

# Makroseizmické účinky zemetrasení

Peter Labák

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava

## Úvod

Až do začiatku seizmometrických meraní, t.j. takmer do konca 19. storočia, boli účinky zemetrasení na ľudí, predmety, budovy a prírodu na danej lokalite, t.j. **makroseizmické účinky**, jedinými údajmi o zemetraseniach. Makroseizmické účinky je možné pozorovať vtedy, ak je lokálne magnitúdo zemetrasenia  $M_l > 2.5$  a sú kvantifikované pomocou **makroseizmickej intenzity (I)**. Makroseizmická intenzita je určovaná v stupňoch **makroseizmickej stupnice**. Každý stupeň makroseizmickej stupnice je charakterizovaný **súborom príznakov**. Makroseizmická intenzita má teda charakter klasifikácie pozorovaných účinkov a škôd. Hodnoty makroseizmickej intenzity sú vyjadrené pomocou celých čísel<sup>1</sup>.

## Makroseizmické stupnice

Jednoduchú kvantifikáciu škôd po zemetrasení vykonal ako jeden z prvých Schiantarelli v roku 1783 [1]. Je však pravdepodobné, že existujú aj skoršie pokusy kvantifikácie škôd po zemetrasení. Prvý raz použil makroseizmickú intenzitu Egen [2] v roku 1828. Davison [3, 4, 5] zdokumentoval počiatky použitia makroseizmických stupníc. Prvou medzinárodne rozšírenou stupnicou bola 10-stupňová **Rossi-Forelova stupnica** z roku 1883. **Siebergova stupnica** [6, 7] je základom všetkých moderných 12-stupňových stupníc. Neskoršia verzia tejto stupnice sa stala známou ako **Mercalli-Cancani-Siebergova stupnica** (MCS) [8]. Wood a Neuman [9] preložili stupnicu MCS do angličtiny a Richter ju prepracoval a doplnil [10]. Tak v r. 1956 vznikla **Modifikovaná Mercalliho stupnica** (MM56). Kvantitatívne aspekty určovania makroseizmickej intenzity boli významným spôsobom rozvinuté v **Medvedevovej-Sponheuerovej-Kárnikovej stupnici** (MSK-64) [11].

V súčasnosti sú vo svete používané najmä 12-stupňové stupnice - MCS napr. v Taliansku, MM56 a jej modifikácie napr. v USA, Austrálii, Novom Zélande alebo v Grécku. MSK-64 bola do r. 1998 používaná najmä v európskych štátoch (vrátane Českej republiky a Slovenska). Od roku 1998 je v Európe používaná **Európska makroseizmická stupnica** (EMS-98) [12]. V Japonsku je používaná 7 stupňová **Japonská intenzitná stupnica** (JMA). V bývalom Sovietskom zväze bola používaná 12-stupňová stupnica [13].

Jednotlivé 12-stupňové stupnice sa od seba líšia najmä podrobnosťou klasifikácie zraniteľnosti a poškodenia budov, v popise účinkov na ľudí a predmety a v samotnej štruktúre stupníc.

Najnovšia stupnica, EMS-98, bola navrhnutá tak, aby znížila mieru subjektivity v určovaní stupňa intenzity. Stupnica EMS-98 zahŕňa jednak **klasifikáciu budov** podľa zraniteľnosti, **škôd** a **kvantít**, jednak **definície intenzitných stupňov**.

Budovy sú zaradené do šiestich tried zraniteľnosti A až F, pričom v triede A sú najzraniteľnejšie a v triede F najodolnejšie budovy s vysokou úrovňou antiseizmického

---

<sup>1</sup> V médiách sa často nesprávne vyskytuje pojem Richterova stupnica. Spravidla tým majú novinári na mysli niektoré z magnitúd (lokálne, z objemových vln, z povrchových vln, momentové a pod.), ktoré slúžia na odhad veľkosti zemetrasenia ako prírodného javu. Občas však dochádza aj k zámene s makroseizmickou intenzitou, ktorá je však mierou účinkov zemetrasenia na príslušnej lokalite bez ohľadu na veľkosť zemetrasenia ako prírodného javu, alebo s epicentrálnou intenzitou, ktorá je mierou účinkov zemetrasenia v epicentre.

dizajnu. Väčšina budov v historických jadrách miest v Českej republike a na Slovensku patrí do triedy zraniteľnosti A alebo B, moderné budovy spravidla do triedy zraniteľnosti C alebo D. Zaradenie budovy do príslušnej triedy zraniteľnosti závisí od kvality vyhotovenia budovy, jej údržby, geometrickej pravidelnosti, duktility, polohy, spevnenia, úrovne antiseizmického dizajnu a dôležitosti. Škody, popísané osobitne pre murované a železobetónové budovy, sú rozdelené do piatich stupňov. Prvý stupeň zodpovedá najmenším škodám, piaty stupeň zodpovedá úplnému zničeniu budovy.

Účinky uvedené v popise pre jednotlivé intenzitné stupne majú charakter prahových účinkov, z čoho vyplýva, že každý intenzitný stupeň môže obsahovať účinky nižších intenzitných stupňov. Tzv. krátka forma stupnice EMS-98 je v tab. 1. Krátka forma ilustruje typické účinky pre jednotlivé intenzitné stupne. Nie je však vhodná pre určovanie makroseizmickkej intenzity.

Intenzita	Definícia	Skrátený popis typických účinkov
1	nepocítené	Nepocítené.
2	zriedkavo pocítené	Pocítené len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vnútri cítia niekoľkí (0-20%). Ľudia nanajvýš cítia hojkanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vo vnútri cítia mnohí (10-60%), vonku len výnimočne. Niekoľkí sú prebudení. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vo vnútri cítia väčšina (50-100%), vonku niekoľkí. Mnohí spia sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Visiace objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí sú vystrašení a vybiehajú von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštrukturálne škody ako napr. vlásočnicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z polic vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadá omietka, padnú časti komínov; v stenách starších budov sú veľké trhliny a pričky sú zrútené.
8	ťažko ničivé	Mnohí majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody: ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štrukturálne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrúti.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

Tab. 1. Krátka forma stupnice EMS-98.

## Určovanie makroseizmickkej intenzity

Určenie makroseizmickkej intenzity po zemetrasení pozostáva zo **zberu a vyhodnotenia údajov**. Makroseizmické dotazníky sú používané vtedy, ak sa predpokladá, že účinky zemetrasenia neboli na žiadnej lokalite väčšie ako 6 až 7<sup>0</sup> EMS-98. V prípade väčších účinkov sa vykonáva prieskum na mieste. V Českej republike analyzuje makroseizmické účinky zemetrasení Geofyzikální ústav AV ČR v Prahe, na Slovensku je to Geofyzikálny ústav SAV v Bratislave. Makroseizmické dotazníky boli dlhú dobu distribuované najmä poštou. V niektorých krajinách boli zverejňované po zemetrasení ako platený inzerát v novinách.

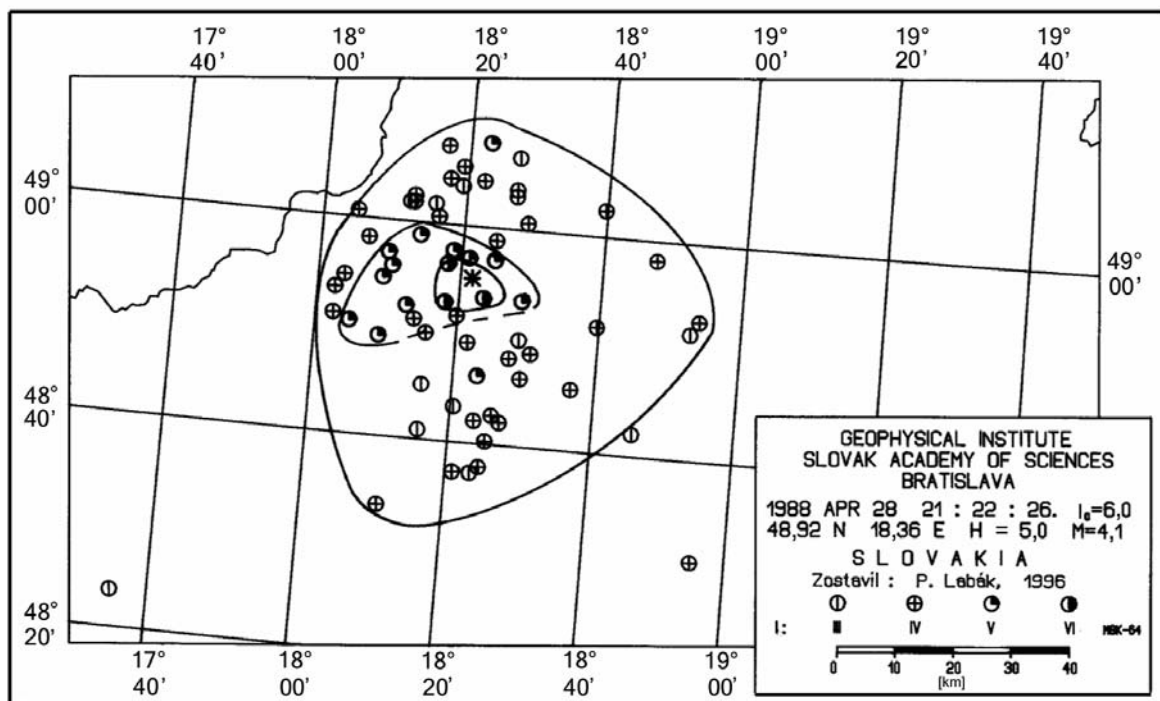
V súčasnosti narastá distribuovanie dotazníkov v elektronickej podobe. Makroseizmické dotazníky je možné nájsť na internetových stránkach [www.ig.cas.cz](http://www.ig.cas.cz) a [www.seismology.sk](http://www.seismology.sk).

V závislosti od cieľovej skupiny respondentov, existujú štyri základné typy dotazníkov– 1. dotazník pre nešpecifikovanú skupinu ľudí, t.j. pre skupinu ľudí, ktorá aktívne reaguje na výzvu popísať účinky zemetrasenia, 2. dotazník pre skupinu náhodne vybraných ľudí (podobne ako v prieskumoch verejnej mienky existujú metódy výberu takejto skupiny aj v seizmológii), 3. dotazník pre úradníkov v miestnej alebo regionálnej samospráve a štátnej správe, 4. dotazník pre dobrovoľníkov (ak si príslušná inštitúcia takúto sieť dobrovoľníkov udržiava). V závislosti od formy dotazníka existujú jednak dotazníky vo voľnej forme, jednak dotazníky s preddefinovanými odpoveďami, z ktorých je možné vybrať si tie odpovede, ktoré najlepšie zodpovedajú pozorovaniam.

V Českej republike a na Slovensku sú používané dotazníky prvého typu s preddefinovanými odpoveďami. Takéto dotazníky zabezpečujú jednak pomerne širokú odozvu, jednak umožňujú semiautomatické vyhodnotenie dotazníkov a určenie makroseizmickéj intenzity pre jednotlivé lokality [14]. Na semiautomatické určovanie makroseizmickéj intenzity sa využíva grafická forma EMS-98 [15].

### Makroseizmické charakteristiky zemetrasení

Každá lokalita s určenou intenzitou je na mape zobrazená ako jeden *intenzitný bod*. Hodnoty makroseizmickéj intenzity pre analyzovanú oblasť sú pre každé zemetrasenie prezentované vo forme *máp izoseist* (ukážka je na obr. 1). *Izoseisty* sú čiary oddeľujúce oblasti s rôznou intenzitou. Jedným z najznámejších atlasov máp izoseist v Európe je Atlas máp izoseist pre strednú a východnú Európu [16].



Obr. 1. Mapa izoseist zemetrasenia 28.4.1988 na strednom Slovensku. Pre jednotlivé hodnoty intenzity sú použité rôzne symboly. Čiary predstavujú izoseisty. Hviezdička označuje polohu epicentra zemetrasenia. V tabuľke je dátum a čas vzniku zemetrasenia, súradnice makroseizmického epicentra, makroseizmická hĺbka ohniska, makroseizmická magnitúdo a epicentrálna intenzita.

Z rozloženia intenzitných bodov alebo izoseist sa určujú makroseizmické parametre zemetrasenia – *makroseizmické epicentrum zemetrasenia, epicentrálna intenzita  $I_0$ , makroseizmické magnitúdo, makroseizmická hĺbka ohniska zemetrasenia – a empirické útlmové vzťahy pre makroseizmickú intenzitu*. Prehľad metód určenia jednotlivých parametrov zemetrasenia z makroseizmických údajov je napr. v [17].

## Záver

S rozvojom prístrojových pozorovaní došlo v polovici 20. storočia k určitému poklesu záujmu o makroseizmický výskum zemetrasení. K obratu dochádza v polovici 70-tych rokov a v súčasnosti je kľúčovým pre analýzu historických zemetrasení a neodmysliteľným pri určovaní seizmického ohrozenia.

## Literatúra

- [1] M. Sarconi: *Istoria dei fenomeni del tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783*, Luce dalla Reale Accademia della Scienze, e delle Belle Lettere di Napoli, Naples 1784.
- [2] P.N.C. Egen: Über das Erdbeben in den Rhein- und Niederlanden von 23 Feb. 1828, *Ann. Phys. Chem.*, **13**, 153-163 (1828).
- [3] C. Davison: *Philosophical Magazine*, 5th Series, **50**, 44-53 (1900).
- [4] C. Davison: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **11**, 2, 95-129 (1921).
- [5] C. Davison: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **23**, 158-166 (1933).
- [6] A. Sieberg: *Gerl. Beitr. Geophys.*, **11**, 227-239 (1912).
- [7] A. Sieberg: *Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde*. Verlag von Gustav Fischer, Jena 1923.
- [8] A. Sieberg: *Geologie der Erdbeben. Handbuch der Geophysik*. Gebr. Bornträger, Berlin 1932, Vol 2 pt 4, 550-555.
- [9] H. O Wood, F. Neumann: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **21**, 277-283 (1931).
- [10] C.F. Richter: *Elementary Seismology*. Freeman, San Francisco, Calif. 1958.
- [11] W.Sponheuer, V. Kárník: *Neue seismische Skala*, Proc. 7th Symposium of the ESC, Jena, 24-30 Sept. 1962, Veröff. Inst. f. Bodendyn. u. Erdbebenforsch. d. Deutschen Akad. d. Wiss., No 77, Jena 1964, ss. 69-76.
- [12] G. Grünthal (Editor): *European Macroseismic Scale 1998*. Conseil de L' Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15, Luxembourg 1998.
- [13] *Seismicheskaya shkala i metody izmereniya seismicheskoy intensivnosti*, Izdatelstvo Nauka, Moskva 1975.
- [14] P. Labák, M. Kováčová: *Semiautomatic intensity estimation for the macroseismic data acquired using the new Slovak macroseismic questionnaire*. Abstracts of the 28th General Assembly of the European Seismological Commission, Genoa 2002, s. 280.
- [15] P. Labák, Ch., Hammerl: 2000. *Graphic form of the EMS-98 scale – examples of application to historical earthquakes*. Proceedings of the 1st workshop of the ESC working group Historical Seismology Sep. 1-5, 1999, Macerata 2000, ss. 40-43.
- [16] D. Procházková, V. Kárník, (Editors): *Atlas of isoseismal maps, Central and Eastern Europe*. Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, Prague 1978.
- [17] R. Musson: *Intensity and intensity scales. New manual of seismological observatory practice*. Global Seismological Services, Golden, Colorado 2002.