

Tektonická interpretácia zemetrasenia v severnom Maďarsku 29. januára 2011

JÁN MADARÁS¹, PETER PAŽÁK^{2,3}, PETER FRANEK² a LUCIA FOJTÍKOVÁ²

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

²Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava

³Aon Benfield Analytics, Šoltésovej 12, 811 08 Bratislava

Tectonic interpretation of the earthquake in Northern Hungary, 29. January 2011

On Saturday, 29. January 2011, at 18h 41m p.m. local time, the Northern Hungary was hit by a moderate earthquake with local magnitude $M_L = 4.7$, moment magnitude $M_w = 4.3$, epicentral intensity $I_0 = 6$ and the epicentre approximately 5 km SW of the city of Tatabánya (47.51°N; 18.38°E). It was the strongest event recorded in the country since August 1985. The earthquake can be characterized as a medium size but very shallow (about 5 km depth) event. No serious injuries were reported, but numerous buildings suffered minor damage, like cracks in plaster and walls or damaged chimneys. The earthquake was felt over a large area including the capital city of Budapest and some parts of southern and south-western Slovakia. The 29. January earthquake occurred in one of the most active seismic zones in Hungary – so-called Transdanubian Central Range. Given by the close distance to Budapest, this zone is considered to be the main source of seismic risk in Hungary.

Key words: earthquake, macroseismic intensity, seismic zone, Pannonian Basin

Úvod

V sobotu 29. 1. 2011 v podvečerných hodinách (18:41:37 hod. stredoeurópskeho času, 17:41:37 hod. svetového času) pocítili obyvatelia severného Maďarska a veľkej časti juhozápadného Slovenska seizmické otrasy. Epicentrum stredne silného zemetrasenia bolo v severnom Maďarsku – Zadunajskom stredohorí, v pohorí Vértes, medzi mestami Oroszlány (19 000 obyvateľov) a Tatabánya (okolo 70 000 obyvateľov), pri obci Vértessomló (1 350 obyvateľov), okolo 30 km juhovýchodne od slovensko-maďarských susediacich hraničných miest Komárno – Komárom (36 000, resp. 20 000 obyvateľov; obr. 1). Januárové zemetrasenie, v Maďarsku najsilnejšie od augusta 1985, spôsobilo v epicentrálnej oblasti menšie materiálne škody, zranenia neboli hlásené. Hlavný seizmický otras bol následne sprevádzaný aj sériou slabých dotrasov (tab. 1).

Základné seizmologicko-tektonické údaje

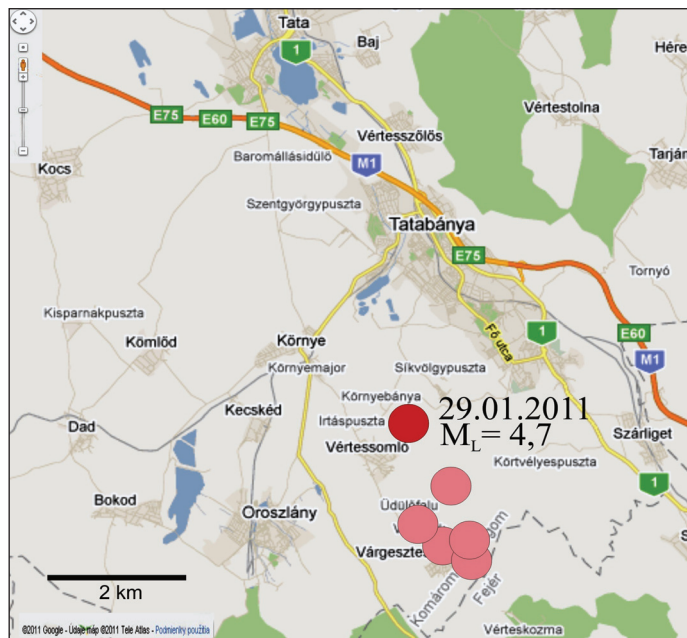
Lokalizácia epicentra bola nezávisle vykonaná Európsko-stredomorským seizmologickým centrom (EMSC) a Geologickou službou USA – Národným informačným centrom zemetrasení (USGS NEIC). Automatické lokalizovanie bolo neskôr manuálne spresnené. Presnejšou sa ukazuje práve lokalizácia EMSC (47,51°N; 18,38°E) s menšou neurčitostou ako výpočet USGS. Zemetrasenie z 29. 1. 2011 možno charakterizovať ako stredne silné, s lokálnou magnitúdou $M_L = 4,7$, momentovou magnitúdou $M_w = 4,3$ a makroseizmickou epicentrálnou

intenzitou $I_0 = 6$ EMS-98 (obr. 2). Hypocentrum plytkého zemetrasenia bolo okolo 4,6 km pod povrchom Zeme. Symetrický diagram určenia orientácie tektonického napätia (ohniskový mechanizmus, obr. 3), umožňuje interpretovať (Martínez et al., 2006) zemetrasenie dvoma spôsobmi: buď vzniklo na lavostrannom smerne – posuvnom zlome smeru V – Z, alebo na smerne – posuvnom zlome smeru S – J (obr. 4, 5).

Makroseizmické pozorovania a hlásené škody

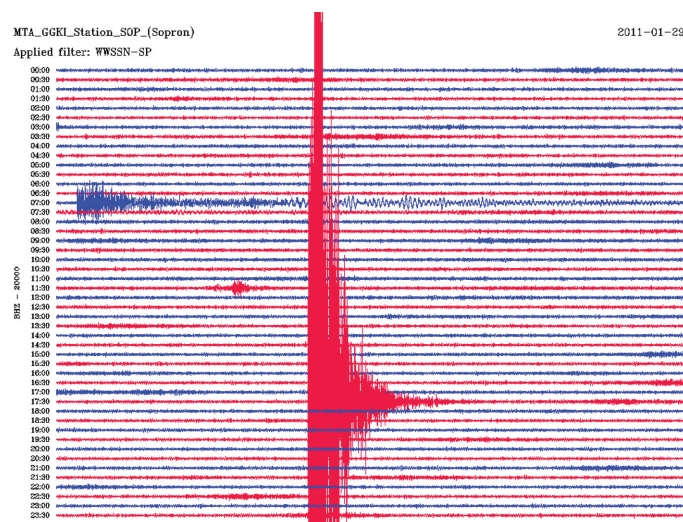
Makroseizmická intenzita podľa 12-stupňovej európskej makroseizmickej stupnice EMS-98 (Grünthal, 1998) dosiahla v okruhu 5 km od epicentra 6. stupeň (mierne ničivé) a vo vzdialenosti takmer 50 km 5. stupeň (silne pocítené). Podľa prvých údajov tesne po zemetrasení vo Vértessomló bolo ľahko poškodených 26 starších rodinných domov (trhliny na múroch, prasknuté okenné výplne) a spadli 3 komíny. V 50 km vzdialenej Budapešti zaznamenali tiež prípady malých škôd a uskutočnila sa bezpečnostná revízia mostov cez Dunaj. Ľudia zemetrasenie cítili, akoby sa kolísali v lodi na vlnách, alebo ako keby v tesnej blízkosti domu prešlo ťažké vozidlo, električka. Niektorí počuli aj dunenie. Zvukový efekt pri plytkých javoch je možný. Otrasy v epicentrálnej oblasti trvali 10 – 15 sekúnd. Zranený nebol nikto, okrem škôd na budovách vznikli aj drobné škody pri páde neupevnených predmetov z polic na zem. Sekundárne efekty zemetrasenia (napr. pohyby pôdy indukované vibračným seizmickým pohybom) neboli potvrdené. Nebolo preukázané, že prepadnutie pôdy

niekoľko dní po zemetrasení v bansky podrúbanej oblasti pri Tatabányi súviselo so zemetrasením. V Maďarsku je pomerne dostatočne zabezpečené aj poistenie nehnuteľností proti škodám pri zemetraseniach. Združenie maďarských poisťovateľov (MABISZ, 2011) k 1. 2. 2011 predpokladalo, že celkový počet poistných udalostí dosiahne zhruba číslo 3 000 a celkovo bude



Obr. 1. Lokalizácia epicentra hlavného zemetrasenia ($47,51^{\circ}\text{N}$; $18,38^{\circ}\text{E}$, červený kruh) a následných dotrasov (ružové kruhy) v severnom Maďarsku. Mapový podklad: Google maps.

Fig. 1. Location of a major earthquake epicentre ($47,51^{\circ}\text{N}$, $18,38^{\circ}\text{E}$, red circle) and aftershocks (pink circles) in the northern Hungary. Map source: Google maps.



Obr. 2. Seizmogram zemetrasenia z 29. 1. 2011 zo seizmickej stanice pri maďarskom meste Šopron. Zdroj: MTA GGKI (Seizmologické laboratórium Maďarskej akadémie vied).

Fig. 2. The earthquake seismogram from 29. January 2011, obtained from the seismic station near the Hungarian city of Sopron. Source: MTA GGKI (Seismological observatory of the Hungarian Academy of Sciences).

na poistné udalosti vyplatených asi 1,9 miliónov eur, čo pomôže minimalizovať aj dosah na postihnuté domácnosti. Podľa MABISZ (2011) sa v Maďarsku ročne priemerne zaznamená 100 – 120 zemetrasení s magnítudou menšou ako 2,5 (nepocítené). 4 – 5 zemetrasení v rozsahu $M_{2,5} - 3,0$ je slabopocítených. Zemetrasenie, ktoré spôsobí menšie škody, sa vyskytne raz za 15 – 20 rokov, silné zemetrasenie s ničivými účinkami sa v Karpatskej kotline vyskytne štatisticky raz za 40 – 50 rokov.

Chronológia zemetrasenia

Po hlavnom otrase nasledovali takmer tri mesiace trvajúce série slabých sekundárnych otrasov, tzv. dotrasov, ktoré sú bežné pri silnejších zemetraseniach a predstavujú postupnú relaxáciu tektonického napätia v zlomovej zóne. Niektoré z dotrasov boli aj pocítené, najmä tie s magnítudou okolo 2,5 – 3. Chronológiu hlavného zemetrasenia a následných slabých otrasov v epicentrálnej oblasti Oroszlány – Tatabánya približuje tab. 1.

Tab. 1

Chronológia seizmických pohybov (hlavné zemetrasenie $M_L = 4,7$ a následné dotrasy). Zdroj: MTA GGKI – Seizmologické laboratórium Maďarskej akadémie vied
The chronology of seismic movements (a major earthquake $M_L = 4.7$ and aftershocks). Source: MTA GGKI – Seismological Laboratory, Hungarian Academy of Sciences

Dátum	Miestny čas	Lokálna magnitúda
29. 01. 2011	18:41	$M_L = 4,7$
29. 01. 2011	19:05	$M_L = 2,1$
29. 01. 2011	19:18	$M_L = 2,2$
30. 01. 2011	01:19	$M_L = 2,2$
30. 01. 2011	14:34	$M_L = 2,4$
30. 01. 2011	21:59	$M_L = 3,0$
31. 01. 2011	01:25	$M_L = 2,8$
05. 02. 2011	12:08	$M_L = 1,9$
16. 02. 2011	21:29	$M_L = 2,0$
16. 02. 2011	22:48	$M_L = 2,1$
16. 02. 2011	23:25	$M_L = 2,0$
23. 02. 2011	17:50	$M_L = 1,9$
11. 03. 2011	02:45	$M_L = 2,5$
23. 04. 2011	06:36	$M_L = 2,7$

Seizmicita v Maďarsku a jeho blízkom okolí

Územie Maďarska bolo v histórii postihnuté niekoľkými veľmi silnými a deštruktívnymi zemetraseniami. 15. 10. 1834 bolo najsilnejšie zemetrasenie v regióne východne od Debrecínu, s epicentrom pri Érmellék (dnešné rumunské Galospetreu) s magnítudou $M = 6,5$ a makroseizmickou epicentrálnou intenzitou $I_0 = 9$. Najsilnejším zemetrasením, ktoré postihlo dnešnú južnoslovenskú – severomaďarskú oblasť, bolo zemetrasenie z 28. 6. 1763 s epicentrom v okolí Komárna/Komáromu. Podľa maďarských (Bus et al., 2000; Tóth et al., 2011) a európskych seizmologických zdrojov (EMSC)

dosiahlo lokálnu magnitúdu $M_L = 6,2 - 6,3$, podľa slovenských $M_L = 5,8$ a epicentrálnu intenzitu okolo $I_0 = 8,5$ až 9. Aj keď sa predpokladané veľkosti zemetrasenia mierne odlišujú, nič to nemení na skutočnosti, že zničená bola 1/3 mesta, 63 ľudí zahynulo, 102 bolo zranených. Úplne zničených bolo 7 kostolov a 279 domov a poškodených bolo 353 domov (Moczo et al., 2002). Epicentrom zemetrasenia bolo mesto Jászberény (70 km východne od Budapešti) s $M = 5,3$ a $I_0 = 7,5$ dňa 21. 6. 1868. V 20. storočí zemetrasenie postihlo okolie Kecskemétu (8. 7. 1911, $M = 5,6$; $I_0 = 7,0$), Egeru – obec Ostoros (31. 1. 1925, $M = 5,0$; $I_0 = 7,5$) a najmä obec Dunaharaszti, dnes južné predmestie Budapešti, ktorá bola silne poškodená dňa 12. 1. 1956 ($M = 5,6$; $I_0 = 7,5$), (Bus et al., 2000; Tóth et al., 2011). Zatiaľ posledným silným zemetrasením predchádzajúcim javu z konca januára 2011 a nachádzajúcim sa v rovnakej seizmickej zóne, je zemetrasenie zo západnej časti krajiny – okolia obce Berhida, okres Veszprém s $M_b = 4,8$ zo dňa 15. 8. 1985 (Zsíros et al., 1990; MTA GGKI – Seizmologické laboratórium Maďarskej akadémie vied).

Tektonická charakteristika zemetrasných zón v Maďarsku

Rozloženie epicentier zemetrasení na území Maďarska je nehomogénne (obr. 4). V rámci panónskeho bloku sú pomerne výrazné rozdiely v jeho jednotlivých častiach. Seizmicky najaktívnejšia je severná, resp. severovýchodná časť Maďarska, ktorá je súčasťou bloku ALCAPA (AL – Alpy,

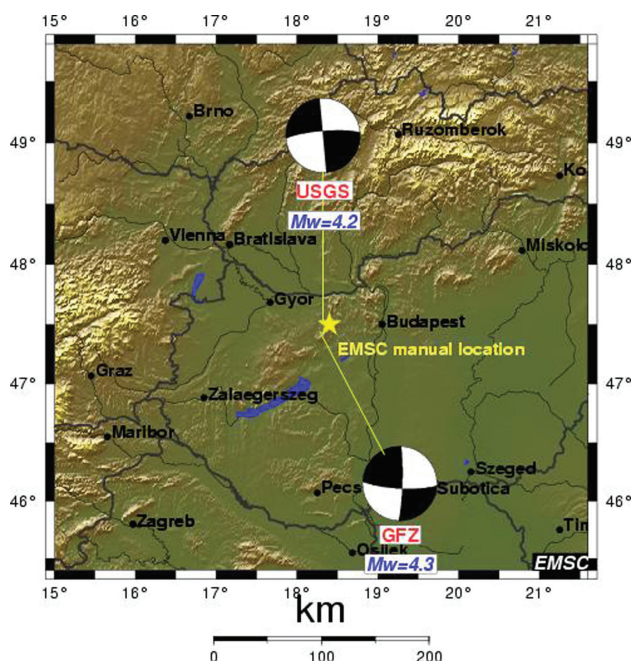
CA – Karpaty, PA – Panónia, resp. bloku Pelső – Janik et al., 2011). V Maďarskom stredohorí (Transdanubian Central Range, North Hungarian Range – Bus et al., 2000; Fodor et al., 2005) sa nachádza väčšina epicentier stredne silných a silných zemetrasení. Druhá zóna zemetrasení sa viaže na hlbokú kôrovú depresiu – ľavostranne smerne – posuvnú stredomaďarskú strižnú zónu (Mid-Hungarian sinistral shear zone – Fodor et al., 2005) smeru SV až JZ, ktorá oddeľuje blok ALCAPA od kôrového bloku Tisza (resp. Tisza – Dacia, Janik et al., 2011) na juhu krajiny. V stredomaďarskej strižnej zóne boli epicentrá silných zemetrasení pri Galospetre a Kecskeméte. Aj v juhovýchodnom bloku Tisza sa vyskytujú zemetrasenia, ale menej často ako na severe alebo v centrálnej časti. Je to pravdepodobne aj dôsledok výrazného kôrového stenšenia (hranica Moho je v severnejšom bloku v hĺbke 32 – 28 km, v južnejšom bloku 22 – 26 km; Janik et al., 2011), čo pri vyššej plasticite spodnej kôry v južnejšom bloku znižuje možnosť častejšieho výskytu zemetrasení. Recentný pohyb oboch kôrových jednotiek (ALCAPA, resp. mikrobloku Pelső a Tisza) vzhľadom na fixný Český masív je k V až VSV (Fodor et al., 2005; Janik et al., 2011) a potvrdzuje tak pretrvávajúci únik (escape) južnejšej časti západokarpatského bloku z alpskej oblasti.

Prejav zemetrasenia z 29. 1. 2011 na Slovensku a krátky prehľad historických seizmických udalostí na území Slovenska alebo v jeho blízkom okolí

K 23. 2. 2011 bolo Geofyzikálnym ústavom SAV v Bratislave spracovaných celkovo 1 892 hlásení zo 191 obcí a miest Slovenska (obr. 6). Väčšina hlásení je z juhozápadného Slovenska, ale zaznamenané boli aj pozorovania účinkov zemetrasenia z Martina, Žiliny, Terchovej na severe alebo Revúcej, Rožňavy a Trnavy pri Laborci na východe Slovenska. Najviac hlásení prišlo z Nových Zámkov (286), Komárna (237), Nitra (195), Levíc (122) a Bratislavy (117). Najmä v okolí Nových Zámkov a Komárna bolo zemetrasenie pocítené najviac: v Nových Zámkoch napr. hasiči skontrolovali verejnú inžiniersku sieť. Na slovenskom území dosiahla makroseizmická intenzita 3. – 4. stupeň EMS-98 (slabé až značne pozorované pocítenie). Dosiahnutie hodnoty 5. stupňa EMS-98 (silne pocítené) je v oblasti najbližšej k epicentru veľmi málo pravdepodobné.

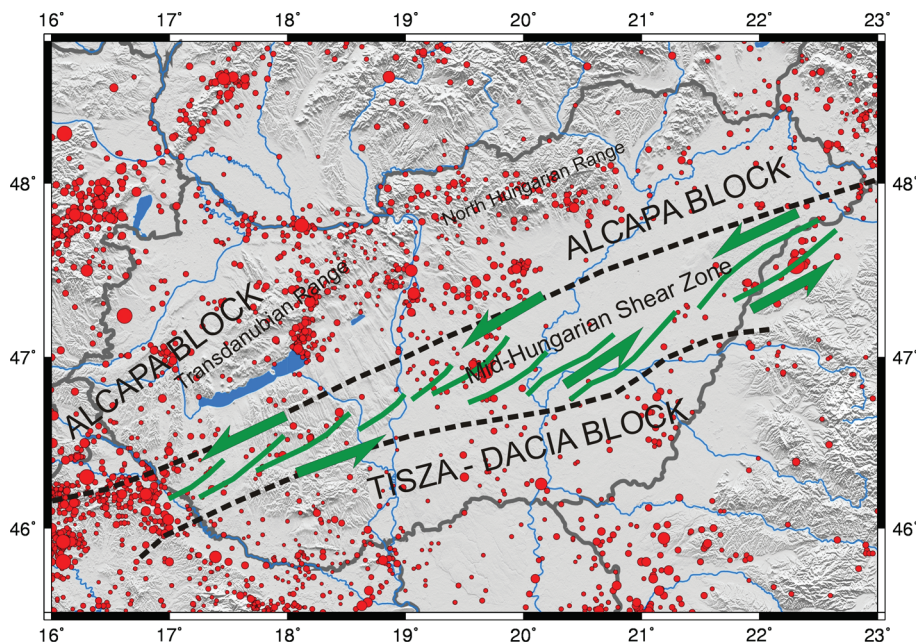
Územie Slovenska je súčasťou geologicky mladého, alpskeho systému pohorí, ktoré sa tiahnu od Álp cez Karpaty, Balkán, Turecko, Irán, Afganistan až do Himalájí. Celá oblasť je charakteristická častými, ojedinele aj ničivými až devastujúcimi zemetraseniami, ktoré majú na svedomí množstvo ľudských životov. Slovensko však leží mimo hlavnej zóny ničivých zemetrasení a možno ho charakterizovať ako oblasť so strednou úrovňou zemetrasnej aktivity (Moczo et al., 2002). Napriek tomu sa na Slovensku v minulosti vyskytlo aj niekoľko ničivých zemetrasení, z ktorých najmenej dve si vyžiadali aj obeť na životoch.

Podľa katalógu zemetrasení (Cipciar et al., 2009) a iných zdrojov (cf. Moczo a Labák, 2000; Moczo



Obr. 3. Symetrický ohniskový mechanizmus zemetrasenia z 29. 1. 2011 (GFZ a USGS, zdroj EMSC) môže byť interpretovaný (podľa Martínez et al., 2006) ako ľavostranný smerný posun na V – Z orientovanom zlome alebo ako smerný posun na S – J orientovanom zlome.

Fig. 3. Symmetrical moment tensor solutions (focal mechanism) of the 29. January 2011 earthquake on a W–E, or N–S strike-slip fault (GFZ and USGS, source: EMSC, interpretation according to Martínez et al., 2006).



Obr. 4. Zemetrasenia na území Maďarska a v jeho okolí od roku 456 do roku 2007. Symboly sú proporčné Richterovmu magnitúde. (Zdroj: MTA GGKI – Seizmologické laboratórium Maďarskej akadémie vied). Hlavné tektonické rozhrania – blok ALCAPA, Stredomaďarská strižná zóna, blok Tisza – Dacia sú modifikované autormi článku z citovaných zdrojov. Zelené čiary: aktívne zlomy v strižnej zóne, šípky: lavostranný zmysel pohybu v strižnej zóne.

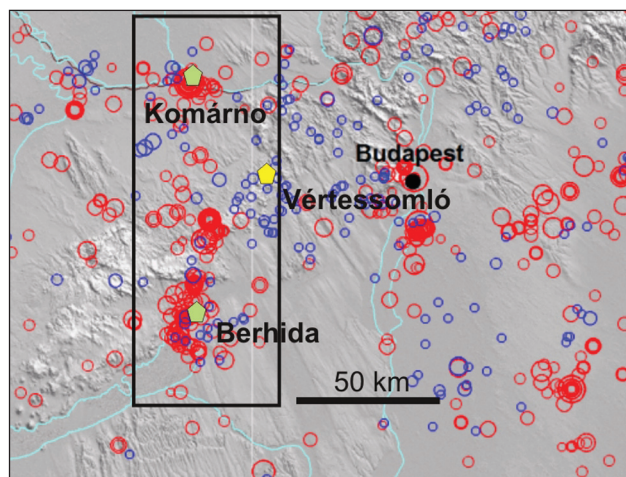
Fig. 4. Earthquakes in Hungary in the time interval from 456 to 2007. Symbols are proportional to Richter magnitude. Source: MTA GGKI (Seismological observatory of the Hungarian Academy of Sciences). Major tectonic interfaces – ALCAPA block, Mid-Hungarian shear zone, block Tisza – Dacia are modified by the authors of the article from cited sources. Green lines: active faults in the shear zone, arrows: sinistral sense of movement in the shear zone.

et al., 2002; Kováč et al., 2002; Madarás et al., 2008) najsilnejšie zemetrasenia na Slovensku boli v oblasti stredného Slovenska (5. 6. 1443 v oblasti Banskej Štiavnice a Kremnice – podľa historických prameňov si zemetrasenie vyžiadalo 30 obetí – EMSC), Komárna (vôbec najničivejšie zemetrasenie na našom území 28. 6. 1763 si vyžiadalo 63 obetí, ďalšie silné zemetrasenia boli v oblasti Komárna v rokoch 1783, 1806, 1822 a 1851). Ďalšie ničivé zemetrasenie postihlo okolie Žiliny 15. 1. 1858 (v Žiline boli poškodené takmer všetky domy a mnohé sa stali neobývatelné, straty na životoch však nie sú známe). Zatiaľ posledným silným zemetrasením bola postihnutá

obec Dobrá Voda na severe Malých Karpát 9. 1. 1906. V oblasti Dobrej Vody bolo silné zemetrasenie s magnitúdou okolo 5 aj v roku 1930. Odvtedy na území Slovenska podobne silné zemetrasenie nebolo zaznamenané, aj keď napr. zemetrasenia v roku 1964 a 1976 v oblasti Malých Karpát spôsobili malé škody, podobne aj zemetrasenie na Zemplíne, na úpätí pohoria Vihorlat dňa 20. 5. 2003 ($M_L = 3,7$; $I_0 = 6 - 7$; maďarský bulletin 2003 (Tóth et al., 2004): $M_L = 4,3$). Zemetrasenia podobnej intenzity ako jav z 29. 1. 2011 v severnom Maďarsku boli na Slovensku pocítené 7. 6. 1989 (Poniky, $M_L = 4,1$; $I_0 = 5 - 6$), 15. 11. 1989 (Ľubietová, $M_L = 4,0$; $I_0 = 5 - 6$), dňa 28. – 29. 6. 1992 ($M_L = 4,2$) a 1. 3. 1993 (epicentrum blízko severnej hranice Slovenska, v oblasti poľskej Krynice $M_L = 5,0$; $I_0 = 7$), 28. 4. 1998 pri Valaskej Belej ($M_L = 4,1$; $I_0 = 6$), 28. 10. 1999 pri Krupine ($M_L = 4,2$; $I_0 = 5 - 6$), 30. 11. 2004 (s epicentrom v regióne Zakopaného, severne od Vysokých a Západných Tatier $M_L = 4,4$; $I_0 = 7$) alebo 24. 11. 2006 zemetrasenie s epicentrom pri ukrajinskom Beregove, pocítené najmä v Košiciach ($M_L = 4,3$; Tóth et al., 2007: $M_L = 4,5$; $I_0 = 5$ až 6). Bratislavčania mohli pocítiť zemetrasenie s $M_w = 4,4$ (EMSC) s epicentrom v blízkosti lyžiarskeho strediska Spital am Semmering v Rakúsku dňa 7. 5. 2009.

Diskusia o tektonickej interpretácii zemetrasenia

Zemetrasenie z 29. 1. 2011 s epicentrom pri obci Vértessomló (47,51°N; 18,38°E) s lokálnou magnitúdou $M_L = 4,7$ a epicentrálnou intenzitou $I_0 = 6$ stupňov EMS-98 možno charakterizovať ako stredne silné zemetrasenie, ktoré sa vyskytlo v jednej zo seizmicky najaktívnejších zón v severnom Maďarsku – v Maďarskom stredohorí. Symetrický diagram určeného napätia ohniskového mechanizmu (GFZ a USGS, zdroj EMSC; obr. 3) umožňuje dve interpretácie: buď zemetrasenie



Obr. 5. Lokalizácia S – J orientovanej seizmogénnej zóny v severnom Maďarsku, s vyznačením epicentier zemetrasení spomínaných v texte. Zdroj: Horváth a Bada (2004).

Fig. 5. North–south oriented seismogenic zone in the northern Hungary, indicating earthquakes mentioned in the text. Source: Horváth and Bada (2004).

vzniklo na V – Z orientovanom ľavostrannom smerne – posuvnom zlome, čo by súviselo s tektonickými líniami smeru hurbanovského zlomu, alebo vzniklo na S – J orientovanom zlome smeru stredoslovenského zlomového pásma. My sa prikláňame skôr k druhej alternatíve. Čiastočne ju podporuje lokalizácia epicentier sekundárnych otrasov, ktoré sa skôr koncentrujú v S – J smere (obr. 1), ale aj orientácia historických a súčasných epicentier zemetrasení v predmetnej oblasti v severo-južnom smere (obr. 5; Horváth a Bada, 2004). Zemetrasenie pri Vértessomló by tak bolo súčasťou sérií zemetrasení v S – J orientovanej seizmogénnej zóne, ktorá sa ťahne od Komárna až po Balaton.

Záver

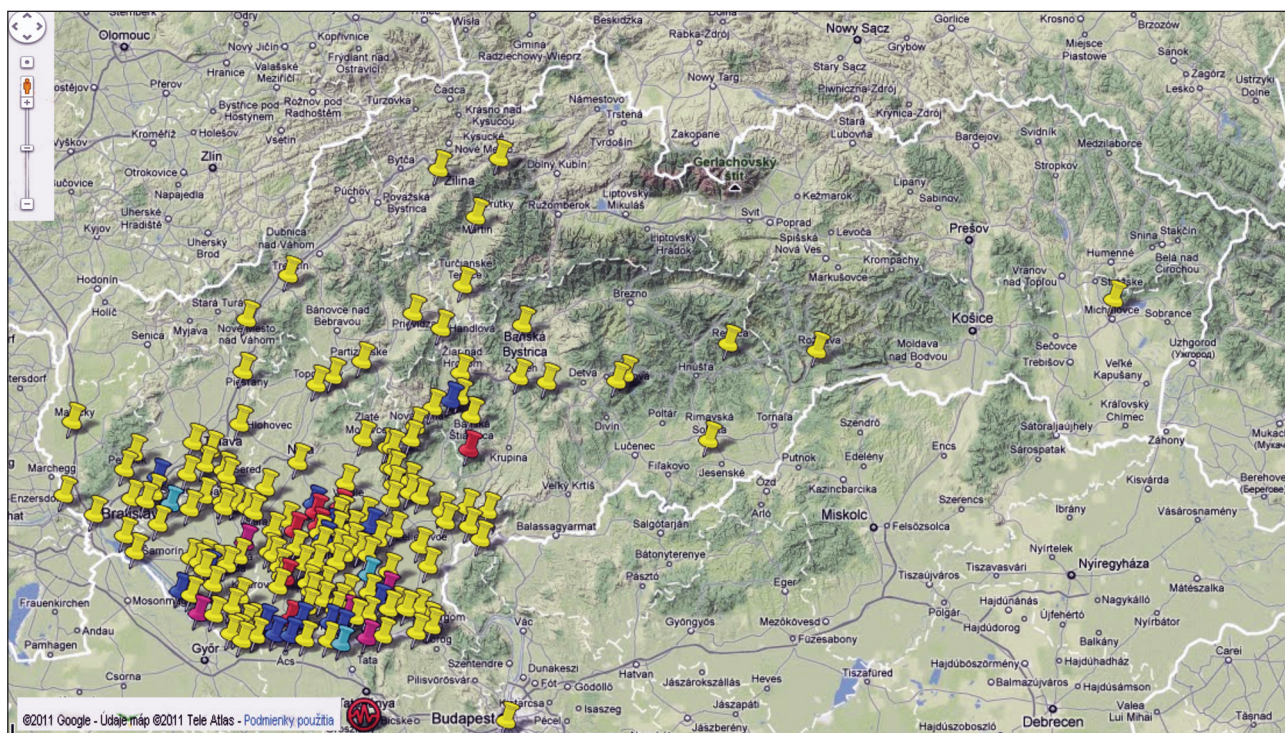
Príspevok sumarizuje základné údaje o zemetrasení v severnom Maďarsku v januári 2011, ktoré bolo v tomto regióne najsilnejšie za posledných 25 rokov a vzhľadom na blízkosť epicentra k južnej hranici Slovenska bolo intenzívne pocítené aj na našom území. Napriek tomu, že hypocentrum bolo v hĺbke menej ako 5 km, zemetrasenie nespôsobilo vážnejšie škody na majetku a ani obeť na ľudských životoch. Z hľadiska bezpečnosti občanov a minimalizácie účinkov zemetrasení na spoločnosť je

stále potrebné vyzdvihovať najmä dodržiavanie stavebných noriem prispôbených lokálnym podmienkam. Stavby, ktoré dokážu odolať aj rádo vo silnejším otrasom, ako bolo januárové zemetrasenie v Maďarsku, sú jedinou zárukou minimalizácie strát na ľudských životoch a majetku, pretože predpovedanie zemetrasení zostáva aj naďalej nevyriešeným vedeckým problémom.

Podakovanie. Príspevok vznikol s podporou Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0158-06 (úloha NEOTACT – Neotektonická aktivita územia Západných Karpát).

References

- BUS, Z., SZEIDOVITZ, G. & VACCARI, F., 2000: Synthetic Seismogram Based Deterministic Seismic Zoning for the Hungarian Part of the Pannonian Basin. *Pure appl. Geophys.*, 157, 205 – 220.
- CIPCIAR, A., FOJTÍKOVÁ, L., BYSTRICKÝ, E., KRISTEKOVÁ, M., FRANEK, P., GÁLIS, M., KRISTEK, J., MCCOZ, P. & PAŽÁK, P., 2009: Slovak Earthquakes Catalogue, Version 2009. Oddelenie seizmológie GFÚ SAV, Bratislava.
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Z., PALOTA, K., SIKHEGYI, F., TIMÁR, G., CLOETINGH, S. & HORVÁTH, F., 2005: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 410, 15 – 41.
- GRÜNTAL, G. (ed.), 1998: European Macroseismic Scale. *Conseil de L'Europe, Luxembourg*, 99 pp. ISBN No2-87977-008-4.



Obr. 6. Mapa epicentra zemetrasenia (červený kruh) a pozorovaní z územia Slovenska. Mestá a obce, odkiaľ boli hlásené makroseizmické pozorovania, sú v mape vyznačené farebnými pinmi, farba závisí od údajov vyplnených v makroseizmickom dotazníku – modrá: pocítené; žltá: I = 3; červená: I = 3 – 4; ružová I = 4 (málo pravdepodobné); tyrkysová: I = 5 (veľmi málo pravdepodobné). Stav k 23. 2. 2011, 11:52 h., 191 miest a obcí, 1 892 hlásení. Zdroj: Oddelenie seizmológie GFÚ SAV, mapový podklad: Google mapy.

Fig. 6. Map of the epicentre (red circle) and observations from the Slovak territory. List of towns and villages where the macroseismic observations were reported is marked on the map with coloured pins, colour depends on the data filled in macroseismic questionnaire – Blue: felt; yellow: I = 3; red: I = 3 – 4; pink I = 4 (low likely); turquoise: I = 5 (very unlikely). Status: 23. 2. 2011, 11:52 am, 191 towns and villages, 1 892 reports. Source: Department of Seismology Geophysical Institute, Slovak Academy of Sciences, map source: Google maps.

- HORVÁTH, F. & BADA, G. (eds.), 2004: Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: Euroconform maps with explanatory text. Project No. T034928. *Eötvös Loránd University, Faculty of Science, Institute of Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science*.
- JANIK, T., GRAD, M., GUTERCH, A., VOZÁR, J., BIELIK, M., VOZÁROVÁ, A., HEGEDŰS, E., KOVÁCS, C. A., KOVÁCS, I. & KELLER, G. R., CELEBRATION 2000 WORKING GROUP, 2011: Crustal structure of the Western Carpathians and Pannonian Basin: Seismic models from CELEBRATION 2000 data and geological implications. *J. Geodynamics*, 52, 97 – 113.
- 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 (Slovakia). *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*, 3, 167 – 184.
- MABISZ, 2011: A földrengés okozta károk meghaladhatják a fél milliárd forintot. Magyar biztosítók szövetsége. (Association of Hungarian Insurance Companies). Report from 1. 2. 2011. 1–2. www.mabisz.hu.
- 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 5 – 7. ISSN 1335-1877.
- MARTÍNEZ, J. M., BOOTH-REA, G., AZAÑÓN, J. M. & TORCAL, F., 2006: Active transfer fault zone linking a segmented extensional system (Betics, southern Spain): Insight into heterogeneous extension driven by edge delamination. *Tectonophysics*, 422, 159 – 173.
- MOCZO, P. & LABÁK, P., 2000: Zemetrasenia a seizmické ohrozenie. *Manuskript. Bratislava, Geofyzikálny ústav SAV*, 24 s. (http://www.nuquake.sk/Earthquakes/Moczo_Labak_2000.pdf).
- MOCZO, P., LABÁK, P., CIPCIAR, A., KRISTEK, J., KRISTEKOVÁ, M., BIELIK, M., ŠAJGALÍKOVÁ, J. & REZUCHOVÁ, D., 2002: 100 rokov seizmológie na Slovensku. *Bratislava, Geofyzikálny ústav SAV a Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK*.
- TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSÍROS, T., KISZELY, M. & CZIFRA, T., 2004: Magyarországi földrengések évkönyve. Hungarian Earthquake Bulletin 2003. *GeoRisk, MTA GGKI, Budapest*, 1 – 136.
- TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSÍROS, T., BUS, Z., KISZELY, M. & CZIFRA, T., 2007: Magyarországi földrengések évkönyve. Hungarian Earthquake Bulletin 2006. *GeoRisk, MTA GGKI, Budapest*, 1 – 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*, 1 – 140.
- ZSÍROS, T., MÓNUS, P. & TÓTH, L., 1990: Computer estimation of intensities: The 1985 Berhida, Hungary, earthquake. *Pure appl. Geophys.*, 132, 3, 533 – 543.

Rukopis doručený 14. 3. 2011
 Revidovaná verzia doručená 21. 6. 2011
 Rukopis akceptovaný red. radou 13. 9. 2011

Tectonic interpretation of the earthquake in Northern Hungary, 29. January 2011

On Saturday, 29. January 2011, at 18h 41m p.m. local time, Northern Hungary was hit by an earthquake with magnitude $M_w = 4.3$ and an epicentre approximately 5 km SW of the city of Tatabánya (population 70 000, Figs. 1 and 2). It was the strongest event recorded in the country since 1985. The earthquake can be characterized as a medium size but very shallow event. No serious injuries were reported, but numerous buildings suffered minor damage, like cracks in plaster and walls or damaged chimneys. The earthquake was felt over a large area including the capital city of Budapest and some parts of southern and south-western Slovakia (Fig. 6).

The January 29. earthquake occurred in the most active seismic zone in Hungary – so-called Transdanubian Central Range (Figs. 4 and 5). Located in the close distance to Budapest, this zone is considered to be the main source of seismic risk in Hungary. The strongest earthquake ever observed here was the June 28th, 1763 event with estimated magnitude $M_w = 6.2$. This event was responsible for severe damage in the

town of Komárom and it is supposed to be one of the strongest earthquakes in Hungarian history. The location of 29. January 2011 event was independently determined by the European – Mediterranean Seismological Centre (EMSC) and the U. S. Geological Survey, National Earthquake Information Center (USGS NEIC) and manually relocated afterwards. More accurate seems to be the EMSC location 47.51°N ; 18.38°E with smaller uncertainty. The determined depth of the earthquake is about 4.6 km. Symmetrical moment tensor solutions (focal mechanism) of the earthquake is on a W–E sinistral strike-slip fault, or more probably N–S oriented strike-slip fault (Figs. 3 and 5). The local magnitude of the earthquake was $M_L = 4.7$; epicentral intensity $I_0 = 6$ degrees EMS-98 (as determined from the recordings of EMSC and USGC NEIC). The several aftershocks were observed in the epicentral area (Tab. 1). The association of Hungarian Insurers (MABISZ) assumes that the overall insured loss will be about EUR 1.9 million and the total number of claims about 3 000.