

Interdisciplinárna spolupráca pri vyhľadávaní vhodných priestorov pre uskladňovanie rádioaktívneho odpadu

Juraj Ďurove¹, Blažej Pandula², Jozef Viskup³, Dušan Čellár⁴, Edmund Wax⁵ a Jozef Slavkovský⁶

Interdisciplinary Cooperation in the Exploration of appropriate sites for the Radioactive Waste Deposition

The article deals with the interdisciplinary cooperation in the processes of exploration of appropriate sites for radioactive waste deposits. This work is based on trends in the environmental laws for radioactive wastes. For the exploration, a knowledge about the geological structures, properties of rocks and safety manipulation with radioactive wastes are necessary. The interdisciplinary cooperation is needed with geophysics to define the particularly hazardous areas of an earthquake shaking. In this article, a method of the seismic analysis by Ricker impuls and Gabor's function are presented.

Key words: *underground radioactive waste deposit, exploration of appropriate site, geology, geomechanics, geophysics, cooperation of specialists*

Úvod

Geologický a geomechanický výskum spolu s komplexným hodnotením horninového masívu je významným podkladom pre realizáciu každej podzemnej stavby. Na celkovej charakteristike horninového masívu sa podieľajú najmä diskontinuity, ktorých vplyv sa premieta osobitne výrazne do stability podzemných objektov. Na základe vykonaného štúdia v oblasti výstavby obzvlášť významných banských a inžinierskych podzemných diel je možné zhrnúť že pred razením podzemného diela je potrebné získať:

- in situ hodnoty parametrov geologických štruktúr,
- stanoviť geomechanické charakteristiky hornín a masívu (laboratórne a in situ),
- zo získaných výsledkov vytvoriť podklad pre vytvorenie pracovného geologicko-geomechanického modelu o skúmanom území, resp. zatriediť územie do horninových homogénnych celkov podľa rôznych klasifikácií (pre potreby projektanta),
- navrhnuť a zaistiť geologicko-geomechanický monitoring počas výstavby diela,
- a následne vypracovať návrh geologicko-geomechanického sledovania počas prevádzky podzemného diela.

Geologicko-geomechanická analýza a nadväznosť ďalších prác

Podrobný geologický prieskum územia, najmä pomocou štrukturálnych vrtov, je u významných stavieb vždy doplnený aj geologickými prieskumnými dielami. Vecne ide o známe postupy prieskumu.

Skúmanie geomechanických vlastností hornín a horninového masívu, z hľadiska súčasnej praxe, je odzrkadlené v jednotlivých parametroch dostatočne známych základných klasifikácií: RQD, RMR a Q. Okrem nich existujú aj ďalšie (Tesar 1979, Sasvári 1996 a i.), ktoré majú špecifický význam. Základnými geomechanickými parametrami pre posúdenie napäťovo-deformačného stavu horninového masívu, sú pevnosť a deformačné vlastnosti hornín a masívu.

Pri analýze pevnostných parametrov patrí medzi otázky najväčšej dôležitosti určenie medze pevnosti nenarušenej horniny. Najbežnejšími sú jednoosové výskumy pevnosti v tlaku a ťahu hornín. Hatala - Trančík (1989) i ďalší zdôrazňujú dôležitosť vyšetovania horniny i po prekročení medze pevnosti, v dôsledku podobnosti medzi porušenou horninou a skutočným diskontinuitným horninovým masívom. Pri ťahu sú známe dva aspekty: ťahová pevnosť, ktorá predstavuje len 5 –10 % pevnosti v tlaku, a ťahové zaťaženie, ktoré spôsobuje vznik a rozvoj mikrotrhlín. Vážnou je tiež otázka vplyvu všesmerného tlaku na medzu pevnosti horniny, ktorú podrobne skúmali napr. Jaeger a Cook (1976).

AJ pre určovanie deformačných charakteristík, modulu pružnosti a modulu pretvárnosti, sú v súčasnosti najbežnejšími výskumy pri jednoosovom zaťažení. Deformačný stav horniny v inžinierskych výpočtoch

¹ doc. Ing. Juraj Ďurove, CSc., katedra dobývania ložísk, F BERG, TU v Košiciach, Slovensko

² doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc, katedra ložiskovej a aplikovanej geológie, F BERG, TU v Košiciach, Slovensko

³ Dr. Jozef Viskup, PhD., katedra environmentalistiky a aplikovanej geofyziky, UK v Bratislave, Slovensko

⁴ Dipl. Ing. Dušan Čellár, Obvodný banský úrad v Košiciach, Slovensko

⁵ Dipl. Ing. Edmund Wax, GmbH & Industriestaße 4, 66740 Saarlouis, Germany

⁶ doc. Ing. Jozef Slavkovský, CSc., SBS pobočka pri F BERG TU Košice, Slovensko

Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 1. 2007)

idealizujeme pomocou známych modelov. Čím presnejší má byť opis pružného a nepružného telesa, tým viac parametrov je potrebných pre model i pre analytické vyjadrenie. To znamená, že pre celkové charakterizovanie stavu horninového masívu je potrebné poznať i ďalšie geomechanické parametre najmä Poissonovo číslo, objemová tiaž, uhol vnútorného trenia, príp. súdržnosť hornín, pórový tlak vody, radiálne a tangenciálne posunutia na obvode podzemného diela. Niektoré z charakteristík je možné získať monitoringom.

Výsledky geologického skúmania musia korelovať s výsledkami geomechanických analýz, na základe čoho je potom vytvorený spoločný model štruktúrnogeologicko-geomechanickej stability horninového masívu. Zároveň sú vyčlenené kvázi homogénne celky podľa všeobecných a špecifických klasifikácií (Sasvári, Ďurove, 1995).

V etape praktickej realizácie podzemného diela sa ukáže, nakoľko sa potvrdzujú predpokladané geologicko-geomechanické parametre z ich predošlého výskumu a nakoľko je potrebné údaje spresňovať alebo aj korigovať. Podľa tohto výsledku, zodpovedajúcou mierou, pokračuje ďalej spolupráca geológa a geomechanika so stavebnými a banskými odborníkmi, ktorí realizujú dielo. Ide o geologicko-geomechanický monitoring podzemného diela počas jeho výstavby.

Ďalšie všeobecné riziká pre výber úložiska

Je známe, že celá polovica ľudstva žije v seizmicky aktívnych oblastiach, kde ničivé zemetrasenia ohrozujú životné prostredie.

Pri výbere vhodného miesta pre uloženie vysoko rádioaktívneho odpadu je preto potrebné zohľadniť aj možný vplyv zemetrasení. V tomto smere geológom a geomechanikom napomáhajú geofyzici.

Významnú pomoc pre výpočet niektorých parametrov seizmického pohybu, ktorý geologickým prostredím prechádza, poskytuje modelovanie seizmickej odozvy. Geotechnické vlastnosti štruktúr ovplyvňujú ich prenosové vlastnosti a formujú výsledný priebeh seizmickej odozvy na povrchu prostredia (Blaško et al., 2002; Pandula, 2001).

Interpretácia výsledkov

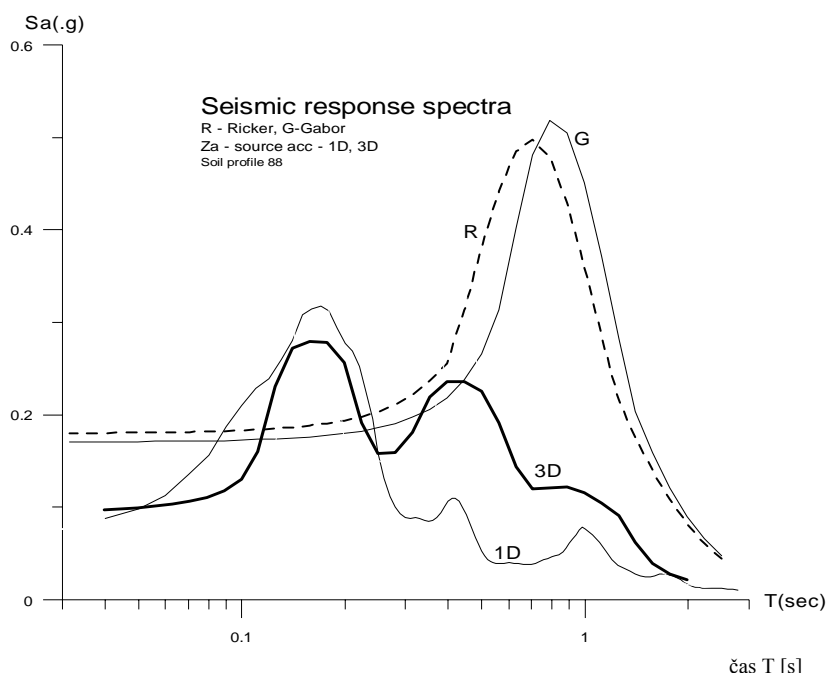
Pre posúdenie príslušnej predmetnej lokality zo seizmického hľadiska je potrebné vychádzať z charakteru konkrétneho zemetrasenia, ktoré môže byť vyjadrené nameraným akcelerogramom. Nakoľko takéto akcelerogramy zemetrasení z minulosti nie sú k dispozícii, používajú sa akcelerogramy zo svetovej banky akcelerogramov. Vyberajú sa akcelerogramy, ktoré svojimi parametrami najviac vyhovujú pre posudzovanú oblasť. Na základe vstupného akcelerogramu zemetrasenia a na základe seizmickej mikrorajonizácie sa vypočítajú parametre seizmického pohybu – základné a návrhové seizmické zrýchlenie, spektrum seizmickej odozvy, ktoré vyjadruje závislosť dynamickej odozvy jednodnotového systému na jeho vlastnej frekvencii. Spektrá seizmickej odozvy poskytujú dôležitú informáciu o extrémoch odozvy, ktoré sa môžu vyskytnúť pri seizmickom zaťažení objektu (Kalab et al., 2004; Leššo, 2004).

V zmysle STN 73 0036 je potrebné pre vybranú lokalitu vypočítať predpokladané parametre seizmického pohybu – základné a návrhové seizmické zrýchlenie a_r a a_g , spektrum seizmickej odozvy a to, ako normové, tak i lokálne, ako aj ďalšie parametre. V zmysle seizmotektonickej mapy Slovenska, ktorá je súčasťou STN 73 0036 sa pre túto lokalitu vyberie maximálna pozorovaná intenzita zemetrasenia a preskúmajú seizmotektonické pomery. Podľa pozorovanej maximálnej intenzity zemetrasenia sa pre danú oblasť priradí seizmické zrýchlenie, prislúchajúce zdrojovej oblasti seizmického rizika, v ktorej sa daná lokalita nachádza. Následne sa z hodnoty návrhového seizmického zrýchlenia vypočítajú spektrálne hodnoty zrýchlenia S_a v jednotkách gravitačného zrýchlenia g , a to tak horizontálne S_{ah} ako i vertikálne S_{av} normové hodnoty návrhového spektra seizmickej odozvy pre vybranú oblasť. Tieto hodnoty a_r , a_g , $S_{ah}(\max)$, $S_{av}(\max)$ sú v zmysle normy efektívne (Viskup, 2004).

Porovnané parametre môžu byť vypočítané 1D a 3D modelovaním štruktúr, ktoré svojimi vlastnosťami ovplyvňujú pohyb napr. v oblasti základovej škáry. Jedná sa o tie časti geologického prostredia, ktoré v praxi najviac ovplyvňujú výsledný efekt seizmického pohybu, zaznamenaný na povrchu. Pre výpočty bol použitý vstupný akcelerogram zo svetovej databanky, Rickerov impulz a Gáborová funkcia (Bardet et al., 1998; Bourke, 2002; Kalab et al., 1997; Ordóñez, 2000).

Na obr. 1 je zobrazený nielen frekvenčný posun spektier (od 1 do 3 Hz medzi 1D, 3D a R, G), ale aj rozdiely v tvare a hodnotách spektrálnych zrýchlení. Tieto zmeny sú spôsobené hlavne odlišným frekvenčným spektrom vstupných akcelerogramov, ktorých odozva je k rovnakým vlastnostiam modelu odlišná.

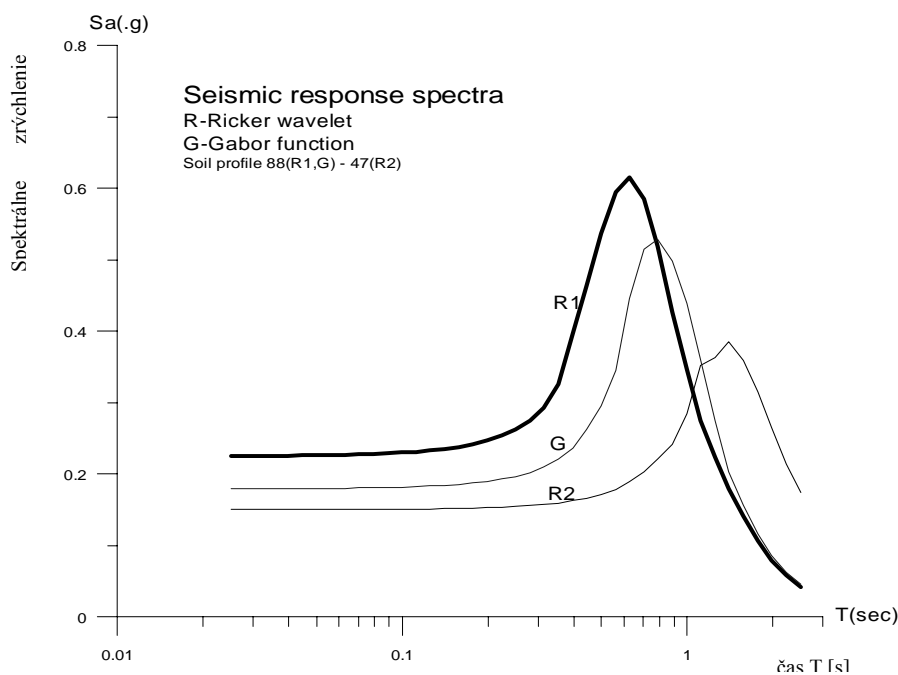
Pre prax je dôležitý fakt, že tvar 3D spektra je komplexnejší, hoci medzi špičkovými hodnotami zrýchlenia 1D a 3D spektier nie sú výrazné rozdiely, pričom rozdiely v náročnosti zostavenia modelov sú značné.



Obr. 1. Spektrá pre rovnaký geotechnický profil - vstupný akcelerogram.
Fig. 1. Spectra for an identical geotechnical profile - input accelerogram.

Na obr. 2 je evidentný rozdiel medzi spektrami vstupného Rickerovho impulzu pre odlišné geotechnické modely (R1 a R2). Rozdiely sú evidentné hlavne v špičkových hodnotách zrýchlenia, odpovedajúcich rozdielnym geotechnickým vlastnostiam modelov, na ktoré aj tento impulz reaguje veľmi citlivo. Na výsledkoch modelovania, zhrnutých na obr. 1 a 2 je možné analyzovať dva aspekty zámeru, prezentovaného v úvode. Všetky vypočítané spektrá na obr. 1, odpovedajú rovnakému geotechnickému modelu, zatiaľ čo na obr. 2 spektrálne odozvy označené ako R1 a R2, odpovedajú rozdielnym geotechnickým modelom (Viskup, 1998; Janotka et al., 2004). Na obr. 2 je možno pozorovať mieru vplyvu zmenených geotechnických vlastností modelov na vstupný Rickerov impulz.

Gáborova funkcia, ako vstupný akcelerogram sa v prípade rovnakého geotechnického profilu chová obdobne ako Rickerov impulz 1. Medzi nimi je minimálny frekvenčný posun, ale špičková hodnota zrýchlenia je v porovnaní s R1, nižšia. Na obr. 2 je možno pozorovať mieru vplyvu zmenených geotechnických vlastností modelov na vstupný Rickerov impulz.

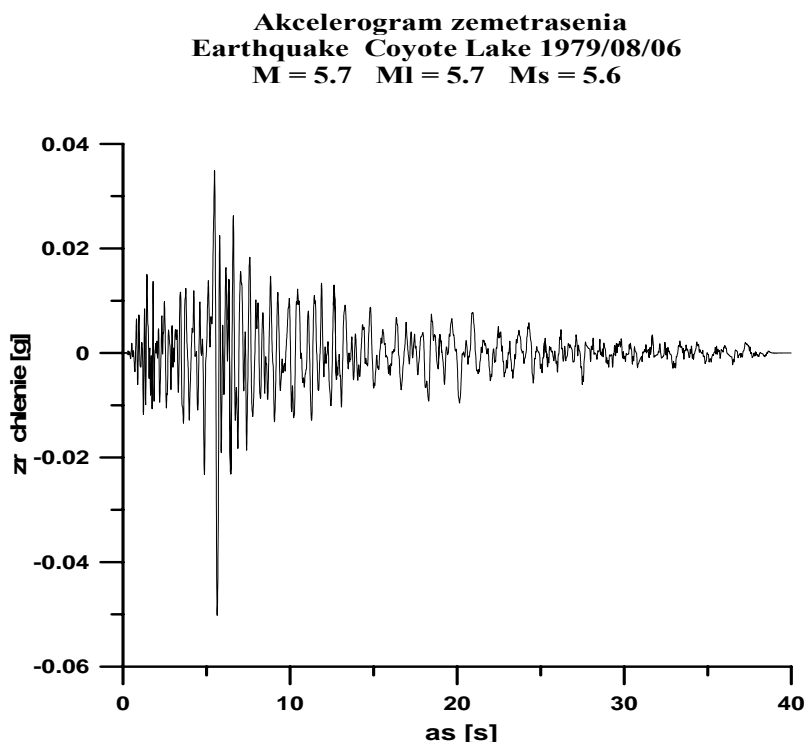


Obr. 2. Spektrá pre Rickerov impulz a Gáborovu funkciu (R1, G) - rovnaký geotechnický profil, pre Rickerov impulz (R1, R2) - rozdielne profily.
Fig. 2. Spectra for the Ricker impulse and the Gabor function (R1, G) - identical geotechnical profile for the Ricker impulse (R1, R2) - different profiles.

Výpočet lokálnych spektier seizmickej odozvy

Ako vstupný akcelogram sa vyberie zo svetovej databanky akcelogram zemetrasenia, ktoré prebiehalo v geologických podmienkach najviac podobných geologickým podmienkam vo vybranej lokalite. Na obr. 3 je uvedený príklad takéhoto vstupného akcelogramu zemetrasenia zaznamenaného na skalnom podklade, ktorého parametre sú: Earthquake Coyote Lake 1979/08/06 17:05, magnitúdo $M = 5,7$. Dĺžka trvania seizmickej udalosti bola 40 sekúnd.

Následne je možné zostaviť reprezentačný geologický profil, využívajúc údaje o rýchlosti šírenia priečných vln (Viskup, 1987, Viskup et al., 2005). Tento profil obsahuje rýchlosti šírenia seizmického vlnenia v jednotlivých vrstvách, koeficienty útlmu pre jednotlivé vrstvy, objemovú tiaž jednotlivých vrstiev, materiálové krivky pre zeminy nachádzajúce sa v tejto lokalite. Pre takto zostavený profil je možné potom vypočítať akcelogram, velocigram a seizmogram možného zemetrasenia a lokálne spektra seizmickej odozvy použitím programov SHAKE98 (Bardet, Lin, Idriss, 1988) a SHAKE 2000 (Ordonez, 2000).



Obr. 3. Vstupný akcelogram zemetrasenia.

Fig. 3. Input accelerogram of earthquake.

Záver

Pri interpretácii spektrálnych vlastností je evidentné, že seizmický pohyb je ovplyvnený frekvenčným zložením vstupného akcelogramu, geometriou a vlastnosťami sedimentárnych plytkých štruktúr, ktorými prechádza seizmické vlnenie. Pre modelovanie boli využité zdrojové akcelogramy zo svetovej databanky, ako aj Rickerov impulz a Gáborova funkcia, ktoré sa využívajú hlavne pre porovnanie priestorových odoziev. Popísané zmeny v spektrálnych odozvách môžu byť využité pri predikcii povrchových seizmických pohybov vplyvom skutočného seizmického vlnenia, ktorého parametre sú súčasťou výpočtu seizmického zaťaženia stavebného diela.

Ak sa vo výpočtoch seizmického zaťaženia použijú lokálne spektrá seizmickej odozvy, finančné náklady na výstavbu vhodných priestorov pre uskladňovanie rádioaktívneho odpadu budú nižšie pri zachovaní požadovanej seizmickej bezpečnosti.

Literatúra - References

- Aldorf, J.: Mechanika podzemných konštrukcií. VŠB – TU Ostrava, 1999. ISBN-80-7078-695-7.
- Bardet, J., P., Lin, C., H., Idriss, I., M.: SHAKE 98. A Computer Program for Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits. Report to US Geological Survey. October 1988, 41 s.
- Blaško, F., Lazarová, E., Krúpa, V.: Vybrané kapitoly z geotechniky. Vysokoškolská učebnica, VLA, Košice 2002.
- Bourke, P.: Gabor function in 1D,2D and 3D, Analysis, Miscellaneous Functions, Swinburne University of Technology, Victoria, Australia 2002.

- Ďurove, J.: Teória podobnosti a modelovanie v mechanike hornín a masívu. In: *AMS, 2/99, F BERG TU v Košiciach. ISSN 1335-1788*.
- Janotka, V., Viskup, J., Blaško, F.: Letiskové stavebné inžinierstvo – porovnanie metodík výpočtu spektier seizmickej odozvy. *Acta Avionica ročník VI č. 9/2004, s. 33 – 36*.
- Kaláb, Z., Častová, N., Kučera, R.: The use of discrete wavelet transform for seismological signals induced by mining, *Abstract in: The 29th General Assembly of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, Thessaloniky, Greece 1997, p. 368*.
- Kaláb, Z., Knejzlík, J.: Systematické měření a předběžné vyhodnocení seizmického kmitání vyvolaného důlní seismicitou v karvinské oblasti. In: *Kaláb Z. et al. (2001): Seismologie a inženýrská geofyzika - minulost, přítomnost, budoucnost. Sborník referátů regionální konference, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava, 230 – 239*.
- Leššo, I.: Teória signálov pre priemyselnú informatiku., *Vysokoškolská učebnica, ES TU F BERG, Košice 2004*.
- Ordóñez, G., A.: SHAKE 2000, A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems., *SHAKE2000, User's Manual, March 2004, 316 s*.
- Pandula, B., Mockovčiaková, A., Cehlár, M., Jelšovská, K.: Hodnotenie porušenosti horninového masívu pomocou impulzových dynamických metód z pohľadu ekonomickej efektívnosti trhacích prác, *Acta Avionica III/2001 č. 4, VLA Košice, s. 116 – 121, ISSN 1335-9479*.
- STN 73 0036 (1997): Seizmické zaťaženia stavebných konštrukcií. *Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 68 s*.
- Trančík, P., Hatala, J.: Mechanika hornín a masívu. *ALFA Bratislava, 1989*.
- Viskup, J.: Rýchlosti šírenia pozdĺžneho a priečného seizmického vlnenia na území SZ časti Veľkej Bratislavy. In: *Fyzikální vlastnosti hornin a jejich využití v geofyzice a geologii., Jčs m+f, Praha, 1987, 28 – 31*.
- Viskup, J.: Seizmológia a seizmický hazard. *KAEG PFU. Manuscript., 1998, 32 s*.
- Viskup, J.: Aplikácia lokálnych spektier seizmickej odozvy na riešenie stability rotačnej pece v cementárni Rohožník. In: *Rozvoj seismologie, inženýrské geofyziky a geotechniky. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, ročník IV, č. 2 (2004), s.323 – 328*.
- Viskup, J., Pandula, B., Leššo, I., Jelšovská, K.: Spektrá seizmickej odozvy. In: *Acta Montanistica Slovaca. roč. 10, č. 2 (2005), s. 380-386*.