

# MODELOVANIE VPLYVU NESÚDRŽNÝCH ZEMÍN NA SEIZMICKÝ POHYB

## MODELLING OF INFLUENCE OF LOOSE SOIL MATERIALS ON SEISMIC MOTION

*Jozef Viskup<sup>1</sup>*

### **Abstrakt**

Pri kategorizácii podložia sa berie do úvahy stredná rýchlosť, ktorá sa v zmysle Eurokódu 8 uvažuje do hĺbky 30 m pod voľným povrchom terénu. Na základe kategorizácie podložia sa stanovuje návrhové seizmické zrýchlenie, tento parameter je vstupný údaj pri výpočte seizmického zaťaženia. V článku je poukázané na to, že stredná rýchlosť tvorená rôznymi vrstvami nesúdržných zemín môže byť síce rovnaká, avšak zrýchlenie na voľnom povrchu terénu závisí od toho, v akej hĺbke sa jednotlivé vrstvy nachádzajú, aká je ich hrúbka a aké zeminy sa v takomto súvrství nachádzajú. V nami zostavenom seizmickom modeli sa pri tej istej strednej rýchlosti líšili špičkové hodnoty zrýchlenia na voľnom povrchu terénu až 2,5 krát.

### **Abstract**

The categorization of ground is taken into account the average velocity, which is under consideration Eurocode 8 to a depth of 30 m below the free surface of the ground. Based on the categorization of subsoil provides seismic design acceleration, this parameter is an input for the calculation of seismic loads. The article pointed out that the average velocity of different layers consisted by loose soil material, although it may be the same, but the acceleration on the free ground surface depends on the depth of layers, their thickness kind of soils. In our seismic model there were 2.5 times differences of the peak ground acceleration on free surface in spite of the fact that average velocity was equal.

### **Kľúčové slová**

*stredná rýchlosť, nesúdržné zeminy, špičková hodnota zrýchlenia, seizmické modelovanie*

## **1 Úvod**

Pri posudzovaní lokálnych geologických pomerov sa často berie do úvahy stredná rýchlosť vrstvomého prostredia uvažovaná do hĺbky 30 m (Badali et al., 2004; Boore, 2004; Boore&Joyner, 1997; Kanli et al., 2006). Podobne pri kategorizácii podložia sa berie do úvahy stredná rýchlosť (Hongshan, 2008), ktorá sa v zmysle Eurokódu 8 čl.3.1.2 sa uvažuje do hĺbky 30 m pod voľným povrchom terénu. Na základe vypočítanej strednej rýchlosti je v zmysle Eurokódu 8 či podľa NEHRP (FEMA 450, 2003) podložie zaradené do určitej kategórie a následne je mu prisúdená hodnota návrhového seizmického zrýchlenia a spektra seizmickej odozvy. Cieľom nami vykonaného

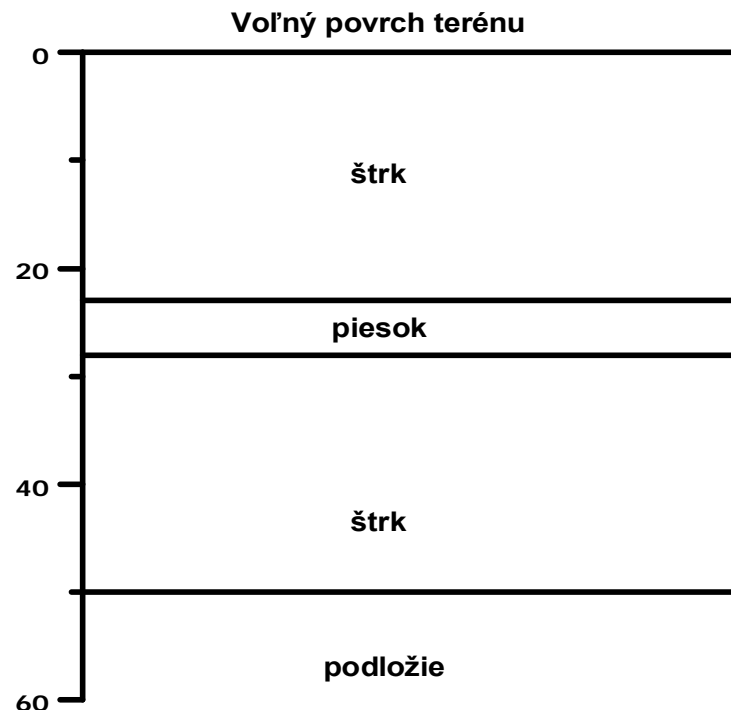
modelovania bolo posúdiť, či poloha nízkorýchlostnej vrstvy o relatívne malej hrúbke v rôznych hĺbkach pod voľným povrchom terénu má vplyv na zrýchlenie na voľnom povrchu terénu a či tento vplyv závisí aj na hrúbke vrstvy.

## 2 Stredná rýchlosť

Stredná rýchlosť je definovaná vzťahom (Eurokód 8, 2005)

$$v_{stredná} = \frac{\sum h_i}{\sum \frac{h_i}{v_i}} \quad (1)$$

kde  $h_i$  je hrúbka  $i$ -tej vrstvy a  $v_i$  je rýchlosť šírenia vlnenia v  $i$ -tej vrstve.



Uvedený vzťah platí obecné pre pozdĺžne i pre priečne vlnenie, v našom prípade pod  $v_i$  rozumieme rýchlosť šírenia priečného vlnenia v príslušnej  $i$ -tej vrstve, teda  $v_i = v_{si}$ . V prípade, že prostredie je tvorené vrstvami o značne odlišnej rýchlosti, stredná rýchlosť je tá istá bez ohľadu na to, kde sa tá ktorá vrstva nachádza.

## 3 Seizmický model

Ako už bolo uvedené v úvode, cieľom modelovania bolo posúdiť, ako vplýva zmena polohy vrstvy pieskov, ktorú môžeme považovať za relatívne nízkorýchlostnú vrstvu, nachádzajúcej sa v súvrství štrkov, ktorú môžeme považovať za relatívne vysokorýchlostnú vrstvu, v rôznych hĺbkach pod voľným povrchom terénu a ako vplýva hrúbka tejto vrstvy pieskov na seizmický pohyb na voľnom povrchu terénu. Postupovali sme podobne ako pri modelovaní ílovej vrstvy (Viskup, 2001). Model bol zostavený na základe práce (Vlčko, 1980; Hrašna, Vlčko, 1985) a na základe osobných konzultácií s jej autorom. Schéma modelu zodpovedá geologickým pomeroch v oblasti Podunajskej nížiny a v oblasti Záhorskej nížiny. Na Obr. 1 je uvedená schéma modelu, parametre pieskov, štrkov a podložia, použité vo výpočtoch, sú uvedené v Tab.1. Počítali sme zmeny špičkových hodnôt zrýchlenia označovaných ako PGA (peak ground acceleration) pre hĺbky meniace sa s krokom 1 m smerom od podložia nahor k voľnému povrchu terénu. Hrúbka nízkorýchlostnej vrstvy bola 1m, 2m, 3m.

Obr. 1 Schématický model seizmického modelu

**Tab.1 Parametre seizmického modelu**

Horninové prostredie	Objemová tiaž $\gamma$ [kN.m <sup>-3</sup> ]	Rýchlosť šírenia pričných vln $v_s$ [m.s <sup>-1</sup> ]
Piesok	18	200
Štrk	20	400
Podložie	22	1200

V nami zostavených modeloch sa vrstva pieskov o mocnosti 1 m, 2 m, 3 m pohybovala od voľného povrchu (0 m) až po skalný podklad. Stredná rýchlosť pre jednotlivé modely je uvedená v nasledujúcej Tab.2, táto nezávisela od toho, v akej hĺbke sa tá ktorá vrstva nachádza, závisela iba od hrúbky vrstvy.

**Tab. 2 Stredná rýchlosť pre jednotlivé hrúbky pieskov**

Hrúbka vrstvy pieskov [m]	1	2	3
Stredná rýchlosť $v_{stredná}$ [m.s <sup>-1</sup> ]	392	385	377

## 4 Vstupný akcelerogram

Modelovanie bolo vykonané tak, že sa použil vstupný akcelerogram ako seizmický pohyb na podloží a zistilo sa, ako sa zmení hodnota zrýchlenia po prechode seizmického vlnenia zostaveným geologickým modelom (Obr.1) od podložia smerom nahor k voľnému povrchu terénu, podobne ako pri modelovaní vplyvu ílovej vrstvy

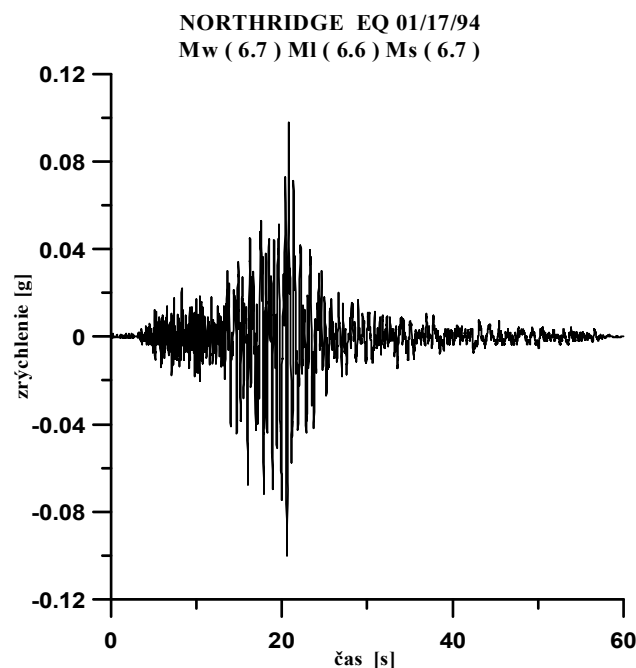
(Viskup, 2001).

Na modelovanie výpočet bol použitý vstupný akcelerogram zemetrasenia NORTHTRIDGE EQ 01/17/94, ktorého momentové magnitúdo Mw bolo Mw = 6.7, lokálne magnitúdo Ml bolo Ml = 6.6 a magnitúdo povrchových vln Ms bolo Ms = 6.7. Počet bodov akcelerogramu bol 6000, vzorkovanie 0.01 sec, dĺžka trvania seizmickej udalosti bola 60 sekúnd. Akcelerogram tohto zemetrasenia bol normovaný na 0.1g a je uvedený na Obr.2.

## 5 Výsledky modelovania

Výpočet bol vykonaný programom SHAKE 98 (Bardet et al., 1998). Je to jedna z novších modifikácií programu SHAKE 91 (Idriss et al., 1992) používaného v rôznych modifikáciách v seizmickom inžinierstve. (Anbazhagan et al., 2007, Slob et al., 2002). Výsledky výpočtov sú uvedené v Tab. 3 a na Obr. 3 sú znázornené graficky.

Z priebehu grafickej závislosti vyplýva, že hĺbka pieskov pod povrchom má významný vplyv za zrýchlenie na voľnom povrchu terénu. Vrstva pieskov v súvrství štrkov spôsobí zvýšenie hodnôt zrýchlenia na voľnom povrchu terénu. Čím je hrubšia vrstva pieskov v súvrství štrkov, tým vyššia je hodnota zrýchlenia na voľnom povrchu terénu v porovnaní s tým, ak by tam táto vrstva nebola. Najväčší vplyv tejto nízkorýchlostnej vrstvy nie je, keď sa nachádza na voľnom povrchu terénu, ale keď sa nachádza v určitej hĺbke pod povrchom, pritom stredná rýchlosť je stále tá istá a to čím je vrstva hrubšia, tým je jej vplyv bližšie k povrchu. Vo všetkých troch prípadoch jej vplyv bezprostredne



**Obr.2 Vstupný akcelerogram**

rýchlosť je stále tá istá a to čím je vrstva hrubšia, tým je jej vplyv bližšie k povrchu. Vo všetkých troch prípadoch jej vplyv bezprostredne

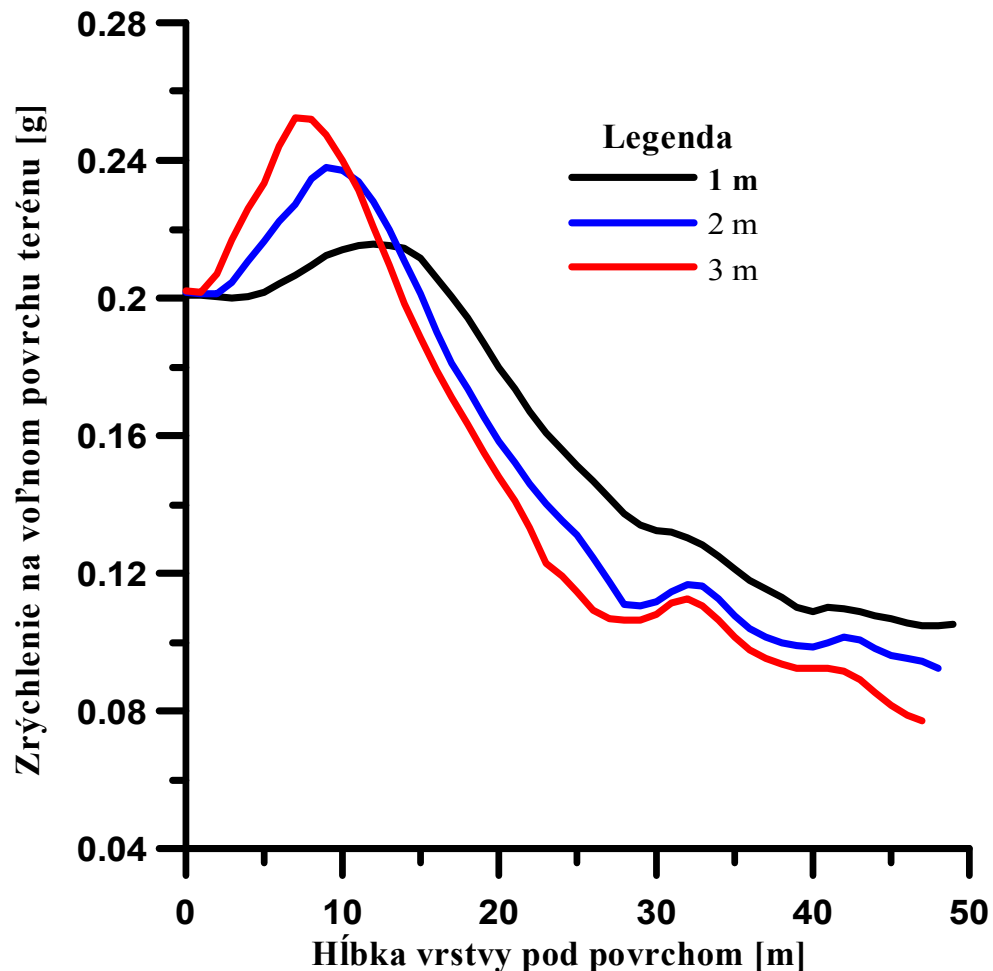
**Tab. 3 Závislosť zrýchlenia na hĺbke vrstvy**

Hĺbka pod povrchom	Hrúbka vrstvy			Hĺbka pod povrchom	Hrúbka vrstvy			Hĺbka pod povrchom	Hrúbka vrstvy		
	1m	2m	3m		1m	2m	3m		1m	2m	3m
	PGA	PGA	PGA		PGA	PGA	PGA		PGA	PGA	PGA
[m]	[g]	[g]	[g]	[m]	[g]	[g]	[g]	[m]	[g]	[g]	[g]
0	0.2007	0.2016	0.2023	17	0.2005	0.1810	0.1711	34	0.1251	0.1125	0.1065
1	0.2010	0.2014	0.2017	18	0.1944	0.1734	0.1633	35	0.1215	0.1078	0.1013
2	0.2006	0.2012	0.2070	19	0.1870	0.1656	0.1551	36	0.1181	0.1038	0.0977
3	0.2001	0.2044	0.2171	20	0.1799	0.1584	0.1479	37	0.1154	0.1013	0.0952
4	0.2004	0.2106	0.2259	21	0.1735	0.1524	0.1412	38	0.1129	0.0998	0.0938
5	0.2018	0.2167	0.2334	22	0.1670	0.1459	0.1333	39	0.1100	0.0989	0.0925
6	0.2040	0.2223	0.2441	23	0.1611	0.1401	0.1231	40	0.1091	0.0987	0.0925
7	0.2068	0.2272	0.2524	24	0.1558	0.1354	0.1193	41	0.1101	0.1000	0.0923
8	0.2095	0.2346	0.2519	25	0.1514	0.1313	0.1148	42	0.1099	0.1016	0.0918
9	0.2122	0.2381	0.2473	26	0.1470	0.1246	0.1092	43	0.1091	0.1008	0.0893
10	0.2142	0.2371	0.2401	27	0.1421	0.1177	0.1069	44	0.1079	0.0983	0.0852
11	0.2153	0.2337	0.2312	28	0.1375	0.1112	0.1065	45	0.1067	0.0963	0.0816
12	0.2155	0.2279	0.2206	29	0.1340	0.1108	0.1065	46	0.1057	0.0951	0.0788
13	0.2153	0.2198	0.2096	30	0.1325	0.1119	0.1083	47	0.1050	0.0946	0.0773
14	0.2146	0.2106	0.1985	31	0.1319	0.1149	0.1115	48	0.1049	0.0926	
15	0.2115	0.2012	0.1885	32	0.1304	0.1168	0.1128	49	0.1053		
16	0.2056	0.1900	0.1790	33	0.1282	0.1165	0.1105				

pod voľným povrchom začne klesať, ale i keď je vrstva pieskov na voľnom povrchu a štrky sú pod ňou, i tak dôjde k dvojnásobnému zvýšeniu zrýchlenia. Výsledky sú uvedené v Tab.4. V prípade, že by sme použili iný vstupný akcelerogram, iné parametre horninového prostredia (rýchlosť priečných vĺn, objemová tiaž), výsledky by sa líšili v kvantitatívnych hodnotách, avšak celkový trend závislosti zrýchlenia na voľnom povrchu terénu na hrúbke nízkorychlostnej vrstvy by sa nezmenil.

## 6 Záver

Ako vyplýva z výpočtov vykonaných v predložennom článku, v prípade nehomogénneho prostredia tvoreného striedaním nesúdržných zemín na skalnom podklade, výsledná hodnota zrýchlenia na voľnom povrchu terénu závisí nielen na rýchlostných pomeroch v jednotli-



**Obr. 3** Závislosť zrýchlenia PGA na hĺbke nízkorýchlostnej vrstvy pod povrchom terénu

**Tab. 4** Hĺbky pod povrchom terénu pre maximálne hodnoty PGA

Hrúbka vrstvy [m]	Hĺbka pod povrchom [m]	PGA [g]
1	12	0.2155
2	9	0.2381
3	7	0.2524

vých vrstvách, ale aj na polohe jednotlivých vrstiev. Vrstva pieskov v štrkovom súvrství sa prejaví inak, keď je pod povrchom a inak, keď je bezprostredne nad skalným podkladom a jej najväčší vplyv nie je bezprostredne na povrchu, ale v určitej hĺbke pod povrchom, pričom táto hĺbka závisí od jej mocnosti. Vo všetkých prípadoch však stredná rýchlosť slúžiaca na kategorizáciu podložia je tá istá. Kategorizácia podložia na základe strednej rýchlosti môže následne viesť k nesprávnym hodnotám stanovenia návrhového seizmického zrýchlenia a spektier seizmickej odozvy, ktoré sú vstupným údajom pre statika pri projektovaní konštrukcie.

### Pod'akovanie

Autor článku ďakuje Doc. RNDr. Jánovi Vlčkovi, CSc., vedúcemu Katedry inžinierskej geológie Prírodovedeckej fakulty UK, za konzultácie pri zostavovaní seizmického modelu a parametrov prostredia.

### References

- ANBAZHAGAN P., SITHARAM. T.G., DIVYA C. Site response analyses based on site specific soil properties using geotechnical and geophysical tests. Correlation between  $G_{max}$  and  $N_{60}$ . *4th International conference on Earthquake Geotechnical engineering*, June 25 -28, 2007, Paper No.1286, Thessaloniki, Grece, 12 p.
- BADALI J., DUTTA U., SERÓN F., BISWAS N. Three-dimensional imaging of shear wave velocity in the uppermost 30 m of the soil column in Anchorage, Alaska. *Geophysical Journal International*, Volume 158, Issue 3, 2004, p.983–997, ISSN 0956-540X, 1365-246X.

- BARDET J.P., LIN C.H., IDRIS I.M. *SHAKE 98. A Computer Program for Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits*. University of Southern California, Department of Civil Engineering, 1998, 41 p.
- BOORE D.M. Estimating  $V_s(30)$  (or NEHRP Site Classes) from Shallow Velocity Models (Depths < 30 m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 94, No. 2, April 2004, p. 591–597.
- BOORE D.M., JOYNER W.B. Site Amplifications for Generic Rock Sites. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 87, No. 2, 1997, p. 327–341, ISSN 0037-1106.
- Eurokód 8. STN EN 1998-1. Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 1. Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre pozemné stavby. Slovenská technická norma. 2005, 166 s.
- FEMA 450. *Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 2: Commentary*. 2003 Edition, Building Seismic Safety Council of the National Institute of Building Sciences, 2003, 395 p.
- HONGSHAN L. Characterization of different site category method on strong ground motion. *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing, China, 6 p.
- HRAŠNA M., VLČKO J. *Vysvetlivky ku inžiniersko geologickej mape Záhorskej nížiny 1 : 50 000*. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 1985, 104 s.
- IDRIS I. M., SUN, J.I. User's manual for SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits. Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil&Environmental Engineering, University of California, Davis, California, 1992, 47 p.
- KANLI A.I., TILDY P., PRÓNAY Z., PINAR A., HERMANN L.  $V_s^{30}$  mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey. *Geophysical Journal International*, 2006, 165, p. 223–235, ISSN 0956-540X, 1365-246X.
- SLOB S., HACK R., SCARPAS T., BEMMELEN B., DUQUE A. A methodology for seismic microzonation using GIS and SHAKE - a case study from Armenia, Colombia. *Engineering Geology for Developing Countries - Proceedings of 9<sup>th</sup> Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*. Durban, South Africa, 16 - 20 September 2002 - J. L. van Rooy and C. A. Jermy, editors. p. 2843-2852.
- VISKUP J. Modelovanie vplyvu ilovej vrstvy na špičkové hodnoty zrýchlenia PGA. In: *Seismologie a inženýrská geofyzika - minulosť, prítomnosť a budúcnosť*. Ostrava – Poruba. Ústav geoniky AV ČR, 2001, s. 123-127, ISBN 80-86407-00-4.
- VLČKO J. Využitie kvantitatívnych metód pri inžinierskogeologickom hodnotení prostredia. *Mineralia Slovaca*, Slovenská geologická spoločnosť, Bratislava, Vol. 12, No. 1, s. 43-51, ISSN 0369-2086.

---

**Autor**

<sup>1</sup> RNDr. Jozef Viskup, CSc., Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovensko, viskup@fns.uniba.sk, +421905268354