

Jozef VISKUP¹, Ján VLČKO², Roman KOŇUCH³

SEIZMICKÉ MIKORAJÓNOVANIE HISTORICKÉHO JADRA BANSKEJ ŠTIAVNICE

SEISMIC MICROZONING OF THE HISTORIC CENTRE OF BANSKÁ ŠTIAVNICA TOWN

Abstrakt

Autor popisuje možné seizmické riziko budov v historickém centru Banské Štiavnice, přičemž jsou aplikovány dva přístupy: první vychází z EMS-98 a druhá z výpočtu maximálních hodnot zrychlení. Druhý výpočet vychází z inženýrsko-geologické mapy v měřítku 1 : 1000.

Abstract

The authors describe potential seismic risk of buildings of historic centre of Banská Štiavnica town for those two approaches were applied: the first one, based upon EMS-98 standards and the second one, based upon the calculation of maximal expected seismic acceleration. The latter one was based on the map of engineering geological zoning prepared at a scale 1 : 1000.

Úvod

Súčast'ou histórie Banskej Štiavnice, ktorej sláva je nerozlučne spätá s baníctvom, sú i historické zemetrasenia. K najznámejším patrí silné zemetrasenie o intenzite 8°-9° MCS z 5. 6. 1443, ktoré podľa najnovšieho prehodnotenia historických údajov (Labák a Brouček 1996, in Hrašna, 2002) malo epicentrum v blízkosti Banskej Štiavnice. Spôsobilo vážne škody v Prievidzi, Kremnici, Bojniciach, Slovenskej Ľupči, Ľubietovej a údajne zničilo starú Banskú Štiavnicu. Ďalšie zemetrasenie, ktoré postihlo Banskú Štiavnicu sa odohralo v roku 1444 a bolo také silné, že veľa murovaných domov sa rozpadlo. Ďalšie významné zemetrasenie, ktoré sa odohralo priamo v Banskej Štiavnici bolo v roku 1639. Územie Banskej Štiavnice je po malokarpatskej oblasti ďalšou seizmicky aktívnou oblasťou na Slovensku (Hrašna, 2002) a podľa seizmotektonickej mapy Slovenskej republiky (STN 73 0036) patrí do oblasti s maximálnou pozorovanou intenzitou 8°MSK-64 a je súčasťou zdrojovej oblasti seizmického rizika 3. Priraduje sa

¹ RNDr. Jozef Viskup, CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, e-mail: viskup@fns.uniba.sk

² Doc. RNDr. Ján Vlčko, CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, vlcko@fns.uniba.sk

³ Mgr. Roman Koňuch, Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, konuch@fns.uniba.sk

jej základné seizmické zrýchlenie $a_r = 0.6 \text{ m.s}^{-2}$. Podobne Schenk et al. (2001) a Schenk a Mantlík (1985) uvádzajú pre Banskú Štiavnicu makroseizmickú intenzitu 7°MSK-64.

Autori pri hodnotení seizmického rizika pre objekty historického centra Banskej Štiavnice zvolili dva prístupy. Prvý aplikáciou Európskej makroseizmickej stupnice EMS-98 a druhý aplikáciou hodnôt maximálnych očakávaných seizmických zrýchlení, stanovených výpočtom, podľa slovenskej normy STN 73 0036.

Hodnotenie seizmickej odolnosti objektov historického jadra Banskej Štiavnice podľa EMS-98

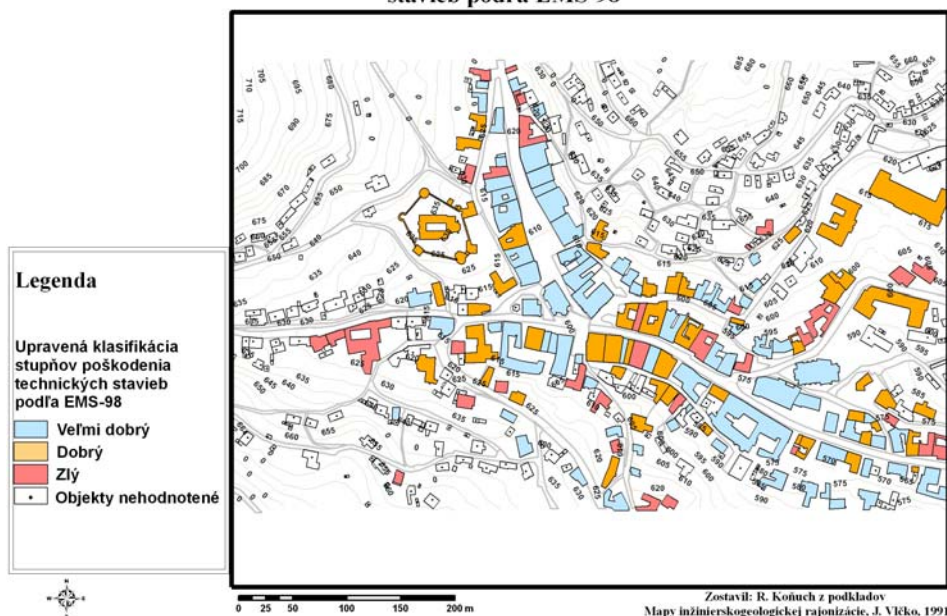
Pre potreby hodnotenia seizmických otrasov sa vo všeobecnosti používajú makroseizmické a magnitúdové stupnice. V súčasnosti sa u nás používa Európska makroseizmická stupnica, ktorá bola doporučená v roku 1998 Európskou seizmologickou komisiou, aby znížila mieru subjektivity v určovaní intenzity zemetrasenia. Stupnica EMS-98 zahŕňa definície stupňa intenzity klasifikáciu budov podľa zraniteľnosti, škôd a kvantít. Stupnica rozdeľuje technické stavby do 6 tried zraniteľnosti od A až po F pričom v triede A sú najzraniteľnejšie a v triede F najodolnejšie. Väčšina technických stavieb v historických jadrách miest SR patrí do triedy zraniteľnosti A alebo B, moderné budovy spravidla do tried C alebo D. Zaradenie budovy do triedy zraniteľnosti závisí od kvality vyhotovenia budovy, stavu údržby, ductility a polohy. Škody, opísané osobitne pre murované a železobetónové budovy sú rozdelené do piatich stupňov. Prvý stupeň zodpovedá najmenším škodám, piaty stupeň zodpovedá úplnému zničeniu budovy.

Pre zaradenie objektov historického centra do jednotlivých kategórií poškodenia podľa EMS-98 sme vypracovali podrobnú pasportizáciu všetkých objektov a na jej základe sme historické objekty zaradili do troch kategórií potenciálneho poškodenia. Prvé dve kategórie sme zlúčili do jednej (veľmi dobrý stav - bez alebo len s minimálnym poškodením), ďalšie dve kategórie reprezentujú stav dobrý (vznik trhlín, kolaps komínov), resp. zlý stav (kolaps stien, striech a pod.) objektov. Objekty poslednej kategórie (totálny kolaps objektu - zničenie objektu) sa v historickom centre nenachádzajú. Priestorový rozsah objektov podľa kategorizácie ich poškodenia na základe EMS-98 je uvedený na mape na obr. 1.

Hodnotenie seizmickej odolnosti objektov historického jadra Banskej Štiavnice podľa STN 73 0036

V Československu sa výpočet seizmického zaťaženia do r. 1987 vykonával podľa ČSN 73 0036 Seismické zatížení staveb z r. 1973. Statici ku koncu deväťdesiatych rokov počítali nedostatky tejto normy a preto v období rokov 1986 až 1992 bola snaha o jej revíziu; na pripomienkovanie boli zverejnené 3 znenia, ale do rozpadu Československa definitívne znenie normy prijaté nebolo. V návrhoch normy sa uvádzalo, že na základe výsledkov seizmického mikrorajónovania možno upraviť odhad makroseizmickej intenzity v mieste záujmovej lokality. Z hodnoty makroseizmickej intenzity sa následne odvodzala hodnota efektívneho zrýchlenia použitá vo výpočtoch seizmického zaťaženia.

Mapa upravenej klasifikácie stupňov poškodenia technických stavieb podľa EMS-98



Obr.1 Mapa stavebných objektov a kategorizácie ich poškodenia na základe EMS-98

Po vzniku samostatného Slovenska sa začalo s prepracovaním normy, bolo publikovaných niekoľko jej verzií, definitívne bola prijatá verzia v r. 1997 pod názvom Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií (STN 73 0036) a je vypracovaná v súlade s Eurokódom 8. Na základe normy sa seizmická sila neposudzuje ako statická sila, ale ako sila dynamická, ktorej účinky závisia od hodnoty frekvencie a výpočet sa vykonáva pomocou spektier odozvy. Norma hodnotí územie podľa seizmického rizika a priradzuje mu základné seizmické zrýchlenie. Taktiež vyčleňuje seizmické oblasti podľa maximálnej pozorovanej intenzity na základe makroseizmickej stupnice MSK-64. V čl. 4.1.1 tejto normy sa uvádza, že pri návrhu, posudzovaní a výbere staveniska sa odporúča využiť aj údaje o seizmickom mikrorajonovaní.

Zvláštnou kategóriou pozemných konštrukcií sú historické budovy. Základnou podmienkou spoľahlivosti pozemného objektu je jeho dlhodobá stabilita a prípustné pretvorenie neohrozujúce jeho funkčnosť.

Stabilita pozemnej konštrukcie závisí na mnohých faktoroch, jedným z nich je aj seizmické zaťaženie, t. j. vplyv vibrácií na konštrukciu. Z hľadiska zatriedenia stavebných objektov podľa významu patria v zmysle STN 73 0036 historické objekty do kategórie významnosti II (školy, zhromažďovacie sály), do kategórie III (obyčajné budovy), výnimočne do kategórie I (nemocnice, požiarne stanice, elektrárne, vodné nádrže). Trieda odolnosti objektov v historickom jadre v Banskej Štiavnici je A (historické budovy, kamenné a murované, pomníky, budovy s rozsiahlou výzdobou a budovy vo zvláštnej pamiatkovej starostlivosti), prípadne B (bežné tehlové stavby).

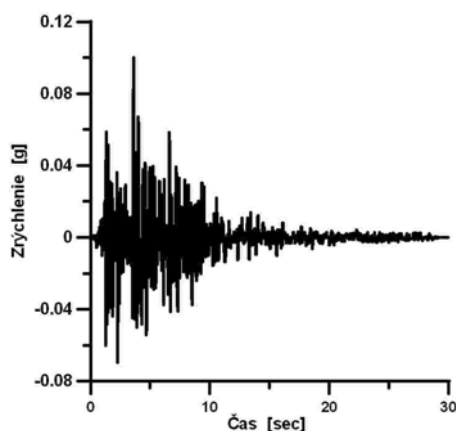
Seizmické mikrorajónovanie Banskej Štiavnice

Pri simulovaní očakávanej seizmickej udalosti je potrebné stanoviť výpočtom seizmické zaťaženie, ktoré vypočítame z hodnôt spektrálneho zrýchlenia pre danú lokalitu.

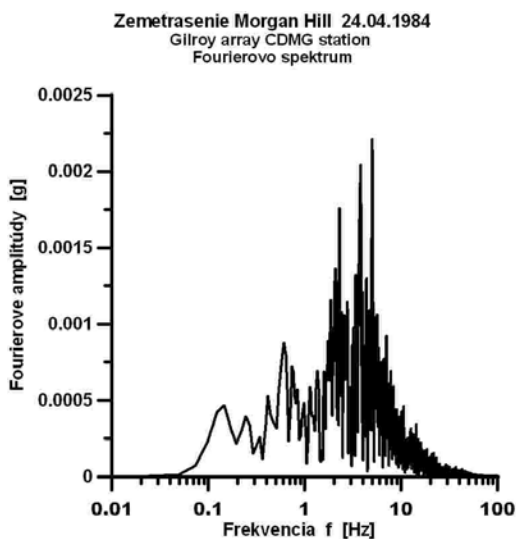
Na zistenie (výpočet) tejto hodnoty môžeme v zmysle čl. 4. 2. 3. 2. 3 STN 73 0036 využiť i mapy seizmickej mikrorajonizácie. Pri mapách seizmickej mikrorajonizácie ide o spresnenie stupňa seizmicity a kvantitatívnych parametrov vlnenia v území, ku ktorým dochádza v dôsledku zmien inžinierskogeologických pomerov (vrátane zmien reliéfu územia (Viskup, 1989). Pre potreby zostavenia mapy seizmickej mikrorajonizácie sme vychádzali z mapy typologickej inžinierskogeologickej rajonizácie zostavenej z historického jadra Banskej Štiavnice v mierke 1 : 1 000 (Vlčko, 1992). Na tejto mape, na rozdiel od bežne zostavovaných máp, boli v podrobnejšom rozsahu vymedzené podrajóny a to podľa hrúbky vrstiev v piatich intervaloch (0.5m - 1m, 1m - 2m, 2m - 4m, 4m - 7m, viac ako 7m) a podľa hrúbky pokryvu nad skalným podkladom v štyroch intervaloch (0.5m – 4m, 4m – 7 m, 7m – 10m, viac ako 10m). Celkový počet inžinierskogeologických podrajónov bol 73 (Vlčko, 1992).

Pri seizmickom mikrorajónovaní Banskej Štiavnice sme vychádzali z hodnôt spektrálneho zrýchlenia vypočítaných pre voľný povrch terénu v jednotlivých inžinierskogeologických podrajónoch. Pri výbere vstupných parametrov potrebných pre výpočet spektrálneho zrýchlenia v jednotlivých inžinierskogeologických modeloch - podrajónoch, ako napr. rýchlosti šírenia seizmických vln, objemová tiaž, index plasticity súdržných zemín, stupeň nasýtenia nesúdržných zemín boli použité normové hodnoty a vlastná databáza (Viskup, 1984), úroveň hladiny podzemnej vody a hrúbky jednotlivých vrstiev boli odvodené z Mapy inžinierskogeologickej rajonizácie. Hrúbku vrstvy sme volili tak, aby sme z hľadiska seizmicity vybrali najnepriaznivejší prípad, to znamená, že do výpočtov sme vybrali hrúbku reprezentujúcu horné rozpätie príslušného intervalu. Napríklad u rajónu u4, ktorý je tvorený vrstvou úlomkovitých zemín na skalnom podklade, pričom hrúbka vrstvy je v intervale 4 až 7 m, sme vo výpočtoch uvažovali hrúbku vrstvy 7m.

Na výpočet spektrálneho zrýchlenia na voľnom povrchu terénu v jednotlivých inžinierskogeologických podrajónoch bol použitý vstupný akcelerogram zemetrasenia Morgan Hill 1984/04/24 zaznamenaný na seizmickej stanici Morgan Hill na skalnom podloží (obr. 2). Výber vstupného akcelerogramu bol zvolený v zmysle čl. 4.3.3.3 STN 73 0036 tak, aby zodpovedal seizmogénnym vlastnostiam potenciálneho zdroja zemetrasenia a jeho prevládajúca frekvencia (vyjadrená Fourierovým spektrom, obr. 3) zodpovedala vlastnej frekvencii historických budov v Banskej Štiavnici, ktoré sú v oblasti 5 Hz. Keďže lokálna magnitúda zemetrasenia Morgan Hill bola $M_l = 6.2$ (makroseizmická intenzita 70MM, fokálna hĺbka - hĺbka ohniska $h = 8$ km), čo nezodpovedá očakávanej magnitúde zemetrasenia v Banskej Štiavnici, bolo potrebné príslušný akcelerogram normovať na hodnotu základného seizmického zrýchlenia $a_r = 0.06g$ (obr.4 vpravo dole) vypočítanú pre kategóriu podložia A (skalné podložie) v Banskej Štiavnici.



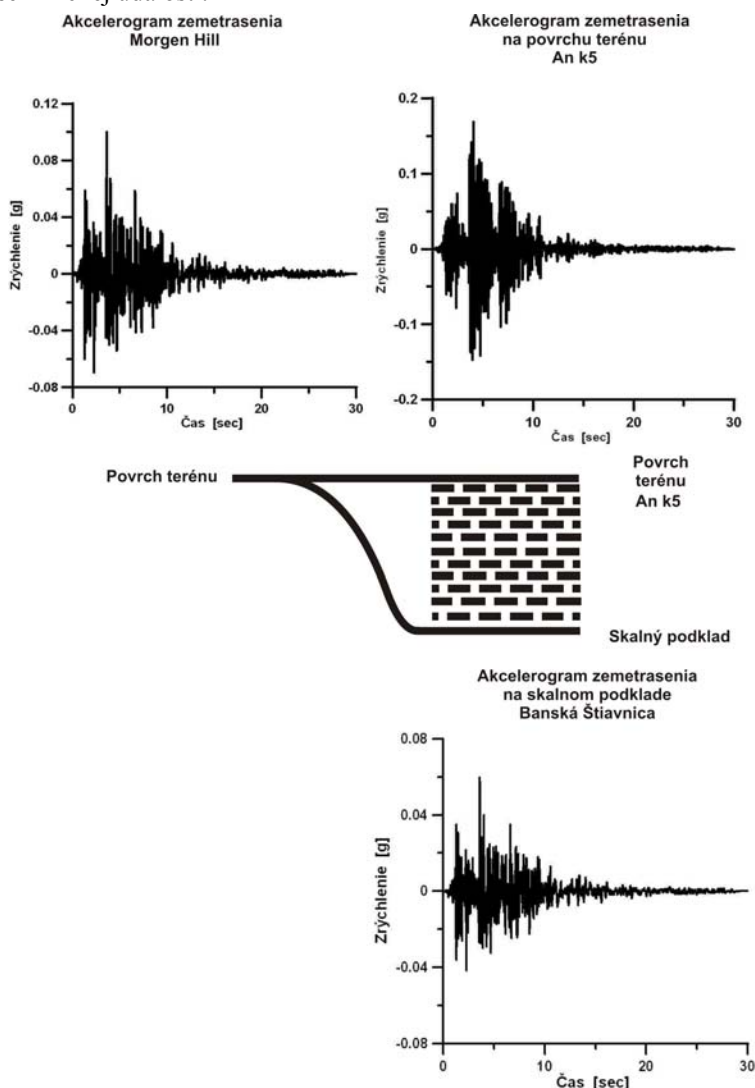
Obr. 2 Akcelerogram zemetrasenia Morgan Hill



Obr. 3 Fourierovo spektrum akcelerogramu Morgan Hill

Schéma zostaveného modelu pre rajón “An“ podrajón “k“ (rajón An, podrajón je k tvorený vrstvou navážky typu hlín až ílov triedy F1, index 5 znamená, že hrúbka tejto vrstvy je viac ako 7m) je na obr. 4, pre všetky podrajóny bola schéma podobná, menila sa iba hrúbka a zloženie vrstiev. Výpočet bol vykonaný programom SHAKE98 (Bardet J.P., Lin C.H., Idriss I.M.), ktorý pracuje vo frekvenčnej oblasti a používa iteratívnu metódu, berúcu do úvahy nelineárne chovanie hornín. Vypočítané hodnoty zrýchlenia na voľnom povrchu terénu sú uvedené v tab. 1.

Rozptyl vypočítaných hodnôt maximálnych očakávaných seizmických zrýchlení v rozsahu celého historického jadra Banskej Štiavnice sa mení od 0.06 g (v rajóne VI tvoreným amfibolicko-biotitickým andezitom a pyroxenickým-andezitovým porfýrom vychádzajúcemu na voľný povrch terénu, teda bez pokrývky sedimentov) až po 0.17 g (podrajón An k5), g predstavuje základné gravitačné zrýchlenie 9.81 m.s^{-2} . Tento pomerne široký rozptyl hodnôt seizmického zrýchlenia je následne rozdelený do 5 kategórii (intervalov) a je vykreslená mapu (Obr. 6). Na mape popri priestorovom zohľadnení územia s rovnakými hodnotami seizmického zrýchlenia sú vymedzené i stavebné objekty, resp. ich fyzický stav po zemetrasení s intenzitou 5°EMS 98. Logicky, zemetrasenie väčšie ako 5°EMS-98 môže spôsobiť vážnejšie škody na objektoch a je potrebné prehodnotiť potenciálnu možnosť poškodenia objektov v prípade výskytu seizmickej udalosti.

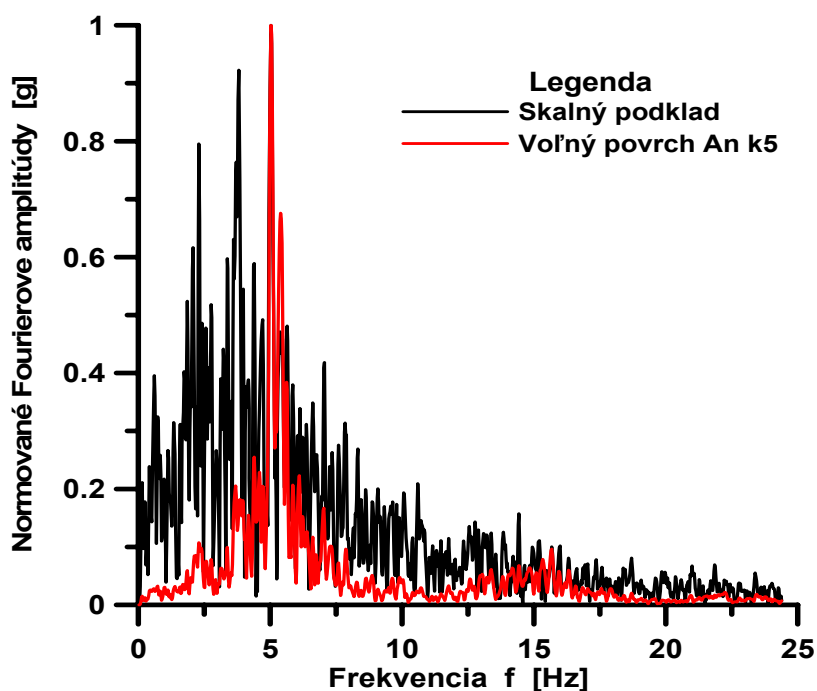


Obr. 4 Schéma výpočtu seizmickej odozvy pre podrajón k5 rajónu An

Tab. 1 Kategórie seizmického zrýchlenia

Farba v mape	Rozpätia seizmického zrýchlenia	Kategória
	0,06 - 0,08	I
	0,081 - 0,1	II
	0,11 - 0,12	III
	0,121 - 0,14	IV
	0,141 - 0,17	V

Fourierove spektrá akceleroqramov



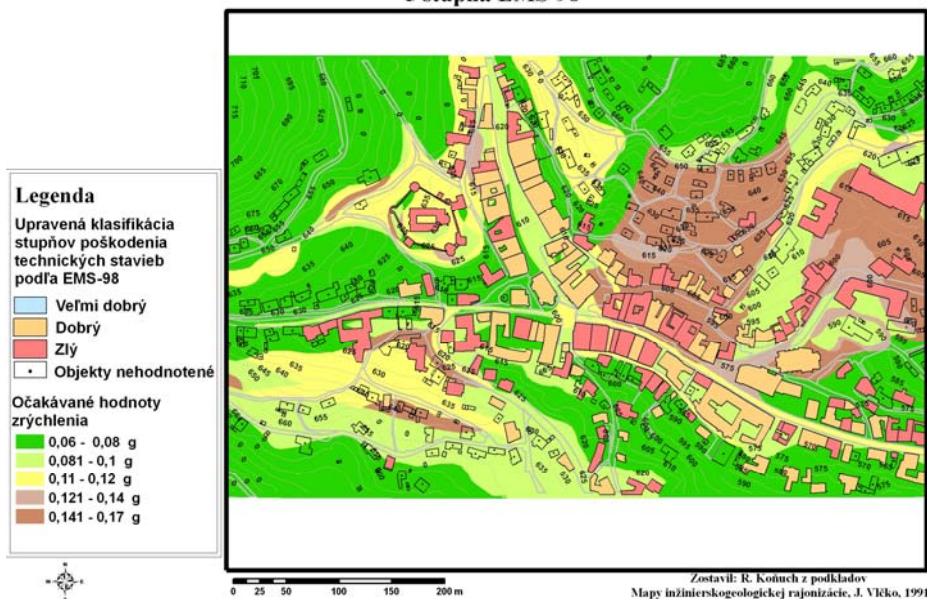
Obr.5 Fourierovo spektrum vstupného akceleroqramu na skalnom podklade a akceleroqramu po prechode podrajónom An k5

Na obr.5 je uvedené Fourierovo spektrum vstupného na skalnom podklade a výstupného akceleroqramu po prechode podrajónom k5, tvoreného súdržnými zeminami (schéma je na obr.4). Vidno, že po prechode seizmického vlnenia takýmto súvrstvím, dochádza k posunutiu do nižších oblastí frekvenčného spektra, nakoľko vysokofrekvenčné zložky seizmického vlnenia sú v takomto súvrství zemin viac pohlcované.

Záver

Rozsah vypočítaných hodnôt maximálnych očakávaných seizmických zrýchlení PGA pre jednotlivé rajóny toto sa mení od 0,06 g až po 0,17 g. Hodnote PGA = 0,06g je pre rajón VI – jedná sa o rajón tvorený amfibolicko-biotitickým andezitom a pyroxenicko-andezitovým porfýrom (čo je hodnota pre skalný podklad – trieda R1).

**Mapa poškodenia technických stavieb po zemetrasení
5 stupňa EMS-98**



Obr.6 Mapa poškodenia technických stavieb po zemetrasení 5°EMS–98

Hodnota PGA = 0,17 g je pre podrajón An k5 - jedná sa o rajón s antropogénnym materiálom tvorený hlinami až ílom triedy F1 o hrúbke viac ako 5 m.

Nízke hodnoty seizmického zrýchlenia možno tiež očakávať v podrajónoch, kde je skalný podklad v malej hĺbke pod povrchom (index hrúbky vrstiev 1, 0,5m – 1.m) a vrstva je tvorená nesúdržnými zeminami, napríklad štrkami, alebo kde sú skalné horniny priamo na voľnom povrchu terénu.

Za najnevhodnejšie rajóny a podrajóny z hľadiska seizmického ohrozenia môžeme považovať deluviálne sedimenty hrúbky okolo 10 m a tiež antropogénne sedimenty charakteru hliny a íly (tried F1 a F2), kde je hrúbka okolo 10 m a viac.

Na základe výsledkov seizmického miktrorajónovania vykonaného na území Banskej Štiavnice (Koňuch, 2008; Vlčko, Viskup, Koňuch, 2008) a na základe hodnotenia seizmickej odolnosti objektov môžeme konštatovať, že v prípade výskytu zemetrasenia, ktorého efektívne zrýchlenie na skalnom podklade by bolo 0,06g (čo zodpovedá zemetraseniu o makroseizmickej intenzite 6°MSK-64), môže toto v závislosti od charakteru a hrúbky kvartérneho pokryvu spôsobiť vážnejšie škody na objektoch a je potrebné prehodnotiť potenciálnu možnosť poškodenia objektov v prípade výskytu seizmickej udalosti.

Podakovanie

Tento príspevok bol vypracovaný v rámci grantového projektu VEGA č. 1/4041/07, č. 1/14045/07, č. 1/0499/08 a v rámci projektu APVV 0158-06.

Literatúra

- [1] BARDET, J.P., LIN, C.H. & IDRIS, I.M. *SHAKE98. A Computer Program for Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits*. Department of Civil Engineering, University of Southern California, 1998, 41 p.
- [2] ČSN 73 0036 *Seismická zatížení staveb*. Úřad pro normalizaci a měření, 1973, Praha, 48 s.
- [3] EMS-98 *European Macroseismic Scale*. European Seismological Commission (ESC), Centre Europeen de Géodynamique et de Séismologie, Musée National d'Histoire Naturelle, Section Astrophysique et Géophysique, Luxembourg, Imprimerie Joseph Beffort, Helfent-Bertrange, 1998, 99 p.
- [4] HRAŠNA, M. Monitorovanie tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska. *Geologické práce*, Správy 106, 2002, ŠGÚ DŠ, Bratislava, 103 – 114.
- [5] KOŇUCH, R. *Zhodnotenie seizmického ohrozenia historického jadra Banskej Štiavnice*. Diplomová práca. Katedra inžinierskej geológie PFUK, Bratislava, 2008, 47 s.
- [6] LABÁK, P. & BROUČEK, I. Reinterpretácia zemetrasenia 5.6. 1443 na strednom Slovensku. In *Zb. Analýza dat v seismologii a inženýrské geofyzice*, (Kaláb, Z. ed.). Ústav geoniky AVČR, 1996, Ostrava-Poruba, 83 - 93.
- [7] SCHENK, V. & MANTLÍK, F. *Map of Maximum Expected Macroseismic Intensity in Czechoslovakia*. Czechoslovak Academy of Sciences, Prague, 1985, pp. 440 – 445
- [8] SCHENK, V., SCHENKOVÁ, Z., KOTTNAUER, P., GUTERCH, B. & LABÁK, P. Earthquake Hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia. *Acta Geophysica, Polonica*, 2001, 49, pp. 287–302.
- [9] STN 73 0036 *Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií*. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 1997, Bratislava, 68 s.
- [10] VISKUP, J. Stanovenie rýchlosti šírenia priečných vĺn v horninách v ich prirodzenom uložení z hodochrón čelných transformovaných vĺn a niektoré dynamické charakteristiky týchto vĺn. In *Fyzikální vlastnosti hornin a jejich využití v geofyzice a v geologii*. Praha: [s.n.], 1984, 78 - 82.
- [11] VISKUP, J. Inžinierskoseizmické mikrorajónovanie v inžinierskogeologických rajónoch. In *Seismologie v inženýrské hornické praxi*. Sborník referátů. Ostrava, HGF VSB, 1989, 13 - 16.
- [12] VLČKO, J. et al. *Inžinierskogeologická mapa Banská Štiavnica*. Záverečná správa, Slovenský geologický úrad Bratislava, INGEO, Žilina, Katedra inžinierskej geológie PRIFUK v Bratislave, 1992, 96 s.

- [13] VLČKO, J., VISKUP, J. & KOŇUCH, R. *Seizmické ohrozenie objektov historického jadra Banskej Štiavnice*. Geológia a životné prostredie, KIG PFUK, Bratislava, 2008, 152-157.

Oponentní posudek vypracoval:

RNDr. Vladimír Schenk, DrSc., Ústav struktury a mechaniky hornin, v.v.i., Praha