

Vymedzenie seizmicky aktívnych oblastí na Slovensku na základe záznamov historických zemetrasení a súčasného monitorovania tektonickej a seizmickej aktivity

JÁN MADARÁS¹, LUCIA FOJTÍKOVÁ^{2,3}, MIROSLAV HRAŠNA⁴, LUBOMÍR PETRO⁵,
DUŠAN FERIANČ⁶ a MILOŠ BRIESTENSKÝ²

¹Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava; jan.madaras@geology.sk

²Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8,
Česká republika

³Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava

⁴Líščie nivy 8, 821 08 Bratislava

⁵Štátny geologický ústav D. Štúra, regionálne centrum, Jesenského 8, 040 01 Košice

⁶Geodetický a kartografický ústav, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava

Definition of the seismic active regions in Slovakia based on historical earthquake records and current monitoring of tectonic and seismic activity

Region of the Western Carpathians in Slovakia can be characterized as an area with a moderate seismic activity. On the basis of the study of historical earthquake records from historic documents and seismic catalogues, as well as current monitoring of tectonic and seismic activity, accompanied with regional geological and geophysical research it was possible to allocate the seismic active regions and fault zones.

Key words: seismic monitoring, recent tectonic activity, seismic active region, fault zone, Western Carpathians, Slovakia

Úvod

Územie Slovenska môžeme charakterizovať ako oblasť s miernou seizmickou aktivitou (Moczo et al., 2002). Posledné stredne silné zemetrasenia s magnitúdou nad 5,0 s epicentrom na našom území (Dobrá Voda a okolie) boli v roku 1906 (Réthly, 1907) a v roku 1930 (Zátopek, 1940). Územie Západných Karpát však stále vykazuje znaky neotektonickej a recentnej aktivity; náhle uvoľnenie akumulovaného napätia v zemskej kôre v podobe silnejšieho zemetrasenia môže prísť prakticky kedykoľvek a kdekoľvek. Záznamy historických, ale najmä súčasných makro- a mikroseizmických javov umožňujú čoraz presnejšie vzťahovať ich lokalizáciu na konkrétne seizmoaktívne oblasti, resp. širšie zlomové zóny. Okrem monitorovania seizmickej aktivity má pri štúdiu a vymedzení seizmicky aktívnych oblastí a recentných tektonických pohybov významnú úlohu aj monitorovanie pohybov povrchu systémami globálneho určenia priestorovej polohy Zeme v hĺbkovo stabilizovaných geodetických bodoch. Pohyby pozdĺž zlomov sú monitorované vo vybraných lokalitách pomocou dilatometrov typu TM-71.

Príspevok sumarizuje časť výsledkov výskumu úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, subsystému 02 Tektonická a seizmická aktivita územia.

Metodika

Nepretržitá registrácia seizmických javov je vykonávaná na stanicích Národnej siete seizmických staníc (NSSS), ktorej prevádzkovateľom je Geofyzikálny ústav SAV. Národná sieť seizmických staníc je tvorená 12 seizmickými stanicami – Bratislava-Železná studnička (ZST), Modra – Piesok (MODS), Šrobárová (SRO), Iža (SRO1), Moča (SRO2), Hurbanovo (HRB), Vyhne (VYHS), Liptovská Anna (LANS), Kečovo (KECS), Červenica (CRVS), Kolonické sedlo (KOLS) a Stebnícka Huta (STHS) (obr. 1). Všetky stanice sú registrované v International Seismological Centre (ISC) vo Veľkej Británii. Seizmické stanice kontinuálne zaznamenávajú rýchlosť seizmického pohybu pôdy a poskytujú zaznamenané údaje dátovému centru v reálnom čase (okrem HRB, ktorá je v prevádzke viac-menej z historických dôvodov). Dátové a spracovateľské centrum NSSS 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 magnitúdy a vykonaná lokalizácia (Cipciar a Kristeková, 2012).

V oblasti monitorovania seizmických javov je veľmi prínosná spolupráca so spoločnosťou Progseis a Fakultou matematiky, fyziky a informatiky UK Bratislava. Spoločnosť Progseis prevádzkuje lokálne seizmické siete v okolí atómových elektrární Mochovce a Jaslovské Bohunice. FMFI UK Bratislava prevádzkuje lokálnu seizmickú sieť na východnom Slovensku.

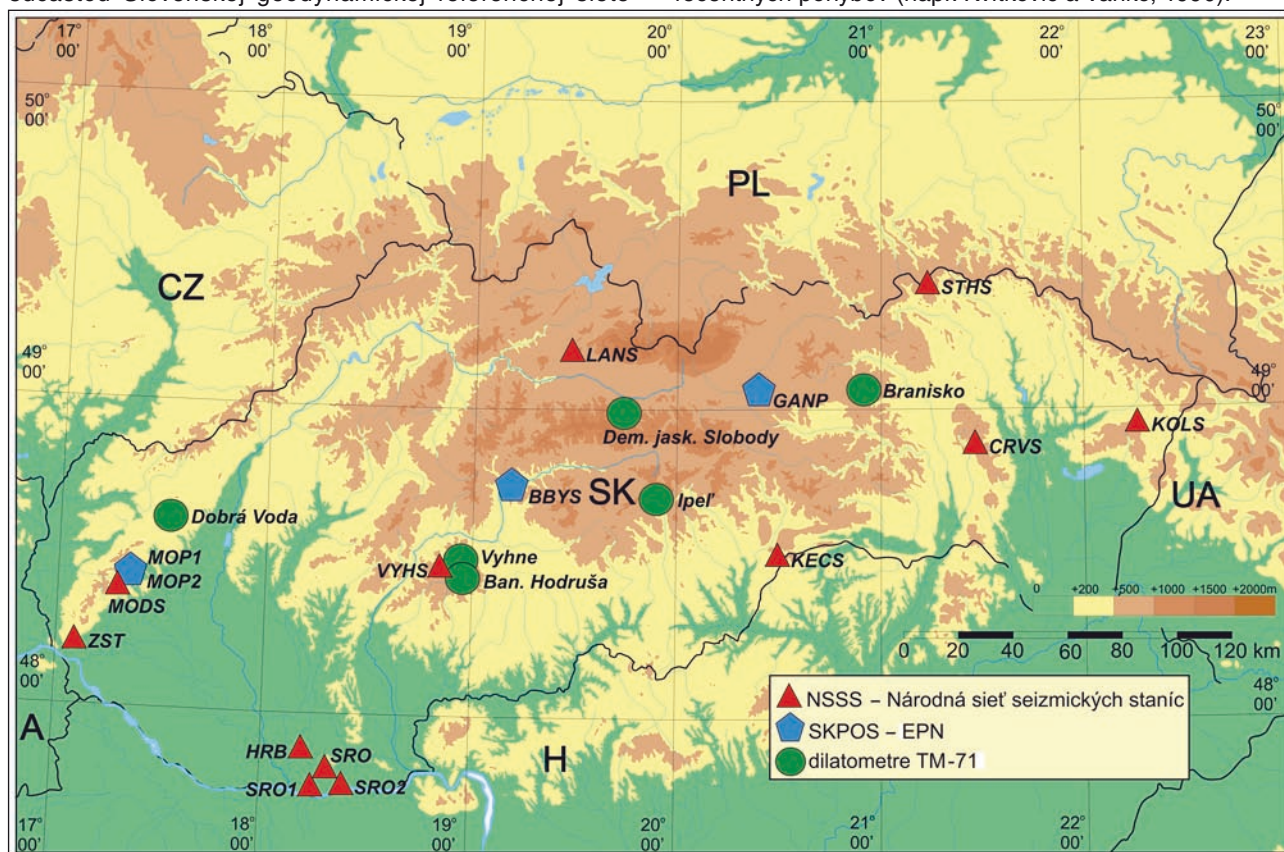
Pri monitorovaní pohybov povrchu sa na presné určenie lokalizačných parametrov bodov v referenčných súradnicových systémoch využívajú geodetické merania, a to najmä technológia na určovanie priestorovej polohy bodov pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), geometrická nivelácia a relatívne i absolútne určenie tiažového zrýchlenia.

Z pohľadu monitorovania geodynamických zmien je dôležité najmä permanentné meranie priestorovej polohy bodov pomocou GNSS na hĺbkovo stabilizovaných geodetických bodoch, ktoré vylučujú rad chýb zo stabilizácie bodu. Technológia GNSS sa využíva na geodetické meranie v geodetických bodoch, ktoré sú súčasťou Slovenskej geodynamické referenčnej siete

(SGRN). Epochové kampane meraní boli vykonávané od roku 2001 statickou metódou v dvojročnom intervale a posledné meranie bolo v cca 40 geodetických bodoch v roku 2009. Rozvojom technológie sa prešlo najmä k permanentným meraniam GNSS, čoho výsledkom bolo zriadenie siete permanentných staníc v geodetických bodoch a spracovanie meraní v podobe Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS).

SKPOS bola spustená do prevádzky koncom roka 2007. Momentálne je tvorená sieťou 26 geodetických bodov (referenčných staníc), 5 z nich je stabilizovaných až do hĺbky 10 m. Je predpoklad, že po viacročnom permanentnom meraní na staniciach by sa mali získať spoľahlivé údaje o rýchlostnej charakteristike týchto bodov.

Výškové zmeny môžeme interpretovať z opakovaných nivelačných meraní. V rokoch 1997 – 2003 bolo vykonané meranie nivelačnej siete 1. rádu, ktorý má nivelačné ťahy dlhšie ako 3 300 km a v nich je určených vyše 11 000 bodov. Od roku 2011 sú vykonávané opakované merania v sieti 2. rádu. Na dosiahnutie milimetrovej presnosti určenia výšky je potrebné viesť nivelačné ťahy po spevnených komunikáciách a to limituje profily, ktoré je možné vyhodnotiť. Opakované nivelačné merania boli v minulom storočí predmetom vyhodnotenia a zostavovania máp recentných pohybov (napr. Kvitkovič a Vanko, 1990).



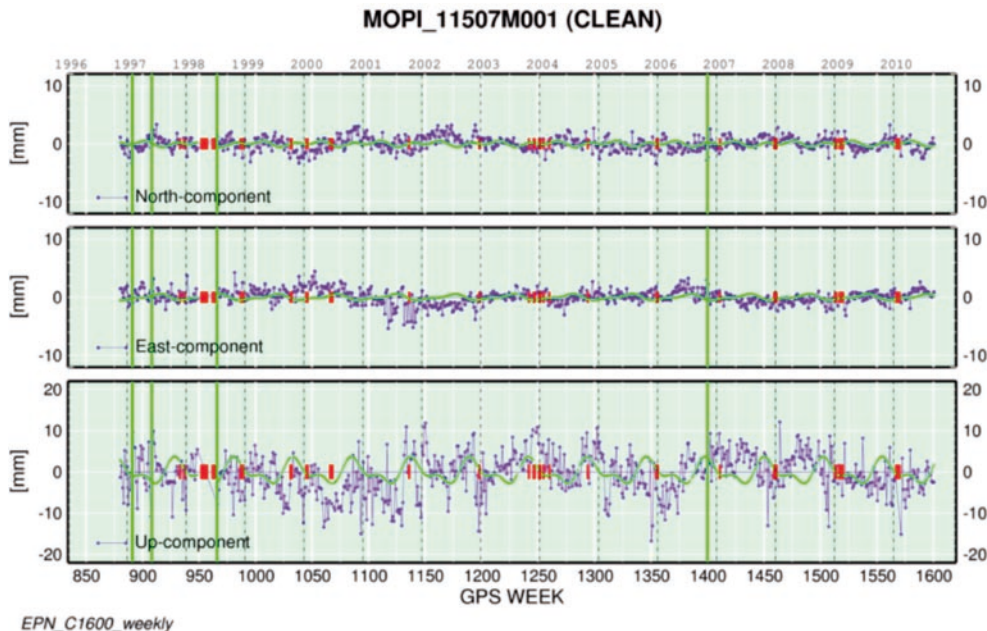
Obr. 1. Schéma rozmiestnenia lokalít na Slovensku monitorovaných v rámci geologickej úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, subsystému 02 Tektonická a seizmická aktivita územia.

Fig. 1. Scheme of monitoring sites location on the territory of Slovakia in the geological project Partial Monitoring System – Geological Factors, subsystem 02 Tectonic and Seismic Activity of the Territory: NSSS (National Network of Seismic Stations; SKPOS – EPN (Slovak Space Observing Service – Euref Permanent Network); TM-71 extensometers.

Merania aktivity vybratých neotektonických porúch na území Západných Karpát (SR) pomocou opticko-mechanických dilatometrov typu TM-71 začali v roku 2000. Prístroj využíva moiré efekt (vytvorenie rušivého efektu v podobe pruhov alebo kruhov) a je schopný zaznamenávať pomalé pohyby a rotácie v dvoch na seba kolmých rovinách (3D) s presnosťou 0,01 mm, resp. 0,01 gr. (Košťák, 1969).

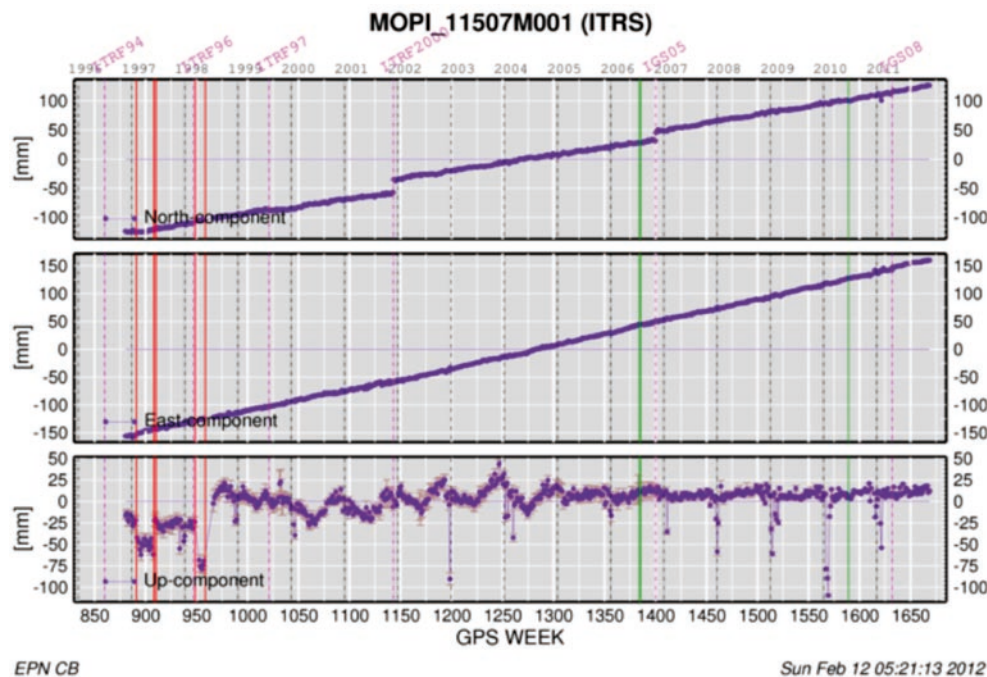
Permanentné merania na hĺbkovo stabilizovaných bodoch

Dôsledkom dlhodobého monitorovania je vyhodnotenie výsledkov meraní z troch staníc: *Modra – Piesok* (MOP1, MOP2), *Gánovce pri Poprade* (GANP) a *Banská Bystrica-Sásová* (BBYS) (obr. 1). Dosahovaný odhad presnosti



Obr. 2. Znáznornenie rýchlostného trendu (CLEAN) bodu MOP1.

Fig. 2. Illustration of the velocity trend (CLEAN) at the Modra – Piesky (MOP1) Point.



Obr. 3. Znáznornenie pohybu bodu MOP1 v ITRS.

Fig. 3. Illustration of the motion at the Modra – Piesky (MOP1) Point; International Terrestrial Reference System (ITRS).

v polohových zložkách (x , y) je na úrovni milimetrov, ale vo výškovej zložke (z) je to asi trojnásobok.

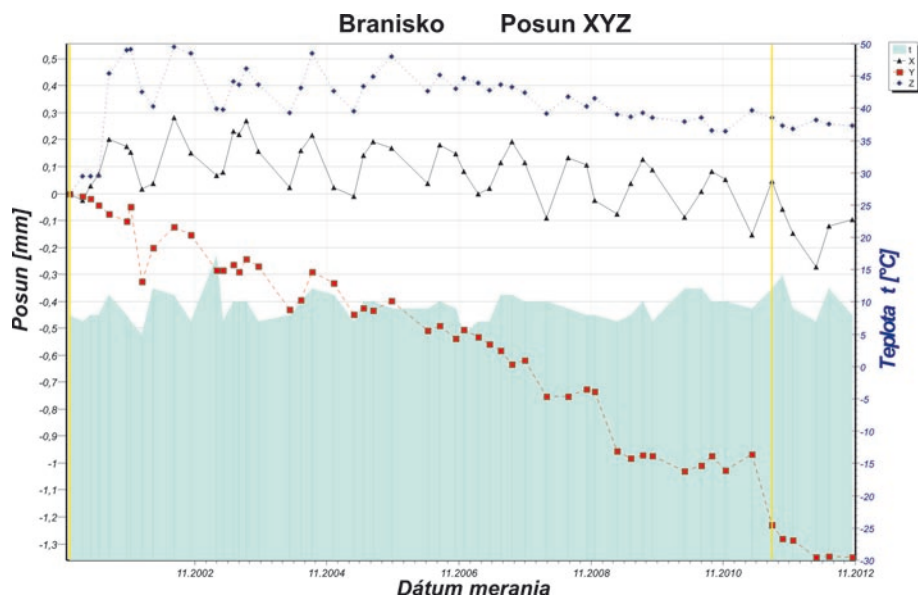
Body MOP1, MOP2, GANP a BBYS sú aj súčasťou európskej permanentnej siete (EPN – Euref Permanent Network), ktorú riadi európska komisia pre referenčné rámce (EUREF), pracujúca v Medzinárodnej asociácii geodetov (IAG). EPN dnes spracováva údaje cca 250 staníc GNSS. Za reprezentatívne výsledky monitorovania môžeme považovať najmä globálne rýchlosti (rýchlostný trend pohybu) z permanentných meraní GNSS s príjmom z družíc amerického systému NAVSTAR GPS a ruského GLONASu. Výsledky monitoringu pre jednotlivé body EPN boli spracované vzhľadom na Medzinárodný (svetový) terestrický referenčný rámec (ITRS, resp. ITRF2005), Európsky terestrický referenčný rámec (ETRF89) ako voľné (merané) údaje (RAW), upravené v súlade s rýchlostným trendom (CLEAN). Zmeny polohy bodu (stanice) sa merajú

v smere zemepisných osí sever (N) – juh (S); východ (E) – západ (W) a vo výške (U) (obr. 2, 3).

Z upravených údajov sú v EPN odhadnuté rýchlosti pohybu pre body – stanice GPS. V rámci jednotlivých riešení je odhadnutá rýchlosť k epoche, do ktorej sú zahrnuté kumulatívne údaje v smere zemepisných osí sever (N) – východ (E) a vo výške (U).

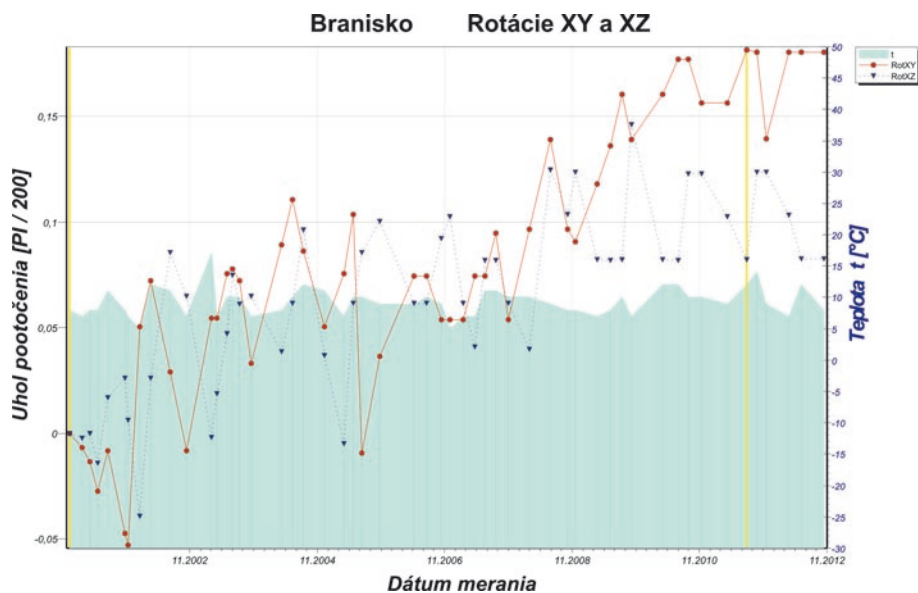
Na ilustráciu sme vybrali znázornenie rýchlostného trendu v bode MOP1, ktorý má zaznamenanú najdlhšiu epochu kontinuálnych meraní (od roku 1997, obr. 2). V prípade bodu MOP2 sú k dispozícii kontinuálne merania od polroka 2008, GANP od 2004 a BBYS od 2007. Vo všetkých bodoch je trend pohybov veľmi podobný a nedosahuje výraznejšie odchýlky od mediánu.

V rámci rýchlostného trendu (CLEAN) v meraných bodoch (staniciach) neboli zaznamenané významnejšie odchýlky v polohových zložkách a vo výškovej zložke oproti



Obr. 4a. Posun tektonických blokov pozdĺž šindliarskeho zlomu zaznamenaný dilatometrom TM-71 v lokalite Branisko (úniková štôlna diaľničného tunela) za obdobie 2000 – 2012.

Fig. 4a. Displacements of tectonic blocks along the Šindliar fault detected by the TM-71 extensometer at the Branisko site (emergency highway tunnel) during the period 2000–2012.



Obr. 4b. Rotácie tektonických blokov pozdĺž šindliarskeho zlomu zaznamenané dilatometrom TM-71 v lokalite Branisko (úniková štôlna diaľničného tunela) za obdobie 2000 – 2012.

Fig. 4b. Rotations of tectonic blocks along the Šindliar fault detected by the TM-71 extensometer at the Branisko site (emergency highway tunnel) during the period 2000–2012.

dlhoročným hodnotám. V referenčnom rámci ITRS na všetkých staniciach pretrvával permanentný pohyb bodov na severovýchod rýchlosťou cca 2 – 3 cm za rok (obr. 3). Je to však globálny pohyb veľkej časti Európy v rámci euro-ázijskej tektonickej platne oproti africkej platni a na možné regionálne pohyby jednotlivých bodov nemá vplyv.

Monitorovanie aktivity vybraných neotektonických porúch

V rokoch 2000 – 2005 bolo inštalovaných 5 opticko-mechanických dilatometrov typu TM-71 v lokalitách *Branisko* (šindliarsky zlom v únikovej štôlni diaľničného tunela, 2000), *Demänovská jaskyňa slobody* (jalovecký zlom v Čarovnej chodbe), *Ipeľ* (muránsky zlomový systém v opustenej prieskumnej štôlni Izabela), *Dobrá Voda* (trhlina na severnom okraji obce), *Vyhne* (zlomová porucha v opustenej Banskej štôlni sv. A. Paduánskeho) a *Banská Hodruša* (križovanie dvoch zlomov v starej štôlni Všechnsvätých) (obr. 1). Monitoring lokality Dobrá Voda bol zriadený a vedený spolu s pracovníkmi Ústavu štruktúry a mechaniky hornín Českej akadémie vied v Prahe. Vo väčšine uvedených lokalít boli namerané hodnoty odčítavané (vizuálne alebo fotograficky) 1- až 6-krát za rok. Výnimkou bola lokalita Dobrá Voda, v ktorej sa odčítania realizovali 7- až 19-krát za rok (tab. 1).

Výsledky niekoľkoročného monitorovania potvrdili aktívny pohyb vo všetkých vybraných zlomových poruchách. Posuny v smere osi x (otváranie alebo zatváranie trhliny) sa pohybovali v intervale 0,02 – 0,30 mm, v smere osi y (šmykový posun pozdĺž zlomových plôch) 0,00 – 1,35 mm, v smere osi z (pokles jedného z blokov rozdelených zlomom) 0,10 – 0,45 mm. Rotácie monitorovaných blokov neboli výrazné a vo vodorovnej (xy) ani vertikálnej (xz) rovine neprekročili hodnotu 0,3 gr.

Za najvýznamnejšie treba považovať výsledky meraní v lokalite Branisko a Vyhne. V prvej z nich sa jednoznačne preukazuje nepriaznivý trend narastania šmykového

posunu pozdĺž šindliarskeho zlomu (obr. 4a). Do konca roku 2012 dosiahol tento pohyb hodnotu 1,35 mm. Vzhľadom na zistený slabý pokles jedného z blokov (0,17 mm) a slabé rozšírenie trhliny (0,30 mm), ako aj pozíciu monitorovanej poruchy je priestorový pohyb interpretovaný ako mierne šikmý pravostranný pokles juhovýchodného bloku (tzv. hanging wall). Pohyb je natoľko významný, že už v apríli 2004 spôsobil porušenie betónovej výstuže hlavnej tunelovej rúry niekoľkými trhlinami po oboch stranách zlomu. Z rotácií je zaujímavý pohyb po vodorovnej rovine (xy), ktorý koncom roku 2012 dosiahol hodnotu 0,18 gr (obr. 4b).

V lokalite Vyhne bol zistený významnejší pohyb v smere osi y, ktorý dosiahol 0,67 mm (obr. 5). V kombinácii s celkovým poklesom západného tektonického bloku ide o lavostranný šikmý posun.

Výsledky z piatich monitorovaných lokalít (s výnimkou lokality Dobrá Voda) podrobne interpretovali Petro et al. (2012, under review). Interpretácie zahŕňajú smery osí maximálnej recentnej extenzie σ_3 a ich porovnanie s recentným napäťovým poľom v jednotlivých neotektonických

Tab. 1

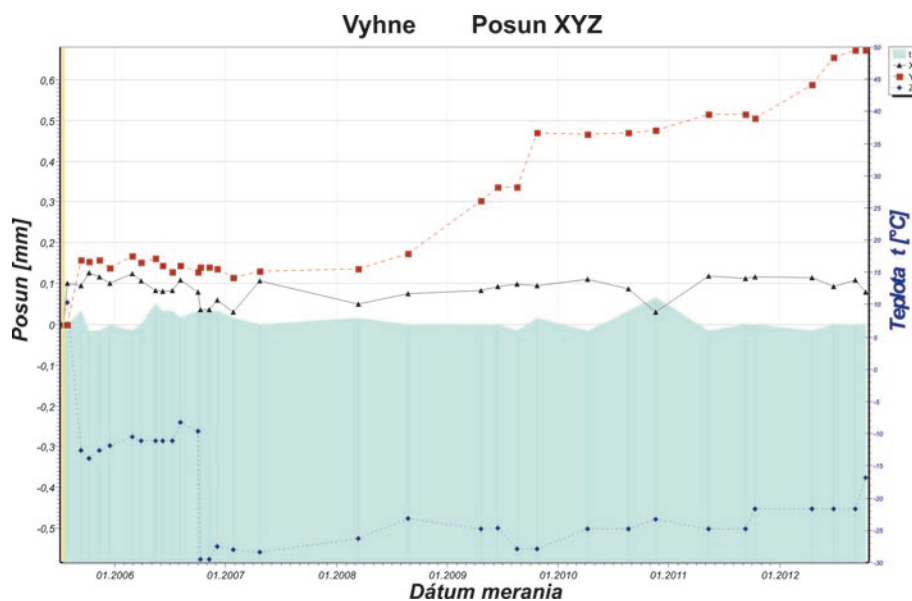
Prehľad monitorovaných lokalít zahŕňajúci celkový počet meraní do konca roku 2012 dilatometrami TM-71, počet ich prestavení a doba inštalácie

Overview of TM-71 extensometers monitoring sites including the total number of measurements by the end of 2012, the number of resetting and installation time

Lokalita	Celkový počet meraní	Celkový počet prestavení	Inštalácia
Branisko	53	1	december 2000
Demänovská jaskyňa	36	0	august 2001
Ipeľ	37	2	august 2002
Dobrá Voda	83	1	máj 2004
Vyhne	34	0	júl 2005
Banská Hodruša	29	0	júl 2005

Obr. 5. Posun tektonických blokov pozdĺž zlomu prechádzajúceho opustenou Banskou štôľňou sv. A. Paduánskeho vo Vyhniach zistený dilatometrom TM-71 za obdobie 2005 – 2012.

Fig. 5. Displacements of tectonic blocks along the fault crossing the St. Antonius de Padua abandoned mining gallery (near Vyhne village), detected by the TM-71 extensometer during the period 2005–2012.



regiónoch Západných Karpát a sú odvodené na základe analýzy neotektonických puklín, travitoniky (tektonika v travertínoch) a morfotektoniky (Hók et al., 2000, 2007; Kováč et al., 2002; Pešková and Hók, 2008; Hlavnová et al., 2008; Vojtko et al., 2008; Pešková et al., 2011), fokálneho mechanizmu zemetrasenia (Pospíšil et al., 1992), výsledkov kremenného extenzometra (Mentes, 2008) a GPS meraní (Pospíšil et al., 2007; Hefty et al., 2010).

Výsledky dlhodobého 3D monitorovania vybratých neotektonických porúch na území Západných Karpát dilatometrami typu TM-71 preukázali recentnú pohybovú aktivitu vo všetkých lokalitách. S výnimkou Dobrej Vody ide o pohyby vyvolané napätiami medzi jednotlivými neotektonickými blokmi aseizmického pôvodu. V prípade Dobrej Vody bol preukázaný priamy súvis s recentným zemetrasením (Briestenský et al., 2007).

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, pretože záznamy boli spísané dodatočne 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; Rogulová, 2002), ale aj pomerne podrobná informácia v obecnej kronike Dobrej Vody z roku 1935 o pozorovaniach zemetrasení s epicentrom v okolí Dobrej Vody v rokoch 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 a Kremnice), o zemetraseniach z 5. 6. 1643 a 9. 8. 1662 s epicentrami v regióne severného Spiša a o 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, 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 Prachar, 2010), pričom v kronike je chybné uvedenie roku 1809 (Hutka a Uhrin, 2011). Čo sa týka starších udalostí (najmä do druhej polovice 18. storočia), prvé katalógy a štúdie o jednotlivých zemetraseniach 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 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 malo epicentrum v jeho blízkom okolí. Môžeme sa len domnievať, že takáto udalosť sa vzťahuje na územie Vysokých Tatier alebo severného Spiša, čo predstavuje mieru neurčitosti epicentra aj na viac ako 50 km v okolí mesta. Spoľahlivejšou informáciou o lokalizácii sú záznamy o opakovaných zemetraseniach počas kratšieho časového obdobia (mesiac, rok) z rovnej oblasti. Po katastrofálnom zemetrasení v roku 1763 v okolí Komárna registrujeme väčší záujem obyvateľstva o zemetrasenia. Zvyšujúci sa počet záznamov 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. 1. 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 mílnika sa začala odvíjať moderná seizmológia na Slovensku. Postupné rozširovanie a modernizácia siete seizmických staníc od 20. stor. umožňovali čoraz presnejšiu lokalizáciu zemetrasení (c. f. Moczo et al., 2002; Madarás et al., 2008).

Katalógy zemetrasení

Podrobnejší prehľad starších deskriptívnych a parametrických katalógov uvádza Labák (2000), Moczo et al. (2002) a Hrašna (2002). V polovici 90. rokov 20. storočia bol v 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 vzdialenejšie silné zemetrasenia pozorované na Slovensku. Za zmienku stojí, že vo verzii katalógu z roku 1996 je za obdobie od roku 1034 zdokumentovaných 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 spoľahlivejšie 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 citovať v publikáciách 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 Gutercha et al., 2005; Gutercha, 2009; Malýtskyyho, 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 magnítudou 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).

Na účely ŠGÚDŠ – Strediska čiastkového monitorovacieho systému (ČMS) – subsystému 02 (Tektonická a seizmická aktivita územia) Hrašna zostavil katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v rámci vymedzených epicentrálnych oblastí. Tabuľky javov sú kompilované z vyššie spomenutých 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_publikacie.html).

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 novodefinovanými neotektonickými blokmi v Západných Karpatoch. Na základe geologického štúdia tektonických zón (základných alpínskych oceánskych alebo intrakontinentálnych sutúrnych zón), interpretácie refrakčných (DSS) a reflexných (CDP) seizmických profilov, gravimetrie a epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení (z katalógu Labáka a Broučka, 1996) vyčlenili Šefara et al. (l. c.) v západnej časti Slovenska nasledujúce 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 v línii Mur – Mürz – Leitha (pokračujúcej na Slovensko z východoalpskej oblasti), v Dobrovodskom a Považskom zlomovom systéme. Maximálna epicentrálna intenzita $I_{\max} = 8^{\circ} - 9^{\circ}$ 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 $I_{\max} = 7^{\circ} - 8^{\circ}$ MSK-64, predpokladaná hĺbka hypocentier je menej než 10 km.

C) **Meliatska sutúra.** Je situovaná v južnej časti Slovenska, pozdĺž V – Z orientovaného 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 seizmotektonickú 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 ťahne 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, 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 zahrnujú do troch zón:

- A) **bradlové pásmo,**
- B) **čertovická zóna,**
- C) **zóna Rába – Hurbanovo.**

Kováč et al. (2002) na základe údajov z katalógu Labáka a Broučka (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 pretrvávajúcích poklesov),
2. **centrálna oblasť:** časti 2A, 2B, 2C (podľa rýchlosti pretrvávajúcích výzdvihov, alebo viac-menej stability),
3. **východná oblasť:** časti 3A, 3B (podľa rýchlosti pretrvávajúcích poklesov).

Vonkajšie Západné Karpaty:

4. **flyšové pásmo:** časti 4A, 4B, 4C (prevládajúce výzdvihy),
5. **bradlové pásmo** (poklesy aj výzdvihy).

Všetci autori spomenutých 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, 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 nasledujúce ohniskové oblasti a seizmicky aktívne zóny:

- A) **oblasť Komárna a príslušné časti severného Maďarska pri Dunaji;**
- B) **oblasť Malých Karpát od Bratislavy po Vrbové** s podoblastami:
 - 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).

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 geografických celkov, miest a všeobecne známych historickogeografických regiónov je aj ľahšie zapamätateľné – viac ako prílišné zdôrazňovanie geologickej a tektonickej príslušnosti a terminológie.

V redefinovanej verzii preto navrhujeme nasledujúce členenie (obr. 6):

A) Oblasť Južné Slovensko s podoblastami:

- 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 z 18. – 19. storočia. Opakované zemetrasenia sa vyskytli v rokoch 1755 – 1785, 1803 – 1822, 1841 až 1857, 1862 – 1866. Najsilnejšie zemetrasenia boli v roku 1763, 1783, 1806, 1822 – s makroseizmickou intenzitou $I_0 = 7,5^\circ - 8,5^\circ$ EMS 98 a lokálnou magnitúdou $M_L = 5,1$ až 5,8. Aj v súčasnosti sú v oblasti takmer každoročne slabé makroseizmické javy. Pre oblasť je charakteristická pomerne veľká hĺbka hypocentier zemetrasení (20 – 30 km). Príčiny zemetrasení môžeme pravdepodobne hľadať v hlbokom tektonickom rozhraní smeru V – Z 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 podoblastami:

- 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). Najsilnejšími v epicentrálnej oblasti Dobrej Vody boli zemetrasenia v rokoch 1906 a 1930 s intenzitou $8,5^\circ$ a $7,5^\circ$ EMS 98, odvodenou $M_L = 5,7$, resp. 5,0. Pre podoblasť Pernek – Modra sú známe najmä zemetrasenia z druhej polovice 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 Karpátmi a v 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). Príkladom zemetrasenia pocíteného 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 rozhraniám – 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 podoblastami:

- 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 $7,5^\circ$ EMS-98 a odvodenú $M_L = 5,1$. Pocítené boli aj otrasy v rokoch 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 možný zdroj javí skôr zlom strečianskeho prielomu (5). V oblasti Trenčína (okolie Trenčianskych Teplic, Dubnice, Strážovských vrchov) 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 podoblastami:

- 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. Dôkazom, že musíme uvažovať aj o tejto ohniskovej oblasti, 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 v Tatrách. Otrasy v podhorí Tatier môžeme dávať do súvislosti s relatívne rýchlym kvartérnym výzdvihom Tatier a poklesovou tektonikou v sedimentárnych bazénach,

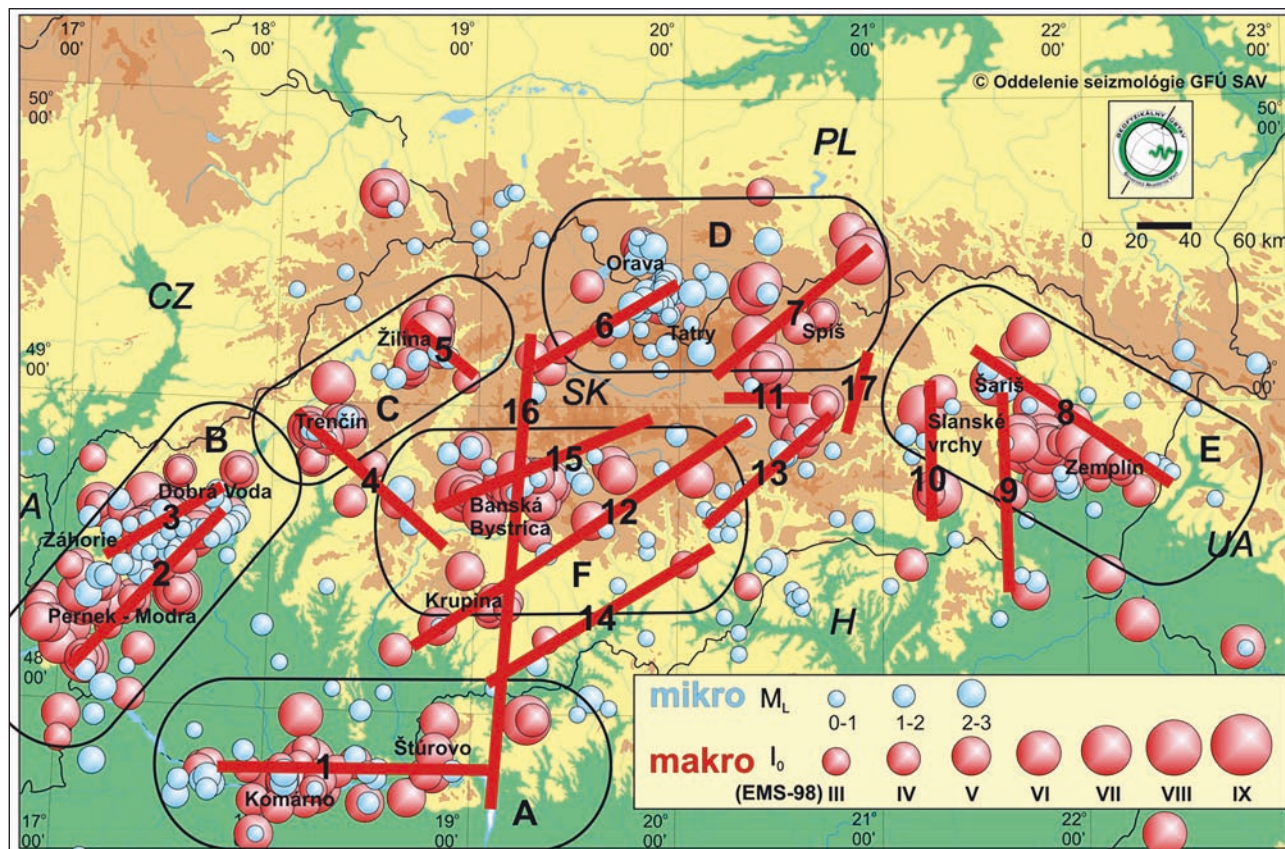
ktoré Tatry obklopujú. Relatívne veľkým množstvom mikro-, ale aj makroseizmických javov je zaujímavý chočský zlom (6). Javy na severnom Spiši by mohli mať súvis s priebehom ružbašského zlomu (7). Hĺbka hypocentier zemetrasení sa pohybuje medzi 10 – 20 km.

E) **Oblasť Východné Slovensko** s podoblastami:

- Zemplín,
- Šariš,
- Slanské vrchy.

Najvýchodnejšie situovaná zemetrasná zóna je geologickou križovatkou rôznych rozhraní: stýkajú sa

tu vonkajšie flyšové Karpaty s bradlovým pásom (8), neovulkanitmi Slanských vrchov, Vihorlatu a Popričného, východoslovenským výbežkom Panónskej panvy. S – J orientované hornádske zlomy oddelujú podľa niektorých štúdií západokarpatský a východokarpatský blok (9, 10). Hľadať príčiny pomerne častých zemetrasení v tejto oblasti je veľmi zložité, 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



Obr. 6. Redefinované seizmicky aktívne oblasti na Slovensku, pôvodne vyčlenené Madarásom a Fojtíkovou (2009). Epicentrá makro- a mikrozemetrasení od r. 1258 do r. 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).

Fig. 6. Redefined seismic active regions in Slovakia, originally allocated by Madarás and Fojtíková (2009). Epicenters of macro and micro earthquakes since 1258 to 2006 have been retrieved from the Earthquake Catalog of Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences. **A – F** – seismic active regions mentioned in the text: A) South Slovakia region – Komárno, Štúrovo subregions; B) West Slovakia region – Záhorie, Pernek – Modra, Dobrá Voda subregions; C) Central Váh river valley – Trenčín, Žilina subregions; D) North Slovakia region – Orava, Tatry, Spiš subregions; E) East Slovakia region – Zemplín, Šariš, Slanské vrchy Mts. subregions; F) Central Slovakia region – Banská Bystrica, Krupina subregions; G) Seismic active and potentially active fault zones: Rába – Hurbanovo – Diósjenő fault (1); Malé Karpaty Mts. fault (2); Dobrá Voda fault (3); Trenčianske Jastrabie fault (4); Strečno fault (5); Chočské vrchy Mts. marginal fault (6); Ružbachy fault (7); The East Slovakian Klippen Belt marginal fault, (8); Slanské vrchy Mts. marginal faults (Hornád river faults) (9, 10); Vikartovce fault (11); Muráň-Divín fault (12); Zdychava line (13); Rapovce-Lysec zone (14); Čertovica line (15); Central Slovakian fault zone (16); Šindliar fault (17).

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. Z ostatných silných zemetrasení boli 4 makroseizmicky pocítené zemetrasenia južne od Vihorlatu v roku 2010 (4. 4. – $M_L = 2,3$; 25. 7. – $M_L = 1,7$; 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 S – J 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 mikrosezimické 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. Vzhľadom na optimalizáciu lokalizácie epicentier zemetrasení zaznamenaných seizmickými stanicami, mikrosezimickú analýzu, poľnými seizmickými meraniami *in situ*, merania tektonickej aktivity v zlomoch a presné geodetické merania vyplýva do 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 Hranovicou s jasnou väzbou na muránsky zlom (12).

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. 6). Nadalej 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 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. Aj keď sa seizmická energia v tejto oblasti uvoľňuje v súčasnosti v podobe slabých zemetrasení, fakt, že posledné 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 prejavovať aj silným zemetrasením so škodami na infraštruktúre. To isté môžeme konštatovať aj v ohniskovej oblasti okolia Komárna: posledné 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 – $M_L = 4,7$, $I_0 = 6$ a 1 745 hlásení o jeho 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 a Dębski (2005); Zakarpatská oblasť – Berehovo 23. 11. 2006, Spital am Semmering 7. 5. 2009). Na Slovensku boli epicentrá posledných 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) a – 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 a 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 rokoch 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 seizmických staníc a zdokonalením ich prístrojového vybavenia, 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.

Podakovanie. Práca vznikla v rámci geologickej úlohy č. 207 Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, subsystému 02 Tektonická a seizmická aktivita. Niektoré časti vznikli s podporou Agentúry na podporu výskumu a vývoja, projektu APVV-0158-06 (NEOTACT). Autori ďakujú RNDr. Pavlovi Liščákovi, CSc., za cenné pripomienky a revíziu anglických textov a doc. Mgr. Rastislavovi Vojtkovi, PhD., za recenzné posúdenie.

References

- BAL, J., FÖRSTER, J. & KAUFFMAN, A., 1910 – 1913: Hain Gáspár Lőcsei krónikája. Lőcse (Levoča), Reiss Józ. *T. könyvnyomó intézete*, 558 s.
- BEZÁK, V. (ed.), FLEISCHER, P., HANZEL, V., CHOVANCOVÁ, B., KOREN, M., KYSELOVÁ, Z., MADARÁS, J., MAGLAY, J., OSTROŽLÍK, M., PAVLARČIK, S., REICHWALDER, P., BOHUŠ, I., ČURLÍK, J., FERENC, Š., MICHALÍK, D., SOJÁK, M., KUCHARČ, L., OLŠAVSKÝ, M., GROSS, P., SÝKORA, M., BORECKÁ, A., DANIEL, W., DERKACZ, M., GAŽDICKÁ, E., IWANGOW, A., PIOTROWSKA, K. & ZABIELSKI, R., 2011: Sprievodca ku geologickej mape Tatier 1 : 50 000. *MŽP SR, Št. Geol. Úst. D. Štúra; Štátne lesy TANAP-u; Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy*. 100 s.
- 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 SP – GS SR, Bratislava*.
- BRIESTENSKÝ, M., STEMBERK, J. & PETRO, L., 2007: Displacements registered around the 13 March 2006 Vrbové earthquake $M = 3.2$ (Western Carpathians). *Geol. Carpath.*, 58, 487 – 493.
- BRIESTENSKÝ, M., KOŠTÁK, B., STEMBERK, J., PETRO, L., 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.*, 7, 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*, 157, 205 – 220.
- CIPCIAR, A., 2001: Analýza údajov o zemetraseniach v seizmickej zdrojovej zóne Dobrá Voda. Rigorózná práca. *Manuskript. Archív 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. *GFÚ SAV, Bratislava*.
- CIPCIAR, A. & KRISTEKOVÁ, M., 2011: Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2010. *Manuskript. Archív Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava*, 28 s.
- CIPCIAR, A. & KRISTEKOVÁ, M., 2012: Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami Geofyzikálneho ústavu SAV v roku 2010. *Manuskript. Archív Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava*, 14 s.
- DEBSKI, 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.
- FOJTÍKOVÁ, L., VAVRYČUK, V., CIPCIAR, A. & MADARÁS, J., 2010: Focal mechanisms of micro-earthquakes in the Dobrá voda seismoactive area in the Malé Karpaty Mts. (Little Carpathians), Slovakia. *Tectonophysics*, 492, 1 – 4, 213 – 229.
- FRANEK, P., KYSEL, R., MOCZO, P. & KRISTEK, J., 2011: Aktualizácia mapy seizmického ohrozenia pre územie Slovenska. *Manuskript. Archív 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. & PLANČÁR, J., 1981: Block dynamic of the West Carpathians. In: Zátópek, A. (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. et al. (ed.): *Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. ŠGÚDŠ, Bratislava*, 123 s.
- GLATZ, A. C., ZUBKO, P. & JIROUŠEK, A., 2006: Kostol sv. Juraja v Spišskej Sobotě. *Agentúra SÁŠA, Košice*.
- GUTERCH, B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK, H. & NIEWIADOMSKI, J., 2005: Earthquakes recorded in Poland along the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians. *Acta geophys. pol.*, 53, 1, 27 – 45.
- GUTERCH, B., 2009: Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych (Seismicity in Poland in the light of historical records.). *Przegl. geol.*, 57, 513 – 520.
- HEFTY, J., HIPMANOVÁ, L., GERHÁTOVÁ, L., IGONDOVÁ, M. & DROŠČÁK, B., 2010: Recent geokinematics of Slovakia based on homogenized solutions of permanent and epoch GPS networks. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 7, 159, 303 – 315.
- HLAVNOVÁ, A., HÓK, J. & PEŠKOVÁ, I., 2008: The Quaternary stress orientation changes related to the origin of the Demänová cave system. In: Németh, Z. (ed.): *7th Annual Seminary of Slovak Geological Society – New knowledge about geological setting and evolution of Western Carpathians. Miner. Slov.*, 40, 3 – 4, *Geovest.*, p. 220.
- HÓK, J., BIELIK, M., KOVÁČ, P. & ŠUJAN, M., 2000: Neotektonický charakter územia Slovenska. *Miner. Slov.*, 32, 5, 459 – 470.
- HÓK, J., MARKO, F., VOJTKO, R. & KOVÁČ, M., 2007: Pukliny v granitoch pohoria Tribeč (Západné Karpaty). *Miner. Slov.*, 39, 283 – 292.
- HÓK, J., 2010: Čo nám hrozí z podzemia? Geovedy pre každého. *Manuskript. Archív PF UK, Bratislava*, 6 s.
- HRAŠNA, M., 1997: Seizmotektonická mapa Slovenska. *Miner. Slov.*, 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. *Geol. Práce, Spr.*, 106, 103 – 114.
- HRAŠNA, M., FERIANEC, D. & PETRO, L., 2011: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky. Tektonická a seizmická aktivita územia. Subsystém 02. Správa za obdobie: rok 2010. *Manuskript, Archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 9 s.
- 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. *Sitz.-Ber. K. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl. (Wien)*, 35, 511 – 592.
- KÁRNÍK, V., MICHAL, E. & MOLNÁR, A., 1957: Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956. *Práce Geofyz. Úst. Čs. Akad. Věd*, 69, 411 – 598.
- KÁRNÍK, V., PROCHÁZKOVÁ, D. & BROUČEK, I., 1981: Catalogue of Earthquakes for the Territory of Czechoslovakia for the Period 1957–1980. *Travaux Géophys., Praha, XXIX*, 555, 155 – 186.
- 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.
- KORNHUBER, G. A., 1858: Das Erdbeben vom 15. Jänner 1858. Mitgeteilt 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: Cloeting, S. D. P. L., Horváth, F., Bala, G. & Lankreijer, A. C. (eds.): *Neotectonics and surface processes: the Pannonian Basin and Alpine/Carpathian System. 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). *Stud. Geophysica et Geodaetica*, 54, 2, 339 – 341.
- KVITKOVIČ, J. & VANKO, J., 1990: Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951 – 1976. *Geogr. Čas. Slov. Akad. Vied*, 42, 4.
- LABÁK, P. & BROUČEK, I., 1996: Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska od roku 1034. (Verzia 1996). *Manuskript. Archív Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava*.
- LABÁK, P., 2000: Pravdepodobnostný výpočet charakteristík seizmického ohrozenia pre lokalitu atómových elektrární Bohunice. [Dizertačná práca.] *Manuskript. Archív Geofyzikálny ústav 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*, 13, 5, 4 – 7, príloha s. 5 – 7.
- MADARÁS, J. & FOJTÍKOVÁ, L., 2009: Seizmická aktivita na Slovensku vo vzťahu k tektonike. In: *Zbor. abstraktov Spoločného geologického kongresu Slovenskej a Českej geologickej spoločnosti. ŠGÚDŠ, Bratislava*, 120 – 121.
- MADARÁS, J., PAŽÁK, P., FRANEK, P. & FOJTÍKOVÁ, L., 2011: Tektonická interpretácia zemetrasenia v severnom Maďarsku 29. januára 2011. *Miner. Slov.*, 43, 2, 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*, 1, 2, 85 – 92.
- MARKO, F., FODOR, L. & KOVÁČ, M., 1991: Miocene strike-slip faulting and block rotation in Brezovské Karpaty Mts. *Miner. Slov.*, 23, 201 – 213.
- MENTES, G., 2008: Observation of recent tectonic movements by extensometers in the Pannonian Basin. *J. Geodynamics*, 45, 169 – 177.
- MOCZO, P. & LABÁK, P., 2000: Zemetrasenia a seizmické ohrozenie. *Manuskript. Archív Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava*, 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 s.
- 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. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 41, special issue, 83 – 111.
- PAGACZEWSKI, J., 1972: Catalogue of earthquakes in Poland in 1000–1970 years. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.*, 51, 3 – 36.
- PEŠKOVÁ, I. & HÓK, J., 2008: Quaternary dynamics of the Liptovská kotlina Basin inferred from the travertine deposits disruption and Váh River terraces asymmetry. In: Németh, Z. (ed.): *7th Annual Seminary of Slovak Geological Society – New knowledge about geological setting and evolution of Western Carpathians. Miner. Slov.*, 40, 3 – 4, Geovest, p. 220.
- PEŠKOVÁ, I., HÓK, J. & SKLENKOVÁ-HLAVNOVÁ, A., 2011: The integration of the brittle structures analysis, river terraces asymmetry and travertines: An approach to detect the Quaternary tectonics (Liptov region, Western Carpathians). *Travaux Géophysiques*, 40, 60.
- PETRO, L., BÓNA, J., KOŠTÁK, B., HÓK, J. & BELLA, P., 2012: Investigations into recent geodynamic activity of selected tectonic structures in the Western Carpathians (Slovak Republic). *Engineering Geology*, under review.
- POSPÍŠIL, L., BUDAY, T. & FUSÁN, O., 1992: Neotektonické pohyby v Západných Karpatech. *Západ. Karpaty, Sér. Geol.*, 16, 65 – 84.
- POSPÍŠIL, L., MIKŠOVÁ, J. & KOVÁČIK, M., 2007: Oblasti karpatské litosféry se zvýšeným rizikem a geodynamickou aktivitou. *Acta Montanistica Slovaca*, 12 (Spec. Issue), 105 – 114.
- 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.
- ROGULOVÁ, J., 2002: Keď sa trasie zem. Historická seizmická aktivita na Slovensku. *História, Revue o dejinách spoločnosti, Historický ústav SAV, Bratislava*, 2, 1, 36 – 38.
- SCHMIDT, J., 1858: Untersuchungen ueber das Erdbeben am 15. Jänner 1858. *Mitt. Geogr. Gesell. II. Jahrgang. II. Heft, Wien*, 1 – 72.
- ŠEFARA, J., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D. & ŠUJAN, M., 1998: Seismogenic zones in the Eastern Alpine-Western Carpathian-Pannonian junction area. *Geol. Carpath.*, 49, 4, 247 – 260.
- TÓTH, L., MÓNUŠ, P., ZSÍROS, T., BUS, Z., KISZELY, M. & CZIFRA, T., 2011: Magyarországi földrengések évkönyve – Hungarian Earthquake Bulletin – 2010 GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 140 oldal.
- VOJTKO, R., HÓK, J., KOVÁČ, M., SLIVA, L., JONIAK, P. & ŠUJAN, M., 2008: Pliocene to Quaternary stress field change in the western part of the Central Western Carpathians (Slovakia). *Geol. Quart.*, 52, 19 – 30.
- WIEJACZ, P. & DĘBSKI, W., 2005: Podhale, Poland, Earthquake of November 30, 2004. *Acta Geophysica*, 57, 2, 346 – 366.
- 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, 2, Publikace Geofyzikálního ústavu v Praze. Specialarbeit Nr. 2, Prag, Inst. f. Geophysik*. 79 s.
- ZEDNÍK, J., 2012: Bulletin seizmických jevů, zaregistrovaných stanicemi České regionální seizmické sítě. (Od r. 1976).

Rukopis doručený 21. 1. 2013

Revidovaná verzia doručená 24. 1. 2013

Rukopis akceptovaný red. radou 27. 2. 2013

Definition of the seismic active regions in Slovakia based on historical earthquake records and current monitoring of tectonic and seismic activity

Region of the Western Carpathians in Slovakia can be characterized as an area with a moderate seismic activity. Study of historic data about earthquakes, current seismic and tectonic monitoring (Fig. 1) by National Network of Seismic Stations (data from Geophysical Institute of

the Slovak Academy of Sciences), geodetic data from permanent measurements in deep stabilized points (Slovak Space Observing Service – Euref Permanent Network – Figs. 2 and 3) and recent tectonic fault activity measurements by TM-71 extensometers (Figs. 4 and 5), as

well as geological and geophysical studies, have allowed to allocate the seismic active regions and fault zones (Fig. 6):

A. South Slovakia region – *Komárno, Štúrovo subregions*. The strongest earthquakes in the region occurred in the 18th and 19th centuries. The region is characterized by relatively large depth of earthquakes hypocentre (20–30 km). The causes of earthquakes are probably in the deep tectonic interface between Carpathian and Pannonian Earth's crust blocks – E–W oriented Rába – Hurbanovo – Diósjenő suture fault zone (1), crossing with N–S oriented fault zone from Komárno to Berhida near Balaton Lake.

B. West Slovakia region – *Záhorie, Pernek – Modra, Dobrá Voda subregions*. The Malé Karpaty Mts. range represents a mountain horst structure between the Vienna and Danube basins. The area of the Dobrá Voda village is the most active seismic area in the 20th century. Historically felt earthquakes around Bratislava show the high degree of uncertainty ($\pm 20 - 50$ km); likely the strong earthquakes have been registered from the seismic very active area close to Burgenland and Lower Austria in the interface zone between the Eastern Alps and Western Carpathians – the tectonic line Mur – Mürtz – Leitha with the extension on Litava (Leitha) faults in the Slovak part of the Vienna Basin. One of the possible continuations of this system of faults of the NE–SW directions is Malé Karpaty Mts. fault (2). Seismic activity particularly around the Dobrá Voda village can be attributed to deep and low angle tectonic interfaces – flower structure in the upper crust at depths of 5–15 km of the Dobrá Voda fault (3) and its parallel rootstock. The majority of hypocentres is located in the depths of 10–20 km.

C. Central Váh river valley – *Trenčín, Žilina subregions*. According to the localization of earthquakes in the Váh river valley, parallel with the course of the Pieniny Klippen Belt, their source could be a suture zone between Internal and External zone of the Western Carpathians. The isoseist image of the earthquake in Žilina area in 1858 indicates as its possible source a Strečno fault (5). The earthquakes source around Trenčín is probably Trenčianske Jastrabie fault (4). In the vicinity of Trenčín the hypocenter depth is around 15 km.

D. North Slovakia region – *Orava, Tatry, Spiš subregions*. The frequent earthquakes in the foothills of the Tatry Mts. we can relate to the relatively rapid Quaternary uplift of the Tatry Mts. block and subsidence tectonics

in the surrounding sedimentary basins. Relatively numerous micro, and macroseismic events are an interesting phenomena along the Chočské vrchy Mts. fault (6). The phenomena in the Northern Spiš region could be linked to the Ružbachy fault (7). Depth of the earthquakes' hypocentres ranges between 10–20 km.

E. East Slovakia region – *Zemplín, Šariš, Slanské vrchy Mts. subregions*. The easternmost seismogenic area is a kind of “crossroads” of different geological interfaces: contact area between external Carpathians Flysch Belt with eastern part of the Pieniny Klippen Belt (8), Neogene volcanics range of the Slanské vrchy Mts., Vihorlat Mts., Popričný Mts., eastern part of the Pannonian Basin. The N–S oriented Slanské vrchy Mts. fault, or Hornád river faults (9, 10) separate – according some studies the Western and Eastern Carpathians blocks. To decipher the causes of relatively frequent earthquakes in this area is therefore very difficult, but thanks to the Local Seismic Network of Eastern Slovakia (since 2007) we will resolve this issue in the near future.

F. Central Slovakia region – *Banská Bystrica, Krupina subregions*. The surrounding of the town of Banská Bystrica (with first historically described strong earthquake in 1443) is located in the crossing of N–S oriented Central Slovakian fault system (16) and E–W oriented shallow tectonic interface – Čertovica line (15). Characteristic is shallow hypocenter depth of earthquakes (up to 10 km); relatively weaker earthquakes can cause more sensible effects (such as an earthquake on 2nd May 2008, East of Banská Bystrica, which was very shallow (up to 2 km) and weak (local magnitude 0.9) but nevertheless macroseismically felt. Near Krupina town there was recorded an earthquake swarm in 1999 (max. local magnitude 4.2).

G. Seismic active and potentially active faults zones. The phenomena, which are located outside the described seismic active areas but the intensity of the earthquakes has reached the level of concern (e.g. Vikartovce fault (11), Muráň – Divín fault (12), Zdychava line (13), Rapovce – Lysec zone (14), Šindliar fault (17) and others). Through the optimization of the epicentre localization recorded by seismic stations, microseismic analysis, seismic field measurements in situ, recent tectonic measurements on active faults and precise geodetic measurements in the near future we can expect more accurate identification of these recently active tectonic interfaces.