Malé Karpaty
23	21:52:19.25	47.75 N	18.20 E	0	1.4	Šamorín-Komárno-Štúrovo
24	08:44:43.24	48.74 N	17.76 E	8.3	1.3	3 Malé Karpaty
25	00:33:01.20	48.73 N	19.13 E	0	1.1	oblasť Banskej Bystrice
30	19:35:51.24	48.60 N	17.73 E	2	1.1	Malé Karpaty
Júl						
4	18:12:35.64	48.47 N	17.23 E	0	0.1	Malé Karpaty
11	10:37:40.28	49.31 N	21.02 E	4.2	1.6	Čergov
12	00:45:18.35	48.47 N	17.26 E	8.9	-	Malé Karpaty
17	19:06:26.20	48.48 N	17.38 E	1.5	-	Malé Karpaty
26	10:46:55.58	48.93 N	21.58 E	6	1.1	Slanské vrchy
30	09:36:11.71	49.10 N	22.11 E	0	1.5	Laborecká vrchovina
31	01:47:59.05	48.83 N	21.81 E	7.2	0.5	Vihorlatské vrchy
August						
2	23:55:24.37	48.84 N	22.14 E	4	-	Vihorlatské vrchy
7	19:20:12.61	48.69 N	18.97 E	0	1.4	Kremnické vrchy
13	22:30:30.47	48.90 N	18.24 E	1	1.3	Strážovské vrchy
25	03:10:03.46	48.62 N	18.71 E	2	0.7	Vtáčnik
25	04:58:42.28	47.95 N	18.14 E	0	1.3	Šamorín-Komárno-Štúrovo
26	23:50:14.51	48.89 N	18.26 E	2.4	1.1	Strážovské vrchy
27	03:11:28.09	48.90 N	18.27 E	0	0.8	Strážovské vrchy
31	23:14:26.90	48.80 N	22.25 E	6.8	-	Vihorlatské vrchy
September						
1	23:23:14.56	48.75 N	18.85 E	0	0.1	Vtáčnik
3	06:00:29.63	48.38 N	17.11 E	0.7	0.4	Malé Karpaty
4	01:12:11.04	48.45 N	17.03 E	0	0.3	Záhorie
14	22:49:20.98	48.83 N	18.36 E	6.5	0.6	Strážovské vrchy
17	18:36:25.12	49.33 N	18.45 E	10	-	Javorníky
19	02:10:40.02	49.30 N	18.37 E	0	-	Javorníky
25	21:37:54.54	48.08 N	18.60 E	0	0.4	Ipeľská pahorkatina
29	05:58:11.72	48.78 N	19.99 E	0	1.3	Muránska planina
29	19:38:51.09	48.63 N	18.74 E	1.7	-	Vtáčnik
Október						
1	02:41:47.53	48.02 N	18.16 E	6.3	0.8	Šamorín-Komárno-Štúrovo
9	20:45:11.06	47.82 N	17.63 E	0	1.4	Šamorín-Komárno-Štúrovo
12	22:19:43.10	48.42 N	17.43 E	2.1	0.9	Malé Karpaty
13	08:35:15.32	48.56 N	17.42 E	1.4	0.4	Malé Karpaty
17	11:39:51.89	49.02 N	20.98 E	7.1	1.6	Šariš
21	19:06:41.80	48.68 N	20.28 E	0	0.8	Revúcka vrchovina
November						
4	03:01:39.66	48.75 N	22.13 E	0	-	Východoslovenská nížina
25	09:29:47.57	49.12 N	20.78 E	0	1.4	Levočské vrchy
26	18:59:39.80	47.88 N	18.05 E	0.8	0.9	Šamorín-Komárno-Štúrovo
December						
6	01:33:14.11	48.57 N	17.60 E	1.3	0.5	Malé Karpaty
7	10:18:26.67	49.14 N	20.86 E	0	-	Levočské vrchy
12	21:43:31.28	48.66 N	17.81 E	3.7	1.4	Malé Karpaty
22	13:24:23.03	49.05 N	21.19 E	7.7	-	Šariš
31	20:23:12.28	48.58 N	17.41 E	1	0.2	Malé Karpaty



Obr. 36 Seizmometricky lokalizované epicentrá zemetrasení na území SR v roku 2016.

4.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky

V roku 2016 boli na území Slovenska makroseizmicky pozorované 2 zemetrasenia. Obe makroseizmicky pozorované zemetrasenia boli seizmometricky lokalizované.

Dňa 25. 4. 2016 o 10:28 UTC bolo makroseizmicky pozorované zemetrasenie s epicentrom v Rakúsku v 9 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 12 makroseizmických pozorovaní (tab. 5). Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia $I_0 = 5-6^\circ$ EMS-98. Najvyššia makroseizmická intenzita dosiahnutá na území Slovenska je 3° EMS-98. Zemetrasenie bolo zaznamenané 9 seizmickými stanicami NSSS – ZST, MODS, SRO, SRO2, VYHS, LANS, KECS, CRVS a KOLS. Na základe záznamov z týchto staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L = 4.0$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 25. 4. 2016
čas vzniku [UTC]	 10:28:23.559
epicentrum: zemepisná šírka	 48.017° N
zemepisná dĺžka	 16.162° E
hĺbka ohniska	 14.1 km
lokálne magnitúdo	 4.0

Tab. 5 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie z 25. 4. 2016 o 10:28 UTC

Lokalita	Zemepisná šírka [$^\circ$ N]	Zemepisná dĺžka [$^\circ$ E]	Počet pozorovaní	I [$^\circ$ EMS-98]
Bratislava 5	48.111	17.112	3	3

Bratislava 4	48.159	17.052	2	3
Bratislava 1	48.147	17.102	1	3
Galanta	48.198	17.734	1	3
Kolinany	48.351	18.229	1	3
Orechová Potôň	48.036	17.564	1	3
Pezinok	48.298	17.270	1	3
Modrý Kameň	48.248	19.324	1	pozorované
Veľká Lomnica	49.112	20.354	1	pozorované

Dňa **24. 6. 2016** o **08:44 UTC** bolo makroseizmicky pozorované zemetrasenie s epicentrom v severnej časti Malých Karpát v 1 lokalite na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV 2 pozorovania (tab. 6). Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia $I_0 = 3^\circ$ EMS-98. Zemetrasenie bolo zaznamenané 2 seizmickými stanicami NSSS – MODS a VYHS. Na základe záznamov z týchto staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L = 1.3$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom Seismic-Handler. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 24. 6. 2016
čas vzniku [UTC]	 08:44:43.240
epicentrum: zemepisná šírka	 48.737° N
zemepisná dĺžka	 17,758° E
hĺbka ohniska	 8.3 km
lokálne magnitúdo	 1.3

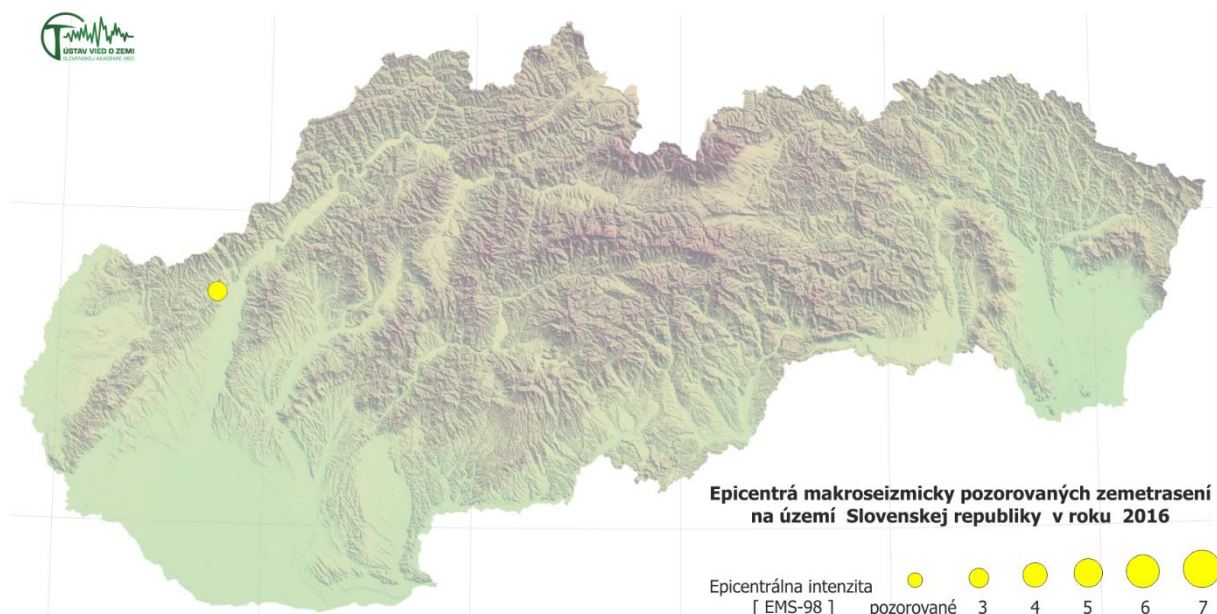
Tab. 6 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie z 24. 6. 2016 o 08:44 UTC

Lokalita	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Nové Mesto nad Váhom	48.758	17.829	2	3

Prehľad makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenskej republiky v roku 2016 a ich hlavné parametre sú uvedené v [tab. 7](#), ich distribúcia v [obr. 37](#).

Tab. 7 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky v roku 2016

DÁTUM			ČAS [UTC]			HYPOCENTRUM			M_L	I_0	LOKALITA
rok	mes	deň	hod	min	sek	[°N]	[°E]	h [km]			
2016	04	25	10	28	23.6	48.02	16.16	14.1	4.0	5-6	Rakúsko
2016	06	24	08	44	43.2	48.74	17.76	8.3	1.3	3	Malé Karpaty



Obr. 37 Epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území SR v roku 2016 (epicentrum zemetrasenia v Rakúsku nie je na mape zobrazené vzhľadom na jej rozmery)

5 Literatúra

- Avramova-Tacheva, E., Vrablyansky, B. & Kostak, B., 1984: An attempt to detect recent movements along seismogenic faults. *Review of the Bulgarian Geological Society XLV (3)*, 276–288 (in Bulgarian).
- Bezák, V., (Ed.), Dublan, L., Hraško, Ľ., Konečný, V., Kováčik, M., Madarás, J., Plašienka, D. & Pristaš, J., 1999: Geologická mapa Slovenského rudohoria – západná časť M 1:50 000. *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*.
- Biely, A. (Ed.), Beňuška, P., Bezák, V., Bujnovský, A., Halouzka, R., Ivanička, J., Kohút, M., Klinec, A., Lukáčik, E., Maglay, J., Miko, O., Pulec, M., Putiš, M. & Vozár, J., 1992: Geologická mapa Nízkych Tatier M 1:50 000. *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*.
- Borre, K., Cacoň, S., Cello, G., Kontny, B., Kostak, B., Andersen, H. Likke, Moratti, G., Piccardi, L., Stemberk, J., Tondi, E. & Vilimek, V. 2003: The COST project in Italy: analysis and monitoring of seismogenic faults in the Gargano and Norcia areas (central-southern Apennines, Italy). *Journal of Geodynamics* 36, 3–18.
- Briestenský, M., Stemberk, J. & Petro, Ľ., 2007: Displacements registered around the 13 March 2006 Vrbové earthquake M=3.2 (Western Carpathians). *Geologica Carpathica* 58, 487–493.
- Briestenský, M. & Stemberk, J., 2008: Micromovements monitoring in caves of western Slovakia. *Slovenský kras* 46/25, 77–83 (in Slovak).
- Briestenský, M., Košťák, B., Stemberk, J., Petro, Ľ., Vozár, J. & Fojtíková, L., 2010: Active tectonic fault microdisplacement analyses: A comparison of results from surface and underground monitoring in Western Slovakia. *Acta Geodyn. Geomater., Vol. 7, No 4 (160)*, 387 – 397.
- Briestenský, M., Stemberk, J., Michalík, J., Bella, P. & Rowberry, M.D., 2011: The use of a karstic cave system in a study of active tectonics: fault movements recorded at Driny Ca-

- ve, Malé Karpaty Mts. (Slovakia), *J. Cave Karst Stud.*, 73, 114–123, doi: 10.4311/jcks2010es0166.
- Briestenský, M., Thinová, L., Praksová, R., Stemberk, J., Rowberry, M.D. & Knežflová, Z., 2014: Radon, carbon dioxide, and fault displacements in central Europe related to the Tōhoku Earthquake, *Radiat. Prot. Dosim.*, doi:10.1093/rpd/ncu090.
- Drakatos, G., Petro, L., Ganas, A., Melis, N., Košťák, B., Kontny, B., Cacoń, S., & Stercz. M., 2005: Monitoring of strain accumulation along active faults in the Eastern Gulf of Corinth: Instruments and Network setup. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2 (137), 37–43.
- Droppa, A., 1957: Demänovské jaskyne. Krasové zjavy Demänovskej doliny. Vyd. SAV, Bratislava, 1–289 (in Slovak with German Summary).
- Droppa, A., 1972: Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras* 10, 9–46 (in Slovak with German Summary).
- Dvořák, P., Pospíšil, L., Hotovcová, J., Mojzeš, M. & Papčo, J., 2005: Geo-analýza horizontálnych pohybových tendencií na východnom Slovensku. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment* 12, 9–22 (in Czech with English Abstract).
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B. & Stemberk, J., 2009: Surface versus underground measurements of active tectonic displacements detected with TM 71 extensometers in Western Slovenia. *Acta Carsologica* 38, 213–226.
- Hók, J., Bielik, Kováč, P., & Šujan, M., 2000: Neotektonický charakter územia Slovenska. *Mineralia Slovaca, Bratislava*, 32, 459–470.
- Konečný, V., (Ed), Lexa, J., Halouzka, R., Dublan, L., Šimon, L., Stolár, M., Nagy, A., Polák, M., Vozár, J., Havrila, M., Pristaš, J., 1998: Geologická mapa Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (Štiavnický stratovulkán). *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*.
- Kontny, B., Cacoń, S., Košťák, B. & Stemberk, J., 2005: Methodic analysis of data obtained by monitoring micro-tectonic movements with TM71 crack gauges in the Polish Sudeten. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 3 (139), 57–67.
- Kostak, B., 1969: A new device for in-situ movement detection and measurement. *Experimental Mechanics. SESA (American Society for Experimental Stress Analysis) Journal* 9, 374–379.
- Košťák, B., 1998: Evidence of active tectonic movements in the Krušné Hory Mts. (NW Bohemia). *Journal of the Czech Geological Society* 43, 287–297.
- Košťák, B. & Rybář, J., 1978: Measurements of the activity of very slow slope movements. *Grundlagen u. Anwendung d. Felsmechanik. Trans Tech. Publ., Clausthal*, 191–205.
- Kostak, B. & Cruden, D.M., 1990: The Moire' crack gauges on the crown of the Frank Slide. *Canadian Geotechnical Journal* 27, 835–840.
- Kostak, B., Vilimek, V. & Zapata, M.L., 2002: Registration of microdisplacements at a Cordillera Blanca fault scarp. *Acta Montana, IRSM ASCR, Ser. A* 19 (123), 61–74.
- Maglay, J. (Ed.), Halouzka, R., Banacky, V., Pristas, J. and Janocko, J., 1999: Neotektonická mapa Slovenska 1:500 000. Vyd. MŽP SR a Geologická služba SR, Bratislava.
- Mojzeš, M. et al., 2015: Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska. *Zborník príspevkov na medzinárodnom sympóziu Geodetické základy a geodynamika 2015*, Kočovce, ISBN 978-80-227-4466-9.
- Nemčok, M., Konečný, P. & Lexa, O., 2000: Calculations of tectonic, magmatic and residual stress in the Štiavnica stratovolcano, Western Carpathians: implications for mineral precipitation paths. *Geologica Carpathica* 51, 19–36.
- Ondrášik, R., Hovorka, D. & Matejček, A., 1987: Prejavy muránsko-divínskej poruchovej zóny vo veporickom kryštaliniku v štôlni Ipeľ. *Mineralia Slovaca* 19, 29–44.

- Petro, Ľ., Košťák, B., Polaščinová, E., & Spišák, Z., 1999: Monitoring blokových pohybů v Slanských vrchoch. *Mineralia Slovaca* 31, 549–554 (in Slovak with English summary).
- Petro, Ľ., Vlčko, J., Ondrášik, R. & Polaščinová, E., 2004: Recent tectonics and slope failures in the Western Carpathians. *Engineering Geology* 74, 103–112.
- Polák, M., Jacko, S. (Eds.), Vozár, J., Vozárová, A., Gross, P., Harčár, J., Sasvári, T., Zacharov, M., Baláž, B., Kaličiak, M., Karoli, S., Nagy, A., Buček, S., Maglay, J., Spišák, Z., Žec, B., Filo, I., Janočko, J., 1996. Geologická mapa Braniska a Čiernej hory 1:50 000. Vyd. Geologická služba SR, Bratislava.
- Pospíšil, L., Nemčok, J., Graniczny, M. & Doktor, S., 1986: Príspevek metod dálkového průzkumu k identifikaci zlomů s horizontálním posunem v oblasti Západných Karpat. *Mineralia Slovaca* 18, 385–402.
- Pospíšil, L., Bezák, V., Nemčok, J., Feranec, J., Vass, D. & Obernauer, D., 1989: Muránsky tektonický systém – významný príklad horizontálnych posunov v Západných Karpatoch. *Mineralia Slovaca* 21, 305–322.
- Stemberk, J., Košťák, B., 2007: 3-D trend of aseismic creep along active faults in western part of the Gulf of Corinth, Greece. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 4 (145), 53–65.
- Stemberk, J., Briestenský, M., Cacoň, S., 2015: The recognition of transient compressional fault slow-slip along the northern shore of Hornsund Fjord, SW Spitsbergen, Svalbard. *Polish Polar Research*, 2, 36, 109–123. (DOI: 10.1515/popore-2015-0007).
- Štepančíková, P., Stemberk, J., Vilímek, V., Košťák, B., 2008: Neotectonic development of drainage network in the East Sudeten and monitoring of recent displacements on tectonic structures (Czech Republic). *Geomorphology* 102, 68–80.
- Šebela, S., Gosar, A., Košťák, B. & Stemberk, J., 2005: Active tectonic structures in the W part of Slovenia – setting of micro-deformation monitoring. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 2 (137), 45–57.
- Stercz, M., 2004: SMDilat – aplikácia na vyhodnocovanie meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP).
- Vlčko, J., 2002: Monitoring – an effective tool in safeguarding the historic structures. In: Sas-sa, K. (Ed.), Proc. of the Inter. Symp. on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural and Natural Heritage, Kyoto, Japan. *Publ. UNESCO/ Kyoto Univ. Press*, 267–278.
- Vlčko, J., 2004: Extremely slow slope movements influencing the stability of Spis Castle, UNESCO site. *Landslides* 1-1, 67–71.
- Vlčko, J., Petro, Ľ., 2002: Monitoring of subgrade movements beneath historic structures. In: J.L. van Roy & C.A. Jermy (Eds.) „Proc. of 9th Int. Congress IAEG”, Durban, South Africa, (CD-ROM), 1432–1437.
- Vlčko, J., Greif, V., Gróf, V., Jezný, M., Petro, Ľ., Brček, M., 2009: Rock displacement and thermal expansion at historic heritage sites in Slovakia. *Environmental Geology* 58, 1727–1740.

Internetové zdroje:

EPN - <http://www.epncb.oma.be/networkdata/stationmaps.php>.

EPN - <http://www.epncb.oma.be/productsservices/timeseries/>

EPN - <http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/>

EPN –

http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/pdf/ETRF_Monitoring_Firenze_Brockmann.pdf