

POTRESNA MIKRORAJONIZACIJA LJUBLJANE

Seismic microzonation of Ljubljana

Polona Zupančič* UDK 550.343.4(497.4)Ljubljana)

Povzetek Abstract

Leta 2003 smo na Agenciji RS za okolje pripravili karto potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana (MOL) na podlagi uradne državne karte potresne nevarnosti – projektni pospešek tal. Ker smo leta 2011 pripravili novo karto potresne nevarnosti Slovenije – karto potresne intenzitete, smo v okviru projekta Ocena potresne ogroženosti Mestne občine Ljubljana mikrorajonizacijo MOL priredili za uporabo s to karto. Največje vrednosti pospeška tal in intenzitete lahko pričakujemo na območju Ljubljanskega barja (pospešek tal 0,640 g ter intenziteta IX EMS-98), najmanjše vrednosti pa na severnem, vzhodnem in južnem obrobju Ljubljanskega polja (pospešek tal 0,250 g ter intenziteta VII–VIII EMS-98). Obe potresni mikrorajonizaciji sta namenjeni uporabi v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami ter za izpopolnjeno statistično oceno potresnih učinkov na stavbe MOL.

In 2003, the municipality of Ljubljana seismic microzonation map was prepared by the Slovenian Environment Agency on the basis of the official seismic hazard map of Slovenia – a design ground acceleration. In 2011, a new intensity map of Slovenia was published, which was used as a basis for a new microzonation of the Ljubljana municipality as part of the project "Seismic Vulnerability Assessment for the Municipality of Ljubljana". The highest values of ground acceleration and intensity are expected in the Ljubljansko barje - moor area south of the city (ground acceleration 0.640 g and intensity IX EMS-98), while the lowest values are expected in the hills surrounding northern part of the city (ground acceleration 0.250 g and intensity VII – VIII EMS-98). Both microzonation maps should be used in the system of protection from natural and other disasters and to better define the seismic risk of the capital city.

Uvod

Karte potresne nevarnosti so sestavni del predpisov o potresno odporni gradnji in so poleg podatkov o ogroženih (prebivalci, gradbeni objekti, kulturni spomeniki, proizvodne zmogljivosti ipd.) in njihovi potresni ranljivosti tudi temeljni podatek za ocene potresne ogroženosti, na katerih temeljijo ukrepi civilne zaščite. Mikrorajonizacija je postopek, s katerim vključimo vpliv lokalne geološke zgradbe v oceno potresne nevarnosti. Učinki potresa na lokaciji so odvisni od več dejavnikov:

- žariščnih lastnosti potresa (magnituda, globina, oddaljenost, smer preloma in smer premika ob prelomu),
- regionalne geološke zgradbe (hitrost širjenja valovanja, dušenje), ki vpliva na pot potresnega valovanja med žariščem in bližino lokacije,
- lokalne geološke zgradbe (mehanske lastnosti, debelina in oblika sedimentacijskega bazena ter relief površja).

Kakšne bodo posledice potresa na objektu, je seveda odvisno tudi od potresne odpornosti oziroma ranljivosti objekta.

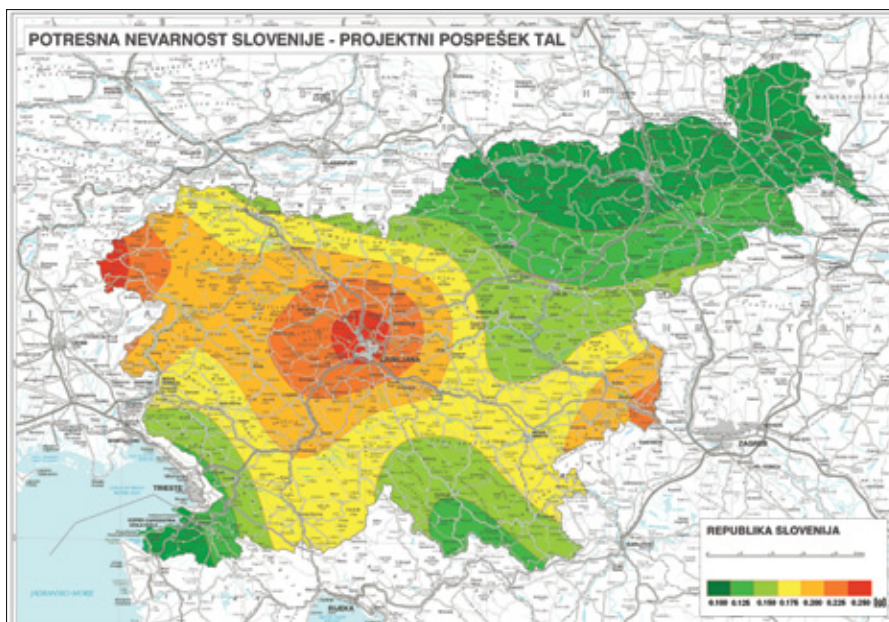
* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO,
Urad za seizmologijo in geologijo,
Dunajska cesta 47, Ljubljana, polona.zupancic@gov.si

Vpliv lokalne geološke zgradbe lahko ocenimo na več načinov. Kvantitativno ga upoštevamo s faktorjem tal, s katerim pomnožimo vrednosti projektnega pospeška tal, ki veljajo za referenčno trdno kamnino (Evrokod 8), včasih pa namesto faktorja tal uporabljamo tudi prirastek intenzitete, ki ga prištejemo k intenziteti na karti potresne nevarnosti. Pri obeh načinih si pomagamo z geološkimi in geofizikalnimi podatki ter dodatnimi terenskimi meritvami. Metode, ki proučujejo odvisnost intenzitete od geološke zgradbe, so predvsem eksperimentalne. Najbolj razširjen način so podrobne makroseizmične raziskave na naseljenih območjih po močnejšem potresu.

Na območju Ljubljane se srečujemo z zelo različnimi seizmogeološkimi razmerami, od zelo dobrih na obrobju, kjer so na površju permski in karbonski peščenjaki ter skrilavci, prek srednje dobrih na območju prodnih nanosov Save do najslabših na območju jezerskih in barjanskih sedimentov.

Mikrorajonizacija na podlagi standarda Evrokod 8 (EC8)

Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal (slika 1) je sestavni del predpisov o potresno



Slika 1:
Karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal s povratno dobo 475 let (Lapajne in sod., 2001)

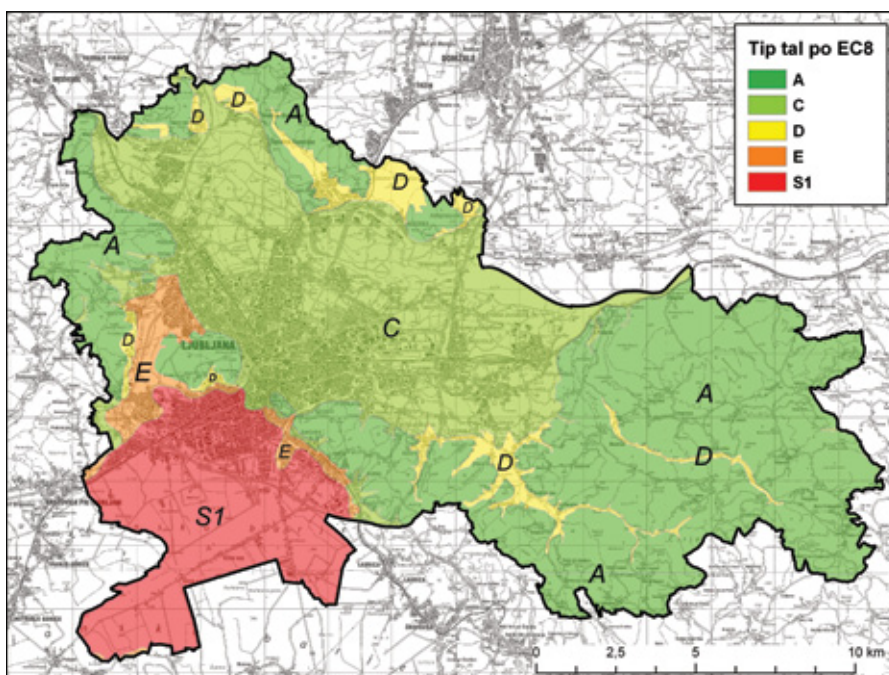
Figure 1:
Design ground acceleration map of Slovenia for return period 475 years (Lapajne et al., 2001).

odporni gradnji. Projektni pospešek tal je po EC8 enak maksimalnemu pospešku tal na tleh tipa A (trdna tla). Za druge vrste tal je treba projektni pospešek pomnožiti z ustreznim faktorjem tal S . Vpliv lokalnih tal na potresne učinke je v dokumentu Evrokod 8 (SIST EN 1998-1:2005, SIST EN 1998-1:2005/A101) oziroma EC8 na splošno zajet tako, da upošteva sedem tipov temeljnih tal: A, B, C, D, E, S_1 in S_2 , ki so opisani s stratigrafskim profilom in tremi parametri: hitrostjo strižnega valovanja v zgornjih 30 metrih, rezultatom standardnega penetracijskega preizkusa in strižno trdnostjo tal. EC8 predpisuje za različne tipe tal (B, C, D in E) faktor tal glede na tla tipa A (vrednosti faktorja tal so od 1,15 do 1,7). Za posebna tipa tal S_1 in S_2 pa faktor tal ni podan in ga je treba določiti s posebnimi raziskavami.

mikrorajonizacije Ljubljane za uporabo v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Tla smo klasificirali na podlagi EC8 in upoštevali priporočene ali na novo izračunane faktorje tal (slika 2, preglednica 1). Mikrorajonizacijo smo predstavili s karto pospeška tal (Zupančič in sod., 2003 in 2004).

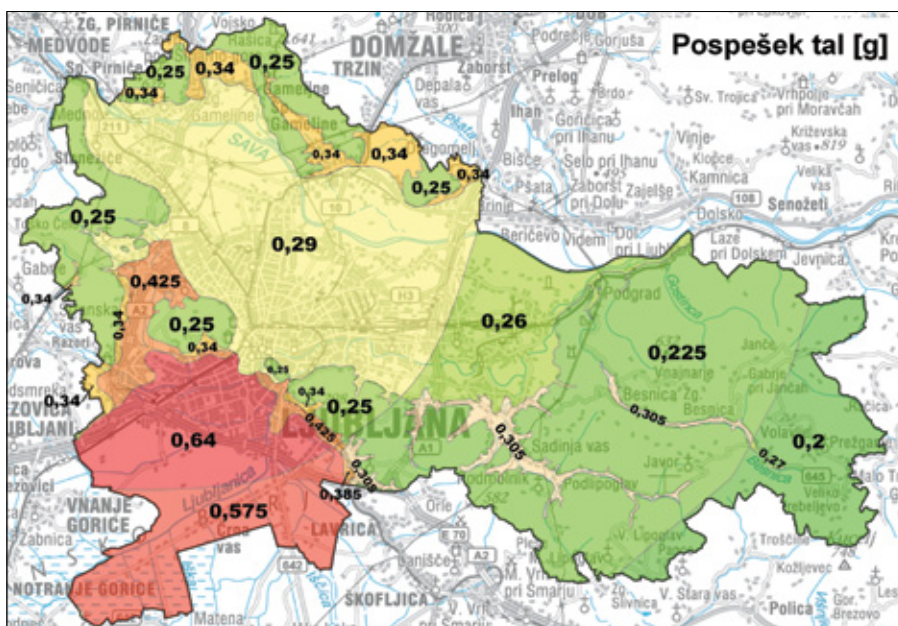
Državna karta projektnega pospeška tal (slika 1) ima na območju MOL tri različne vrednosti. Severozahodni del občine spada na območje, kjer so ocenjeni pospeški do 0,250 g, vzhodnejše pa sta cona s pospeški do 0,225 g in 0,200 g. Končne vrednosti pospeška tal na območju MOL so zaokroženi zmnožki projektnega pospeška tal z ustreznim faktorjem tal. Vrednosti so prikazane v preglednici 1 in na sliki 3.

Leta 2003 smo po naročilu Oddelka za zaščito, reševanje in civilno obrambo MOL pripravili karto potresne



Slika 2:
Karta tipov tal po EC8 za območje MOL

Figure 2:
Map of EC8 soil types for municipality of Ljubljana.



Slika 3:
Potresna mikrorajonizacija MOL: pospešek tal s povratno dobo 475 let
Figure 3:
Seismic microzonation of municipality of Ljubljana: ground acceleration for return period 475 years.

tip tal	faktor tal	projektni pospešek tal [g]		
		0,250	0,225	0,200
		pospešek tal [g]		
A	1,00	0,250	0,225	0,200
C	1,15	0,290	0,260	0,230
D	1,35	0,340	0,305	0,270
E	1,70	0,425	0,385	0,340
S ₁	2,55	0,640	0,575	0,510

Preglednica 1: Tip tal, faktor tal in končne vrednosti pospeška tal za območje Ljubljane
Table 1: Soil type, soil factor and calculated ground acceleration for Ljubljana area.

nevarnost v Ljubljani ocenjena z intenziteto VIII EMS-98, kar je na karti Slovenije tudi največja vrednost (slika 4).

V okviru projekta Ocena potresne ogroženosti Mestne občine Ljubljana, ki ga je financirala Mestna občina Ljubljana, smo leta 2012 mikrorajonizacijo MOL priredili in posodobili skladno s karto potresne intenzitete. Ker karta potresne intenzitete upošteva povprečna tla na območju, na katerem so bili podatki o intenziteti pridobljeni, je treba za slabše ali boljše seizmogeološke razmere od povprečnih določiti prirastek intenzitete. Prirastek je lahko tudi negativen, če so resnične razmere boljše. Po podatkih iz literature se ocene prirastkov zelo razlikujejo. Razlike med intenzitetami na najboljši in najslabši podlagi so lahko do dve intenzitetni stopnji (Medvedev, 1965; Mayer-Rosa in Jimenez, 2000, Giammarinano in sod., 2005, Feriche in sod., 2009, Sbarra in sod., 2012). Vzrok je predvsem ta, da so v prirastku intenzitete skriti vsi faktorji, ki vplivajo na prirastek intenzitete na neki lokaciji, in ne samo vpliv lokalnega tipa tal. Najpogostejša faktorja, ki poleg litološke zgradbe vplivata na intenziteto, sta podpovršinska oblika struktur (npr. oblika sedimentacijskega bazena) ter topografija površja.

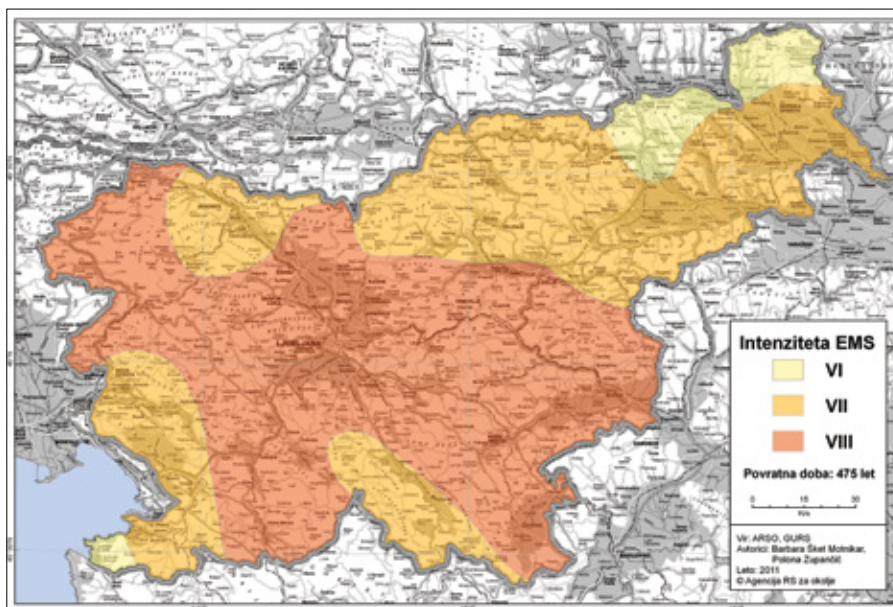
Mikrorajonizacija na podlagi intenzitete

Za potrebe civilne zaščite in za širšo javnost je namesto pospeška tal uporabnejša karta potresne intenzitete, saj prikazuje stopnjo pričakovanih potresnih učinkov na ljudi in objekte.

Na Agenciji za okolje smo leta 2011 pripravili novo karto potresne nevarnosti Slovenije – karto potresne intenzitete (Šket Motnikar in Zupančič, 2011) (slika 4). Tako kot karta projektnega pospeška tal je tudi karta potresne intenzitete izračunana za povratno dobo 475 let, kar ustreza 90 % verjetnosti, da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene. Pri izračunu so upoštevana povprečna resnična tla območja, na katerih so bile določene intenzitete, ki so bile uporabljene v modelu pojemanja. Večina podatkov o intenziteti potresov je bila zbrana v naseljih, ki pa v Sloveniji in okolici največkrat ležijo na aluvialnih naplavinah (tip tal B ali C po EC8). Po tej karti je potresna

Temelj za mikrorajonizacijo na podlagi intenzitete so bili raziskave in rezultati projekta iz leta 2003 (Zupančič in sod., 2003 in 2004), upoštevali pa smo tudi nekatere poznejše raziskave porazdelitve intenzitete na območju Ljubljane (Zupančič in Šket Motnikar, 2005, Jerše, 2012).

Leta 2004 je bila narejena prva primerjava porazdelitve intenzitete v odvisnosti od tipa tal ob (zmernih) potresih z uporabo makroseizmičnih vprašalnikov v Ljubljani (Zupančič in Šket Motnikar, 2005). Po potresih 12. 7. 2004 (zgornje Posočje, $M_L = 4,9$) ter 22. 9. 2004 (Moravče, $M_L = 3,6$) smo na območju Ljubljane razdelili vprašalnike Poročilo o učinkih potresa. Vprašalniki so bili razdeljeni v poštne nabiralnike individualnih hiš in stanovanjskih blokov na vnaprej določenih območjih, ki so na različnih geoloških podlagah (razdelitev v tipe tal po EC8). Vprašalnike



Slika 4:
Karta potresne intenzitete s povratno dobo 475 let (Šket Motnikar in Zupančič, 2011)
Figure 4:
Intensity map for return period 475 years (Šket Motnikar & Zupančič, 2011).

smo proučili s statističnimi metodami, da bi ugotovili povezavo med odgovori na posamezna vprašanja in tlemi, na katerih stoji objekt.

Najnovejša raziskava na področju porazdelitve intenzitet v Ljubljani je bila narejena v okviru diplomskega dela (Jerše, 2012). Raziskava je zajela širše območje Ljubljane, za katero so opredelili intenzitete na podlagi 1849 vprašalnikov, ki so se nanašali na 11 potresov med letoma 1998 in 2005. Intenzitete so določene za območja s polmerom do 5 kilometrov in obsegajo homogena tla, klasificirana po EC8 glede na mikrorajonizacijo iz leta 2003 (Zupančič in sod., 2003 in 2004) (slika 3). Za vsak potres je bila v vsakem poligonu ocenjena intenziteta po EMS-98.

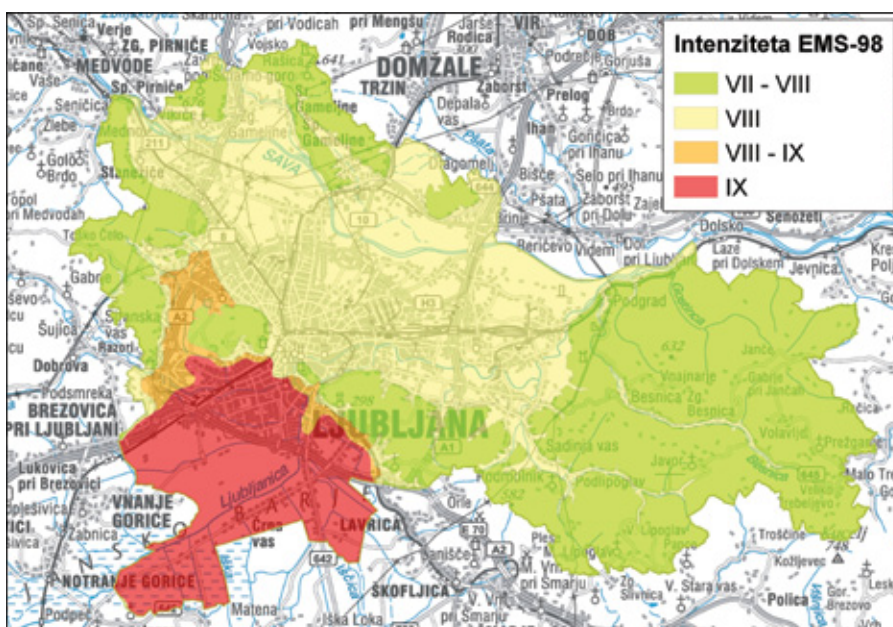
Največja pomanjkljivost obeh raziskav (Zupančič in Šket Motnikar, 2005; Jerše, 2012) so bili premajhni učinki (brez poškodb) vseh potresov na območju Ljubljane, zato včasih učinki med seboj niso jasno ločljivi. Rezultati ta-

kšnih raziskav bi bili pri močnejšem potresu lahko tudi drugačni zaradi nelinearnosti povezave med učinki in močju potresa.

Upoštevač omenjene raziskave smo pripravili karto mikrorajonizacije MOL na podlagi intenzitete (slika 5).

Na mezozojskih in paleozojskih sedimentih (glinasti skrilavec, peščenjak, apnenec in dolomit), ki gradijo severno ter vzhodno in južno obrobje Ljubljanskega polja, lahko pričakujemo manjše učinke od povprečja. To območje spada v intenziteto VII–VIII EMS-98.

Severni del mesta, ki leži na Ljubljanskem polju, nima prirastka intenzitete, saj je enak povprečnim tlem na karti potresne nevarnosti za povratno dobo 475 let. Torej je intenziteta na tem delu VIII EMS-98. Na območje intenzitete VIII EMS-98 smo vključili tudi glinast prod, peščeno glino in glino na območju Bizovika in Sadinje vasi, glino in



Slika 5:
Potresna mikrorajonizacija MOL: intenziteta za povratno dobo 475 let
Figure 5:
Seismic microzonation of municipality of Ljubljana: intensity for return period 475 years.

peščeno glino na območju Črnuč ter deluvij in nekatere nanose manjših potokov, ki so ocenjeni kot tip tal D po EC8. Razlog za tako odločitev so bile ugotovitve raziskave (Jerše, 2012), da so intenzitete enajstih potresov na teh tleh celo nekoliko nižje od intenzitet na tleh C.

Severno in severovzhodno obrobje Ljubljanskega barja je uvrščeno k tipu tal E po EC8. Rezultati raziskave (Jerše, 2012) so pokazali povišanje intenzitete potresov na tem tipu tal. To območje smo uvrstili v intenziteto VIII–IX EMS-98.

Vse dosedanje raziskave uvrščajo Ljubljansko barje na območje, kjer bodo učinki ob potresu največji. To območje smo uvrstili k intenziteti IX EMS-98.

Sklepne misli

Ljubljana spada med območja z največjo potresno nevarnostjo v Sloveniji. Tudi gostota prebivalstva, poslovnih objektov in infrastrukture je tu največja. Zato so bile v preteklem desetletju narejene raziskave ocen potresne nevarnosti in ogroženosti MOL. Mikrorajonizaciji na podlagi EC8 in intenzitete sta pokazali, da lahko pričakujemo največje učinke ob potresu na območju Ljubljanskega barja (največji pospešek tal 0,640 g ter intenziteta IX EMS-98). Potresno manj nevarno je severno in severovzhodno obrobje Ljubljanskega barja (največji pospešek tal 0,425 g ter intenziteta VIII–IX EMS-98). Najmanjše pospeške in intenzitete lahko pričakujemo na kamninah, ki gradijo severno, vzhodno in južno obrobje Ljubljanskega polja (največji pospešek tal 0,250 g ter intenziteta VII–VIII EMS-98). Obe potresni mikrorajonizaciji sta namenjeni uporabi v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami ter za izpopolnjeno statistično oceno potresnih učinkov na stavbe MOL. Za projektiranje pa je treba natančneje analizirati lokacijo objekta oziroma bi bilo treba za celovito potresno mikrorajonizacijo opraviti obsežne geofizikalne, geotehnične in seizmološke raziskave.

Neposredno oceno vpliva lokalnih tal lahko dobimo tudi s primerjavo zapisov potresov, opaženih na lokaciji, prekriti s sedimenti, z zapisi na skalni podlagi, doseženimi v vrtini, kar je redko izvedljivo, ali z zapisi na čim bližji točki, kjer je skalna podlaga na površju. Pomanjkljivost te sicer zelo zanesljive metode je, da moramo postaviti akceleroграfe na različne lokacije za daljši čas in čakati na primerne zapise potresov. Zato bi bilo smiselno, da bi postavili več stalnih opazovalnic za močne potrese na različnih geoloških podlagah na širšem območju Ljubljane in tako v prihodnosti pridobili pomembne podatke za določitev vpliva tal.

Viri in literatura

1. Feriche, M., Vidal, F., García, R., Navarro, M., Vidal, M. D., Montilla, P., Piñero, L., 2009. Earthquake Damage Scenarios in Vélez – Málaga urban area (Southern Spain) applicable to Local Emergency Planning. 8th International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction 15–18 March 2009, Almería, Spain.
2. Giammarinaro, M. S., Tertulliani, A., Galli, G., Leta, M., 2005. Investigation of Surface Geology and Intensity Variability in the Palermo, Italy, Urban Area after the 6 September 2002, Earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 95, 2318–2327.
3. Mayer-Rosa, D., Jimenez, M. J., 2000. Seismic zoning: State-of-the-art and recommendations for Switzerland, Geologische Berichte Nr. 26, Landeshydrologie und geologie, Bern.
4. Jerše, A., 2012. Makroseizmične raziskave vpliva geološke podlage na intenzitete nekaterih potresov na širšem območju Ljubljane. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana.
5. Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. Gradbeni vestnik 50, 140–149.
6. Medvedev, S. V., 1965. Inženjerska seizmologija (prevod v srbohrvaščino), Građevinska knjiga, Beograd, 268.
7. Sbarra, P., De Rubeis, V., Di Luzio, E., Mancini, M., Moscatelli, M., Stigliano, F., Tosi, P., Vallone R., 2012. Macroseismic effects highlight site response in Rome and its geological signature. Natural Hazards, Vol. 62, Issue 2, 425–443.
8. SIST EN 1998-1:2005 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
9. SIST EN 1998-1:2005/A101 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
10. Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2011. Karta potresne intenzitete Slovenije. Ujma 25, 226–231.
11. Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Gosar, A., Prosen, T., 2003. Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana za uporabo v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Končno poročilo. Agencija RS za okolje.
12. Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Gosar, A., Prosen, T., 2004. Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana. Potresi v letu 2002, 2004, št. 12, 32–54.
13. Zupančič, P., Šket Motnikar, B., 2005. Statistična obdelava vprašalnikov za potresa 12. 7. 2004 (zgornje Posočje) in 22. 9. 2004 (Moravče). Interno poročilo. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana.