

**ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
BRATISLAVA**



**ČIASTKOVÝ MONITOROVACÍ SYSTÉM
GEOLOGICKÝCH FAKTOROV ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Tektonická a seizmická aktivita územia

Subsystem 02

Správa za obdobie: rok 2012

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

Správu vypracoval: **RNDr. Ján Madarás, PhD.**

Spolupracovali: **Ing. Dušan Ferianc, GKÚ Bratislava
Ing. Ľubomír Petro, CSc., ŠGÚDŠ RC Košice
RNDr. Andrej Cipciar, GFÚ SAV Bratislava
Mgr. Miriam Kristeková, PhD., GFÚ SAV Bratislava**

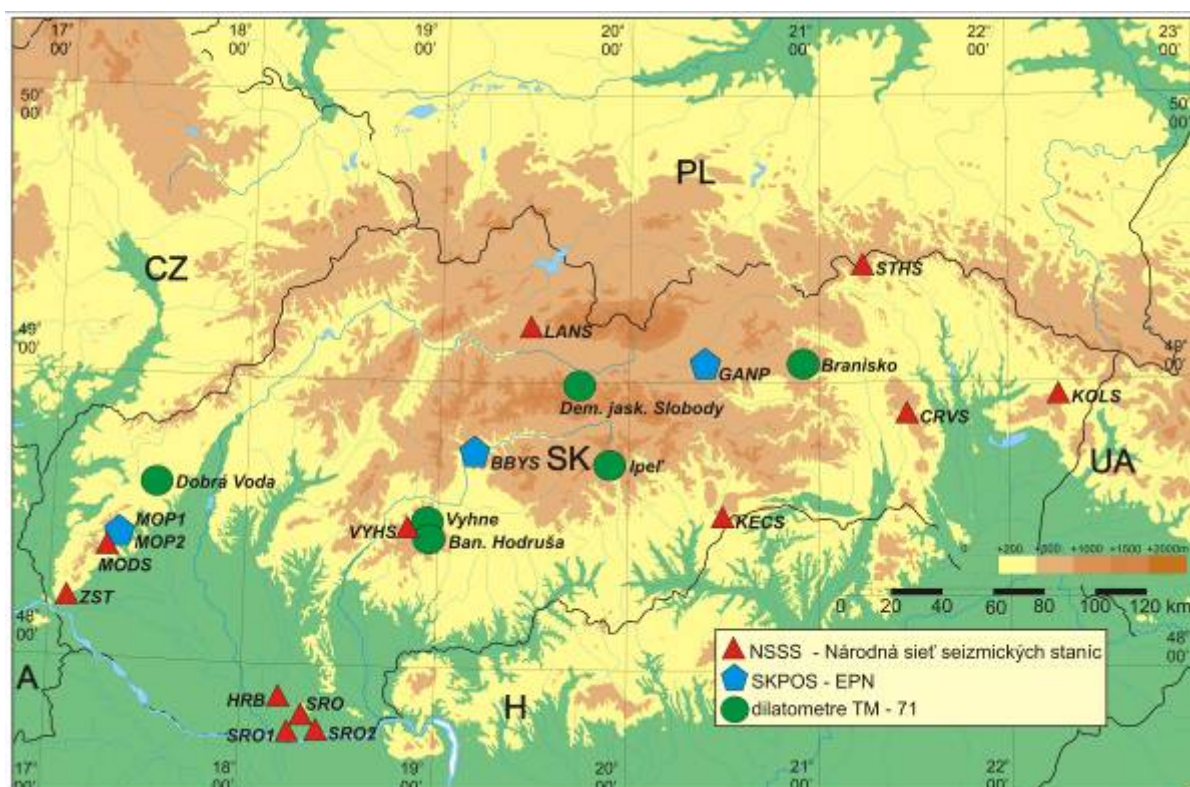
November 2013

OBSAH

1. Úvod	3
2. Pohyby povrchu územia (D. Ferianc)	3
2.1 Permanentný monitoring priestorových zmien na geodetických bodoch	4
2.1.1 Monitoring priestorových zmien na geodetických bodoch cez nivelačné meranie.	13
2.2 Pohyby pozdĺž zlomov (Ľ. Petro)	14
2.2.1 Základná charakteristika monitorovacej siete	14
2.2.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia	18
2.2.3 Výsledky monitorovania	19
2.2.4 Diskusia	26
2.3 Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2012 (A. Cipciar, M. Kristeková)	27
2.3.1 Dátové a spracovateľské centrum	28
2.3.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenskej republiky	29
2.3.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky	33
2.4 Prehľad seizmickej aktivity na území Slovenska (J. Madarás)	40
2.4.1 Historická seizmická aktivita	40
2.4.2 Katalógy zemetrasení	41
2.4.3 Seizmicky aktívne oblasti na území Slovenska	42
2.4.4 Modifikované vymedzenie seizmicky aktívnych oblastí a ich charakteristika	45
2.4.5 Príklad spracovania zemetrasenia na Záhori z 5. marca 2012 z pohľadu geológie	49
2.4.6 Vývoj a prognóza tektonickej a seizmickej aktivity na území Slovenska od začiatku monitorovania	54
3 Literatúra	55

1. Úvod

V rámci sledovania tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska (obr. 1.1.1) boli v roku 2012 monitorované pohyby povrchu systémami globálneho určenia priestorovej polohy (GNSS) Zeme na hĺbkovo stabilizovaných geodetických bodoch a monitoring priestorových zmien na geodetických bodoch cez nivelačné meranie v oblasti Dobrej Vody v severnej časti Malých Karpát (Geodetický a kartografický ústav - GKÚ, Bratislava). Pohyby pozdĺž zlomov boli monitorované na vybraných lokalitách pomocou dilatometrov typu TM 71 (Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Košice - ŠGÚDŠ RC Košice). Seizmická aktivita územia Slovenska bola zhodnotená na základe údajov Geofyzikálneho ústavu Slovenskej akadémie vied (GFÚ SAV) za rok 2012.



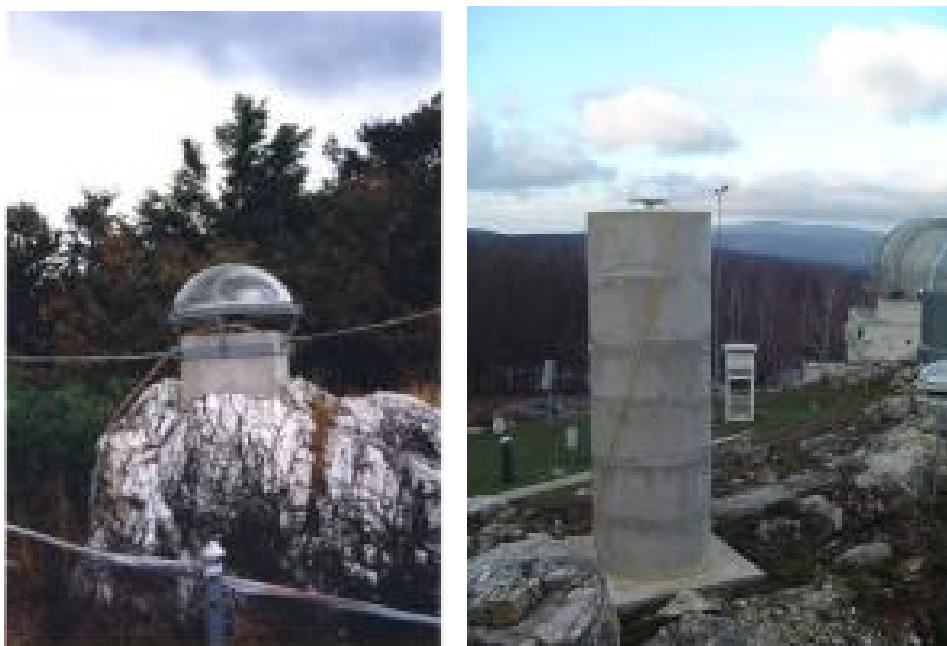
Obr. 1.1.1: Schéma rozmiestnenia lokalít na Slovensku, monitorovaných v rámci geologickej úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, subsystému 02 Tektonická a seizmická aktivita územia

2. Pohyby povrchu územia (D. Ferienc)

Na presné určenie lokalizačných parametrov 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. Dosahovaný odhad presnosti v polohových zložkách (x,y) je v úrovni milimetrov, ale vo výškovej zložke (z) je to asi trojnásobok.

2.1 Permanentný monitoring priestorových zmien na geodetických bodoch

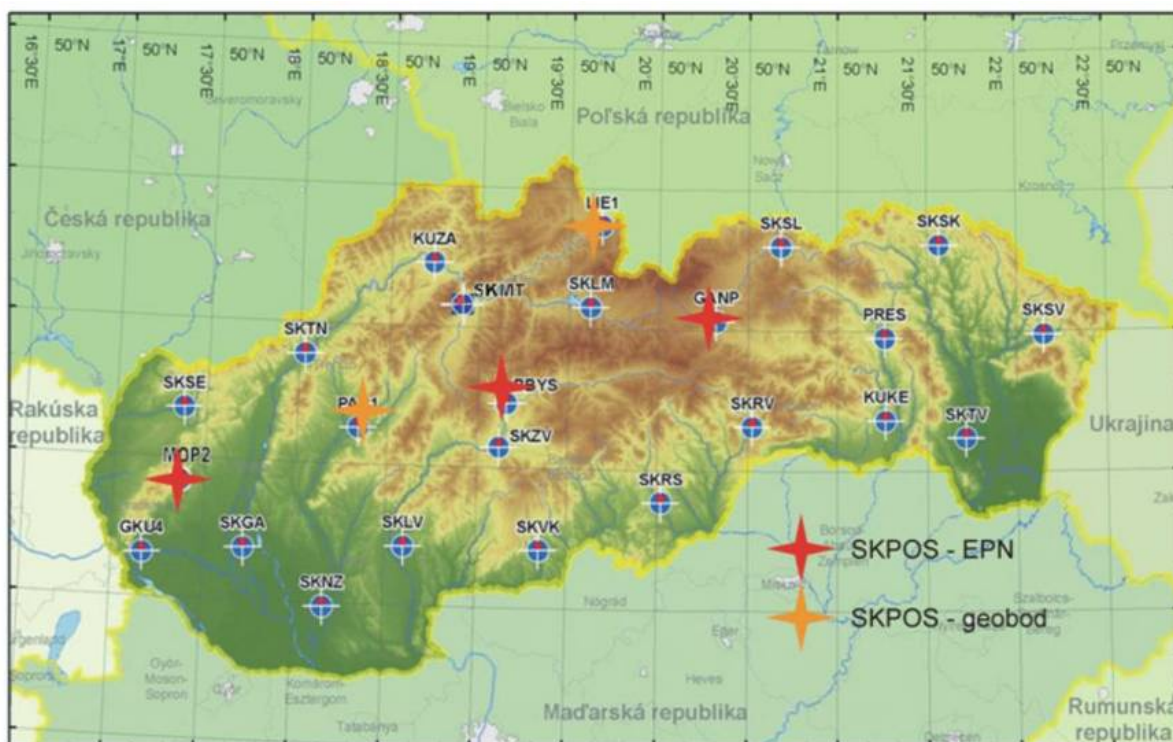
Geodetický a kartografický ústav Bratislava (GKÚ) je prevádzkovateľom a správcom slovenskej observačnej služby GNSS označenej menom SKPOS, ktorá zabezpečuje od jesene 2006 permanentné meranie GNSS s príjmom signálov z družíc amerického systému NAVSTAR GPS a ruského GLONASSu. SKPOS je dnes vybudovaná sieťou 31 geodetických bodov, referenčných staníc GNSS realizujúcej geodetický referenčný systém ETRS89 na Slovensku. 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.



Obr. 2.1.1: – Body MOPI a susedný nový bod MOP2 - stanice SKPOS



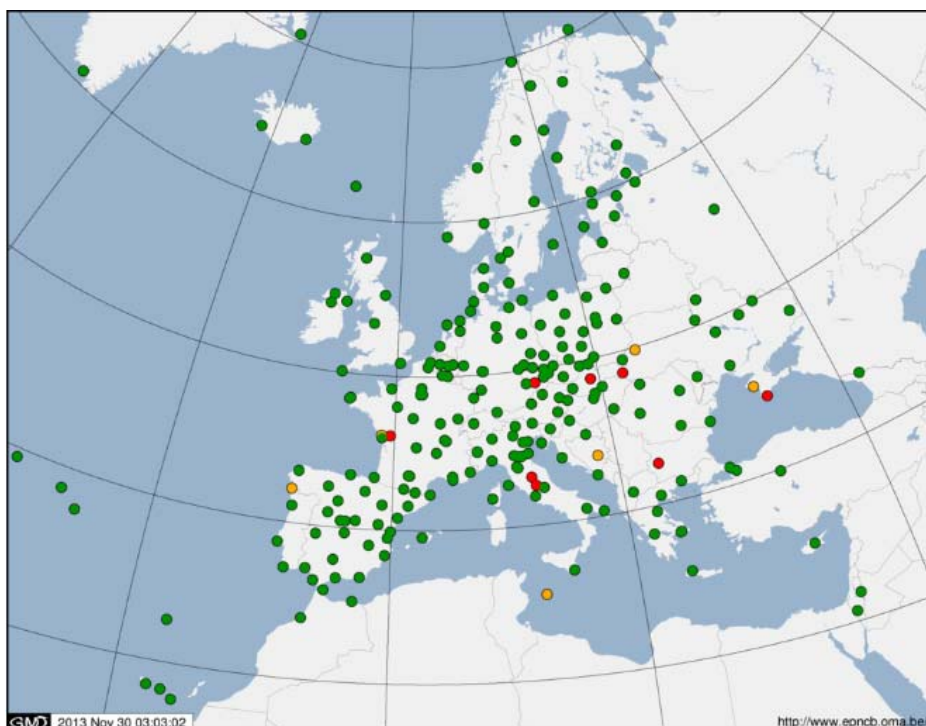
Obr. 2.1.2a,b: Body GANP (a) a BBYS (b) - stanice SKPOS



Obr. 2.1.3: Rozmiestnenie bodov SKPOS – EPN a SKPOS - geobod na území Slovenska

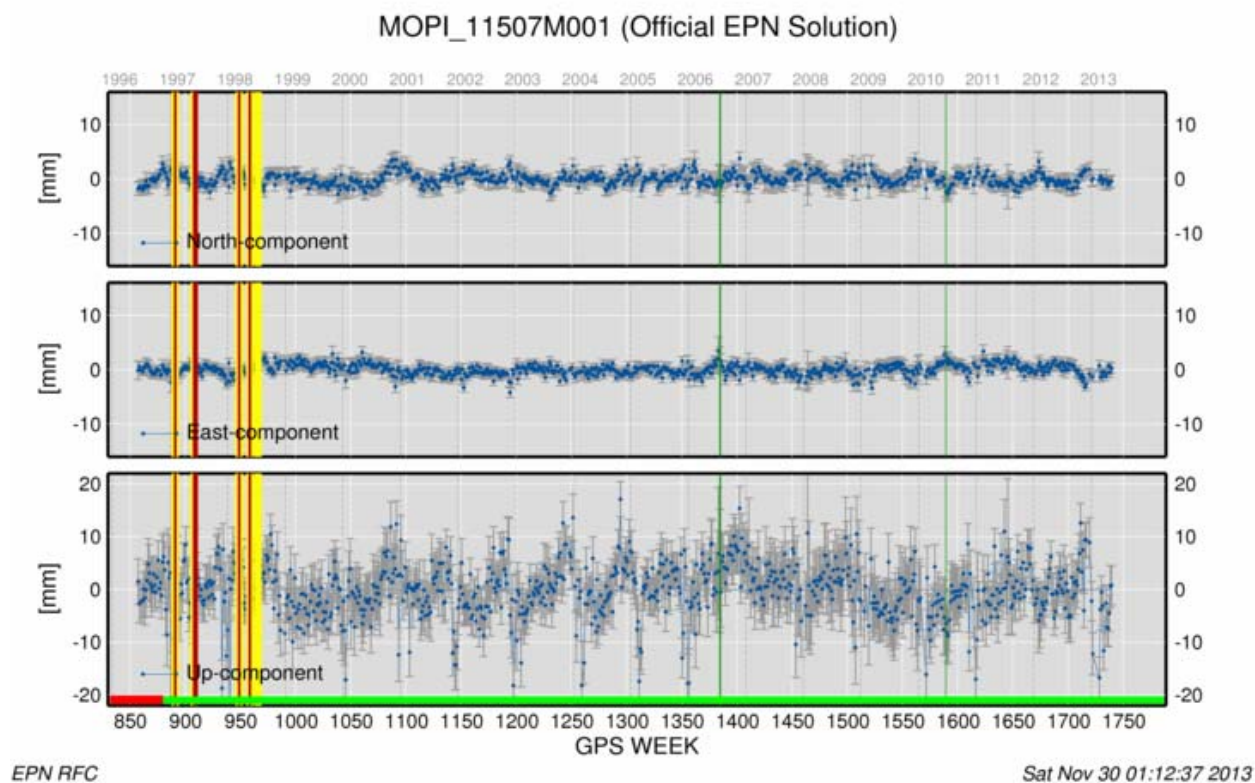
Rozmiestnenie a vybudovanie bodov bolo realizované najmä na dosiahnutie požadovanej presnosti pri geodetických meraniach na mapovacie a katastrálne geodetické činnosti. Do siete je zaradených zatiaľ 5 špecializovaných geodetických bodov, ktoré sú realizované ako hĺbkové stabilizácie ukotvené až do 10 m hĺbky so stabilizovanou geodetickou značkou. Je predpoklad, že po viacročnom permanentnom meraní na týchto bodoch by sme mali získať spoľahlivé údaje o rýchlostnej charakteristike týchto bodov.

Geodetické body s hĺbkovými stabilizáciami sú permanentne observované GNSS technológiami už skôr ako boli začlenené do siete SKPOS (obr. 2.1.1; 2.1.2a,b; 2.1.3). Najstarším bodom je MOPI, v lokalite Modre – Piesku, stabilizovaný na skalnom hrebeni Tisových skál a to od 17.11.1996 čo je 880 GPS týždň. Od 24.8.2008 t.j. 1494 GPS týždň je permanentne meraný bod MOP2, stabilizovaný vedľa pôvodného bodu na skale pilierom. Rezortný bod je v lokalite Gánovce pri Poprade a observácie sú monitorované od 16.11.2003 t.j. 1245 GPS týždň. Ostatným bodom zaradeným do EPN je BBYS v lokalite Banská Bystrica – S, ktorý pracuje od 4.02.2007 (1413 GPS týždň). Pre tieto body je monitoring a určenie rýchlostí spracovávané v rámci Európskej permanentnej siete GNSS. Údaje GNSS staníc GANP, MOPI, MOP2 a BBYS sú zasielané aj do európskej permanentnej siete (EPN - Euref Permanent Network), ktorú riadi európska komisia pre referenčné rámce (EUREF) pracujúca v Medzinárodnej asociácii geodetov (IAG). Európska sieť permanentných staníc dnes spracováva údaje cca 250 staníc GNSS. Na obr.2.1.4 je schéma rozmiestnenia staníc z európskej časti, z ktorých viaceré sú zaradené i do nášho spracovania.

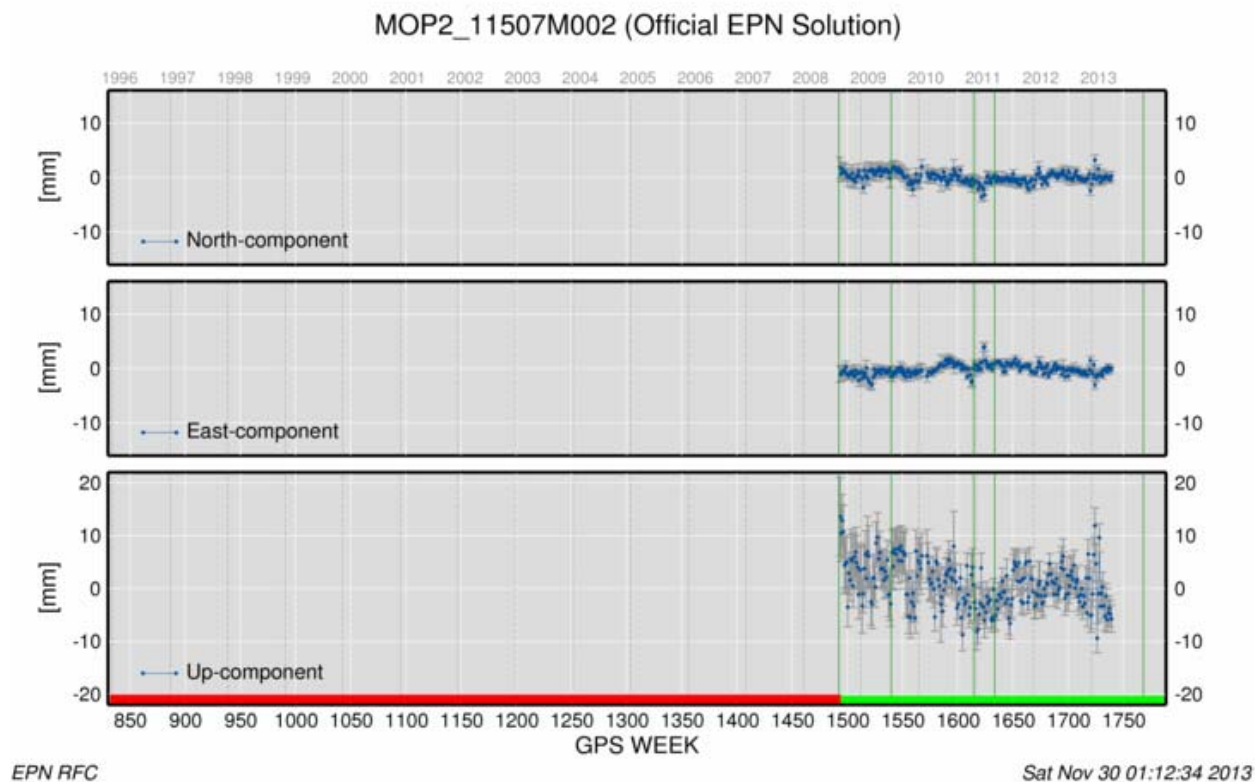


Obr. 2.1.4: Rozmiestnenie 248 permanentných staníc EPN k 30.11. 2013

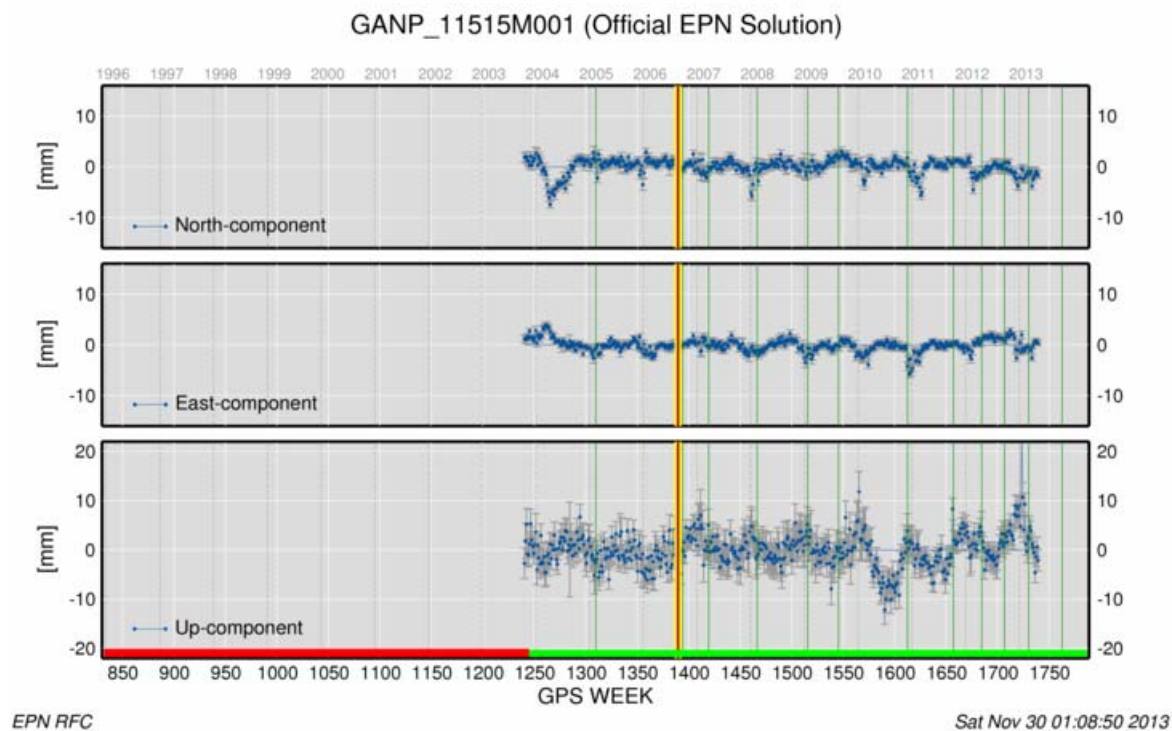
Výsledky monitoringu sú spracované pre jednotlivé body EPN vzhľadom na Medzinárodný (svetový) terestrický referenčný rámec - ITRF2005, Európsky terestrický referenčný rámec - ETRF89, ako voľné (merané) údaje (RAW) a upravené s rýchlostným trendom (CLEAN) na <http://epncb.oma.be/trackingnetwork/stationmaps.php>. Údaje zo slovenských staníc Modre - Piesku (MOPI, MOP2), v Gánovciach pri Poprade (GANP) a Banskej Bystrici (BBYS) sú znázornené v grafoch a upravené o periodické chyby so znázorneným pohybom bodov v grafoch na obr. 2.1.5; 2.1.6; 2.1.7; 2.1.8; 2.1.9. Na obr.2.1.10; 2.1.11; 2.1.12 a 2.1.13 sú grafy pohybu bodov v ITRF2008. Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené v grafe zmeny polohy bodu - stanice uvedenej v mm a to v smere zemepisných osí sever (N) – juh (S), východ (E) – západ (W) a vo výške (U). Vodorovná os predstavuje časovú os datovanú v GPS týždňoch. GPS týždeň sa datuje od vzniku systému GPS NAVSTAR. Zvislá v optimalizovanej mierke zmenu bodu v mm. Zobrazované hodnoty v grafoch sú vždy z týždenných riešení. Datovanie týždňov je od spustenia GPS (GPS WEEK).



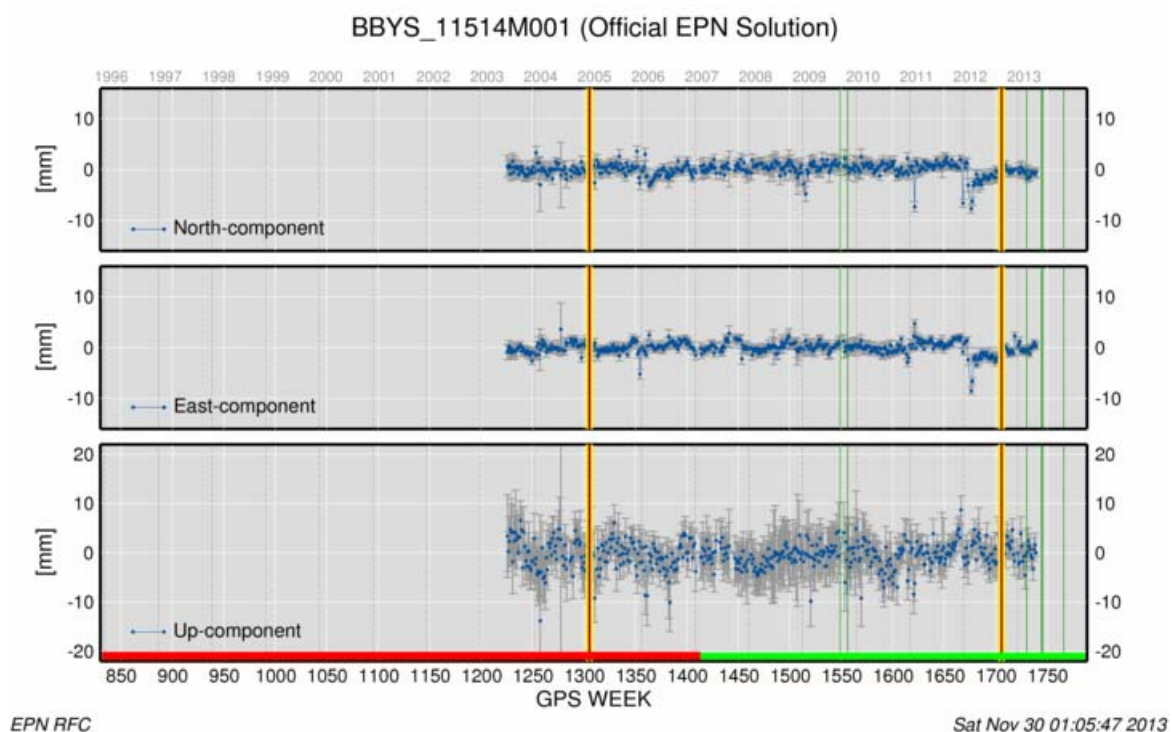
Obr. 2.1.5: Znázornenie pohybu bodu MOPI



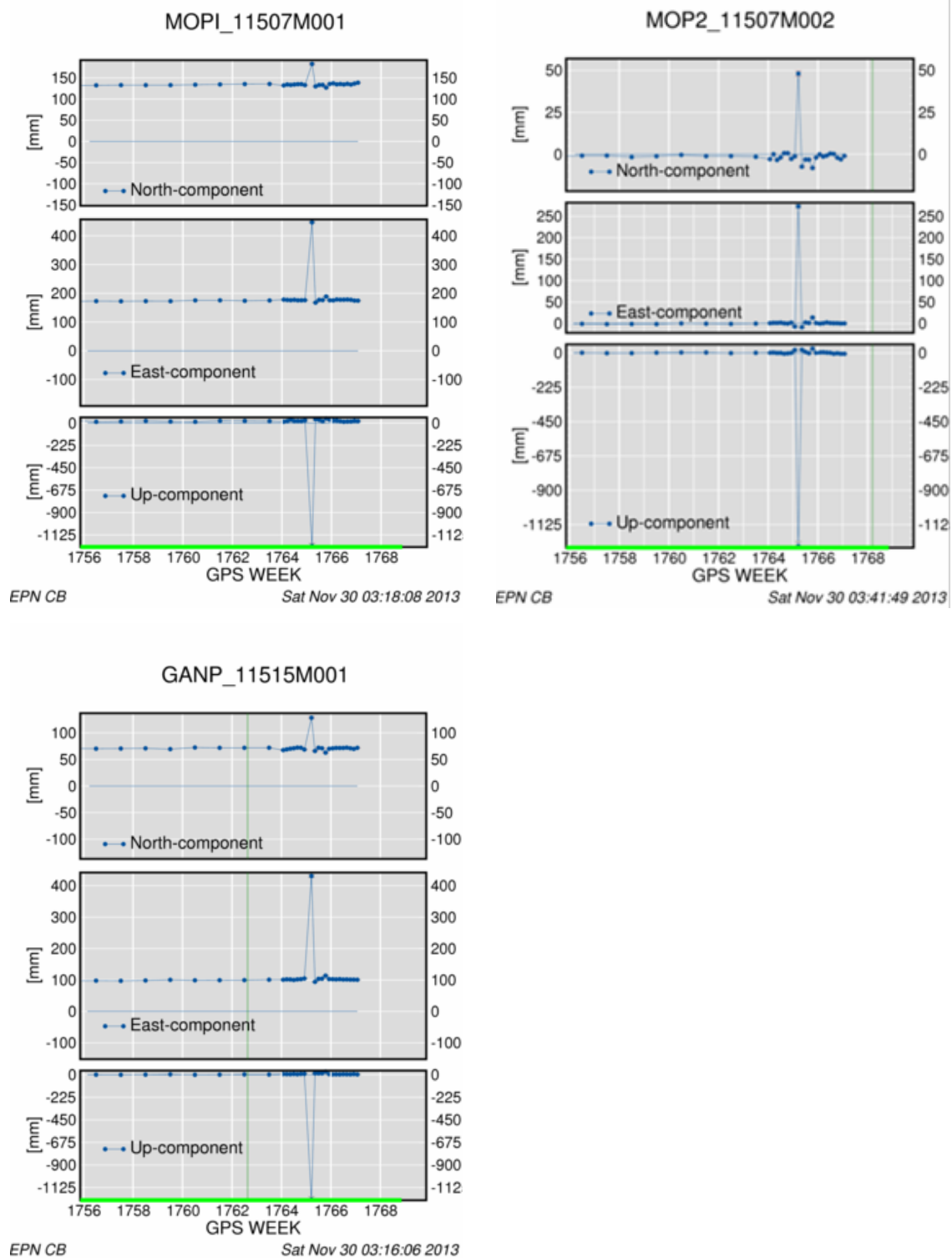
Obr. 2.1.6: Znázornenie pohybu bodu MOP2



Obr. 2.1.7: Znázornenie pohybu bodu GANP

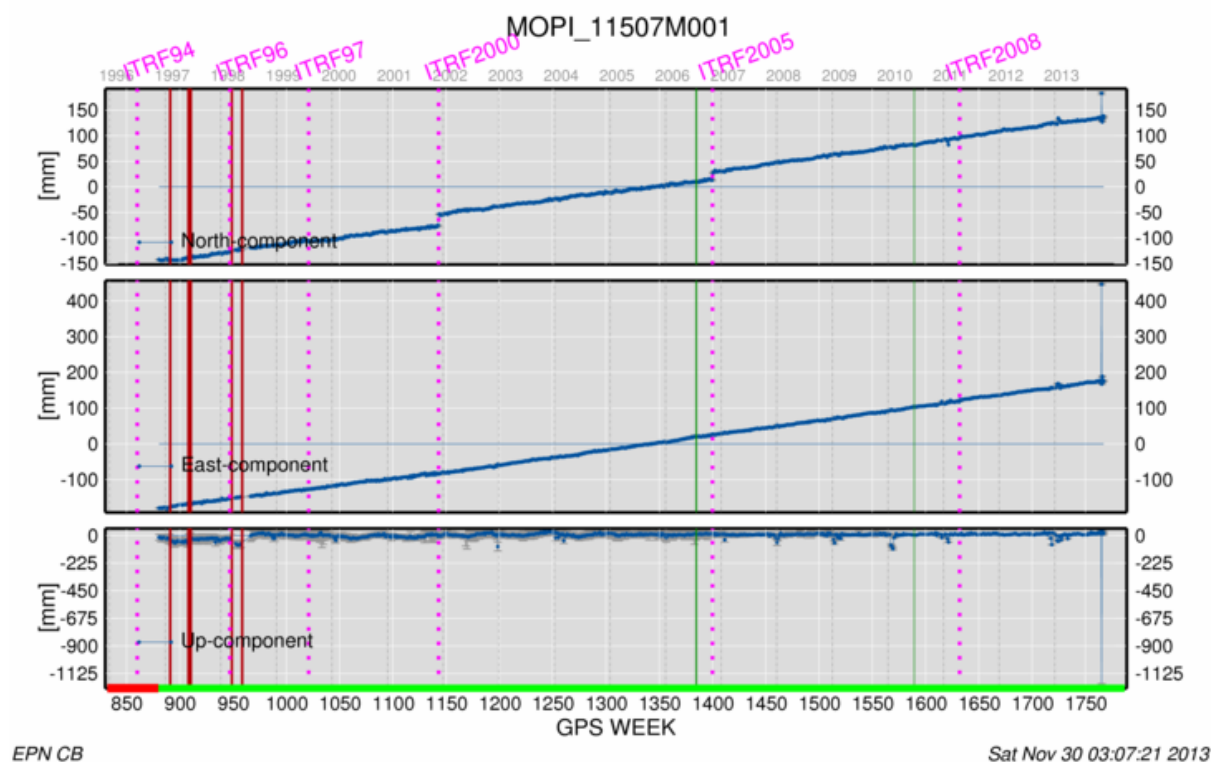


Obr. 2.1.8: Znázornenie pohybu bodu BBYS

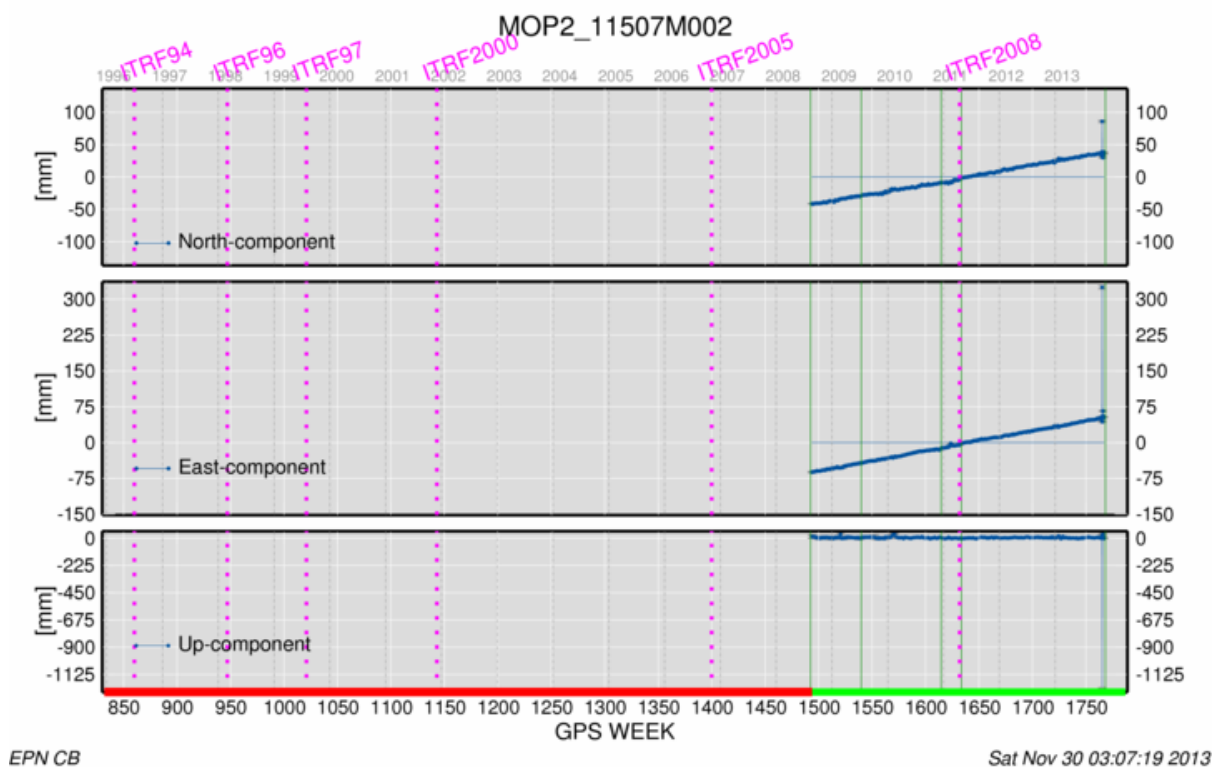


Obr. 2.1.9: Anomália v 1765 GPS týždni na bodoch MOP1, MOP2 a GANP

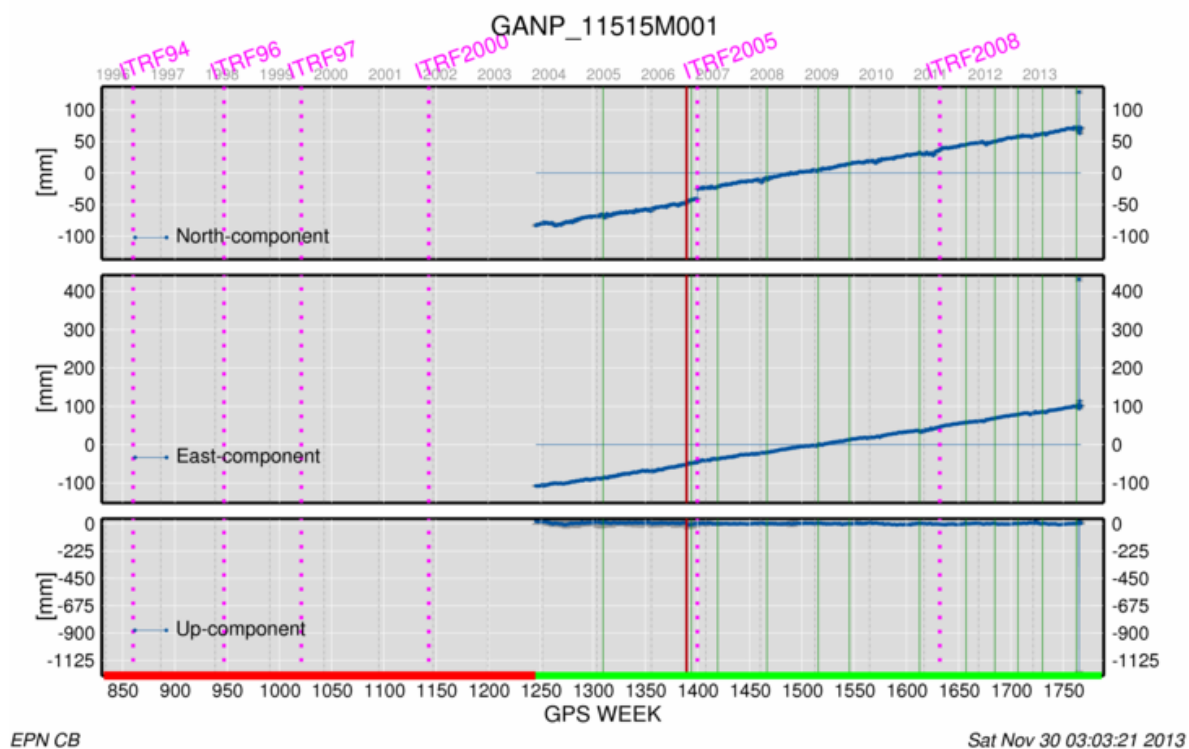
Z upravených údajov sú v EPN odhadnuté rýchlosti pohybu pre body – stanice GPS. Jednotlivým riešeniam je odhadnutá rýchlosť k epoche do ktorej sú zahrnuté kumulatívne údaje v smere zemepisných osí sever (N - north) – východ (E - east) – a vo výške (U - up).



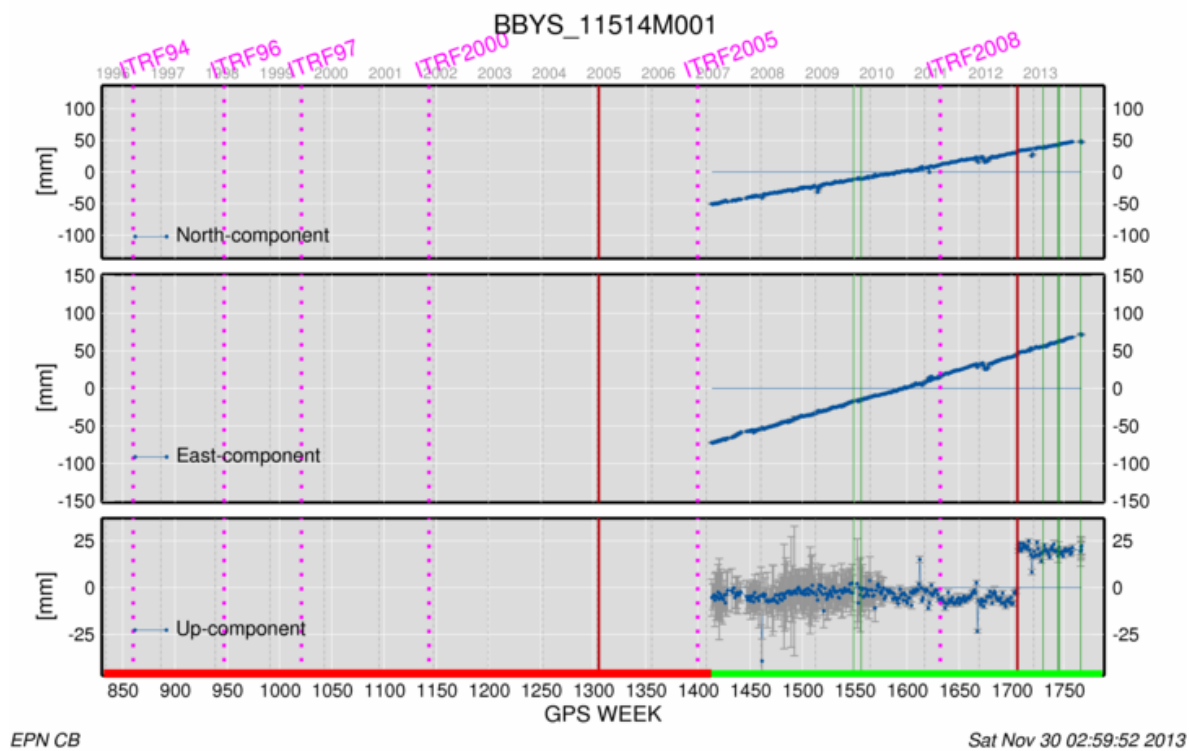
Obr. 2.1.10: Znázornenie pohybu bodu MOPI v ITRS



Obr. 2.1.11: Znázornenie pohybu bodu MOP2 v ITRS



Obr. 2.1.12: Znázornenie pohybu bodu GANP v ITRS



Obr. 2.1.13: Znázornenie pohybu bodu BBYS v ITRS

Na základe súčasných výsledkov z monitoringu pomocou technológie GNSS si dovoľíme konštatovať, že krátka doba epochy (pod 6 rokov) dáva skresľujúce výsledky – náznaky pohybu bodov. Po dlhšej epoche, môžeme konštatovať, že pozorované body sú stabilné v rámci euroázijskej platne (tab. 2.1.1).

EPN_A_ETRF2000_C1740.SSC - EPN_A_IGb08_C1740.SSC (August 8, 2013)

ETRF2000	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
239/2006 - 131/2013	001/2005	3929181.848 ± 0.000	1455236.515 ± 0.000	4793653.704 ± 0.000	0.0002 ± 0.0000	-0.0011 ± 0.0000	-0.0013 ± 0.0001
286/2003 - 232/2006	001/2005	3929181.865 ± 0.000	1455236.517 ± 0.000	4793653.711 ± 0.000	0.0002 ± 0.0000	-0.0012 ± 0.0000	-0.0013 ± 0.0001

IGb08	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
239/2006 - 131/2013	001/2005	3929181.517 ± 0.000	1455236.734 ± 0.000	4793653.904 ± 0.000	-0.0172 ± 0.0000	0.0156 ± 0.0000	0.0089 ± 0.0001
286/2003 - 232/2006	001/2005	3929181.534 ± 0.000	1455236.736 ± 0.000	4793653.910 ± 0.000	-0.0172 ± 0.0000	0.0156 ± 0.0000	0.0089 ± 0.0001

EPN_B_ETRF2000_C1740.SSC - EPN_B_IGb08_C1740.SSC (August 8, 2013)

ETRF2000	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
193/1998 - 131/2013	150/2005	4053738.201 ± 0.000	1260571.378 ± 0.000	4744940.659 ± 0.000	NA	NA	NA
144/1998 - 192/1998	251/2000	4053738.198 ± 0.001	1260571.377 ± 0.000	4744940.654 ± 0.001	NA	NA	NA
074/1998 - 136/1998	118/2000	4053738.152 ± 0.001	1260571.369 ± 0.000	4744940.600 ± 0.001	NA	NA	NA
159/1997 - 073/1998	270/1999	4053738.179 ± 0.000	1260571.373 ± 0.000	4744940.631 ± 0.000	NA	NA	NA
033/1997 - 158/1997	069/1999	4053738.169 ± 0.001	1260571.371 ± 0.000	4744940.618 ± 0.001	NA	NA	NA
162/1996 - 032/1997	225/1998	4053738.188 ± 0.001	1260571.376 ± 0.000	4744940.640 ± 0.001	NA	NA	NA

IGb08	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
193/1998 - 131/2013	150/2005	4053737.876 ± 0.000	1260571.612 ± 0.000	4744940.869 ± 0.000	NA	NA	NA
144/1998 - 192/1998	251/2000	4053737.952 ± 0.001	1260571.529 ± 0.000	4744940.814 ± 0.001	NA	NA	NA
074/1998 - 136/1998	118/2000	4053737.912 ± 0.001	1260571.515 ± 0.000	4744940.756 ± 0.001	NA	NA	NA
159/1997 - 073/1998	270/1999	4053737.949 ± 0.000	1260571.510 ± 0.000	4744940.781 ± 0.000	NA	NA	NA
033/1997 - 158/1997	069/1999	4053737.947 ± 0.001	1260571.498 ± 0.000	4744940.762 ± 0.001	NA	NA	NA
162/1996 - 032/1997	225/1998	4053737.976 ± 0.001	1260571.493 ± 0.000	4744940.778 ± 0.001	NA	NA	NA

EPN_A_ETRF2000_C1740.SSC - EPN_A_IGb08_C1740.SSC (August 8, 2013)

ETRF2000	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
260/2012 - 131/2013	001/2005	3980359.143 ± 0.000	1382291.874 ± 0.000	4772771.770 ± 0.001	-0.0003 ± 0.0000	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001
009/2005 - 252/2012	001/2005	3980359.128 ± 0.000	1382291.867 ± 0.000	4772771.751 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001
185/2003 - 008/2005	001/2005	3980359.114 ± 0.000	1382291.863 ± 0.000	4772771.735 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0006 ± 0.0000	-0.0007 ± 0.0001

IGb08	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
260/2012 - 131/2013	001/2005	3980358.817 ± 0.000	1382292.096 ± 0.000	4772771.972 ± 0.001	-0.0173 ± 0.0000	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001
009/2005 - 252/2012	001/2005	3980358.802 ± 0.000	1382292.090 ± 0.000	4772771.952 ± 0.000	-0.0173 ± 0.0000	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001
185/2003 - 008/2005	001/2005	3980358.788 ± 0.000	1382292.085 ± 0.000	4772771.937 ± 0.000	-0.0173 ± 0.0000	0.0163 ± 0.0000	0.0096 ± 0.0001

EPN_A_ETRF2000_C1740.SSC - EPN_A_IGb08_C1740.SSC (August 8, 2013)

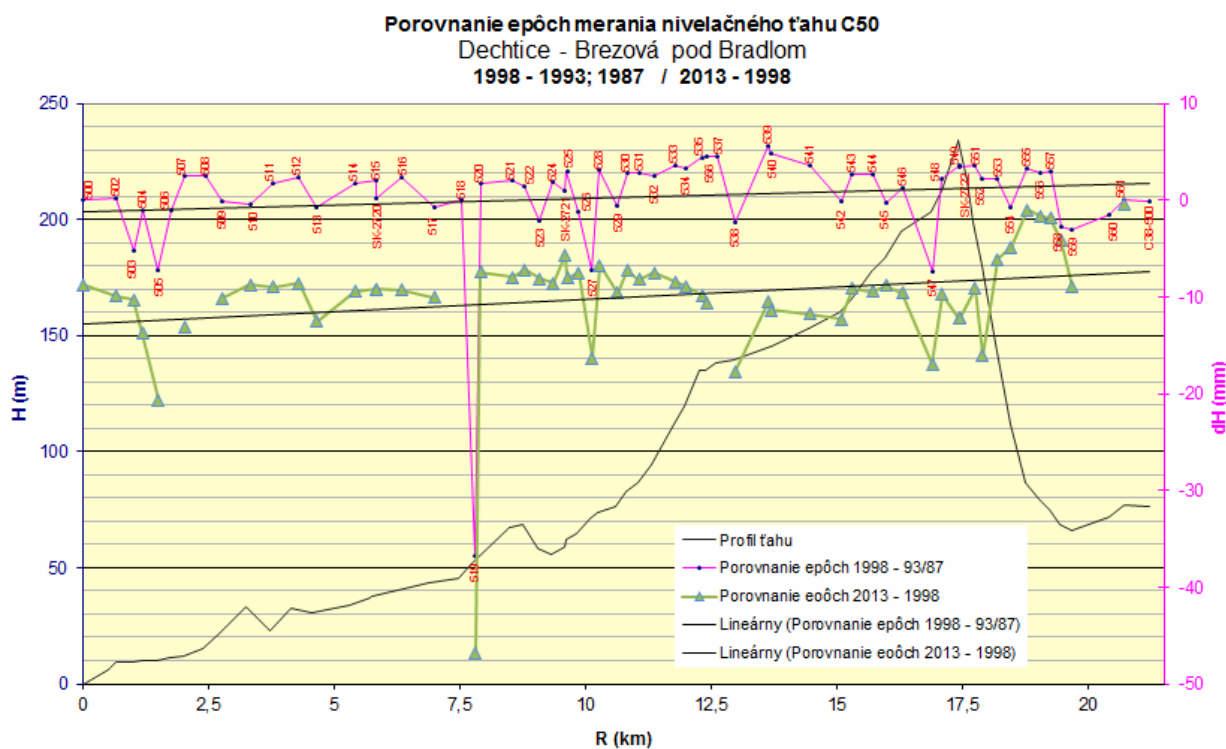
ETRF2000	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
230/2008 - 131/2013	001/2005	4053742.962 ± 0.000	1260569.436 ± 0.000	4744939.947 ± 0.000	0.0003 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000

IGb08	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
230/2008 - 131/2013	001/2005	4053742.644 ± 0.000	1260569.663 ± 0.000	4744940.152 ± 0.000	-0.0163 ± 0.0000	0.0174 ± 0.0000	0.0112 ± 0.0000

Tab. 2.1.1 Tabuľky s referenčnými súradnicami a rýchlosťou na staniciach EPN

2.1.1 Monitoring priestorových zmien na geodetických bodoch cez nivelačné meranie

Výškové zmeny môžeme interpretovať z opakovaných nivelačných meraní. V rokoch 1997 – 2003 bolo vykonané zmeranie nivelačnej siete 1. rádu, ktoré má nivelačné ťahy dlhé cez 3300 km a v nich určených cez 11 000 bodov. Od tohto roku sú vykonávané opakované meranie v sieti 2 rádu ŠNS a k roku 2013 je zmeraných cca 5500 km. Na dosiahnutie milimetrovej presnosti určenia výšky je potrebné nivelačné ťahy viesť po spevnených komunikáciách a to limituje profily, ktoré je možné vyhodnotiť. Opakované nivelačné merania boli v minulom storočí predmetom vyhodnotenia a zostavovania máp recenčných pohybov. V roku 2012 - 2013 sme vybrali profil z lokality Malých Karpát a to na nivelačnom ťahu C50 – Dechtice cez Dobrú Vodu do Brezovej pod Bradlom. Opakované nivelačné meranie je spracované do grafu z ktorého vidieť geodynamické zmeny na jednotlivých geodetických bodoch rôznej kvality stabilizácie (Obr. 2.1.14).



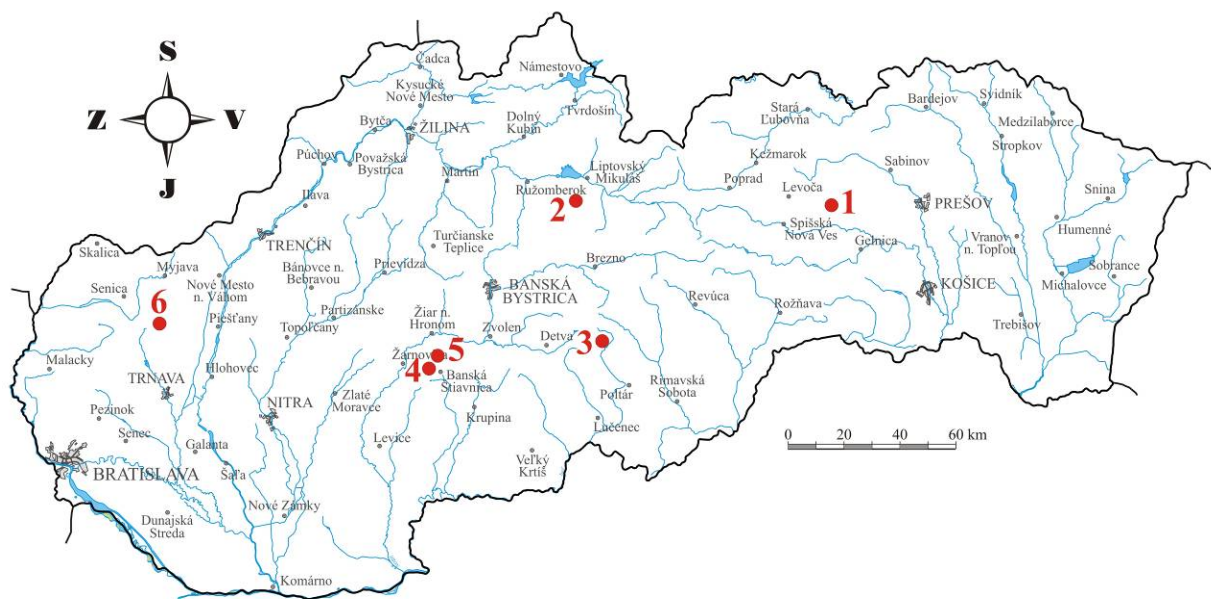
Obr. 2.1.14: Predbežný graf nivelačného ťahu C50

2.2 Pohyby pozdĺž zlomov (L. Petro)

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 takmer 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), 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 (Briestenský et al., 2010).

2.2.1 Základná charakteristika monitorovacej siete

Pohyby pozdĺž zlomov boli v roku 2012 sledované pomocou dilatometrov typu TM-71 osadených v 6 lokalitách: *Branisko*, *Demänovská jaskyňa*, *Ipeľ*, *Banská Hodruša*, *Vyhne* a *Dobrá Voda* (obr. 2.2.1).



Obr. 2.2.1: Prehľad lokalít na ktorých boli v roku 2012 monitorované neotektonické poruchy na území SR – 1. Branisko, 2 – Demänovská jaskyňa Slobody, 3 – Ipeľ, 4 – Banská Hodruša-Hámre, 5 – Vyhne, 6 – Dobrá Voda

2.2.1.1 Branisko

Lokalitu reprezentuje uniková štôlna tunela Branisko, presnejšie Šindliarsky zlom, ktorý prechádza východným okrajom pohoria Branisko. Zlom má smer SSV – JJZ a oddeľuje sedimenty centrálnokarpatského 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. 2.2.2).



Obr. 2.2.2: Inštalácia dilatometra TM-71 v únikovej štôlni tunela Branisko

2.2.1.2 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 v súčasnosti národným parkom. Elevácia pohoria je budovaná tromi tektonickými jednotkami v príkrovovej pozícii – tatrikom, fatrikom a hronikom (Biely et al., 1992). Tatrikum ako subautochtónna jednotka zahŕňa kryštalický fundament a obalové mezozické jednotky. Ďalšie dve príkrovové štruktúry 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 jaloveckým zlomom (Hók et al., 2000) prechádzajúcim dnom údolia. Dilatometer TM-71 bol inštalovaný v tzv. Čarovnej chodbe (obr. 2.2.3), ktorá má približne smer SZ-JV.



Obr. 2.2.3: Inštalácia dilatometra TM-71 v Čarovnej chodbe (Demänovská jaskyňa Slobody)

2.2.1.3 Ipeľ

Lokalitu reprezentuje dolina horného toku Ipeľa nad obcou Ipeľ, ktorá geomorfologicky patrí do Stolických vrchov. Dolinou rieky prechádza jeden z najvýznamnejších zlomových systémov Západných Karpát – Muránsko-Maľcovský 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 Ipeľa 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 (Ondrášik et al., 1987). Na jednom zlome systému, v bývalej prieskumnej štôlni Izabela, bol v roku 2002 inštalovaný dilatometer TM-71 (obr. 2.2.4).



Obr. 2.2.4: Inštalácia dilatometra TM-71 v prieskumnej štôlni Izabela na lokalite Ipeľ

2.2.1.4 Banská Hodruša (Hámre)

Lokalita sa nachádza v Štiavnických vrchoch, asi 9 km na Z od Banskej Štiavnice. Na inštaláciu dilatometra (obr. 2.2.5) bolo vybrané miesto križovania dvoch zlomov (SV-JZ a SZ-JV) vo vnútri štôlne Vŕchovských (stará). Štôlna je vyrazená v kremenno-dioritových porfýroch reprezentujúcich strednú stratovulkanickú štruktúru (Konečný et al., 1998). Orientácia zlomov, ako aj horninových dajok v banskoštiavnickom stratovulkáne odráža zmeny v smeroch paleonapätí počas neogénu (Nemčok et al., 2000). Väčšina zlomov má orientáciu SSV-JJZ.



Obr. 2.2.5: Inštalácia dilatometra TM-71 v opustenej štôlni Všetehsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša

2.2.1.5 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. 2.2.6). Štôlna bola vyrazená v tektonicky porušených porfyrických granodioritoch (tzv. vyhnianska drvená žula). Výhodou tejto lokality okrem vhodných mikroklimatických podmienok (stabilná teplota a vlhkosť) je prítomnosť seizmometra (Geofyzikálny ústav SAV), čo umožňuje koreláciu výsledkov monitoringu so seizmickými udalosťami v regióne a jeho širšom okolí.



Obr. 2.2.6: Inštalácia dilatometra TM-71 v opustenej štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne

2.2.1.6 Dobrá Voda

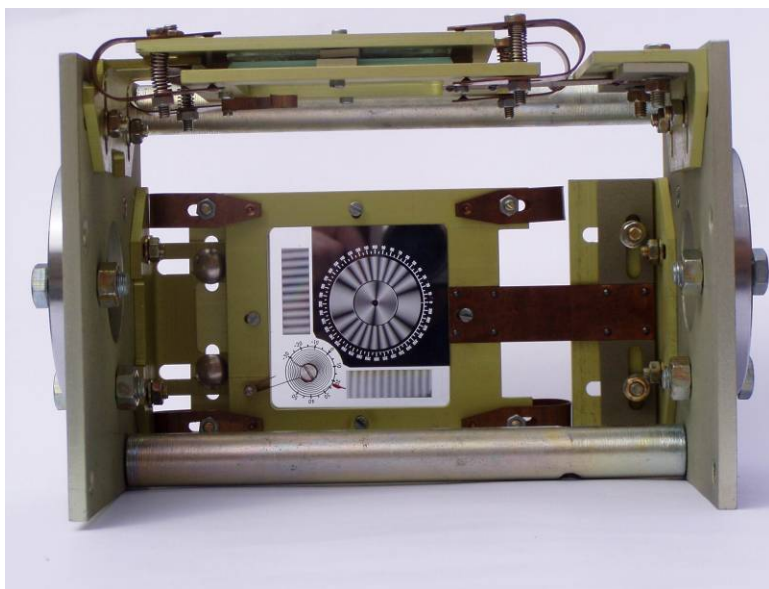
Lokalita sa nachádza v severnej časti Malých Karpát južne od Brezovej pod Bradlom (obr. 2.2.7). Morfológicky ide o dobrovodskú depresiu, ktorou prechádza zlom smeru SV-JZ. Podľa Halouzku et al. (1999) bol zlom aktívny od stredného pleistocénu do holocénu.



Obr. 2.2.7: Inštalácia dilatometra TM-71 na tektonickej poruche na lokalite Dobrá Voda

2.2.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Na monitorovanie posunov na vybratých neotektonických poruchách sa v rámci danej úlohy aj v roku 2012 používali mechanicko-optické dilatometre typu TM-71 (obr. 2.2.8). Prístrojom je možné merať veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,01$ mm a rotácie 0,01 gr. Merania sa realizujú v 2 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 (+ MS Windows XP).



Obr. 2.2.8: Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71

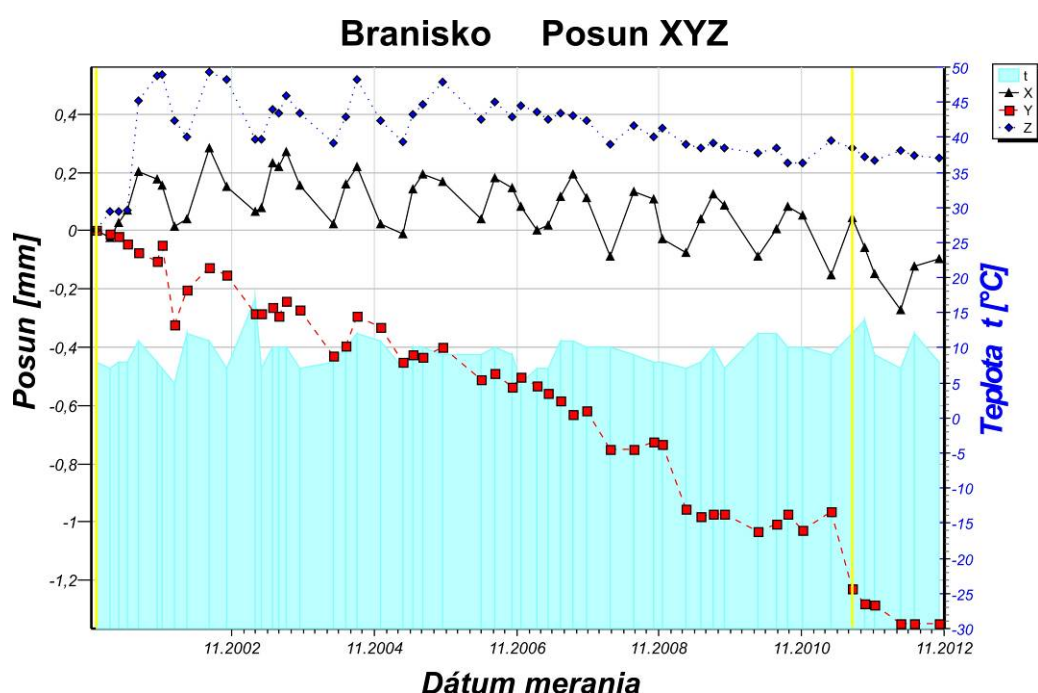
Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2012 zabezpečoval zber údajov na všetkých lokalitách vizuálnym odčítaním, resp. fotograficky s frekvenciou 3x (Branisko, Demänovská jaskyňa Slobody a Banská Hodruša-Hámre), 4x (Vyhne a Ipel'), resp. 7x ročne (Dobrá Voda). Treba uviesť, že 4 merania ročne sa pre daný typ prístroja považujú za minimálne kvôli

dostatočne presnej interpretácii výsledkov a ich korelácii so seizmickými udalosťami. Z tohto dôvodu by bolo vhodné realizovať najmenej 4 merania v roku 2013 i nasledujúcich rokoch na všetkých monitorovaných lokalitách.

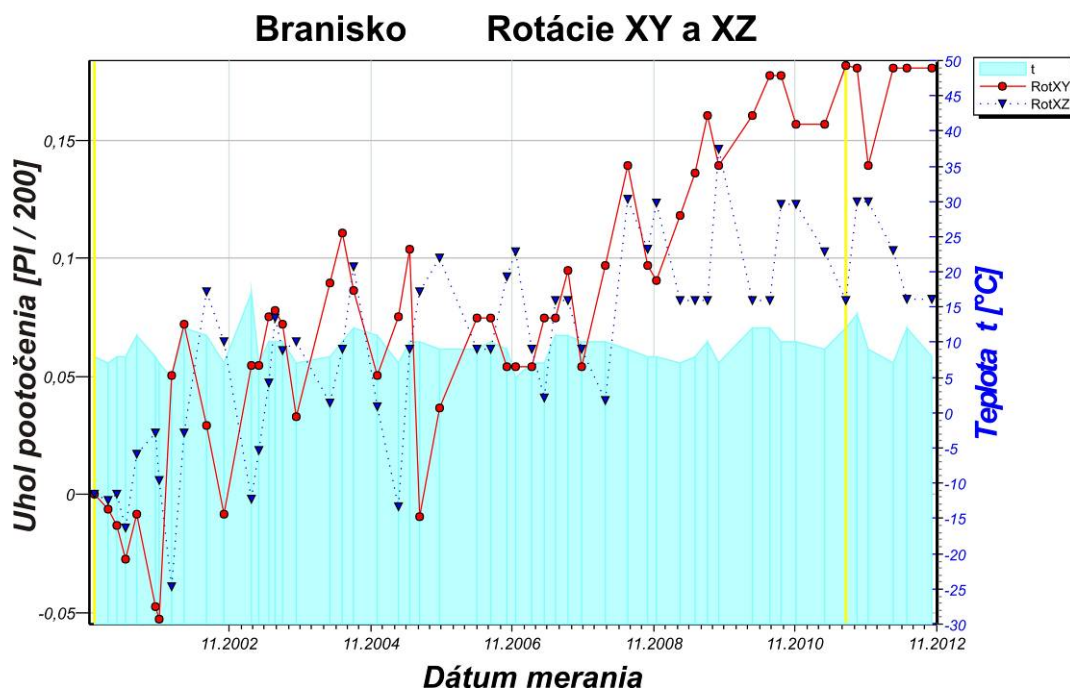
2.2.3 Výsledky monitorovania

2.2.3.1 Branisko

Výsledky meraní potvrdili aj v roku 2012 pretrvávajúci trend narastania šmykového pohybu pozdĺž šindliarskeho zlomu (v smere osi y), hoci sa trochu spomalil (obr. 2.2.9). Tento pohyb je interpretovaný ako pravostranný. Jeho celková hodnota dosiahla 1,349 mm. Oproti roku 2011 narástol posun o 0,062 mm. Priemerná rýchlosť pohybu je $0,1 \text{ mm.rok}^{-1}$ a má progresívny charakter. Šmykový Posun už v minulosti spôsobil vznik niekoľkých trhlin po oboch stranách zlomu v samotnej tunelovej rúre. Otváranie trhliny (pohyb v smere osi x) narástlo o cca 0,130 mm, pokles východného bloku (hanging wall) stagnoval. Hoci trend rotačného pohybu v oboch rovinách (XY, XZ) je zrejmý (obr. 2.2.10), ide o zanedbateľné hodnoty ($< 0,180 \text{ gr}$). Rotácia východného bloku prebieha proti smeru pohybu hodinových ručičiek, t. j. na JJZ. Vzhľadom na významnosť lokality je potrebné ďalšie sledovanie pohybu na zlome. Prevádzkovateľ tunela (Národná diaľničná spoločnosť) je každoročne oboznamovaný formou krátkej správy o vývoji pohybov na zlome. V prípade výrazného zvýšenia pohybovej aktivity v priebehu roku 2013, bude NDS podaná okamžitá informácia.



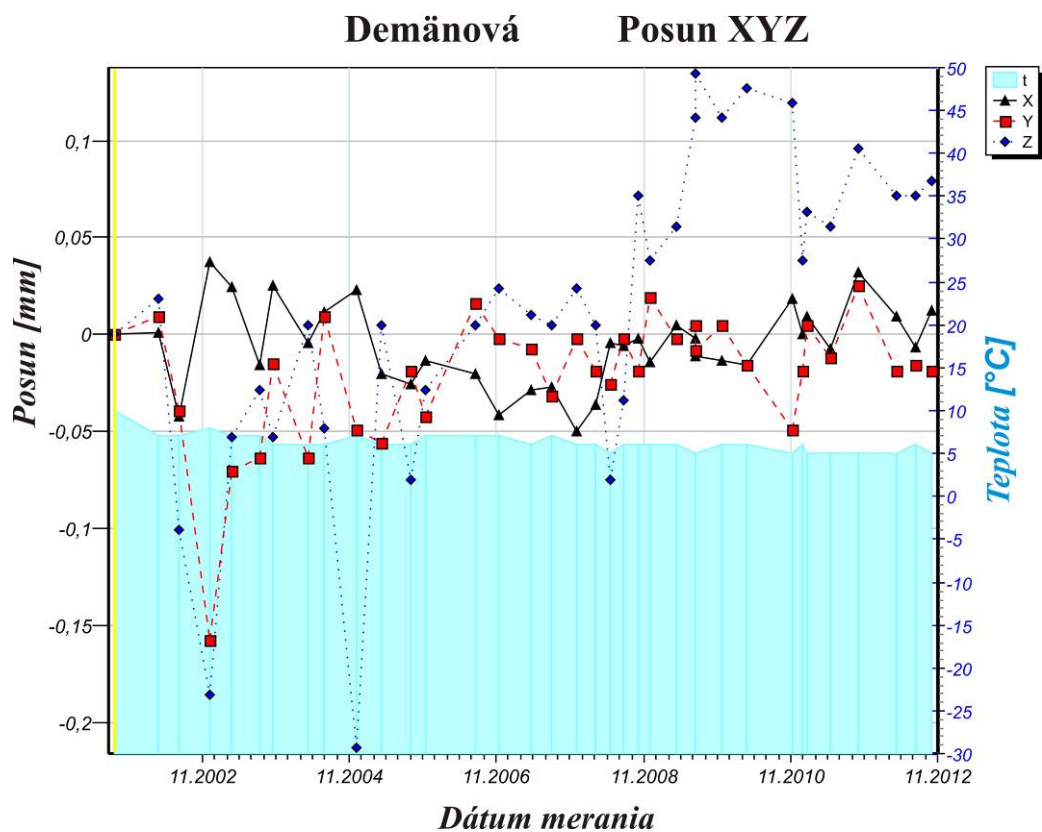
Obr. 2.2.9: Posun tektonických blokov pozdĺž šindliarskeho zlomu (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 za obdobie rokov 2000 – 2012



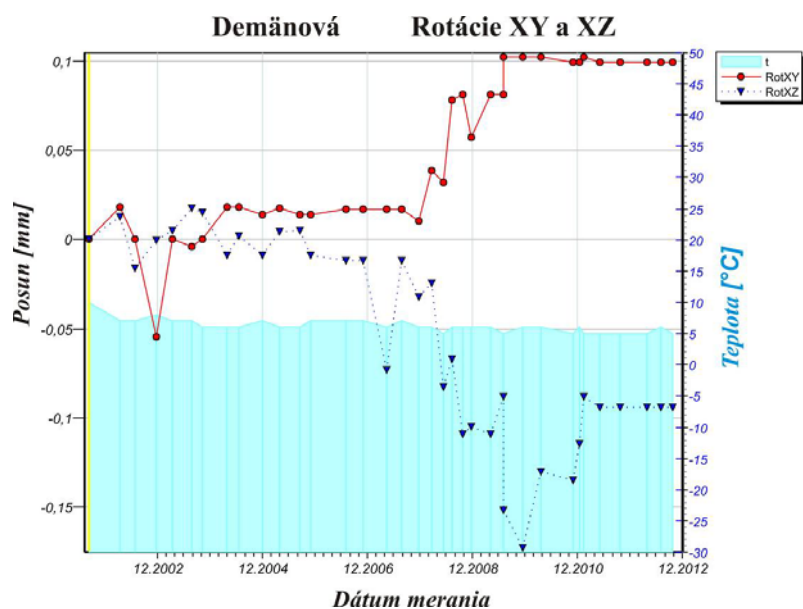
Obr. 2.2.10: Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na šindliarskom zlome za obdobie rokov 2000 – 2012

2.2.3.2 Demänovská jaskyňa Slobody

Od inštalácie dilatometra (august 2001) na zlome SZ-JV smeru je zrejmá mierna pohybová aktivita pozdĺž všetkých troch osí x , y a z (obr. 2.2.11). 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 2012 narástol pokles oproti roku 2011 o 0,016 mm na celkových 0,079 mm. Otváranie trhliny (posun v smere osi x) narástlo tiež len minimálne (o 0,003 mm). Šmykový pohyb pozdĺž zlomovej poruchy (os y) stagnuje od roku 2004 a nezmenil sa ani v roku 2012. Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zatiaľ zanedbateľné (obr. 2.2.12). V prípade oboch blokov ide o pravotočivý pohyb východného bloku.



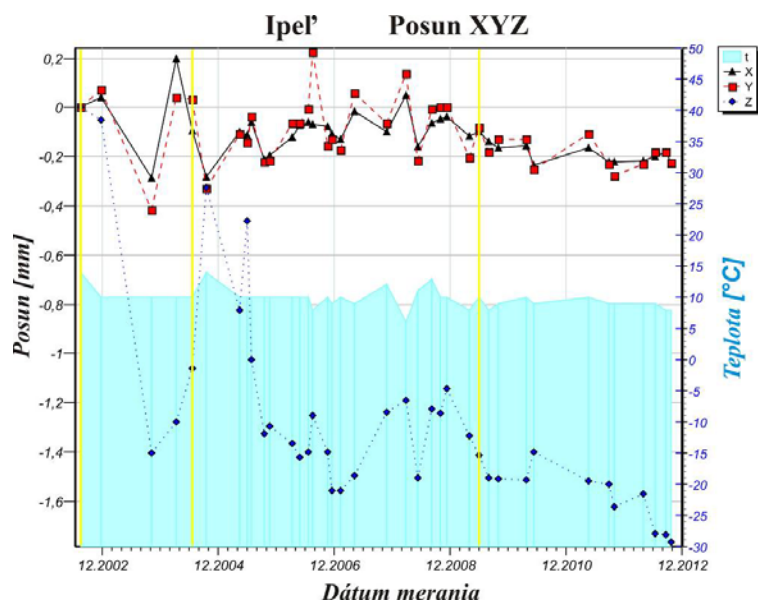
Obr. 2.2.11: Posun tektonických blokov pozdĺž jaloveckého zlomu (osi x, y, z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Demänovská jaskyňa Slobody za obdobie rokov 2001 – 2012



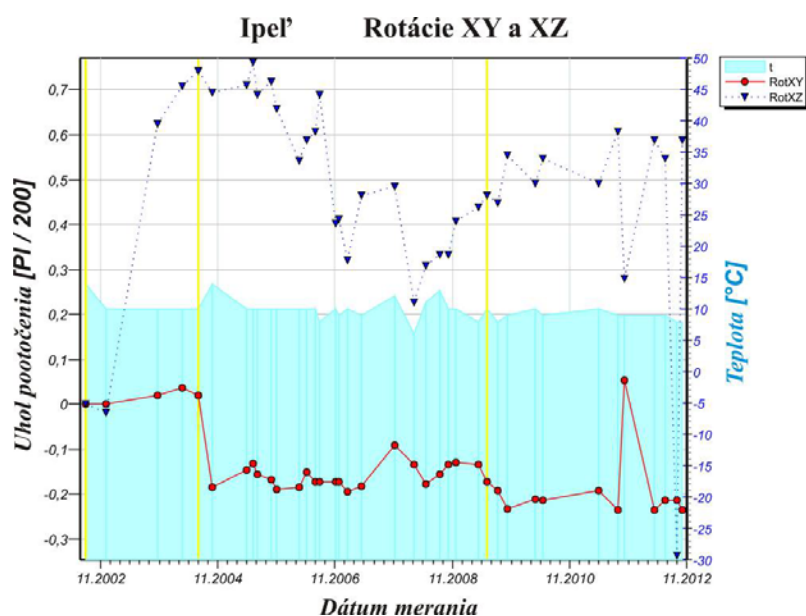
Obr. 2.2.12: Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na jaloveckom zlome za obdobie rokov 2001 – 2012

2.2.3.3 Ipeľ

Trend pomalého poklesávania jv. bloku pokračoval aj v roku 2012 a dosiahol celkovo 1,767 mm (obr. 2.2.13). Nárast oproti roku 2011 je 0,142 mm. Naopak, šmykový pohyb pozdĺž zlomu (os y) a otváranie trhliny (os x) v roku 2012 stagnovali. Rotácie blokov v oboch monitorovaných rovinách sú zanedbateľné (obr. 2.2.14).



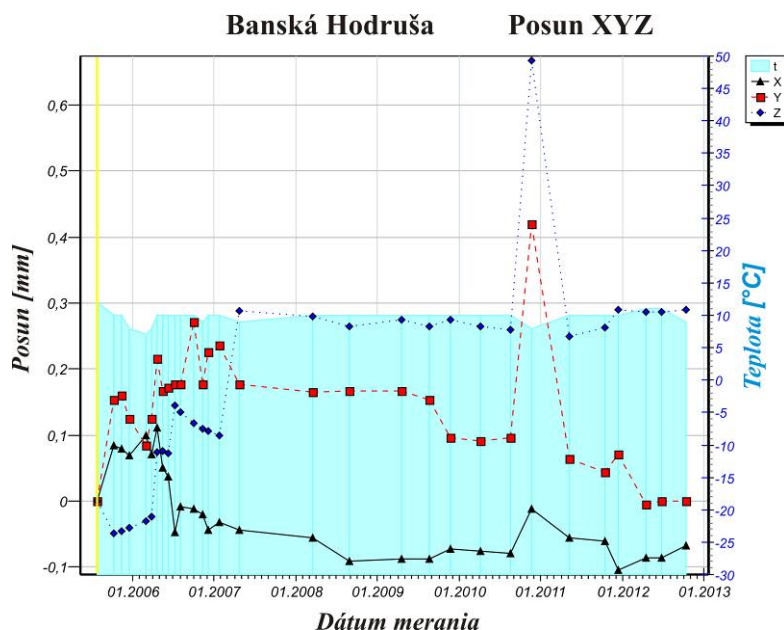
Obr. 2.2.13: Posun tektonických blokov pozdĺž jedného z muránskych zlomov (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2012



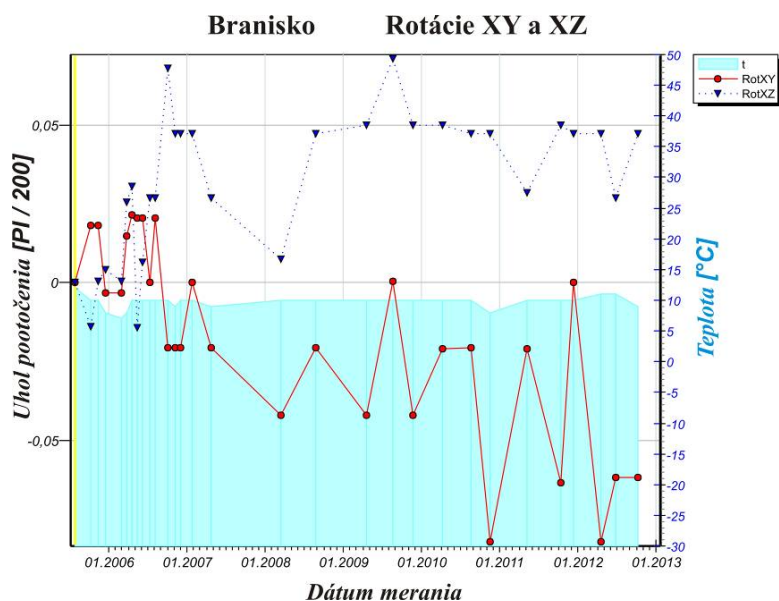
Obr. 2.2.14: Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štôlni Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2012

2.2.3.4 Banská Hodruša – Hámre

Merania mikroposunov na danej lokalite preukázali oproti roku 2011 mierny nárast šmykového pohybu (o 0,043 mm) pozdĺž monitorovaného zlomu (os y) a stagnáciu vertikálneho pohybu (os z) blokov (obr. 2.2.15). Pohyb je interpretovaný ako ľavostranný. Otváranie trhliny (pohyb v smere osi x) sa oproti roku 2011 zväčšilo len minimálne (0,002 mm). Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zatiaľ zanedbateľné (obr. 2.2.16).



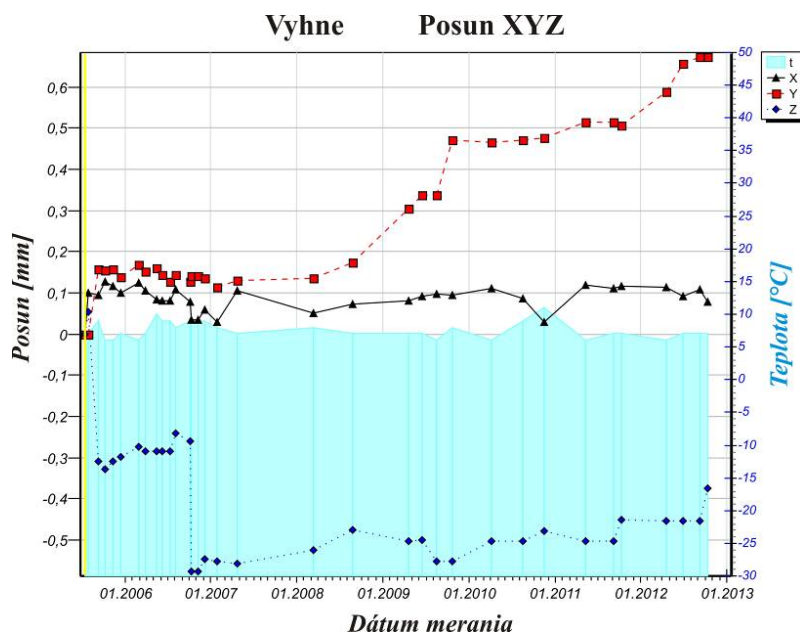
Obr. 2.2.15: Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x , y z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni Všetehsvätých (stará) lokalite Banská Hodruša - Hámre za obdobie rokov 2005 – 2012



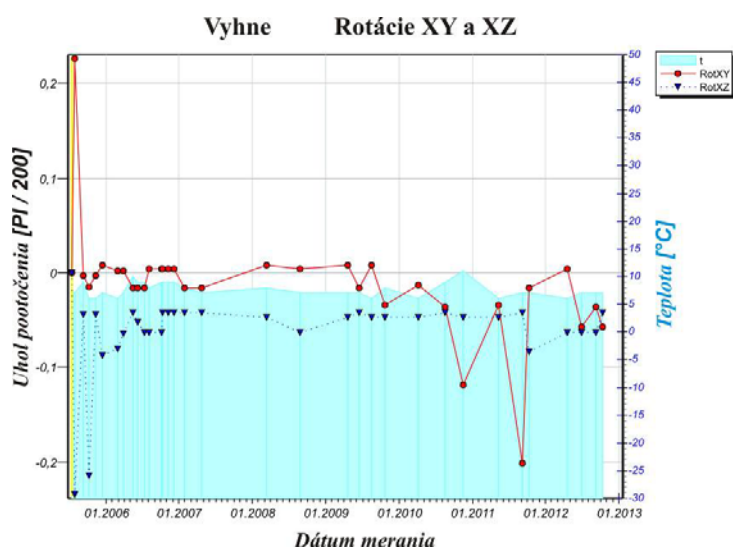
Obr. 2.2.16: Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štôlni Všetehsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša - Hámre za obdobie rokov 2005 – 2012

2.2.3.5 Vyhne

V roku 2012 sa opäť potvrdil trend narastania šmykového pohybu (os y), t. j. pohybu pozdĺž zlomovej poruchy (obr. 2.2.17). Oproti predchádzajúcemu roku tento nárastol o 0,167 mm a dosiahol celkovo 0,673 mm. Kým otváranie trhliny stagnovalo, poklesávanie jedného z blokov narástlo v roku 2012 o 0,076 mm. Toto poklesávanie začalo v roku 2006 a pokračovalo aj v minulom roku. Doposiaľ namerané rotácie blokov v oboch rovinách (XY z XZ) sú bezvýznamné (obr. 2.2.18).



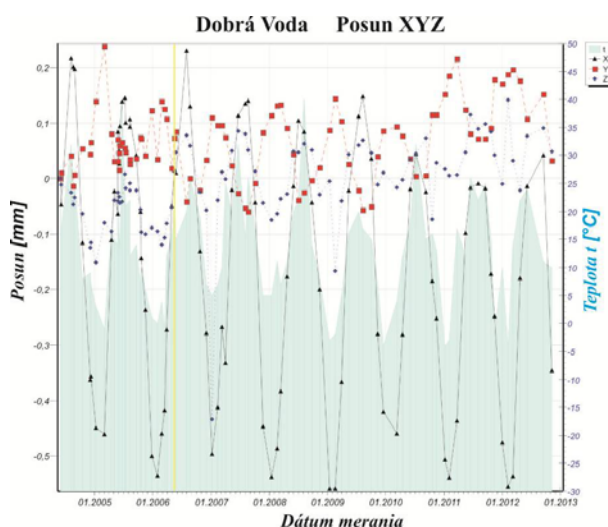
Obr. 2.2.17: Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne za obdobie rokov 2005 – 2012



Obr. 2.2.18: 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 – 2012

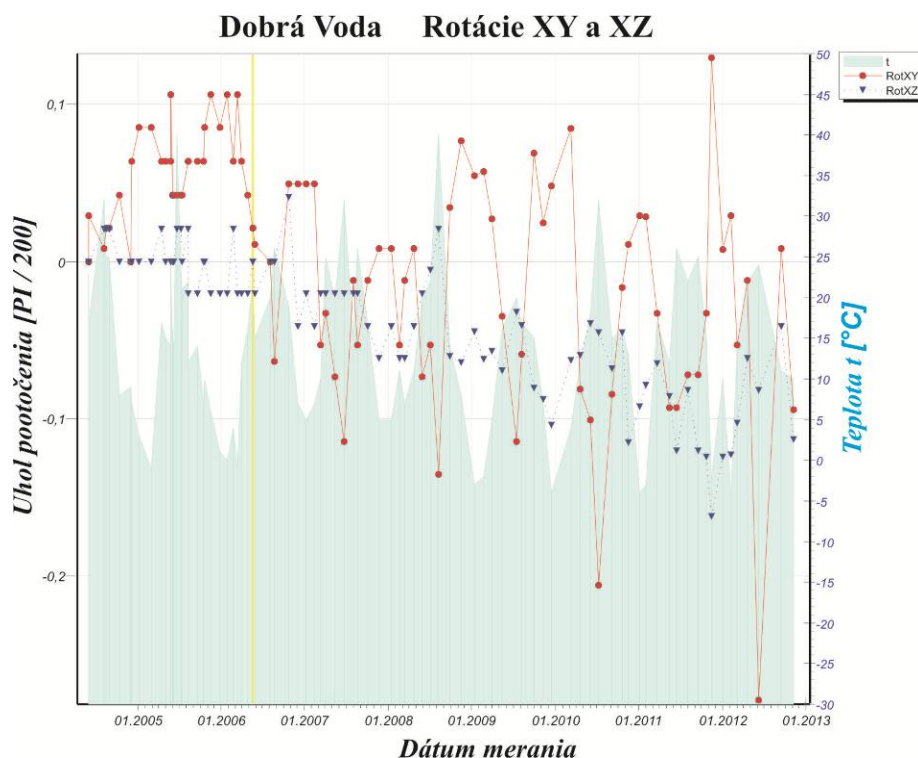
2.2.3.6 Dobrá Voda

Aj v roku 2012 pokračovala spolupráca s Ústavom štruktúry a mechaniky hornín Akadémie Vied ČR v Prahe na tejto lokalite. Českí kolegovia zabezpečili celkovo 7 meraní, realizovali ich interpretáciu a zároveň poskytli primárne údaje na vyhodnotenie nami používaným softvérom (MSDilat). Výsledky meraní posunov a súvislosť so seizmicitou územia do roku 2006 podrobne zhodnotili Briestenský et al. (2007). Ďalšie merania, vrátane tých z roku 2012 (obr. 2.2.19) potvrdili doterajší trend pozvoľného otvárania trhliny (posun v smere osi x), veľmi pomalý ale zreteľný šmykový (ľavostranný) posun (v smere osi y) a pomalý pokles jedného z blokov (pohyb v smere osi z). Trendy sú zrejmé aj napriek silnému kolísaniu hodnôt spôsobenému sezónnymi teplotnými výkyvmi.



Obr. 2.2.19: Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi x , y , z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2012

Z grafu rotácií (obr. 2.2.20) 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 pred koncom roka 2012 veľmi dobre korešponduje so slabým zemetrasením ($M = 1,6$) zaznamenaným 18. 11. 2012 pri Chtelnici. Jeho epicentrum bolo iba pár kilometrov na SZ od obce.



Obr. 2.2.20: Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2012

2.2.4 Diskusia

Výsledky dlhodobého monitorovania posunov na vybratých neotektonických poruchách na území SR, resp. v roku 2012 dilatometrami typu TM-71 možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Na všetkých lokalitách sa aj v roku 2012 prejavili recentné tektonické pohyby, avšak rôznej veľkosti (intenzity). Najvýraznejší pohyb bol zaznamenaný na lokalitách Branisko a Vyhne.
2. Charakter posunov vo väčšine prípadov korešponduje s výsledkami štruktúrnych meraní, resp. so smermi maximálnych recentných napätí v hlavných neotektonických regiónoch (Hók et al., 2000; Kováč et al., 2002).
3. Na lokalite Dobrá Voda bol dilatometrom (rotácie v rovine XY) zaznamenaný vplyv slabého zemetrasenia ($M = 1,6$) s epicentrom niekoľko kilometrov od Čhtelnice.
4. 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) a Demänovská jaskyňa Slobody (národná prírodná rezervácia, jeden z najdôležitejších objektov v cestovnom ruchu).

Vzhľadom na uvedenú dôležitosť lokalít navrhujeme s pokračovaním monitorovacích prác aj v roku 2013 a s frekvenciou meraní minimálne 4 – 6 krát za rok.

2.3 Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2012 (A. Cipciar, M. Kristeková)

Vypracované v rámci zmluvy č. 605/2012 medzi GFÚ SAV a ŠGÚDŠ
(Zodpovedný riešiteľ: Prof. RNDr. Peter Moczo, DrSc.)

Seizmické javy na území Slovenskej republiky sú monitorované seizmickými stanicami Národnej siete seizmických staníc (NSSS), ktorej prevádzkovateľom je Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied (GFÚ SAV) v Bratislave. Národná sieť seizmických staníc je tvorená 12 seizmickými stanicami:

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

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

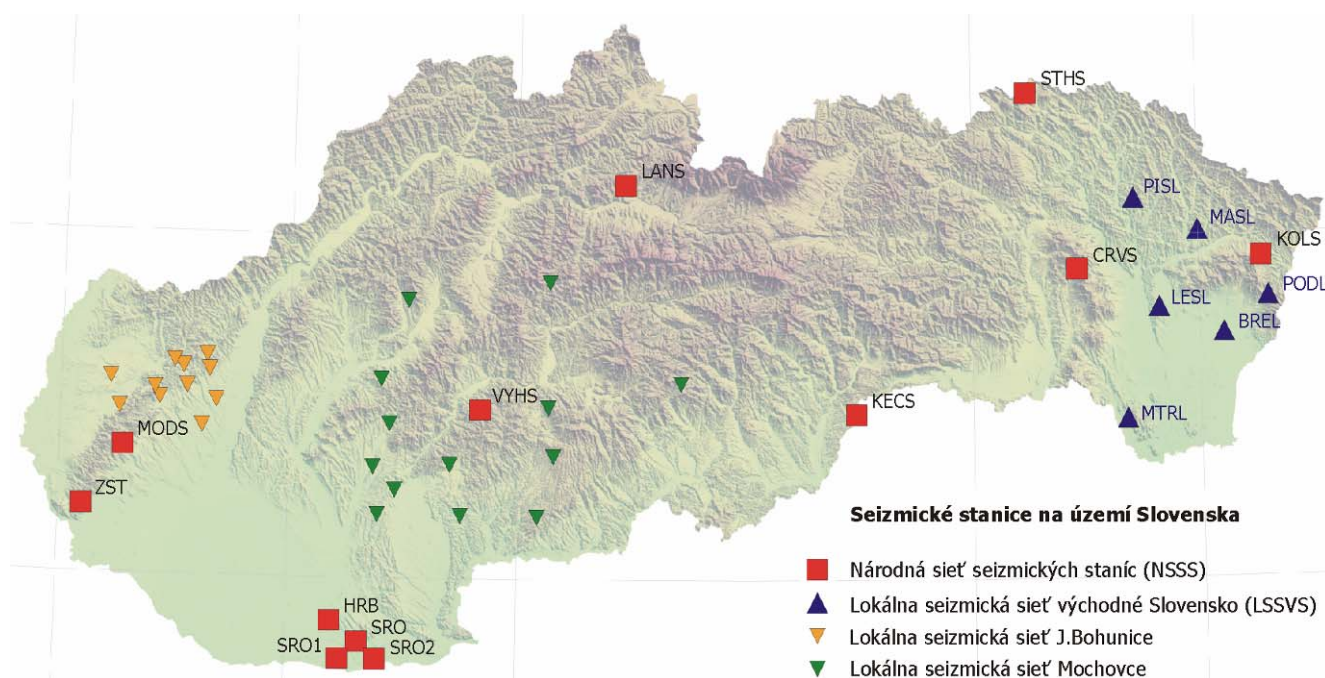
Na území Slovenska sú okrem NSSS v prevádzke aj lokálne seizmické siete v okolí atómových elektrární Mochovce a Jaslovské Bohunice, ktoré prevádzkuje spoločnosť Progseis v Trnave. Na východnom Slovensku bola vybudovaná lokálna sieť seizmických staníc, ktorú prevádzkuje FMFI UK v Bratislave.

Zemepisné súradnice jednotlivých seizmických staníc NSSS, spolu s nadmorskou výškou a technickými parametrami a pokrytie územia Slovenskej republiky seizmickými stanicami sú znázornené v Tabuľke 2.3.1 a Obr. 2.3.1.

Tabuľka 2.3.1: Národná sieť seizmických staníc - stav v roku 2012

Stanica	ISC kód	Zem. šírka [°N]	Zem. dĺžka [°E]	Nadm. výška [m]	Seizmo-meter	DAS	Vzorkovacia frekvencia [údaj/sek.]	Registrácia, Prenos údajov	Dátový formát
Bratislava Žel. Studnička	ZST	48.196	17.102	250	3x SM-3 3x SKD	PCM	100 20	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Červenica	CRVS	48.902	21.461	476	STS-2	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Vyhne	VYHS	48.493	18.836	450	STS-2	SEMS	100 20	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Modra-Piesok	MODS	48.373	17.277	520	STS-2	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Hurbanovo	HRB	47.873	18.192	115	2x Mainka	Analog	-	začadený papier, off-line	-

Iža	SRO1	47.7622	18.2328	111	LE3D	PCM	20	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Kečovo	KECS	48.483	20.486	345	LE3D	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Kolonické sedlo	KOLS	48.933	22.273	460	STS-2	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Liptovská Anna	LANS	49.151	19.468	710	LE3D	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Moča	SRO2	47.763	18.394	109	LE3D	PCM	20	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Stebnicka Huta	STHS	49.417	21.244	534	LE3D	SEMS	100	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED
Šrobárová	SRO	47.813	18.313	150	3x SKM-3	PCM	20	kontinuálna, v reálnom čase	mSEED



Obr. 2.3.1: Seizmické stanice Národnej siete seizmických staníc

2.3.1 Dátové a spracovateľské centrum

Dátové a spracovateľské centrum Národnej siete seizmických staníc je v GFÚ 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 GFÚ 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 2012 bolo zo záznamov seizmických staníc interpretovaných 7415 teleseizmických, regionálnych alebo lokálnych seizmických javov a určených bolo viac ako 32540 seizmických fáz.**

Geofyzikálny ústav 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, GFÚ 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 makroseizmickej stupnice EMS-98. Pre každú lokalitu, z ktorej sú dostupné makroseizmické údaje, je určená makroseizmická intenzita.

2.3.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenskej republiky

V roku 2012 bolo na základe záznamov seizmických staníc NSSS seizmometricky lokalizovaných 92 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 GFÚ SAV využitím softvérového balíka SeismicHandler. Interpretácie záznamov zo seizmických staníc NSSS (určené seizmické fázy, časy príchodov a epicentrálna vzdialenosť pre danú seizmickú stanicu) sú archivované v databáze na GFÚ SAV.

Výsledné parametre lokalizovaných zemetrasení s epicentrom na území Slovenskej republiky a zobrazenie geografických polôh epicentier týchto zemetrasení sú v Tabuľke 2.3.2. a na Obr. 2.3.2.

Tabuľka 2.3.2: Seizmometricky lokalizované epicentrá zemetrasení na území Slovenskej republiky v roku 2012

Deň	Čas (UTC) hh:mm:ss	Geograf. dĺžka	súradnice šírka	Hĺbka (km)	M _L	I ₀ (EMS)	Lokalita / Oblasť
Január							
1	00:07:05.69	49.08 N	20.94 E	-	0.7		Šariš
1	01:09:43.40	49.07 N	20.96 E	4	1.0		Šariš
1	01:45:45.59	49.07 N	20.96 E	2	0.8		Šariš
1	01:46:14.58	49.07 N	20.96 E	-	0.7		Šariš
1	02:16:51.10	49.07 N	20.99 E	5	1.4		Šariš
1	05:59:01.27	49.07 N	20.96 E	-	1.7		Šariš
1	06:03:31.61	49.07 N	20.96 E	-	0.5		Šariš
1	06:04:33.14	49.08 N	20.99 E	-	0.3		Šariš
1	09:22:36.27	49.06 N	20.96 E	1	2.0		Šariš
1	09:44:43.20	49.07 N	20.97 E	1	0.7		Šariš
1	10:23:16.62	49.07 N	20.97 E	-	1.3		Šariš
1	10:37:42.97	49.07 N	20.95 E	2	1.0		Šariš
1	11:19:55.87	49.07 N	20.98 E	4	0.6		Šariš
10	00:12:06.97	48.58 N	17.53 E	4	-		oblasť Dobrej Vody
20	12:01:39.20	49.17 N	21.49 E	3	0.7		Ondavská vrchovina

22	23:57:10.07	49.21 N	20.55 E	-	1.2		Levočské vrchy
26	13:36:24.88	49.29 N	18.89 E	3	-		oblasť Žiliny
27	11:28:23.72	48.18 N	20.01 E	13	-		slovensko-maď. hraničná oblasť
Február							
16	12:23:32.34	48.23 N	17.45 E	15	0.4		Trnavská pahorkatina
Marec							
2	15:18:25.48	48.79 N	19.57 E	6	0.5		Horehronie
5	22:56:59.38	48.55 N	17.19 E	5	2.5	4	Záhorie
5	23:02:05.57	48.55 N	17.17 E	-	1.2		Záhorie
5	23:18:56.35	48.51 N	17.12 E	6	0.6		Záhorie
5	23:28:49.33	48.51 N	17.19 E	3	-		Záhorie
5	23:31:09.03	48.51 N	17.20 E	4	-		Záhorie
5	23:36:10.03	48.52 N	17.14 E	3	0.9		Záhorie
6	01:20:30.65	48.35 N	17.59 E	1	-		Trnavská pahorkatina
6	11:12:15.04	48.22 N	17.80 E	-	-		Považský Inovec
6	13:32:21.08	48.53 N	17.12 E	2	0.8		Záhorie
7	08:49:57.36	48.51 N	17.10 E	4	1.2		Záhorie
9	11:01:06.38	48.97 N	20.71 E	1	0.7		Spiš - Gemer
12	14:16:14.33	48.35 N	21.87 E	-	0.9		Tokajská oblasť
16	15:13:56.95	47.81 N	18.15 E	-	0.9		Šamorín - Komárno - Štúrovo
17	17:06:48.12	48.57 N	17.35 E	-	-		oblasť Dobrej Vody
20	14:29:23.08	48.34 N	17.75 E	-	1.0		Považský Inovec
21	12:53:43.64	48.53 N	20.23 E	-	1.1		Revúcka vrchovina
23	15:40:45.25	48.63 N	20.15 E	-	1.2		Revúcka vrchovina
29	07:47:50.54	48.71 N	20.65 E	-	0.9		Spiš - Gemer
30	10:55:49.08	48.98 N	21.04 E	-	0.8		Šariš
Apríl							
3	04:32:55.17	48.52 N	17.17 E	6	-		Záhorie
5	06:05:04.87	48.54 N	17.69 E	1	0.8		oblasť Dobrej Vody
14	06:20:01.76	48.43 N	17.56 E	-	-		oblasť Dobrej Vody
15	04:48:38.11	48.96 N	20.30 E	-	0.6		oblasť Nízkych Tatier
19	05:36:53.45	49.10 N	19.50 E	10	0.7		Liptov
30	02:32:59.20	48.33 N	17.15 E	3	0.8		oblasť Pernek-Modra
30	03:04:44.19	48.85 N	21.72 E	3	1.8		Vihorlatské vrchy
Máj							
2	17:21:06.46	48.90 N	21.80 E	15	2.0	4	Vihorlatské vrchy
2	17:28:39.50	48.85 N	21.75 E	-	1.3		Vihorlatské vrchy
3	09:34:40.73	48.53 N	17.74 E	5	1.1		oblasť Dobrej Vody

11	17:13:09.12	49.31 N	19.46 E	5	0.9		Orava
11	17:16:02.20	49.24 N	19.10 E	-	-		Orava
25	11:26:15.53	48.31 N	17.70 E	-	1.2		Považský Inovec
31	21:35:42.92	48.94 N	20.28 E	10	2.5	3-4	oblasť Nízkych Tatier

Jún

1	03:47:41.26	48.97 N	20.32 E	-	1.8	3	oblasť Nízkych Tatier
3	13:16:11.77	48.97 N	20.30 E	-	1.4		oblasť Nízkych Tatier
7	11:17:13.17	48.97 N	20.30 E	-	1.6		oblasť Nízkych Tatier
9	02:04:43.81	48.93 N	20.27 E	-	1.2		oblasť Nízkych Tatier
14	00:34:47.48	48.79 N	18.18 E	3	0.7		Považský Inovec
15	03:42:20.23	48.96 N	20.29 E	-	1.0		oblasť Nízkych Tatier
17	00:42:04.20	48.47 N	17.30 E	-	0.6		oblasť Dobrej Vody
21	20:32:04.59	48.77 N	20.00 E	-	1.1		Muránska planina
22	18:35:09.90	48.96 N	22.01 E	6	1.4	3	Vihorlatské vrchy

Júl

1	01:46:33.65	48.97 N	20.30 E	-	1.0		oblasť Nízkych Tatier
19	09:22:28.53	48.89 N	20.52 E	4	1.4		Špiš - Gemer

August

6	01:45:52.78	48.60 N	17.65 E	2	0.1		oblasť Dobrej Vody
27	15:28:39.84	49.31 N	20.60 E	-	1.1		Pieniny
30	01:34:35.62	48.68 N	20.07 E	-	-		Revúcka vrchovina

September

5	20:04:42.24	48.43 N	17.49 E	-	0.1		oblasť Dobrej Vody
9	21:23:08.37	48.71 N	20.12 E	-	0.8		Revúcka vrchovina
19	17:23:10.87	47.85 N	18.02 E	-	0.8		Šamorín - Komárno - Štúrovo
19	17:25:46.27	47.85 N	18.04 E	-	1.1		Šamorín - Komárno - Štúrovo
19	17:33:49.51	47.88 N	17.98 E	2	1.7		Šamorín - Komárno - Štúrovo
19	17:34:44.42	47.84 N	18.04 E	-	1.2		Šamorín - Komárno - Štúrovo
19	17:50:52.88	47.88 N	18.00 E	-	1.1		Šamorín - Komárno - Štúrovo
19	18:25:49.38	47.86 N	18.00 E	1	1.4		Šamorín - Komárno - Štúrovo

Október

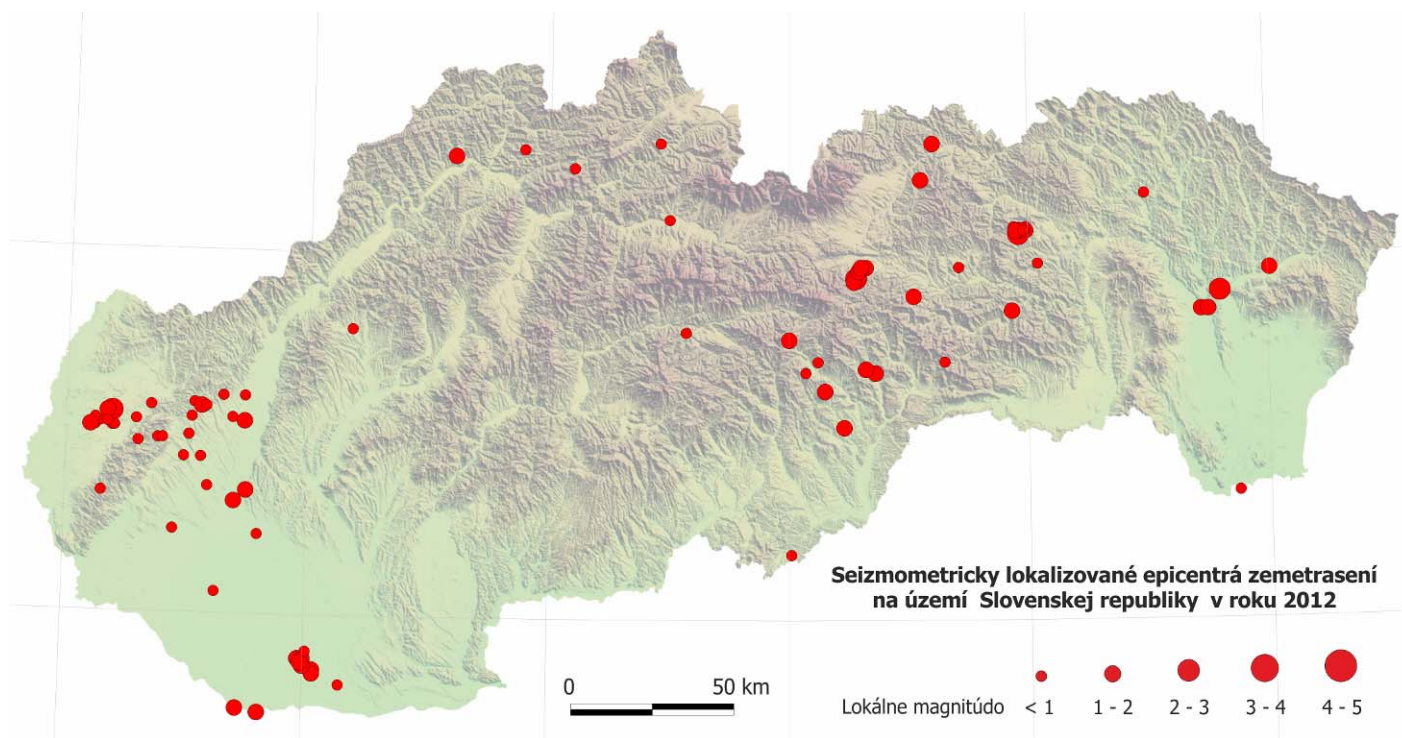
8	06:01:08.99	48.53 N	17.29 E	-	0.4		oblasť Dobrej Vody
12	19:04:25.69	48.60 N	17.74 E	8	0.8		oblasť Dobrej Vody
26	12:49:57.31	47.74 N	17.73 E	-	1.6		Šamorín - Komárno - Štúrovo
27	03:14:49.43	48.68 N	20.36 E	-	1.3		Revúcka vrchovina
27	18:45:25.52	47.87 N	17.99 E	-	1.1		Šamorín - Komárno - Štúrovo

November

6	09:24:38.89	48.85 N	20.93 E	-	1.2		Spiš - Gemer
15	00:49:34.86	47.90 N	18.01 E	-	0.6		Šamorín - Komárno - Štúrovo
18	21:23:30.76	48.57 N	17.56 E	2	1.6	3-4	oblasť Dobrej Vody
18	21:28:40.93	48.57 N	17.58 E	3	0.2		oblasť Dobrej Vody
19	02:19:28.70	48.48 N	17.38 E	-	-		oblasť Dobrej Vody
20	12:06:04.35	49.27 N	18.60 E	-	1.2		oblasť Žiliny
23	00:10:05.13	48.69 N	20.32 E	5	1.2		Revúcka vrchovina
28	05:53:11.59	48.48 N	17.40 E	3	-		oblasť Dobrej Vody

December

6	12:06:52.07	48.06 N	17.63 E	-	-		Šamorín - Komárno - Štúrovo
15	17:23:14.96	48.54 N	17.52 E	2	-		oblasť Dobrej Vody
15	17:36:45.89	48.49 N	17.51 E	2	-		oblasť Dobrej Vody
18	01:36:09.49	47.73 N	17.82 E	1	1.1		Šamorín - Komárno - Štúrovo



Obr. 2.3.2: Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenskej republiky

2.3.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky

V roku 2012 bolo na území Slovenska makroseizmicky pozorovaných **6** zemetrasení. Všetky makroseizmicky pozorované zemetrasenia boli seizmometricky lokalizované.

Zemetrasenie dňa **5.3.2012** s epicentrom v oblasti Záhoria bolo makroseizmicky pozorované v 15 lokalitách na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0** je **4° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 5.3.2012 o 22:56 UTC bolo zaznamenané ôsmymi seizmickými stanicami NSSS – MODS, ZST, SRO, SRO2, VYHS, LANS, KECS a STHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 2.5$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v oblasti Záhoria. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 5.3.2012
čas vzniku [UTC]	 22:56:59.4
epicentrum: zemepisná šírka	 48.55 °N
zemepisná dĺžka	 17.19 °E
hĺbka ohniska	 5 km
lokálne magnitúdo	 2.5

Zemetrasenie bolo pocítené v 15 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 35 makroseizmických pozorovaní (Tabuľka 2.3.3).

Tabuľka 2.3.3: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 5.3.2012 o 22:56 UTC

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Moravský Sv.Ján	48.587	16.996	9	4
Šaštín-Stráže	48.637	17.153	5	4
Borský Sv.Jur	48.615	17.049	3	4
Štepičky (BSJ)			1	4
Studienka	48.527	17.136	6	3-4
Veľké Leváre	48.503	17.002	1	3-4
Malacky	48.436	17.018	1	3
Závod	48.548	17.030	1	3
Lakšárska Nová Ves	48.578	17.184	1	pozorované
Brestové	48.837	17.772	1	pozorované
Húsky (BSJ)	48.569	17.056	1	pozorované
Sekule	48.600	17.003	1	pozorované
Tomky (BSJ)	48.573	17.089	1	pozorované
Stráže nad Myjavou	48.647	17.143	2	pozorované
Čáry	48.655	17.085	1	pozorované

Poznámka:

Hodnota „pozorované“ znamená, že makroseizmické účinky zemetrasenia boli v uvedenej lokalite pozorované, ale na základe dostupných údajov nebolo možné presnejšie určenie intenzitného stupňa (nekonzistentné odpovede v makroseizmických dotazníkoch alebo nedostatočný počet hlásení).

Zemetrasenie dňa **2.5.2012** s epicentrom na východnom Slovensku bolo makroseizmicky pozorované v 4 lokalitách na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0 je 4° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 2.5.2012 o 17:21 UTC bolo zaznamenané štyrmi seizmickými stanicami NSSS – CRVS, STHS, LANS a VYHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 2.0$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na východnom Slovensku, v oblasti Vihorlatských vrchov. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 2.5.2012
čas vzniku [UTC]	 17:21:06.5
epicentrum: zemepisná šírka	 48.90 °N
zemepisná dĺžka	 21.80 °E
hĺbka ohniska	 15 km
lokálne magnitúdo	 2.0

Zemetrasenie bolo pocítené v 4 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 5 makroseizmických pozorovaní (Tabuľka 2.3.4).

Tabuľka 2.3.4: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 20.7.2011 o 18:30 UTC

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Sedliská	48.908	21.734	2	4
Vranov nad Topľou	48.882	21.689	1	3
Majerovce	48.892	21.716	1	pozorované
Tovarné	48.913	21.760	1	pozorované

Zemetrasenie dňa **31.5.2012** s epicentrom v oblasti Nízkych Tatier bolo makroseizmicky pozorované v 85 lokalitách na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0 je 3-4° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 31.5.2012 o 21:35 UTC bolo zaznamenané siedmimi seizmickými stanicami NSSS – LANS, KECS, CRVS, VYHS, SRO2, MODS a ZST. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 2.5$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v oblasti Nízkych Tatier. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 31.5.2012
čas vzniku [UTC]	 21:35:42.9
epicentrum: zemepisná šírka	 48.94 °N
zemepisná dĺžka	 20.28 °E
hĺbka ohniska	 10 km
lokálne magnitúdo	 2.5

Zemetrasenie bolo pocítané v 85 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 794 makroseizmických pozorovaní (Tabuľka 2.3.5).

Tabuľka 2.3.5: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 31.5.2012 o 21:35 UTC

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Spišský Štiavnik	48.992	20.370	31	3-4
Hôrka	49.018	20.383	19	3-4
Dolný Smokovec	49.127	20.246	4	3-4
Jablonov	49.019	20.724	1	3-4
Poprad	49.063	20.305	250	3
Spišské Bystré	48.999	20.241	37	3
Spišská Nová Ves	48.936	20.557	30	3
Smižany	48.946	20.511	29	3
Hranovnica	48.989	20.310	28	3
Vernár	48.918	20.273	24	3
Poprad - Veľká	49.067	20.282	20	3
Hrabušice	48.968	20.391	19	3
Pohorelá	48.853	20.026	18	3
Gánovce	49.029	20.324	16	3
Svit	49.061	20.194	16	3
Spišská Teplica	49.048	20.251	14	3
Betlanovce	48.980	20.390	11	3
Poprad - Sp. Sobota	49.066	20.315	11	3
Novoveská Huť	48.903	20.518	10	3
Hozelec	49.043	20.364	11	3
Letanovce	48.962	20.448	9	3
Švábovce	49.024	20.355	9	3
Spišské Tomášovce	48.958	20.480	7	3
Šumiac	48.834	20.138	7	3
Vydrník	49.001	20.410	7	3
Dedinky	48.865	20.377	6	3
Jánovce	48.178	17.527	6	3
Nová Lesná	49.122	20.271	6	3
Spišský Štvrtok	48.998	20.482	6	3
Vikartovce	48.993	20.156	6	3

Kravany	48.760	21.644	5	3
Matejovce	48.917	20.673	5	3
Mlynky	48.855	20.423	5	3
Levoča	49.027	20.594	5	3
Štôla	49.092	20.141	5	3
Kežmarok	49.137	20.433	4	3
Lučivná	49.058	20.150	4	3
Poprad - Kvetná	49.053	20.285	4	3
Markušovce	48.910	20.633	4	3
Štrba	49.069	20.075	4	3
Vlachovo	48.774	20.413	4	3
Abrahámovce	49.082	20.752	3	3
Dobšiná	48.822	20.365	3	3
Gemerská Poloma	48.713	20.481	3	3
Huncovce	49.119	20.377	3	3
Liptovská Teplička	48.966	20.091	3	3
Poprad - Stráže	49.058	20.325	3	3
Spišská Belá	49.180	20.458	3	3
Šuňava	49.030	20.089	3	3
Stratená	48.873	20.319	3	3
Telgárt	48.852	20.188	3	3
Batizovce	49.073	20.182	2	3
Gerlachov	49.321	21.111	2	3
Harichovce	48.963	20.585	2	3
Iliašovce	48.993	20.528	2	3
Jamník	49.073	19.712	2	3
Polomka	48.852	19.875	2	3
Rejdová	48.792	20.291	2	3
Tatranská Štrba	49.069	20.075	2	3
Veľký Slavkov	49.093	20.287	2	3
Vyšná Slaná	48.786	20.319	2	3
Arnutovce	48.979	20.497	1	3
Červená Skala	48.821	20.136	1	3
Gočovo	48.759	20.419	1	3
Heľpa	48.863	19.972	1	3

Lieskovany	48.928	20.605	1	3
Machalovce	49.015	20.440	1	3
Magnezitovce	48.673	20.236	1	3
Mlynica	49.101	20.317	1	3
Mlynčeky	49.170	20.391	1	3
Pohorelská Maša	48.846	20.034	1	3
Revúca	48.687	20.118	1	3
Rimavská Sobota	48.382	20.015	1	3
Stará Lesná	49.138	20.304	1	3
Starý Smokovec	49.131	20.207	1	3
Vychylovka			1	3
Vyšné Hágy	49.119	20.125	1	3
Vrbov	49.089	20.426	1	3
Dravce	49.031	20.487	3	pozorované
Vlkovce	49.050	20.502	2	pozorované
Košice	48.711	21.254	1	pozorované
Chrastince	48.091	19.254	1	pozorované
Mengusovce	49.081	20.146	1	pozorované
Tatranská Javorina	49.266	20.142	1	pozorované
Tvarožná	49.087	20.477	1	pozorované

Zemetrasenie dňa **1.6.2012** s epicentrom v oblasti Nízkych Tatier bolo makroseizmicky pozorované v 11 lokalitách na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0 je 3° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 1.6.2012 o 03:47 UTC bolo zaznamenané štyrmi seizmickými stanicami NSSS – KECS, LANS, CRVS a VYHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 1.8$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v oblasti Nízkych Tatier. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 1.6.2012
čas vzniku [UTC]	 03:47:41.3
epicentrum: zemepisná šírka	 48.97 °N
zemepisná dĺžka	 20.32 °E
hĺbka ohniska	 - km
lokálne magnitúdo	 1.8

Zemetrasenie bolo pocítené v 11 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 14 makroseizmických pozorovaní (Tabuľka 2.3.6).

Tabuľka 2.3.6: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 1.6.2012 o 03:47 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Hrabušice	48.968	20.391	4	3
Hranovnica; Pila	48.989	20.310	1	3
Kravany	49.000	20.202	1	3
Letanovce	48.962	20.448	1	3
Spišské Bystré	48.999	20.241	1	3
Spišský Štiavnik	48.992	20.370	1	3
Spišský Štvrtok	48.998	20.482	1	3
Gánovce	49.029	20.324	1	pozorované
Hodruša Hámre	48.452	18.784	1	pozorované
Kolačkov	49.263	20.631	1	pozorované
Poprad	49.063	20.305	1	pozorované

Zemetrasenie dňa **22.6.2012** s epicentrom na východnom Slovensku bolo makroseizmicky pozorované v 1 lokalite na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0 je 3° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 22.6.2012 o 18:35 UTC bolo zaznamenané tromi seizmickými stanicami NSSS – CRVS, KECS a VYHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 1.4$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na východnom Slovensku, v oblasti Vihorlatských vrchov. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	 22.6.2012
čas vzniku [UTC]	 18:35:09.9
epicentrum: zemepisná šírka	 48.96 °N
zemepisná dĺžka	 22.01 °E
hĺbka ohniska	 6 km
lokálne magnitúdo	 1.4

Zemetrasenie bolo pocítené v 1 lokalite na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 1 makroseizmické pozorovanie (Tabuľka 2.3.7).

Tabuľka 2.3.7: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 22.6.2012 o 18:35 UTC

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Kamienka	48.908	22.000	1	3

Zemetrasenie dňa **18.11.2012** s epicentrom v oblasti Dobrej Vody bolo makroseizmicky pozorované v 4 lokalitách na území Slovenska. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia **I_0 je 3-4° EMS-98**. Zemetrasenie dňa 18.11.2012 o 21:23 UTC bolo zaznamenané piatimi seizmickými stanicami NSSS – MODS, ZST, VYHS, LANS a KECS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia **$M_L = 1.6$** . Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná na základe interpretácií

programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v oblasti Dobrej Vody. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú

dátum	 18.11.2012
čas vzniku [UTC]	 21:23:30.8
epicentrum: zemepisná šírka	 48.57 °N
zemepisná dĺžka	 17.56 °E
hĺbka ohniska	 2 km
lokálne magnitúdo	 1.6

Zemetrasenie bolo pocítené v 4 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má GFÚ SAV k dispozícii 36 makroseizmických pozorovaní (Tabuľka 2.3.8).

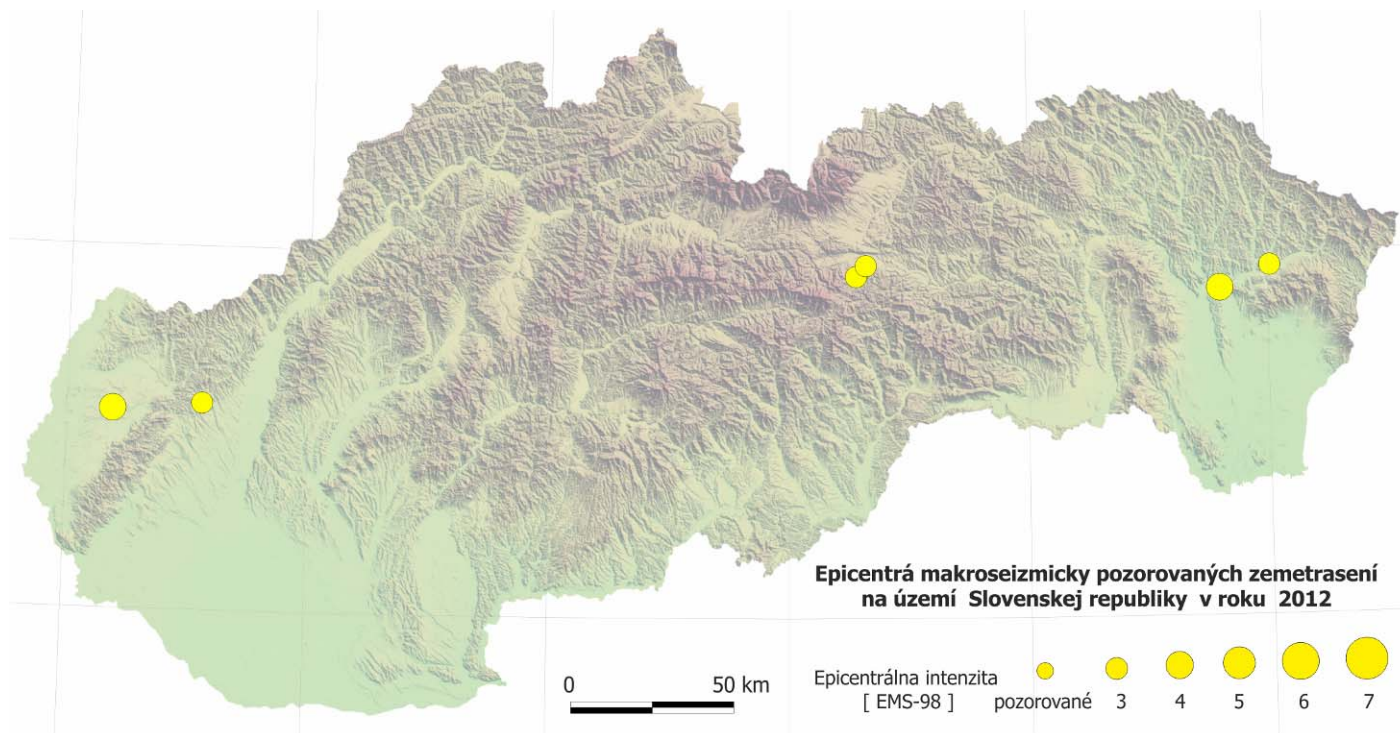
Tabuľka 2.3.8: Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 18.11.2012 o 21:23 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Dechtice	48.548	17.598	4	3-4
Chtelnica	48.570	17.625	26	3
Dolný Lopašov	48.577	17.644	4	3
Kočín - Lančár	48.598	17.653	2	3

Údaje, ktoré na základe týchto výsledkov vstupujú do katalógu makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenskej republiky sú uvedené v Tabuľke 2.3.9 a na Obr. 2.3.3.

Tabuľka 2.3.9: Epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenskej republiky v roku 2012

DÁTUM			ČAS [UTC]			HYPOCENTRUM			M _L	I ₀	LOKALITA
rok	mes	deň	hod	min	sek	[°N]	[°E]	h [km]			
2012	3	5	22	56	59.4	48.55	17.19	5	2.5	4	Záhorie
2012	5	2	17	21	06.5	48.90	21.80	15	2.0	4	Vihorlat
2012	5	31	21	35	42.9	48.94	20.28	10	2.5	3-4	Nízke Tatry
2012	6	1	03	47	41.3	48.97	20.32	-	1.8	3	Nízke Tatry
2012	6	22	18	35	09.9	48.96	22.01	6	1.4	3	Vihorlat
2012	11	18	21	23	30.8	48.57	17.56	2	1.6	3-4	Dobrá Voda



Obr. 2.3.3: Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky

2.4 Prehľad seizmickej aktivity na území Slovenska (J. Madarás)

Uvedený prehľad je súhrnom vedeckých výskumných a monitorovacích aktivít, ktoré boli publikované vo viacerých článkoch (cf. Madarás et al., 2008; Madarás a Fojtíková, 2009, Madarás et al., 2011; Madarás et al., 2012). Ďalšie práce sú citované v texte.

2.4.1 Historická seizmická aktivita

Historickú seizmickú aktivitu na území Slovenska, alebo v jeho blízkom okolí, dokumentujú ojedinelé zápisy v stredovekých a novovekých kronikách miest a obcí, ktoré sú však často poznačené značnou dávkou nepresnosti a subjektivity, nakoľko záznamy boli dodatočne spísané aj niekoľko rokov až desaťročí po udalosti. Takým je napr. záznam z roku 1501 v Mestskej knihe Banskej Štiavnice o zemetrasení ktoré postihlo stredoslovenské banské mestá 5. 6. 1443 (Moczo et al., 2002; Rogul'ová, 2002), ale aj pomerne podrobná informácia v obecnej kronike Dobrej Vody z roku 1935 o pozorovaniach zemetrasení s epicentrom v okolí Dobrej Vody v roku 1906 a 1930 (kópia zápisu z kroniky poskytnutá Obecným úradom v Dobrej Vode). Známe sú napr. zápisy o účinkoch zemetrasenia v r. 1443 (epicentrum v oblasti Banskej Štiavnice – Kremnice), zemetraseniach z 5. 6. 1643 a 9.8. 1662 s epicentrami v regióne severného Spiša a pozorovaní účinkov zemetrasenia s epicentrom v okolí Košíc 28. októbra 1656 v knižnom spracovaní levočskej kroniky Gašpara Haina (Bal et al., 1910 – 1913). Zrútenie štítu a časti klenby kostola sv. Juraja v Spišskej Sobote na deň sv. Bartolomeja – 13. augusta 1813, ktoré je zaznamenané v latinčine na nápisovej tabuli v kostole, sa tiež spomína v súvislosti so zemetrasením (Glatz et al., 2006). Je však

pravdepodobnejšie, že súvisí s výdatným dažďom, búrkou, víchricou a povodňou, ktorá v ten deň katastrofálne postihla oblasť Tatier, Oravy a horného Považia (Koreň – in Bezák et al., 2011). Aj opis pádu meteoru (resp. meteorického dažďa) z 5. januára 1615, ktorý bol zaznamenaný v Čechách, Nemecku (Durínsku a Vestfálsku), Rakúsku a Uhorsku, kde ho spomína kronikár Zavodszky (in Kornhuber, 1858) bol dávany do súvisu s hromobitím a zemetrasením. Ďalším príkladom je pozorovanie silného zemetrasenia v Tisovci zo 14. januára 1810 s epicentrom pri meste Mór v severnom Maďarsku (Kozák a Prachař, 2010), kde v kronike je chybné uvedené rok 1809 (Hutka a Uhrin, 2011). Čo sa týka starších udalostí (najmä do druhej polovice 18. storočia), prvé katalógy a štúdie jednotlivých zemetrasení zostavené na základe historických prameňov mohli a môžu obsahovať aj viaceré nepresnosti – napr. Réthlyho katalóg, Kárníkov katalóg, Pagaczewského katalóg (cf. Réthly, 1952; Kárník et al., 1957; 1981; Pagaczewski, 1972). Miera neurčitosti miesta epicentra zemetrasenia je pri údajoch do polovice 18. storočia veľmi vysoká; zo štúdií sporadických historických dokumentov často nie je možné určiť ani len presný dátum pozorovaného prírodného javu. Ak bolo zemetrasenie zaznamenané napr. v historických análoch mesta Levoča, neznamená to, že zemetrasenie malo epicentrum v jeho blízkom okolí; môžeme sa len domnievať, že takáto udalosť sa vzťahuje k územiu Vysokých Tatier, alebo severného Spiša, čo predstavuje mieru neurčitosti epicentra aj na viac ako 50 km okolie mesta. Spoločnejšou informáciou o lokalizácii sú záznamy o opakovaných zemetraseniach počas kratšieho časového obdobia (mesiac, rok) z rovnakej oblasti. Po katastrofálnom zemetrasení v roku 1763 v okolí Komárna registrujeme väčšiu pozornosť obyvateľstva o zemetrasenia. Zvyšujúci sa počet záznamov ale nemusí znamenať väčšiu seizmickú aktivitu: je len odrazom zvýšeného záujmu o dianie v prírode. Cenné informácie o zemetraseniach v Uhorsku (s väčším dôrazom na Horné Uhorsko, t.j. dnešné Slovensko, prináša Kornhuber (1858), ktorý sa v ďalšom texte detailne venuje najmä účinkom zemetrasenia z 15. 01. 1858 v okolí Žiliny.

Kvantitatívne, ale najmä kvalitatívne novou kapitolou je začiatok pravidelného prístrojového monitorovania seizmickej aktivity územia dnešného Slovenska – v našom prípade zriadenie seizmickej stanice v roku 1902 v Ógyalle (dnešnom Hurbanove), neďaleko Komárna. Od tohto míľnika sa začala odvíjať moderná seizmológia na Slovensku. Od 20. storočia postupne rozširovaná a modernizovaná sieť seizmických staníc umožňovala čoraz presnejšiu lokalizáciu zemetrasení (c.f. Moczo et al., 2002; Madarás et al., 2008).

2.4.2 Katalógy zemetrasení

Podrobnejší prehľad starších deskriptívnych a parametrických katalógov uvádza Labák (2000); Moczo et al. (2002) a Hrašna (2002). V polovici deväťdesiatych rokov 20. storočia bol na Geofyzikálnom ústave SAV zostavený nový katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska (Labák a Brouček, 1996). Katalóg zachytáva základné údaje o zemetraseniach s epicentrami na Slovensku, alebo v jeho blízkom okolí, prípadne na Slovensku pozorované silné vzdialenejšie zemetrasenia. Za zmienku stojí, že vo verzii katalógu (rok 1996) je pre obdobie od roku 1034 dokumentovaných 580 makroseizmicky pozorovaných zemetrasení s epicentrom na území Slovenska, z ktorých viac ako 550 sa vyskytlo po komárňanskom zemetrasení 28. 6. 1763. Za predchádzajúcich 700 rokov bolo možné spoločnejšie verifikovať len necelých 30 zemetrasení. Akékoľvek nové, resp. spresňujúce údaje o zemetraseniach pred 1. polovicou 18. storočia sú preto vítané, aj keď na kvantitatívnu, resp. kvalitatívnu úroveň katalógu nemajú zásadnejší vplyv. Od roku 1996 je Labákov a Broučkov katalóg každoročne dopĺňaný o nové údaje. V súčasnosti je preto vhodnejšie slovenský katalóg zemetrasení v publikáciách citovať ako kolektívne dielo pracovníkov Geofyzikálneho ústavu SAV (napr. Cipciar et al., 2009). Nevýhodou je, že

slovenský katalóg nie je voľne prístupný štúdiu, k nahliadnutiu je potrebné dohodnúť sa s pracovníkmi oddelenia seizmológie GFÚ SAV. Zemetrasenia však neberú ohľad na štátne hranice; niektoré katalógové informácie susedných seizmologických pracovísk sú spracované aj s ohľadom na makroseizmické javy s epicentrom na území Slovenska. Je to napr. publikácia Guterch et al., 2005; Guterch, 2009; Malýtskyy, D., 2006, alebo čiastkové katalógy vo výročných správach maďarských (napr. Tóth et al., 2011), českých (napr. Zedník, 2012), rakúskych (napr. ZAMG, 2008) a poľských seizmologických pracovísk. Archivované a on-line údaje o silnejších javoch, ktoré by sa týkali aj územia Slovenska (zemetrasenia s magnitúdou nad 2,0 z Európy a nad 4,0 zo sveta) sú vo veľmi dobrej užívateľskej forme prístupné napr. na stránke Európskeho – mediteránneho seizmologického centra EMSC (www.emsc-csem.org).

Pre potreby ŠGÚDŠ - Strediska čiastkového monitorovacieho systému (ČMS) – subsystému 02 (Tektonická a seizmická aktivita územia) M. Hrašna zostavil katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v rámci vymedzených epicentrálnych oblastí. Tabuľky javov sú kompilované z vyššie spomenutých a dostupných katalógov a sú dopĺňané z každoročných správ monitorovania seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV, ktoré sú taktiež súčasťou publikovaných správ ČMS (c.f. Cipciar a Kristeková, 2012) dostupných na internetovej stránke Strediska ČMS (http://dionysos.gssr.sk/cmsgf/cmsgf_publicacie.html).

2.4.3 Seizmicky aktívne oblasti na území Slovenska

Seizmicky aktívne oblasti, resp. seizmogénne, zdrojové, alebo ohniskové (epicentrálne) zóny, sú oblasti so zvýšeným seizmickým ohrozením. V Západných Karpatoch a priľahlých oblastiach boli v minulosti derivované z geofyzikálne interpretovaných zlomových zón. Na Slovensku boli prvýkrát definované Fusánom et al. (1979; 1981; 1987). Pionierskym bol krok Šefaru et al. (1998) v spojitosti seizmogénnych zón s novo definovanými neotektonickými blokmi v Západných Karpatoch. Na základe geologického štúdia tektonických zón (základných alpínskych oceánických, alebo intrakontinentálnych sutúrnych zón), interpretácie refrakčných (DSS) a reflexných (CDP) seizmických profilov, gravimetrie a epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení (z katalógu Labák a Brouček, 1996) vyčlenili Šefara et al. (l.c.) v západnej časti Slovenska nasledovné seizmogénne zóny:

- A) **Váhická sutúra.** Zahŕňa západnú časť Slovenska v smere SV – JZ od Bratislavy cez Dobrú Vodu po Žilinu. Hlavné krehké zlomové štruktúry, ktoré generujú zemetrasenia sú na línii Mur – Mürz – Leitha (pokračujúcej na Slovensko z východoalpskej oblasti), Dobrovodskom a Považskom zlomovom systéme. Maximálna epicentrálna intenzita $I_{\max} = 8-9^{\circ}$ MSK-64, predpokladaná hĺbka hypocentier je do 15 km.
- B) **Čertovická sutúra.** Hlavnou krehkou štruktúrou, ktorá generuje zemetrasenia je Hronský zlomový systém (okolie Banskej Bystrice). Maximálna epicentrálna intenzita potenciálnych zemetrasení $I_{\max} = 7-8^{\circ}$ MSK-64, predpokladaná hĺbka hypocentier je menej než 10 km.
- C) **Meliatska sutúra.** Je situovaná v južnej časti Slovenska, pozdĺž V-Z orientovanej zlomového systému Hurbanovo – Diósjenő. Túto seizmogénnu zónu charakterizuje maximálna epicentrálna intenzita $I_{\max} = 9^{\circ}$ MSK-64 a predpokladaná hĺbka hypocentier viac než 15 km.

Hrašna (1997; 2002) zostavil prvú seismotektonickú mapu Slovenska. Mapa zobrazuje priebeh významnejších geofyzikálne a geologicky zdokumentovaných tektonických línii

a seizmické oblasti s predpokladanou maximálnou intenzitou zemetrasenia 6,7, 8 a 9° MSK-64. Podľa Hrašnu (l.c.) najvýznamnejšie seizmotektonické pásmo na území Slovenska sa tiahne pozdĺž hlbinného peripieninského lineamentu od Záhoria cez Trenčín, Žilinu a južné Poľsko až po Humenné a hranicu s Ukrajinou (sleduje prakticky priebeh bradlového pásma). V západnej časti tohto pásma sa vyskytujú zemetrasenia s epicentrálnou intenzitou do 8° MSK (Dobrá Voda, Žilina) a vo východnej do 7° MSK (Prešov – Humenné).

Maglay et al., (1999) zostavili neotektonickú mapu Slovenska v mierke 1: 500 000, ktorá okrem významných neotektonických zlomových štruktúr znázorňuje aj výzdvihové a poklesové tendencie tektonických blokov v najmladších etapách vývoja geologickej stavby územia Slovenska.

Bus et al. (2000) vyčlenili v maďarskej časti Panónskej panvy 14 seizmogénnych zón. Štyri z nich: č.12 Mur – Mürz, č.1 Hurbanovo – Diósjenő, č.5 Ostoros, a č.14 Érmelek (Satu Mare) zasahujú na územie juhozápadného, južného a juhovýchodného Slovenska.

Hók et al. (2000) študovali neotektonický charakter Slovenska. Pod termínom neotektonika pre územie Slovenska a Západných Karpát definujú v zhode s Hrašnom (1998) také tektonické udalosti a procesy, ktoré sa odohrali od konca miocénu po recent. Tento časový úsek zahŕňa približne posledných 5,4 miliónov rokov. Hók et al. (l.c.) na základe mapy zlomov a zlomových systémov na území Slovenska, mapy recentného napätového poľa, mapy izolínií recentných vertikálnych pohybových tendencií, hrúbky kôry a tepelného toku a mapy epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska zostavili mapu neotektonických oblastí Slovenska, kde vyčlenili a charakterizovali šesť regiónov:

1. flyšové pásmo,
2. bradlové pásmo,
3. západné Slovensko,
4. stredoslovenské neovulkanity,
5. stredné Slovensko,
6. východné Slovensko.

Aktívne zemetrasné oblasti zahrnuli do troch zón:

A) Bradlové pásmo,

B) Čertovická zóna,

C) Zóna Rába – Hurbanovo.

Kováč et al. (2002) na základe údajov z katalógu Labák a Brouček (1996) vyčlenili na Slovensku 6 epicentrálnych oblastí:

1. Komárno,
2. Malé Karpaty,
3. Dobrá Voda,
4. Žilina,
5. Stredné Slovensko,
6. Slanské vrchy.

Tie patria do štyroch seizmicky aktívnych zón:

A) Pieninské bradlové pásmo (Žilina, Slanské vrchy - sever);

B) Čertovická zóna (Stredné Slovensko, Slanské vrchy – juh);

C) Hurbanovská zóna (Komárno);

D) Zóna Mur – Mürz – Leitha (Malé Karpaty, Dobrá Voda).

Členenie na neotektonické regióny (bloky) je rovnaké ako u Hóka et al., 2000.

Hrašna (2002) v rámci prezentácie výsledkov monitorovania tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska vytvoril databázu takmer 200 aktívnych zlomov na Slovensku (v mierke 1: 200 000), čiastočne inovoval seizmotektonickú mapu Slovenska z roku 1997 a zostavil Mapu seizmotektonickej rajonizácie. Rajonizácia vychádza zo základného členenia Západných Karpát na vnútorné a vonkajšie Karpaty a bradlové pásmo, ktoré sa odlišujú rozdielnym geotektonickým vývojom a majú zrejme rozdielny tektonický vývoj aj v súčasnosti. Pri ďalšom členení na jednotky nižšieho rádu bola kritériom jednak orientácia vertikálnych pohybov (podľa nej boli vyčlenené základné oblasti), jednak rýchlosť pohybov (podľa nej boli vyčlenené časti). Hranice medzi vyčlenenými územnými jednotkami tvoria spravidla významné zlomy, resp. zlomové pásma. Rajonizácia aj princípy vyčlenenia jednotlivých oblastí a ich častí sú z väčšej časti totožné, alebo takmer rovnaké ako členenie Hóka et al. (2000) na neotektonické oblasti. Hrašna (l.c.) člení územie Slovenska na štyri základné oblasti a bradlové pásmo:

Vnútorné Západné Karpaty

1. **Západná oblasť:** časti 1A, 1B, 1C, 1D (podľa rýchlosti pretrvávajúcich poklesov);
2. **Centrálna oblasť:** časti 2A, 2B, 2C (podľa rýchlosti pretrvávajúcich výzdvihov, alebo viac – menej stability);
3. **Východná oblasť:** časti 3A, 3B (podľa rýchlosti pretrvávajúcich poklesov);

Vonkajšie Západné Karpaty

4. **Flyšové pásmo:** časti 4A, 4B, 4C (prevládajúce výzdvihy);
Bradlové pásmo (poklesy aj výzdvihy).

Všetci spomenutí autori členení vychádzali v rámci dokumentovaných seizmických javov z údajov pred modernizáciou seizmického monitorovania a mohli sa opierať väčšinou len o makroseizmické údaje z minulosti. Vďaka detailnejšiemu monitorovaniu Slovenska stanicami NSSS (výrazná modernizácia v roku 2004), lokálnym seizmickým sieťam Jaslovské Bohunice (monitorovanie makro a mikrozemetrasení od roku 1985), Mochovce (monitorovanie od roku 1992) a východné Slovensko (začiatok zberu údajov v roku 2007) môžeme dnes s oveľa väčšou presnosťou lokalizovať nielen makro- ale aj mikrozemetrasenia (zväčša obyvateľmi nepocítené).

Na základe archívnych katalógov, správ a publikácií a spresnených údajov zo seizmologických správ Geofyzikálneho ústavu SAV, ktoré sú súčasťou publikovaných správ Strediska čiastkového monitorovacieho systému ŠGÚDŠ od roku 1993, (http://dionysos.gssr.sk/cmsgf/cmsgf_publicacie.html). Hrašna et al. (2011) zostavili podrobnú charakteristiku a schematické mapové vymedzenie 16 epicentrálnych oblastí na území SR:

južná časť Malých Karpát - 1. okolie Bratislavy; 2. oblasť Pernek – Modra;
severovýchodná časť Malých Karpát - 3. oblasť Dobrá Voda;
stredné Považie - 4. oblasť Trenčianske Teplice; 5. oblasť Žilina;
severné Slovensko západne od Tatier – 6. Chočské vrchy; 7. severná Orava;
severné Slovensko východne od Tatier – 8. oblasť Spišská Stará Ves; 9. oblasť Kežmarok – Spišská Belá; 10. oblasť Levoča – Spišská Nová Ves;
východné Slovensko – 11. oblasť Humenné – Vranov nad Topľou; 12. oblasť južne od Vihorlatu;

stredné Slovensko – **13. oblasť Banská Bystrica; 14. oblasť Banská Štiavnica; 15. oblasť Krupina;**
južné Slovensko – **16. oblasť Komárno.**

Madarás et al. (2008); Madarás a Fojtíková (2009) v súvislosti so seizmickou aktivitou na Slovensku vo vzťahu k tektonike navrhli vyčleniť nasledovné ohniskové oblasti a seizmicky aktívne zóny:

- A) **oblasť Komárna a príslušné časti severného Maďarska popri Dunaji;**
- B) **oblasť Malých Karpát od Bratislavy po Vrbové s podoblast'ami:**
 - Bratislava;
 - Pernek – Modra;
 - Dobrá Voda;
- C) **oblasť od Trenčína po Žilinu**
- D) **oblasť Tatier, poľského Podhalia, severného a stredného Spiša;**
- E) **oblasť Zemplína**
- F) **oblasť stredného Slovenska v okolí Banskej Bystrice;**
- G) ostatné oblasti (s pravdepodobnou väzbou na konkrétne zlomové línie)

2.4.4 Modifikované vymedzenie seizmicky aktívnych oblastí a ich charakteristika

V nadväznosti na predchádzajúce prehľady navrhujeme mierne zjednodušenú modifikáciu seizmicky aktívnych oblastí vyčlenených Madarásom et al. (2008); Madarásom a Fojtíkovou (2009) a Hrašnom et al., (2011) tak, aby boli aj v súlade s aktualizovanou mapou seizmického ohrozenia Slovenska (Franek et al., 2011), ktorá je publikovaná v Zmene 2 národnej prílohy STN EN 1998-1/NA Eurokód 8. Podobne ako nová mapa seizmického ohrozenia SR, aj naše členenie na seizmicky aktívne oblasti vychádza zo zhodnotenia epicentier a hĺbok zemetrasení z katalógu zemetrasení GFÚ SAV, historických údajov a údajov o zemetrasnej aktivite v okolitých štátoch - podrobnejšie spomenutých v predchádzajúcom texte, geologických, tektonických a geofyzikálnych údajov. Na základe kritickej analýzy historických seizmických udalostí z katalógov zemetrasení, doplnených relevantnými údajmi monitorovania seizmických javov na území Slovenska najmä za ostatných 20 rokov je možné jasnejšie definovať seizmicky aktívne oblasti a zóny s väzbou na konkrétne zlomové línie. Modifikované členenie s dôrazom na názvoslovie širších geografické celkov, miest a všeobecne známych historicko – geografických regiónov je aj ľahšie zapamätateľné - viac ako prílišné zdôrazňovanie geologickej a tektonickej príslušnosti a terminológie.

V redefinovanej verzii preto navrhujeme nasledovné členenie (**obr. 2.5.1**):

- A) **oblasť Južné Slovensko s podoblast'ami**
 - Komárno;
 - Štúrovo;

Prvé písomné zmienky o zemetraseniach v severnom Maďarsku sú už z 11.- 12. storočia. Z Komárna sú prvé zmienky o zemetraseniach z konca 16. a začiatku 17. storočia, ale najmä v 18. – 19. storočí. Opakované zemetrasenia sa vyskytli v rokoch 1755 - 1785; 1803 - 1822; 1841 - 1857; 1862 - 1866. Najsilnejšie zemetrasenia boli v roku 1763, 1783, 1806, 1822 – s makroseizmickou intenzitou $I_0 = 7,5 - 8,5^\circ$ EMS 98, a lokálnou magnitúdou $M_L = 5,1 - 5,8$. Aj v súčasnosti sú slabé makroseizmické javy v oblasti takmer každoročne. Pre

oblasť je charakteristická pomerne veľkou hĺbkou hypocentier zemetrasení (20 - 30 km). Príčiny zemetrasení môžeme pravdepodobne hľadať hlbokom tektonickom rozhraní V-Z smeru medzi karpatským a panónskym blokom zemskej kôry – v sutúrnej zlomovej zóne Rába – Hurbanovo - Diósjenő (1) a jej križovaní so S – J orientovanou zlomovou zónou od Komárna až po Berhidu pri Balatone (c.f. Madarás et al., 2011).

B) oblasť Západné Slovensko s podoblasťami:

- Záhorie;
- Pernek – Modra;
- Dobrá Voda;

Pohorie Malé Karpaty predstavuje horskú hrastovú štruktúru medzi Viedenskou a Podunajskou panvou. Širšie okolie Dobrej Vody je najaktívnejšou seizmickou oblasťou v 20. storočí. Prvé písomné informácie o zemetraseniach sa viažu na Trnavu (1515, 1586, 1660, 1860, 1873) a Dobrú Vodu (1805, 1815 a koniec 19. storočia). Najsilnejším v epicentrálnej oblasti Dobrej Vody bolo zemetrasenie v roku 1906 a 1930 s intenzitou 8,5° a 7,5° EMS 98, odvodenou $M_L = 5,7$ resp. 5,0 (Réthly, 1907; Zátopek, 1940). Pre podoblasť Pernek – Modra sú známe najmä zemetrasenia v druhej polovici 19. storočia, rok 1914 a zemetrasný roj v roku 1976. Z okolia Bratislavy sú záznamy o zemskej otrase najmä z 18. a 19. storočia (1700, 1727, 1781, 1788, 1791, 1806, 1856, 1862, 1864, 1868, 1891 - 1893, 1953, 1977, 1991-1992). Všetky určenia však vykazujú vysokú mieru neurčitosti ($\pm 20 - 50$ km), preto je pravdepodobné, že vo veľkej miere boli registrované aj zemetrasenia, ktoré sa oblasti samotného mesta dotýkali len okrajovo a mali epicentrá skôr v seizmicky veľmi živom území blízkeho Burgenlandu a Dolného Rakúska, v zóne rozhrania medzi Východnými Alpami a Západnými Karpatmi a na línii Mur – Mürtz – Leitha s predĺžením na litavské zlomy v slovenskej časti Viedenskej panvy. Jedným z možných pokračovaní tohto systému zlomov smeru SV – JZ je aj malokarpatský zlom (2). Ostatným príkladom pocítienia zemetrasenia v Bratislave, ktoré malo epicentrum v okolí Spital am Semmering bol jav z 7. 5. 2009 ($M_L = 4,1$). Zemetrasnú aktivitu najmä okolia Dobrej Vody môžeme prisudzovať hlboko založeným zlomom a plytko ukloneným tektonickým rozhraniam - vejárom strižných zón vo vrchnej kôre v hĺbkach 5-15 km v priebehu dobrovodskeho (3) zlomu a jeho paralelných odnoží (c.f. Marko et al., 1991; Fojtíková et al., 2010). Väčšina hypocentier je v hĺbke 10 - 20 km.

C) oblasť Stredné Považie s podoblasťami:

- Trenčín;
- Žilina;

V okolí Žiliny boli písomne zaznamenané otrasy v priebehu 17. – 19. storočia, ale najmä zemetrasný roj v roku 1858, ktorý mal makroseizmickú intenzitu 7,5° EMS-98 a odvodenú $M_L = 5,1$. Pocítene boli aj otrasy v roku 1947 a 1992. Podľa lokalizácie zemetrasení v údolí Váhu, paralelne s priebehom bradlového pásma by ich zdrojom mohla byť sutúrna zóna styku vnútorných a vonkajších Karpát v zóne bradlového pásma, avšak z obrazu isoseist zemetrasenia v Žiline v roku 1858 (Jeitteles, 1859; Schmidt, 1859) sa ako možným zdrojom javí skôr zlom strečnianskeho prielomu (5). V oblasti Trenčína (okolie Trenčianskych Teplíc, Dubnice, Strážovské vrchy) by ako možný zdroj zemetrasení pripadal hlboko založený jastrabiansky zlom (4) – napr. zemetrasenie 9. 3. 2006; $M_L = 1,6$ a 2,3 a 20. 7. 2011 $M_L = 1,6$. V okolí Trenčína sa hĺbka hypocentier pohybuje okolo 15 km.

D) oblasť Severné Slovensko s podoblasťami:

- Orava;

- Tatry;
- Spiš;

Zemetrasenia v poľskom Podhalí boli zaznamenané už v rokoch 1258, 1259, 1433 a 1528. Podobne ako zápisy z Kežmarku a Levoče z rokov 1643, 1650, 1662, 1683, 1724 a 1840 majú značnú mieru neurčitosti epicentra. Potvrdením, že musíme uvažovať aj s touto ohniskovou oblasťou je zemetrasný roj v rokoch 1992 – 1993 pri poľskej Krynici ($M_L = 4,2 - 4,7$; Dębski et al., 1997) a séria otrasov 30.11 – 9.12. 2004 s max. $M_L = 4,4$ v poľskej časti Oravy, ktoré sú ešte v živej pamäti, keďže nasledovali nedlho po katastrofálnej veternej smršti vo Tatrách. Otrasy v podhorí Tatier môžeme dávať do súvislosti s relatívne rýchlym kvartérnym výzdvihom Tatier a poklesovou tektonikou v sedimentárnych bazénoch, ktoré Tatry obklopujú. Relatívne veľkým množstvom mikro, ale aj makroseizmických javov je zaujímavý chočský zlom (6). Javy na severnom Spiši by mohli mať súvis s priebehom ružbašského zlomu (7). Hĺbka hypocentier zemetrasení sa pohybuje medzi 10 - 20 km.

E) oblasť Východné Slovensko s podoblasťami:

- Zemplín;
- Šariš;
- Slanské vrchy;

Najvýchodnejšie situovaná zemetrasná zóna je geologickou križovatkou rôznych rozhraní: stýkajú sa tu vonkajšie flyšové Karpaty s bradlovým pásmom (8), neovulkanitmi Slanských vrchov, Vihorlatu a Popričného, východoslovenským výbežkom panónskej panvy Severo – južne orientované hornádske zlomy oddeľujú podľa niektorých štúdií západokarpatský a východokarpatský blok (9,10). Hľadať príčiny pomerne častých zemetrasení v tejto oblasti je veľmi zložitá, ale vďaka lokálnej seizmickej sieti Východné Slovensko (od roku 2007) v budúcnosti riešiteľné. Záznamy o makrootrasoch na Zemplíne pochádzajú z rokov 1778 - 1780, 1890 - 1893, 1917, 1932, 1941. Otrasy, ktoré spôsobili aj menšie materiálne škody v okolí Humenného boli v rokoch 2001 – 2004 a najmä v roku 2003 s makroseizmickou intenzitou $I_0 = 6,5^\circ$ EMS-98 a $M_L = 3,7$. Slabé otrasy s M_L okolo 2,0, ktoré boli pocítené na Zemplíne najmä vo Vranove nad Topľou a v okolitých obciach, boli zaregistrované 20.10. 2008. Makroseizmické javy v slovensko – ukrajinskej hraničnej oblasti s M_L pod 2,0 boli registrované v decembri 2008 – novembri 2009. Ostatné najsilnejšie boli 4 makroseizmicky pocítené zemetrasenia južne od Vihorlatu v roku 2010 (4. 4. – $M_L = 2,3$; 25. 07. – $M_L = 1,7$; 19.11. – $M_L = 1,5$ a 1,4).

F) oblasť Stredné Slovensko s podoblasťami:

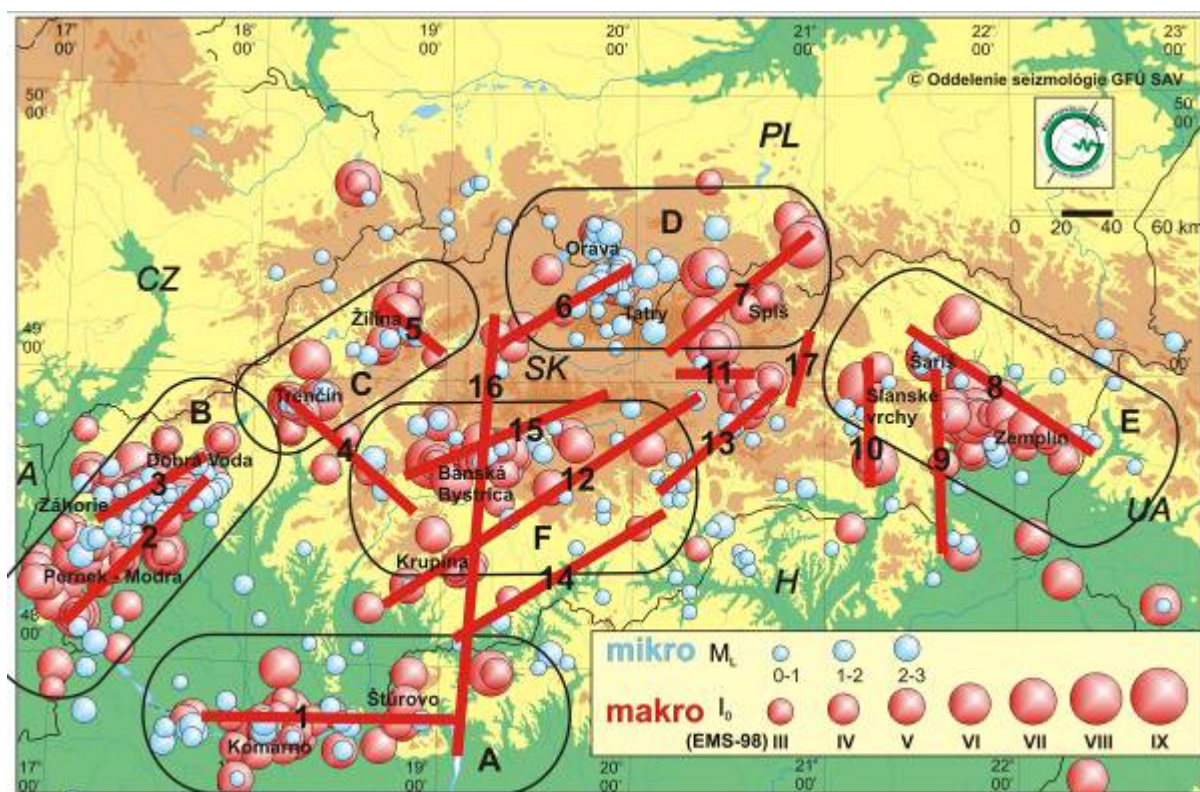
- Banská Bystrica;
- Krupina;

V okolí Banskej Bystrice (Kremnica - Banská Štiavnica) bolo prvýkrát písomne zaznamenané silné zemetrasenie na našom území v roku 1443. Jeho intenzita sa odhaduje na 8° EMS-98, M_L okolo 5,9 (Brouček, 1978). Okrem jednotlivých záznamov zemetrasení v priebehu 16. – 19. storočia bolo registrovaných aj niekoľko zemetrasných rojov v rokoch 1854 - 1855, 1861 – 1862, 1869, 1946 - 1947, 1964 a významnejšie aj v rokoch 1988 – 1989 a 23. 9. 2004 ($M_L = 3,6$). Okolie Banskej Bystrice leží na križovaní severo – južne orientovaného stredoslovenského zlomového systému (16) a sv. – jz. prebiehajúceho plytkého tektonického rozhrania - čertovickej línie (15). Charakteristická je plytká hĺbka hypocentier (do 10 km), čo aj pri relatívne slabšom zemetrasení môže vyvolať pocitovo silnejšie účinky. Napr. zemetrasenie 2.5. 2008 východne od Banskej Bystrice bolo veľmi plytké (do 2 km) a

slabé ($M_L = 0,9$), ale napriek tomu bolo makroseizmicky pocítené. Pri Krupine bol zaznamenaný zemetrasný roj v roku 1999 (max. $M_L = 4,2$).

G) seizmicky aktívne a potenciálne aktívne zlomové zóny

Makro a mikro seizmické javy boli registrované aj mimo seizmicky aktívnych oblastí. Niektoré dosiahli znepokojivú úroveň a ich prejav môže byť viazaný na významné zlomové rozhrania – napr. vikartovský zlom (11), muránsko – divínsky zlom (12), zdychavská línia (13), rapovsko – lysecká zóna (14), šindliarsky zlom (17) a iné. Optimalizáciou lokalizácie epicentier zemetrasení zaznamenaných seizmickými stanicami, mikroseizmickou analýzou, poľnými seizmickými meraniami in situ, meraniami tektonickej aktivity na zlomoch a presnými geodetickými meraniami je v blízkej budúcnosti nádej, že sa podarí presnejšia identifikácia týchto recentne tektonicky aktívnych rozhraní. Ako príklad zemetrasení viazaných na tektonickú zónu je možné spomenúť dve slabé zemetrasenia z 31. 5. a 1. 6. 2012, $M_L = 2,7$ a $2,1$ s epicentrami medzi Vernárom a Hranovnicou s jasnou väzbou na muránsky zlom (12).



Obr. 2.4.1: Redefinované seizmicky aktívne oblasti na Slovensku, pôvodne vyčlenené Madarásom a Fojtíkovou (2009). Epicentrá makro a mikro zemetrasení od r. 1258 do roku 2006 sú z katalógu zemetrasení GFÚ SAV.

A-F – seizmicky aktívne oblasti: **A)**: oblasť Južné Slovensko, podoblasti: Komárno, Štúrovo; **B)**: oblasť Západné Slovensko, podoblasti: Záhorie, Pernek – Modra, Dobrá Voda; **C)**: oblasť Stredné Považie, podoblasti: Trenčín, Žilina; **D)**: oblasť Severné Slovensko, podoblasti: Orava, Tatry, Spiš; **E)**: oblasť Východné Slovensko, podoblasti: Zemplín, Šariš, Slanské vrchy; **F)**: oblasť Stredné Slovensko, podoblasti: Banská Bystrica, Krupina; **G)**: seizmicky aktívne a potenciálne aktívne zlomové zóny: zlom Rába – Hurbanovo - Diósjenő (1); malokarpatský zlom (2); dobrovodský zlom (3); jastrabiansky zlom (4); zlom strečnianskeho prielomu (5); chočský zlom (6); ružbašský zlom (7); okrajový zlom bradlového pásma na východnom

Slovensku (8); okrajové zlomy Slanských vrchov – hornádske zlomy (9,10); vikartovský zlom (11); muránsko – divínsky zlom (12); zdychavská línia (13); rapovsko – lysecká zóna (14); čertovická línia (15); stredoslovenské zlomové pásmo (16); šindliarsky zlom (17).

2.4.5 Príklad spracovania zemetrasenia na Záhorí z 5. marca 2012 z pohľadu geológie

Dňa 5. marca 2012 krátko pred polnocou miestneho času pocítili obyvatelia severnej časti Záhoria (epicentrum v okolí Lakšárskej Novej Vsi) makroseizmické účinky zemetrasenia. Prístrojmi bolo zemetrasenie zaznamenané seizmickými stanicami Slovenskej národnej siete seizmických staníc (napr. stanice Smolenice, Bratislava - Železná studnička, Vyhne) a seizmickými stanicami v najmä v Čechách, Maďarsku a Rakúsku, ale aj v Poľsku, Nemecku, Slovinsku, Srbsku, Čiernej Hore, Rumunsku a Grécku (Zdroj: EMSC). Podľa predbežných údajov bola lokálna magnitúda M_L v epicentre zemetrasenia okolo 3, neskôr GFÚ SAV manuálnou analýzou spresnil lokálnu magnitúdu na M_L 2,5:

M_L 2,9 – GFÚ SAV /Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied/ - predbežné určenie;

M_L 3,0 – NIEP /Národný inštitút pre fyziku Zeme, Bukurešť/;

M_L 3,3 – ZAMG /Ústredný inštitút pre meteorológiu a geodynamiku, Viedeň/;

M_L 3,4 – EMSC /Európsko – mediteránne seizmologické centrum/;

M_L 3,5 – MTA GGKI /Maďarská seizmologická sieť, Geodetický a Geofyzikálny výskumný ústav/;

M_L 3,6 – GFÚ AV ČR /Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky/;

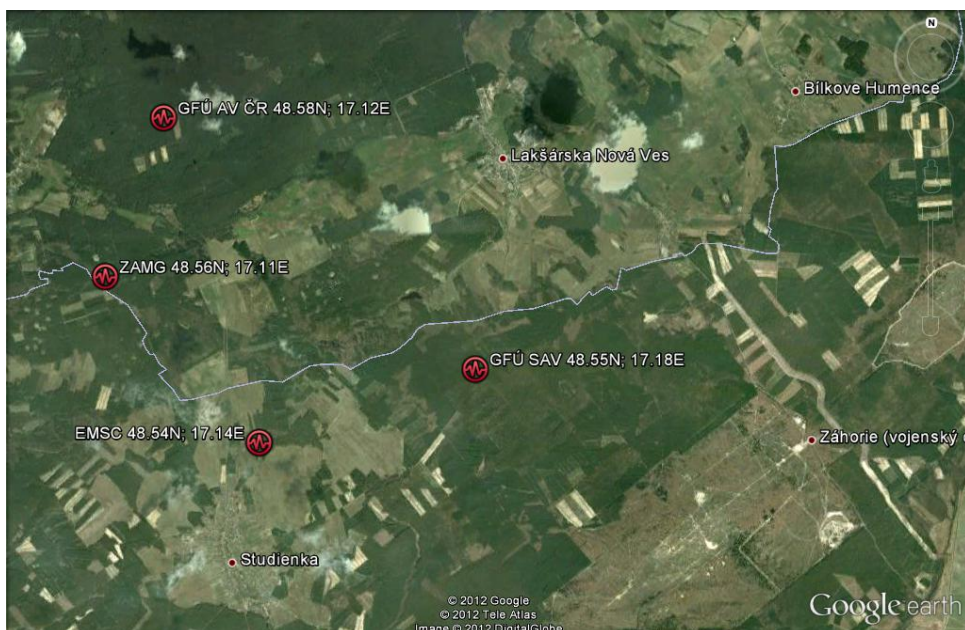
M_L 4,3 – GFZ GEOFON Potsdam.

Poznámka:

Uvedené údaje len ilustrujú rozptyl automaticky určených hodnôt magnitúdy zemetrasenia rôznymi seizmologickými pracoviskami. Pri slabých zemetraseniach môže byť tento rozptyl pomerne veľký, nakoľko kvalita seizmického záznamu pri vzdialenejších seizmických staniach je ovplyvňovaná mnohými faktormi. Preto je nevyhnutná dodatočná manuálna analýza. V prípade neodborného prebratia predbežných údajov informačnými médiami môžu vzniknúť mylné interpretácie.

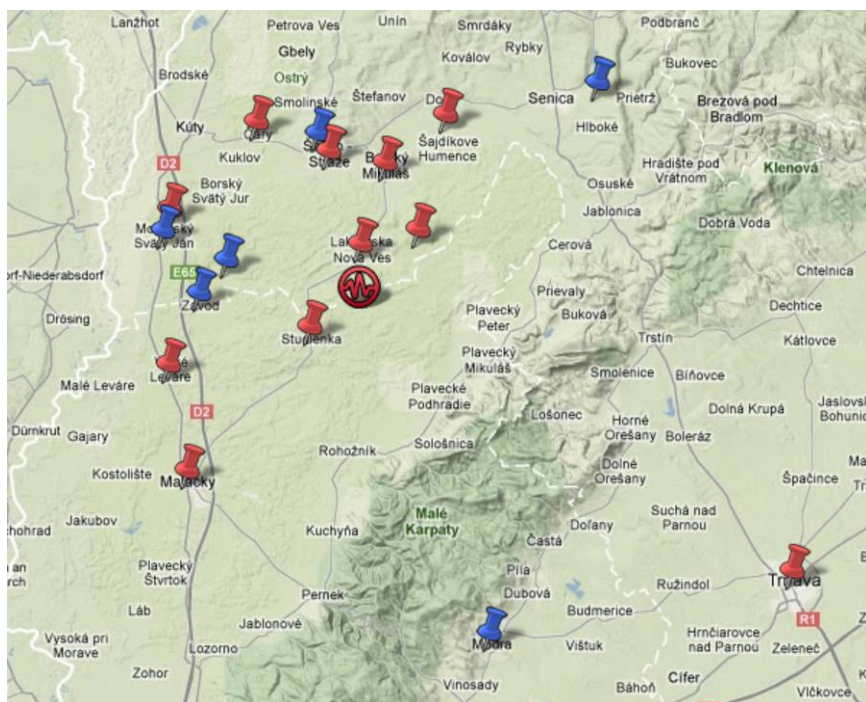
Makroseizmická intenzita I_0 v epicentre dosiahla 4° EMS-98.

Po hlavnom otrase v priebehu ďalšej polhodiny nasledovalo minimálne 5 slabých dotrasov a ďalšie 2 na ďalší deň. (Tabuľka 2.3.2). Išlo o slabé zemetrasenie s plytkou hĺbkou hypocentra okolo 5 km. Epicentrum zemetrasenia bolo v oblasti medzi obcami Studienka a Lakšárska Nová Ves. (Obr. 2.4.2).



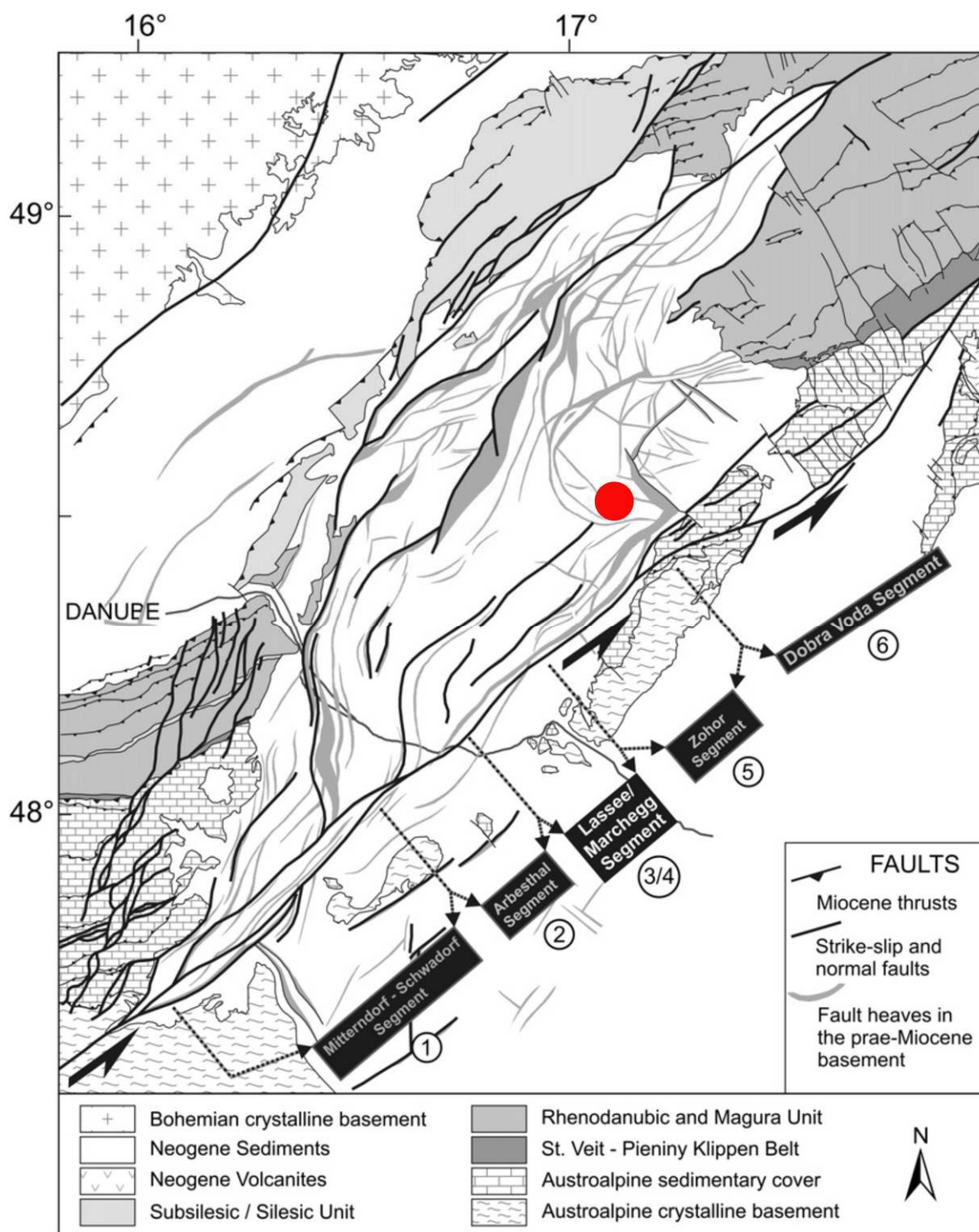
Obr. 2.4.2: Automatická lokalizácia epicentra zemetrasenia podľa rôznych seizmologických pracovísk: GFÚ SAV (48.55N; 17.18E); GFÚ AV ČR (48.58N; 17.12E); ZAMG (48.56N; 17.11E); EMSC (48.54N; 17.14E). Mapový zdroj: Google Earth. *Pozn.:* Bez následnej manuálnej revízie seizmológov automaticky determinované lokalizácie zemetrasenia môžu byť nepresné

Do 6.3. 2012 (15.00 hod.) bolo Geofyzikálnym ústavom SAV v Bratislave bolo predbežne registrovaných 17 lokalít s hláseniami o makroseizmických účinkoch zemetrasenia, väčšinou zo severnej časti Záhoria, ale aj z Modry, alebo Trnavy (Obr. 2.4.3). Seizmológovia analyzovali záznamy seizmických staníc. Informácia bola priebežne aktualizovaná na základe analýzy záznamov a makroseizmických hlásení na www.seismology.sk. Finálnym spracovaním hlásení bolo určených 15 lokalít s 35 pozorovaniami (Tabuľka 2.3.3)

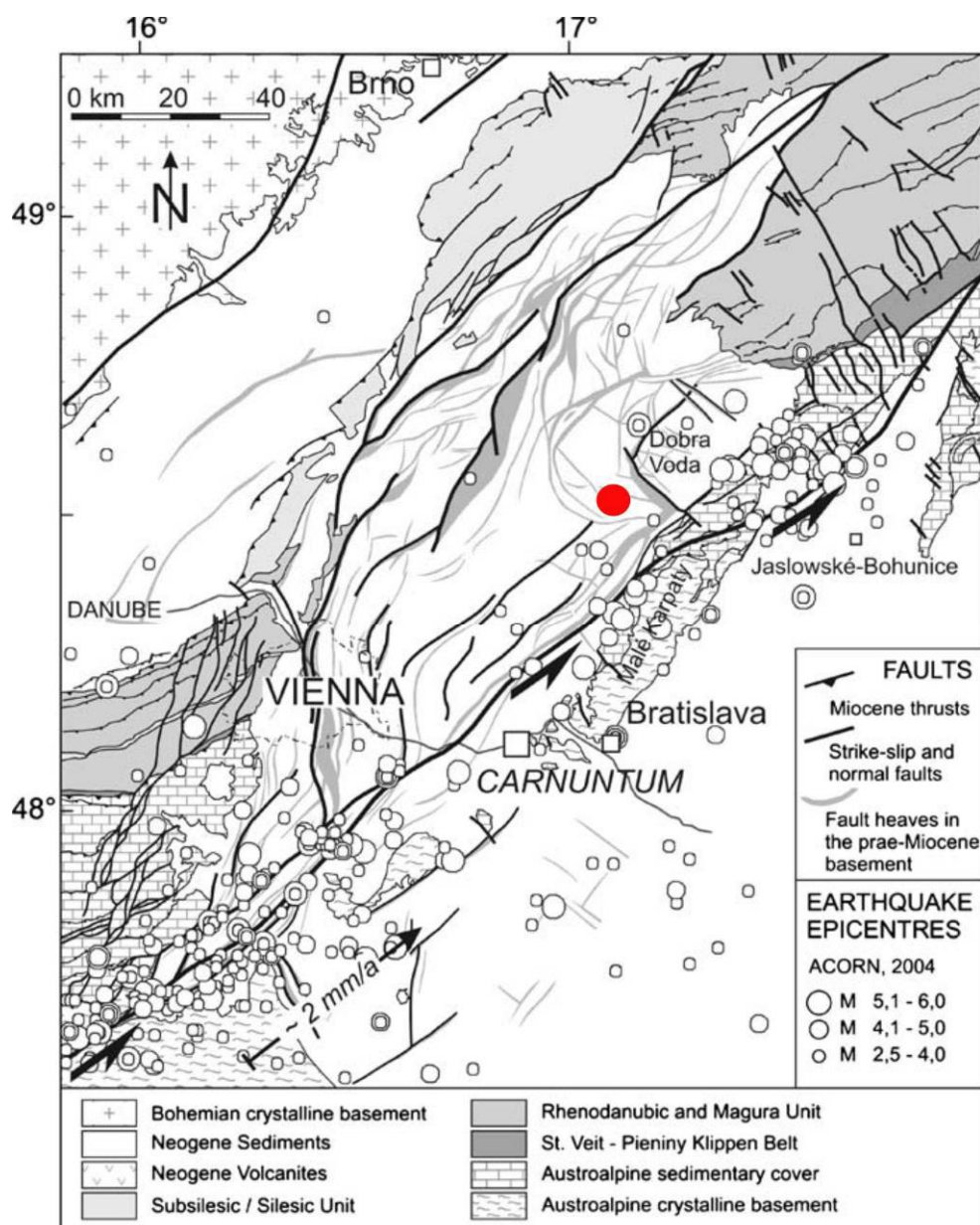


Obr. 2.4.3: Lokalizácia epicentra zemetrasenia a sídiel s hlásenými pozorovaniami do 6.3. 2012 15.00 hod. Modré „piny“ sú potvrdené, verifikované pozorovania. Zdroj: Oddelenie seizmológie GFÚ SAV. Mapový zdroj: Google Maps.

Seizmická činnosť v širšej oblasti Záhoria sa viaže na geologicky komplikovaný kontakt Východných Álp, Západných Karpát a Českého masívu vo Viedenskej panve. Epicentrum bolo v oblasti, kde sú slabšie zemetrasenia pomerne časté. Oblasť je aj súčasťou veľkého zlomového systému, ktorý sa tiahne z východného Rakúska cez najzápadnejšiu časť Slovenska - tzv. tektonická línia Mur - Mürz – Leitha, s predĺžením do seizmicky najaktívnejšej oblasti na Slovensku – okolia Dobrej Vody. Tektonická zóna má niekoľko segmentov, najaktívnejší je najjuhozápadnejší segment Mittendorf / Schwandorf. Na ňom sa v minulosti vyskytli aj ničivé zemetrasenia, ale všetky v dnešnom Rakúsku (napr. 27. 8. 1667; 4.10. 1712; 27.2. 1768; 13.7. 1841 pri Wiener Neustadt - Viedenské Nové Mesto – s makroseizmickou intenzitou 7-8° EMS-98; 8.10. 1927 – Schwandorf ($M_L = 5,2$; $I_0 = 8$); 8.11. 1937 – Ebreichsdorf ($M_L = 5,0$; $I_0 = 7$) ale aj zemetrasenie v polovici 4. storočia nášho letopočtu, ktoré poškodilo rímske mesto Carnuntum pri dnešnom rakúskom meste Hainburg s predpokladanou epicentrálnou intenzitou $I_0 = 8-9$). V segmente zlomu Lassee / Marchegg (pri Schlosshofe a Marcheggu) boli v minulosti zaznamenané podobne silné zemetrasenia ako 5.3. 2012 pri Studienke na Záhorí (9.12. 1974 Marchegg - $M_L = 3,0$; $I_0 = 5,5$; 6.2. 1977 Breitenensee - $M_L = 2,8$; $I_0 = 5,5$). (Beidinger & Decker, 2011; Decker et al., 2006). Podľa lokalizácie epicentra bolo súčasné zemetrasenie na Záhorí na rozhraní Zohorského a Dobrovodského segmentu zlomovej zóny (Obr. 2.4.4; 2.4.5).



Obr. 2.4.4: Tektonická schéma Viedenskej panvy so spomínanými zlomovými segmentmi v texte. Približná poloha epicentra zemetrasenia z 5.3. 2012 je vyznačená červeným krúžkom. Zdroj obrázka: Beidinger, A. & Decker, K. (2011)



Obr. 2.4.5: Tektonická schéma Viedenskej panvy s vyznačením historických a prístrojmi zaznamenaných zemetrasení do roku 2004. Približná poloha epicentra zemetrasenia z 5.3. 2012 je vyznačená červeným krúžkom. Zdroj obrázka: Decker et al. (2006)

Poznámka:

V niektorých internetových diskusiách sa objavili názory, či zemetrasenie nemohlo spôsobiť ničenie leteckých bômb, ktoré prebiehalo práve v dňoch, keď sa udial seizmický jav, vo Vojenskom výcvikovom priestore Záhorie, neďaleko epicentra zemetrasenia. Tento názor je absolútne neopodstatnený. Podľa údajov vojenských pyrotechnikov bolo výbuchmi pod niekoľko metrovou vrstvou piesku k dátumu zemetrasenia zničených 52 leteckých striel z celkového počtu 143, pričom denne sa likvidovalo 8 striel. Energia niekoľkých desiatok kilogramov trhaviny v jednej strele je natoľko malá, že nemôže spôsobiť seizmický pohyb hornín v hĺbke niekoľko kilometrov. Pre ilustráciu, pri spojeneckom bombardovaní nemeckých Drážďan počas II. svetovej vojny vo februári 1945, bolo zhodených na mesto v priebehu dvoch dní takmer 4000 ton leteckých bômb. V tomto prípade, ani v prípade

masívnych bombardovaní iných miest vo svete sa nikdy nepreukázala spojitosť s následnými zemetraseniami, a to ani v prípade podzemných výbuchov atómových bômb.

2.4.6 Vývoj a prognóza tektonickej a seizmickej aktivity na území Slovenska od začiatku monitorovania

Analýzou historických makroseizmických javov a prístrojovým meraním cca od začiatku 20. storočia bolo možné na Slovensku vyčleniť oblasti zvýšenej seizmickej aktivity (obr. 2.4.1). Naďalej platí, že najaktívnejšou seizmickou zónou je oblasť Malých Karpát a Záhoria (c.f. Fojtíková et al., 2010). Seizmická činnosť v širšej oblasti Malých Karpát a Záhoria sa viaže na geologicky komplikovaný kontakt Východných Álp, Západných Karpát a Českého masívu vo Viedenskej panve. Oblasť je súčasťou veľkého zlomového systému, ktorý sa ťahne z východného Rakúska cez najzápadnejšiu časť Slovenska - tzv. tektonická línia Mur - Mürz – Leitha, s predĺžením do seizmicky najaktívnejšej oblasti na Slovensku – okolia Dobrej Vody. Aj keď sa seizmická energia v tejto oblasti uvoľňuje v súčasnosti v podobe slabých zemetrasení, fakt, že ostatné silné zemetrasenie v oblasti Dobrej Vody bolo v roku 1906, naznačuje, že po vyše 100 rokoch môže v oblasti narastať tektonické napätie, ktoré sa môže prejaviť aj silným zemetrasením so škodami na infraštruktúre. To isté môžeme konštatovať aj v ohniskovej oblasti okolia Komárna: ostatné silné zemetrasenia tam boli v 18. a prvej polovici 19. storočia, odvtedy je oblasť v štádiu relatívneho útľmu. Zvýšenú seizmickú aktivitu však môže naznačovať zemetrasenie z 29.1. 2011 s epicentrom v severnom Maďarsku – $M_L = 4,7$; $I_0 = 6$, 1745 hlásení o pozorovaní zo Slovenska (Madarás et al., 2011; Cipciar a Kristeková, 2012), alebo zemetrasenie s epicentrom pri Kolárove (17. 1. 2013; $M_L = 2,9$; k 21.1. 2013 127 hlásení o pozorovaní).

V ostatných ohniskových zónach je trend uvoľňovania seizmickej energie viac – menej stabilizovaný. Stredne silné zemetrasenia (s lokálnou magnitúdou $M_L = 4 - 4,5$) sa vyskytli v poslednom dvadsaťročí mimo územia Slovenska, avšak v jeho relatívnej blízkosti (Krynica – 1992 – 1993 - Dębski et al., 1997; Zakopané 30.11. 2004 - Wiejacz, P. a Dębski, W., 2005; Zakarpatská oblasť - Berehovo 23. 11. 2006; Spital am Semmering 7. 5. 2009). Na Slovensku boli epicentrá ostatných silnejších zemetrasení v okolí Krupiny (1999), Vihorlatu (2003), prípadne Vrbového (13. 3. 2006). Zaujímavý je však trend nárastu makroseizmicky pocítených slabých zemetrasení s M_L do 2,0. Vo väčšine prípadov ide o zemetrasenia, ktoré mali plytkú hĺbku hypocentra (max. niekoľko km pod povrchom). Takéto slabé zemetrasenia sa vyskytujú v okolí Banskej Bystrice, Trenčína (Strážovské vrchy, Považský Inovec), ale najmä od roku 2008 na Zemplíne. Veľmi dobrým rozhodnutím bolo zriadenie lokálnej seizmickej siete Východné Slovensko (LSSVS, prevádzkuje FMFI a GFÚ SAV od konca roku 2007), kde je jasný trend nárastu registrovaných seizmických javov. Či tento jav súvisí s prerozdeľovaním tektonických napätí i seizmickej aktivity, alebo s novou možnosťou registrácie slabých zemetrasení v oblasti, ktorá doteraz nebola adekvátne monitorovaná, je v tejto chvíli predčasné tvrdiť. Podobne to platí aj o možnom náraste trendu uvoľňovania seizmickej energie z celkového počtu registrovaných seizmických javov na území Slovenska. Zatiaľ čo v roku 2004 bolo na Slovensku seizmometricky zaznamenaných 31 zemetrasení, v roku 2005 a 2006 to bolo vyše 50, v roku 2007 vyše 70 a v rokoch 2008 až 2010 vyše 80 (Moczo et al., 2011). Aj keď je tento trend spôsobený zvýšeným počtom a zdokonalením prístrojového vybavenia seizmických staníc, je možné, že v súčasnosti registrujeme aj celkový nárast uvoľňovanej seizmickej energie. Pozitívnym javom je, že seizmická energia sa aj v seizmických oblastiach, v ktorých sa v minulosti častejšie vyskytovali silnejšie makrootrasy, uvoľňuje v súčasnosti početnejšími slabšími otrasmami. Pri takomto trende by ani v blízkej budúcnosti nemalo na Slovensku dochádzať k silným zemetraseniam.

3 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).
- BAL, J., FÖRSTER, J. & KAUFFMAN, A., 1910 – 1913: Hain Gáspár Lőcsei krónikája. *Löcse (Levoča), Reiss József. T. könyvnyomó intézete*, 558s.
- BEIDINGER, A. & DECKER, K., 2011: 3D geometry and kinematics of the Lassee flower structure: Implications for segmentation and seismotectonics of the Vienna Basin strike-slip fault, Austria. *Tectonophysics* 499, 22–40.
- 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*.
- BEZÁK, V., FLEISCHER, P., HANZEL, V., CHOVANCOVÁ, B., KOREŇ, M., KYSELOVÁ, Z., MADARÁS, J., MAGLAY, J., OSTROŽLÍK, M., PAVLARČÍK, S., REICHWALDER, P., BOHUŠ, I., ČURLÍK, J., FERENC, Š., MICHALÍK, D., SOJÁK, M., KUCHARIČ, Ľ., OLŠAVSKÝ, M., GROSS, P., SÝKORA, M., BORECKÁ, A., DANIEL, W., DERKACZ, M., GAŽDICKA, E., IWANOW, A., PIOTROWSKA, K. & ZABIELSKI, R., 2011: Sprievodca ku geologickej mape Tatier : 1 : 50 000. Editor: Bezák, V., Bratislava; *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Štátne lesy TANAP-u; Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy*. 100 s. ISBN 978-80-89343-55-3.
- 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*.
- BIELY, A., BEZÁK, V., ELEČKO, M., KALIČIAK, M., KONEČNÝ, V., LEXA, I., MELLO, J., NEMČOK, J., POTFAJ, M., RAKÚS, M., VASS, D., VOZÁR, J. & VOZÁROVÁ, A., 1995: Geologická mapa Slovenskej republiky 1:500 000. *MŽP, GS SR, Bratislava*.
- BORRE, K., CACON, 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.
- BROUČEK, I., 1978: Intensity distribution of June 5 1443 earthquake. In: *Procházková, D. and Kárník, V. (Eds.): Atlas of isoseismical maps Central and Eastern Europe, Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, Prague*.
- BUS, Z., SZEIDOVITZ, G. & VACCARI, F., 2000: Synthetic Seismogram Based Deterministic Seismic Zoning for the Hungarian Part of the Pannonian Basin. *Pure appl. geophys. Birkhäuser Verlag, Basel, Vol. 157, pp. 205–220*.

- CIPCIAR, A., 2001: Analýza údajov o zemetraseniach v seizmickej zdrojovej zóne Dobrá Voda. *Manuskript - Rigorózna práca, FMFI UK, Bratislava, 50 s.*
- CIPCIAR, A., FOJTÍKOVÁ, L., BYSTRICKÝ, E., KRISTEKOVÁ, M., FRANEK, P., GÁLIS, M., KRISTEK, J., MOCZO, P. & PAŽÁK, P., 2009: Slovak Earthquakes Catalogue, Version 2010. *Oddelenie seizmológie GFÚ SAV Bratislava.*
- CIPCIAR, A. & KRISTEKOVÁ, M., 2011: Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2010. *Manuskript, GFÚ SAV, Bratislava, 28s.*
- CIPCIAR, A. & KRISTEKOVÁ, M., 2012: Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2011. *Manuskript, GFÚ SAV, Bratislava, 14s.*
- DĘBSKI, W., GUTERCH, B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK, H. & LABÁK, P., 1997: Earthquake sequences in the Krynica region, Western Carpathians, 1992-1993, *Acta Geophys. Pol.* 45, 255-290.
- DECKER, K., GANGL, G. & KANDLER, M., 2006: The earthquake of Carnuntum in the fourth century A.D. – archaeological results, seismologic scenario and seismotectonic implications for the Vienna Basin fault, Austria. *J. Seismol.*, 10, 479–495. DOI 10.1007/s10950-006-9032-0
- DRAKATOS, G., PETRO, I., GANAS, A., MELIS, N., KOŠŤÁK, B., KONTNY, B., CACOŇ, 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 horizontálných pohybových tendencií na východním Slovensku. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment* 12, 9–22 (in Czech with English Abstract).
- FOJTÍKOVÁ, L., VAVRYČUK, V., CIPCIAR, A. & MADARÁS, J., 2010: Focal mechanisms of micro-earthquakes in the Dobrá voda seismoactive area in the Malé Karpathy Mts. (Little Carpathians), Slovakia. *Tectonophysics*, vol. 492, no. 1-4, p. 213-229. (1.935 - IF2009).
- FRANEK, P., KYSEL, R., MOCZO, P. & KRISTEK, J., 2011. Aktualizácia mapy seizmického ohrozenia pre územie Slovenska. *Manuskript, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava.*
- FUSÁN, O., IBRMAJER, J. & PLANČÁR, J., 1979: Neotectonics blocks of the West Carpathians. In: *Babuška, V. & Plančár, J. (Eds.): Geodynamic investigation in Czechoslovakia. Final Report. Veda, Bratislava, 187-192.*
- FUSÁN, O., IBRMAJER, J., KVITKOVIČ, J. & PLANČÁR, J., 1981: Block dynamic of the West Carpathians. In: *Zátopek (Ed.): Geophys. syntheses in Czechoslovakia. Final Report. Veda (Bratislava), 153-157.*
- FUSÁN, O., PLANČÁR, J. & IBRMAJER, J. 1987: Tektonická mapa podložia terciéru vnútorných Západných Karpát. In: *Fusán, O., Biely, A., Ibrmajer, J., Plančár, J. & Rozložník, L., 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 123 s.*
- GLATZ, A.C., ZUBKO, P. & JIROUŠEK, A., 2006: Kostol sv. Juraja v Spišskej Sobote. *Agentúra SÁŠA Košice.*

- 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.
- GUTERCH, B., LEWANDOWSKA - MARCINIAK, H. & NIEWIADOMSKI, J., 2005: Earthquakes recorded in Poland along the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians. *Acta Geophysica Polonica*, vol. 53, no.1, pp. 27-45.
- GUTERCH, B., 2009: Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych (Seismicity in Poland in the light of historical records.) *Prz. Geol.*, 57: 513–520.
- HÓK, J., BIELIK, KOVÁČ, P., & ŠUJAN, M., 2000: Neotektonický charakter územia Slovenska. *Mineralia Slovaca, Bratislava*, 32, 459–470.
- HÓK, J., 2010: Čo nám hrozí z podzemia? *Geovedy pre každého, Prírodovedecká fakulta UK, Manuskript*, 6s.
- HRAŠNA, M., 1997: Seizmotektonická mapa Slovenska. *Mineralia Slovaca*, 29, 427-430.
- HRAŠNA, M., 1998: Tektonická a seizmická aktivita územia Slovenska. In: *Wagner, P. & Durmeková, T. (Eds.): Geology & Environment. Dionýz Štúr Publ., Bratislava*, 107 – 109.
- HRAŠNA, M., 2002: Monitorovanie tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska. *Geologické práce, Správy* 106, ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 103 – 114.
- HRAŠNA, M., FERIANC, D. & PETRO, Ľ., 2011: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky. Tektonická a seizmická aktivita územia. Subsystem 02. Správa za obdobie: rok 2010. *Manuskript, ŠGÚDŠ, Bratislava*, 9s.
- HUTKA, D. & UHRIN, M., 2011: Zaujímavé prírodovedné záznamy z kroník mesta Tisovec. *Reussia*, 6, 1-2, 111-122.
- JEITTELES, L.H., 1859: das Erdbeben am 15. Jänner 1858 in den Karpathen und Sudeten. *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien*, zv. 35, 511-592.
- KÁRNÍK, V., MICHAL, E. & MOLNÁR, A., 1957: Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956. *Práce Geofyzikálního ústavu ČSAV, Praha*, vol. 69 (1957), pp. 411–598.
- KÁRNÍK, V., PROCHÁZKOVÁ, D. & BROUČEK, I., 1981: Catalogue of Earthquakes for the Territory of Czechoslovakia for the Period 1957-1980. *Travaux Géophys. XXIX, No 555, Praha*, 155-186.
- 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., CACON, 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.
- KORNHUBER, G.A., 1858: Das Erdbeben vom 15. Jänner 1858. Mitgetheilt in der Versammlung des Vereins für Naturkunde zu Presburg am 12. April 1858. 23 – 54.
- KOVÁČ, M., BIELIK, M., HÓK, J., KOVÁČ, P., KRONOME, B., LABÁK, P., MOCZO, P., PLAŠIENKA, D., ŠEFARA, J. & ŠUJAN, M., 2002: Seismic activity and neotectonic evolution of the Western Carpathians. In: *Neotectonics and surface processes: the Pannonian Basin and Alpine/Carpathian System*. Eds. Cloeting, S.D.P.L., Horváth, F., Bala, G., Lankreijer, A.C. EGU Stephan Mueller Special Publication Series, 3, 167–184.
- KOZÁK, J. & PRACHAŘ, I., 2010: First macroseismic map in transalpine Europe (1810 Mór earthquake in the Pannonian Basin). *Studia Geophysica et Geodaetica, Volume 54, Number 2*, 339–341.
- KVITKOVIČ, J. & VANKO, J., 1990: Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951 – 1976. *Geografický časopis*, 42, 4.
- LABÁK, P. & BROUČEK, I., 1996: Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska od roku 1034. (Verzia 1996). *Manuskript – Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava*.
- LABÁK, P., 2000: Pravdepodobnostný výpočet charakteristík seizmického ohrozenia pre lokalitu atómových elektrární Bohunice. *Manuskript – dizertačná práca. GFÚ SAV, Bratislava*, 120 s.
- MADARÁS, J., PAŽÁK, P., KRISTEKOVÁ, M., FOJTÍKOVÁ, L., LABÁK, P. & CIPCIAR, A., 2008: Zemetrasenia na Slovensku. *Enviromagazín, MŽP SR a SAŽP, Banská Bystrica, r. 13, č. 05/2008, s. 4-7, príloha s. 5-7*. ISSN 1335-1877.
- MADARÁS, J. & FOJTÍKOVÁ, L., 2009: Seizmická aktivita na Slovensku vo vzťahu k tektonike. In: *Zborník abstraktov Spoločného geologického kongresu Slovenskej a Českej geologickej spoločnosti. ŠGÚDŠ, Bratislava*, s. 120–121.
- MADARÁS, J., PAŽÁK, P., FRANEK, P. & FOJTÍKOVÁ, L., 2011: Tektonická interpretácia zemetrasenia v severnom Maďarsku 29. januára 2011. *Mineralia Slovaca, vol. 43, n. 2, s. 157–162*.
- MAGLAY, J., HALOUZKA, R., BAŇACKÝ, V., PRISTAŠ, J. & JANOČKO, J., 1999: Neotektonická mapa Slovenska 1: 500 000. *ŠGÚDŠ, MŽP SR, Bratislava*.
- MALYTSKYI, D., 2006: Seismicity of the Carpathian region. *International Journal of Physical Sciences Vol. 1 (2)*, pp. 085–092.
- MARKO, F., FODOR, L. & KOVÁČ, M., 1991: Miocene strike-slip faulting and block rotation in Brezovské Karpaty Mts. *Mineralia Slovaca*, 23, 201–213.
- MOCZO, P. & LABÁK, P., 2000: Zemetrasenia a seizmické ohrozenie. *Geofyzikálny ústav SAV, Manuskript*, 24 s.
- MOCZO, P., LABÁK, P., CIPCIAR, A., KRISTEK, J., KRISTEKOVÁ, M., BIELIK, M., ŠAJGALÍKOVÁ, J. & REŽUCHOVÁ, D., 2002: 100 rokov seizmológie na Slovensku / 100 Years of Seismology in Slovakia. *Geofyzikálny ústav SAV a Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava*, 106. ISBN 80-85754-11-8.
- MOCZO, P., BIELIK, M., KRISTEK, J., KRISTEKOVÁ, M., GÁLIS, M., FOJTÍKOVÁ, L., CIPCIAR, A., FRANEK, P. & BYSTRICKÝ, E., 2011: Seismological and integrated geophysical research in Slovakia 2007–2010. In: *Contributions to Geophysics and Geodesy, 2011, vol. 41, special issue*, p. 83–111. ISSN 1335-2806.
- NEMČOK, M., KONEČNÝ, P. & LEXA, O., 2000: Calculations of tectonic, magmatic and residual stress in the Štiavica 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 veporic-kom kryštalíniku v štôlni PVE Ipel'. *Mineralia Slovaca* 19, 29–44.
- PAGACZEWSKI, J., 1972: Catalogue of earthquakes in Poland in 1000–1970 years. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.* 51: 3–36.
- PETRO, Ľ., KOŠŤÁK, B., POLAŠČINOVÁ, E., & SPIŠÁK, Z., 1999: Monitoring blokových pohybov 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.
- POSPÍŠIL, L., NEMČOK, J., GRANICZNY, M. & DOKTÓR, S., 1986: Príspevek metod dálkového průzkumu k identifikaci zlomů s horizontálním posunem v oblasti Západných Karpat. *Mineralia Slovaca* 18, 385–402 (in Czech with English Summary).
- 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 (in Slovak with English Summary).
- RÉTHLY, A., 1907: Az 1906 évi Magyarországi földrengések. Die Erdbeben in Ungarn im Jahre 1906. *M. Kir. Orsz. Meteorológiai és Földmágnasségi Intézet. Budapest.*
- RÉTHLY, A., 1952: A Kárpátmedencék földrengései (455-1918). *Akadémiai Kiadó, Budapest, 510 pp.*
- ROGUEOVÁ, J., 2002: Keď sa trasie zem. Historická seizmická aktivita na Slovensku. *História, Revue o dejinách spoločnosti, Historický ústav SAV, Bratislava, roč. 2, č. 1, s. 36-38.*
- SCHMIDT, J., 1858: Untersuchungen ueber das Erdbeben am 15. Jänner 1858. *Mittheilungen der K.K. Geographischen Gesellschaft. II. Jahrgang. II. Heft, Wien, 1-72.*
- 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.
- ŠEBELA, S., GOSAR, A., KOŠŤÁK, B. & STEMBERK, J., 2005: Active tectonic structures in the W oart of Slovenia – setting of micro-deformation monitoring. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 2 (137), 45–57.
- ŠEFARA, J., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D. & ŠUJAN, M., 1998: Seismogenic zones in the Eastern Alpine- Western Carpathian- Pannonian junction area. *Geologica carpathica*, 49, 4, 247-260.
- ŠTERCZ, M., 2004: SMDilat – aplikácia na vyhodnocovanie meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP).
- ŠTEPANČIKOVÁ, 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.
- TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSÍROS, T., BUS, Z., KISZELY, M., & CZIFRA T., 2011: Magyarországi földrengések évkönyve - Hungarian Earthquake Bulletin - 2010 GeoRisk - MTA GGKI, Budapest, 140 oldal, HU ISSN 1589-8326.
- VLČKO, J., 2002: Monitoring – an effective tool in safeguarding the historic structures. In: Sassa, 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.
- WIEJACZ, P. & DĘBSKI, W., 2005: Podhale, Poland, Earthquake of November 30, 2004. *Acta Geophysica* vol. 57, no. 2, pp. 346-366. DOI: 10.2478/s11600-009-0007-8.
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), 2008: Jahrbuch 2008, Seismische Beobachtungen.
- ZÁTOPEK, A., 1940: Zemětřesná pozorování na Slovensku a bývalé Podkarpatské Rusi 1923-1938. Erdbebenbeobachtungen in der Slowakei und in ehem. Karpaterussland 1923-1938. *Spec. Práce č. 2, Publikace Geofysikálního ústavu v Praze. Specialarbeit Nr. 2, Prag, Inst. f. Geophysik.* 79s.
- ZEDNÍK, J., 2012: Bulletin seismických jevů, zaregistrovaných stanicemi České regionální seismické sítě. (Od r. 1976).