

INSTRUMENTALNA INTENZITETA POTRESA

Earthquake instrumental intensity

Izidor Tasič* UDK 550.34.04.06

Povzetek Abstract

Instrumentalna intenziteta se izračuna iz podatkov največjih amplitud nihanj tal, ki so jih pri potresu zabeležile potresne opazovalnice. Prenos podatkov poteka med potresnimi opazovalnicami in centrom za obdelavo v realnem času, zato lahko skoraj takoj po potresu dobimo ocene o učinkih potresa, vendar sta za tako oceno potrebni gosta mreža seizmoloških instrumentov ter matematična relacija, ki povezuje makroseizmično intenziteto z amplitudo nihanj tal pri potresu. Taki sistemi že delujejo na območjih z gosto mrežo instrumentov v mestih, na primer v nekaterih predelih ZDA in Japonske.

Instrumental intensity is calculated from the largest amplitudes recorded at seismic stations. As data transmission between seismic stations and the processing centre is conducted in real time, information on earthquake effects is obtained almost immediately after the event. However, such assessment requires a dense network of seismic instruments and a mathematical relation linking the macroseismic earthquake intensity with data on seismic ground motion. Such systems are already in operation in urban areas with a dense network of instruments, such as some parts of the U.S.A. and Japan.

Uvod

Število potresnih opazovalnic v svetu zelo narašča. S povečevanjem števila potresnih opazovalnic na potresno ogroženih območjih se povečuje tudi število zapisov nihanj tal med potresom. Podobno kot se iz zapisov potresov izračuna magnituda potresa, lahko na njihovi podlagi ocenimo tudi učinke potresa na lokacijah, kjer so instrumenti postavljeni, vendar moramo poznati relacijo med amplitudo nihanj tal in učinki teh nihanj na objekte in ljudi. Z gosto mrežo seizmoloških instrumentov na potresno ogroženih območjih lahko dobimo podatke o razdelitvi gibanja tal na prizadetem območju veliko hitreje kot s poznejšim vizualnim pregledovanjem učinkov potresov in anketiranjem prizadetega prebivalstva z makroseizmičnimi vprašalniki. Zato lahko veliko hitreje, kot to omogoča klasični pristop, pripravimo karto intenzitet ogroženega območja. Tako določeni intenziteti pravimo instrumentalna intenziteta. Hkrati je mogoče pripraviti tudi bolj preprosto karto tresenja tal, ki obsega le podatke o največjih hitrostih in pospeških nihanj tal.

Zveza med magnitudo in intenziteto

Podatka, ki ju množična občila navajajo za vsak potres, sta magnituda potresa in nadžariščna intenziteta. Vsak potres namreč razvrstimo oziroma klasificiramo glede na njegovo relativno velikost (magnituda potresa) in

njegove največje učinke na ljudi, predmete, zgradbe ter naravo (nadžariščna intenziteta potresa). Podatek o velikosti potresa oziroma magnitudi je značilnost vsakega potresa ne glede na to, kje je njegovo žarišče. Magnituda je brezdimenzijsko število, velikost je določena na eno desetinko natančno, izračunamo pa jo iz instrumentalnega zapisa nihanja tal. Največji do zdaj znani potres je imel navorno magnitudo 9,5 in se je zgodil leta 1960 ob čilenski obali.

Intenziteta nam pove, kakšni so učinki potresa na površini Zemlje oziroma koliko škode je nastalo zaradi nihanj tal. Intenziteta je pogosto največja v okolici epicentra ali nadžarišča potresa in se zmanjšuje z oddaljenostjo. Klasifikacija učinkov potresa se določi po ogledu prizadetih območij oziroma pri šibkejših potresih s pomočjo vprašalnikov, ki jih izpolnijo prebivalci. Po določitvi intenzitet seizmologi narišejo izoseiste, torej krivulje, ki povezujejo točke z enakimi intenzitetami. Makroseizmične lestvice so opisne, zato gre deloma za subjektivno oceno strokovnjaka, ki na podlagi izkušenj in znanja priredi določeni mikrolokaciji stopnjo intenzitete. Izkušnje in znanje so pomembni tudi zato, ker so lahko učinki potresa zelo različni že na kratkih razdaljah zaradi lokalnih geoloških razmer, kompleksnosti nihanja tal, odziva konstrukcije na nihanje ter vrste in kakovosti konstrukcije. V nasprotju z magnitudo lestvice za intenziteto niso poenotene, zato se po svetu uporablja več tipov lestvic. Najdlje je bila v uporabi 12-stopenjska lestvica MCS, ki jo je na začetku 20. stoletja predlagal Mercalli, pozneje pa sta jo dopolnila Cancani in Sieberg in je prvič izšla leta 1912. Tej lestvici so rekli tudi Mercallijeva. Leta 1964 so Medvedev, Sponheuer in Karnik predstavili novo 12-stopenjsko lestvico

* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, izidor.tasic@gov.si

MSK, ki je bila pozneje večkrat dopolnjena in se je uporabljala tudi v Sloveniji. Razvoj znanosti in predvsem tragične izkušnje ob rušitvah armiranobetonskih konstrukcij so zahtevali razvoj nove lestvice in tako je nastala 12-stopenjska evropska potresna lestvica EMS (European Macroseismic Scale) (Grünthal, 1998), ki jo uporabljamo v nekaterih državah Evrope in tudi pri nas. V ZDA uporabljajo modificirano Mercallijevo lestvico (I_{MM}), na Japonskem pa 7-stopenjsko lestvico (I_{JMA}).

Na splošno lahko rečemo, da je razmerje med magnitudo potresa in njegovo intenziteto odvisno od več parametrov, predvsem od velikosti potresa, žarišnega mehanizma, razdalje med nadžariščem potresa in točko, kjer intenziteto opisujemo, od globine žarišča potresa ter lokalnih geoloških, geomehanskih in topografskih lastnosti, ki vplivajo na širjenje potresnih valov. Matematično sta magnituda in intenziteta povezani s številnimi empiričnimi formulami, ki so radialno simetrične glede na nadžarišče potresa, vključujejo pa lahko tudi globino žarišča. Namenjene so predvsem za določanje magnitude zgodovinskih potresov, o katerih obstajajo le opisi zaznave prebivalcev in poškodb v zgodovinskih virih.

Klasificiranje potresov glede na poškodbe se je začelo po letu 1755, po tako imenovanem velikem libonskem potresu, vendar opisovanje škode sega že v čase, ko je nastala pisana beseda in so začeli ljudje naravne pojave, ki so jih pretresli in prestrašili, zapisovati. Na podlagi teh podatkov poskušamo zgodovinskim potresom prirediti magnitudo, saj je vhodni podatek za ocenjevanje potresne nevarnosti. Magnitudo potresa ocenimo iz učinkov potresa tudi tedaj, ko je na voljo zelo omejeno število potresnih opazovalnic ali so zapisi potresa oziroma seizmogrami slabše kakovosti. Poglejmo si tak primer na potresu 10. oktobra 1982 na ilirskobistriškem območju z lokalno magnitudo $M_{LV} = 3,2$ ter oceno globine potresa med 6 in 13 kilometri. Ta potres smo zabeležili na dveh potresnih opazovalnicah v Sloveniji, in sicer v Ljubljani (oznaka LJU) in Goričah pri Cerkniskem jezeru (oznaka CEY). Opazovalnici sta bili analogni. Potresna opazovalnica CEY je bila prekrmljena, zato ni bilo mogoče oceniti magnitude. Na ljubljanski opazovalnici je bila izračunana lokalna magnituda 2,6, vendar pa markoseizmično polje (slika 1) ni bilo v skladu z izračunom magnitude z ljubljanske opazovalnice. Za ta potres je bilo pripravljeno poročilo, ki skupaj s kartami obsega 42 strani (Vidrih, 1983).



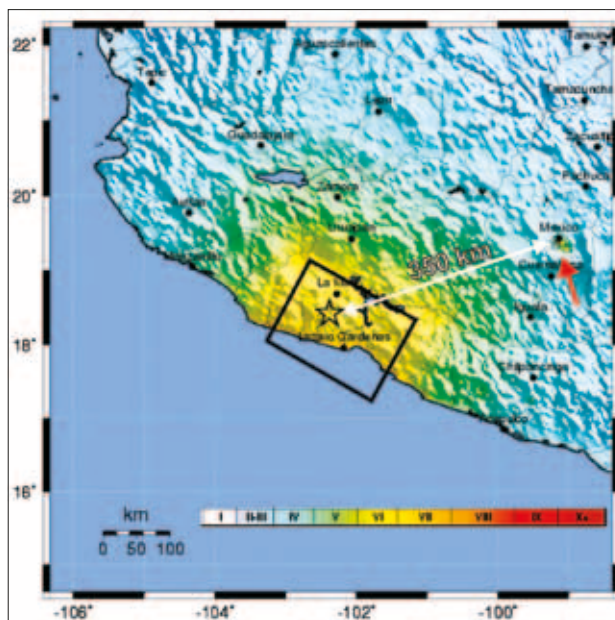
Slika 1: Učinki potresa oziroma intenzitete 10. oktobra 1982 na ilirskobistriškem območju (Vidrih, 1983)
 Figure 1: Earthquake effects (intensity) on 10 October 1982 in the Ilirskobistriška area (Vidrih, 1983).

Povzemimo nekatere najbolj zanimive ugotovitve: »Prebivalci jugozahodne Slovenije so potres občutili v dveh sunkih, od katerih je bil prvi močnejši. Glavni potres je bil ob 6. uri in 25 minut v nedeljo zjutraj, tako da je v epicentralnem območju večino prebivalstva zbudil. Makroseizmični polmer (povprečna razdalja od žarišča do roba območja, znotraj katerega so potres čutili vsi prebivalci in ustreza intenziteti 3) je okoli 30 kilometrov, kar bi ustrezalo potresu z magnitudo 3,5 in globino 11,4 kilometra.«

Kot vidimo, smo s pomočjo makroseizmičnega polja kljub pomanjkljivemu številu zapisov potresa lahko natančneje opredelili tako magnitudo kot tudi globino potresa. Danes vemo, da so žarišča potresov na tem območju med 10 in 20 kilometrov globoko pod zemljo, tako da je ocena za globino s pomočjo makroseizmičnega polja zadovoljiva. Zakaj je prišlo do take razlike v izračunu magnitude na potresni opazovalnici v Ljubljani, je danes težko presoditi. Eden izmed razlogov je lahko v spremembi lastnosti seizmografa, saj so bili analogni instrumenti zelo občutljivi in so se lahko parametri prenosne funkcije tudi v kratkem času bistveno spremenili.

Radialna funkcija ni vedno dober približek

Na splošno velja, da bližje ko smo nadžarišču, večji so učinki potresa in večja bo intenziteta. To ni vedno nujno, saj so lahko zaradi lokalnih seizmogeoloških razmer večji učinki tudi na večji oddaljenosti od nadžarišča potresa. Izrazit primer, pri katerem so bili učinki bistveno drugačni, kot bi pričakovali glede na oddaljenost območja od nadžarišča potresa, je bil potres v Mehiki 19. septembra 1985, ko jo je prizadel potres z magnitudo 8,1, njegovo nadžarišče pa je bilo na mehiški obali Tihega oceana. Potres so čutili na več kot 825.000 kvadratnih kilometrih, celo v Los Angelesu in Houstonu. V pristanišču Lázaro Cárdenas, ki je bilo najbližje nadžarišču potresa, je intenziteta dosegla stopnjo 9 po modificirani Mercallijevi lestvici. Tudi nekateri deli glavnega mesta Mehike Ciudad de Mexico so dosegli isto stopnjo intenzitete, čeprav je mesto oddaljeno več kot 350 kilometrov od žarišča potresa (slika 2). V mestu je bilo popolnoma porušeni več kot 400 zgradb, več tisoč pa močno poškodovanih (USGS, 2010). Zaradi potresa je umrlo približno 10.000 ljudi, po nekaterih podatkih celo do 35.000, večinoma v glavnem mestu Mehike. Dan pozneje je popotresni sunek z magnitudo 7,5 stresel isto območje kot glavni potres, vendar kljub še vedno veliki magnitudi v 350 kilometrov oddaljenem glavnem mestu ni povzročil velike škode. Zakaj je prišlo do tako katastrofalnih posledic v glavnem mestu kljub razmeroma veliki oddaljenosti od nadžarišča potresa, in to le pri glavnem potresu? Primarni razlog je ta, da je središče glavnega mesta Mehike zgrajeno na zelo slabih tleh v seizmičnem smislu. Zgrajeno je namreč na območju, kjer je bilo v davni preteklosti jezero Texcoco. Nad dnom nekdanjega jezera so mulj in vulkanski sedimenti z veliko vsebnostjo



Slika 2: Potres v Mehiki leta 1985 z magnitudo 8,1 je največ škode in smrtnih žrtev povzročil v mestu Ciudad de Mexico, ki je bilo od nadžarišča potresa oddaljeno več kot 350 kilometrov. Kljub veliki oddaljenosti so neugodne seizmogeološke razmere v kombinaciji z žariščnim mehanizmom potresa povzročile v glavnem mestu Mehike smrt več tisoč ljudi (USGS, 2009; USGS, 2010).

Figure 2: The earthquake in Mexico in 1985 with the magnitude of 8.1 caused the most damage and deaths in Mexico City, more than 350 km from the epicentre. Despite the great distance, unfavourable seismo-geological conditions, in combination with the earthquake focal mechanism, resulted in the deaths of several thousand people in the capital of Mexico (USGS, 2009; USGS, 2010).

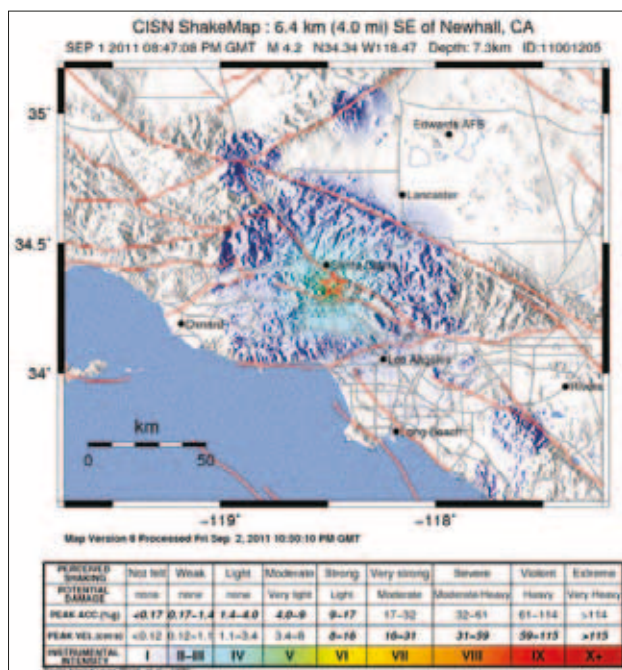
vode ter debelino plasti med 7 in 30 metri, nad to plastjo pa je še plast peska in skal. V seizmičnem smislu je to zelo slaba podlaga. Po nesrečnem naključju so velikost potresa in njegov žariščni mehanizem ter razdalja žarišča potresa do glavnega mesta povzročili, da so potresni valovi prišli na to območje s takšno frekvenco, da je zaradi neugodnih seizmogeoloških razmer prišlo do lokalne krepitve nihanj tal in s tem do rušilnih učinkov. Porušile so se predvsem višje stavbe, ki so imele od 5 do 15 nadstropij in so prišle v resonanco z mehкими jezerskimi sedimenti.

Tudi v Sloveniji bi lahko našli podobne primere, vendar na srečo ne s tako katastrofalnimi učinki. Potres v Posočju 12. julija 2004 z lokalno magnitudo 4,9 je bil približno 10-krat šibkejši od potresa 12. aprila 1998 z magnitudo 5,6. Čeprav je bila velikost potresa leta 2004 bistveno manjša od potresa leta 1998 in je bila oddaljenost nadžarišč obeh potresov med seboj le dva kilometra, so bili leta 2004 učinki ponekod v Čezsoči in tudi v nekaterih predelih Bovca (Brdo) povečani. Potres leta 2004 z magnitudo 4,9 je povzročil največje učinke med VI. in VII. stopnjo po lestvici EMS prav v vasi Čezsoča in okolici ter nekaterih predelih Bovca (Vidrih, 2008).

Instrumentalna intenziteta

Opisani primeri so na srečo redki, vendar kažejo na pomankljivosti zveze, ki magnitudo in intenziteto povezuje z radialno funkcijo. Na intenziteto vplivajo še lokalne geološke razmere, ki ne obsegajo le mikrolokacije, temveč tudi kompleksni vpliv celotne tridimenzionalne strukture, in sicer oblike doline, smeri prihoda potresnih valov, 3D-oblike geološke podlage itn. Na splošno je lahko v neugodnih seizmogeoloških razmerah prirastek intenzitete tudi za dve stopnji. Z radialno funkcijo bi učinke potresa leta 1985 v Ciudadu de Mexicu zelo napačno ocenili. Če bi imeli v glavnem mestu Mehike več seizmoloških instrumentov, bi lahko na podlagi zapisov nihanj tal ocenili povečanje nihanja tal med potresom. Učinki potresa bi bili znani že v realnem času.

V Kaliforniji so za hitro obveščanje razvili sistem, ki na podlagi instrumentalnega beleženja tal oceni instrumentalno intenziteto in se generira samodejno, takoj po potresu, v realnem času (Wald in drugi, 1999). Ta informacija je na voljo tako laični javnosti kot tudi strokovnim službam. Na sliki 3 je primer predstavitve učinkov potresa z magnitudo 4,2, ki se je zgodil septembra 2011 v južni Kaliforniji. Vhodna podatka za izračun instrumentalne intenzitete sta vršni pospešek tal (ang. Peak Ground Acceleration – PGA) in vršna hitrost tal (ang. Peak Ground Velocity – PGV) pri potresu. To so lahko naredili zato, ker imajo v vlemestih Los Angeles in San Francisco zelo gosto mrežo seizmoloških instrumentov, predvsem pospeškometrov, ki so telemetrično povezani s središčem za obdelavo podatkov. Postopek izračuna



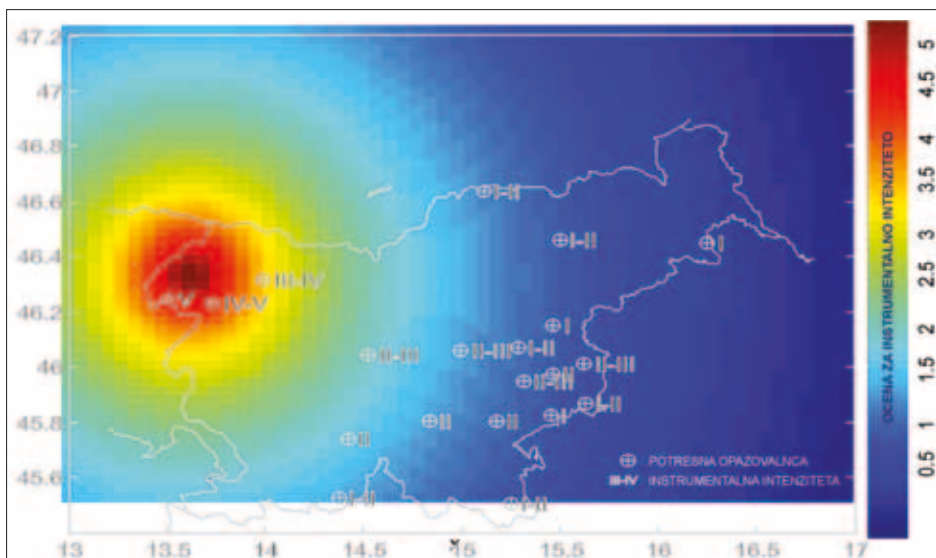
Slika 3: Primer predstavitve predvidenih učinkov potresa s pomočjo instrumentalne intenzitete za potres v južni Kaliforniji (USGS, 2011)

Figure 3: Example of anticipated earthquake effects in Southern California, using instrumental intensity shake maps (USGS, 2011).

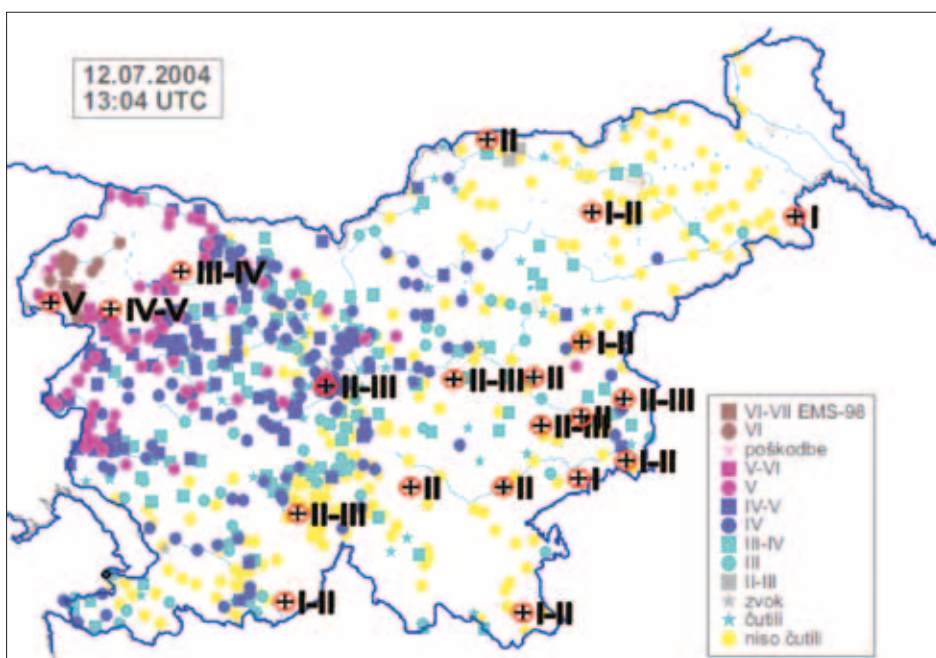
instrumentalne intenzitete so pripravili na podlagi osmih močnih potresov, ki so se zgodili v Kaliforniji in za katere imajo razmeroma dobro bazo zapisov potresov ter ocen intenzitet. Ti potresi so bili leta 1971 San Fernando z $M = 6,6$; leta 1979 Imperial Valley z $M = 6,5$; leta 1986 North Palm Springs z $M = 6,1$; leta 1987 Whittier z $M = 5,9$; leta 1989 Loma Preita z $M = 6,9$; leta 1991 Sierra Madre z $M = 5,8$; leta 1992 Landers z $M = 7,3$ in leta 1994 Northridge z $M = 6,7$. Pri primerjavi PGA in PGV ter makroseizmično določenih intenzitet so ugotovili, da daje pri nižjih intenzitetah PGA kot vhodni podatek za instrumentalno intenziteto primerljive rezultate z resnično intenziteto. Pri višjih intenzitetah so dobili boljše ujemanje med instrumentalno in makroseizmično intenziteto, če so uporabili za vhodni podatek PGV. Uporaba PGA za oceno nižje intenzitete je intuitivno v skladu z dejstvom, da nižje intenzitete ($< VI$) določimo na podlagi učinkov, ki jih čutijo ljudje, višje stopnje intenzitete pa na podlagi stopnje poškodovanosti zgradb. Pri nižjih intenzitetah so ljudje bolj občutljivi na pospešek tal kot na hitrost nihanja tal, zato je zveza med PGA in intenziteto pri nizkih intenzitetah razumljiva. Pri intenzitetah med V in VIII pride pogosto do poškodb konstrukcij »krhkega tipa«, kot so dimniki in nearmirane zidane stene, ki so občutljive na pospeške pri višjih frekvencah. Pri višjih intenzitetah je škoda na objekti posledica porušitve elementov prožnejših struktur; pri čemer pa višja hitrost nihanja tal postane pomembnejši faktor kot pospešek tal (Wald in drugi, 1999).

Še vedno velja, da je natančnost tako ocenjene intenzitete odvisna od oddaljenosti opazovane lokacije glede na najbližjo potresno opazovalnico. Bližje je opazovana lokacija potresni opazovalnici, natančnejša je ocena intenzitete. Večja ko je oddaljenost, bolj se uporabljajo postopki, povezani s standardnimi seizmološkimi sklepanji o učinkih, ki temeljijo na linearnih interpolacijah med merilnima mestoma.

Vrnimo se na potres v Posočju leta 2004. Na sliki 4 sta prikazani lokacija potresnih opazovalnic in izračunana instrumentalna intenziteta za posamezno lokacijo, pri čemer so bile za izračun uporabljene le vrednosti PGV (Wald in drugi, 1999) iz seizmografov državne mreže potresnih opazovalnic. Za oceno instrumentalne intenzitete za druga območja smo uporabili radialno funkcijo s središčem v žarišču potresa in z upadanjem največje amplitude glede na oddaljenost od žarišča potresa. Upadanje amplitude nihanja tal z razdaljo smo ocenili na podlagi resničnih zapisov potresa na potresnih opazovalnicah, na vertikalni komponenti, s pomočjo nelinearnega približka po metodi najmanjših kvadratov, pri čemer pa žariščnega mehanizma nismo upoštevali. Na sliki 5 je za podlago uporabljena makroseizmično določena intenziteta (Cecić in drugi, 2005). Na podlagi primerjave obeh slik lahko sklepamo, da do razlik med instrumentalno intenziteto in makroseizmično določeno intenziteto pride na območjih, kjer ni bilo seizmografov. To velja predvsem za Čezsočo v neposredni bližini nadžarišča. Seizmografi državne mreže so v splošnem postavljeni na



Slika 4:
Izračunana instrumentalna intenziteta za potres v Posočju leta 2004 na podlagi podatkov državne mreže potresnih opazovalnic
Figure 4:
Calculated instrumental intensity of the earthquake in Posočje in 2004, based on the data from the Slovenian national seismic network.



Slika 5:
Primerjava makroseizmično določenih intenzitet (Cecić in drugi, 2005) in instrumentalnih intenzitet, izračunanih na lokacijah opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic za potres v Posočju leta 2004
Figure 5:
Comparison of macroseismic (Cecić and others, 2005) and instrumental intensities, calculated at Slovenian seismic stations' locations for the Posočje earthquake in 2004.

dobrih tleh v seizmičnem smislu, zato na teh lokacija ne pride do povečanja intenzitete. Iz tega bi lahko povzeli, da državna mreža potresnih opazovalnic ni dovolj gosta, da bi le na podlagi meritev iz te mreže lahko pripravili zadovoljivo karto instrumentalne intenzitete tudi v mestih. Karta bi bila zadovoljiva za prvo oceno, vendar bi potrebovali še podatke z merilnih lokacij v mestih. Za območja, kjer nimamo postavljenih seizmoloških instrumentov in zato ne moremo neposredno izračunati instrumentalne intenzitete, bi bilo treba upoštevati še vpliv geološke podlage, ki jo dobimo s pomočjo potresne mikrorajonizacije (npr. Zupančič in drugi, 2003; Gosar, 2007). Upoštevati bi bilo treba tudi žariščni mehanizem, ki ga danes samodejno v skoraj resničnem času računajo le večji centri po svetu, kot je na primer v ZDA v U. S. Geological Survey (USGS), pa še to le za močnejše potrese.

Sklepne misli

Prednost instrumentalne intenzitete je v hitrosti pridobivanja informacij, ker lahko zelo hitro ocenimo poškodbe zaradi potresa na opazovanem območju, vendar ima še vedno dve veliki pomanjkljivosti. Prva je ta, da je njena natančnost odvisna od gostote seizmološke mreže, predvsem v mestih. Druga pomanjkljivost je povezana z relacijo, ki povezuje nihanje tal in učinke. Odzivanje tal na vsiljeno nihanje potresa je zelo kompleksno in ga težko opišemo z linearnimi zvezami, zato so nekateri avtorji iskali zvezo med EMS in nihanjem tal tudi s pomočjo umetnih nevronske mreže. Še težje se pri tem upošteva kompleksen odziv zgradb, za katere pogosto niti ne vemo, kako so bile resnično zgrajene, zato ponekod uvajajo še tako imenovano potresno inženirsko intenziteto (Freeman in drugi, 2004). Ta temelji na izračunu odziva zgradb na nihanje tal in je namenjena za gosto naseljena območja.

Kako je v Sloveniji? Zagotovo bi bilo dobro imeti v mestih, v katerih je potresna ogroženost povečana, zgoščeno mrežo seizmoloških instrumentov, predvsem pospeškometrov (Lapajne in drugi, 2001). Informacijska tehnologija omogoča povezovanje vedno več objektov v skoraj realnem času. Postavitev merilnikov pospeškov torej s stališča komunikacijske hrbtenice ne pomeni več tako velike težave, kot jo je še pred leti, vendar je cena kakovostnih pospeškometrov še vedno prevelika za številčnejšo vgradnjo v temelje zgradb, kar bi pripomoglo k hitri informaciji o odzivu zgradb na naseljenih območjih. Na tržišču so sicer že nizkocenovni pospeškometri, vendar je njihova kakovost še vedno preslaba. Informacijska tehnologija se hitro razvija, s tem pa se hitro razvijajo tudi vzporedni produkti, ki temeljijo na informacijski tehnologiji, zato lahko pričakujemo, da se bo v (bližnji) prihodnosti kakovost nizkocenovnih pospeškometrov toliko izboljšala, cena pa zmanjšala na nekaj deset evrov, da bo mogoča vgradnja v temelje vseh pomembnih javnih objektov, kot so vrtci, šole, bolnišnice in drugo. V tem času se bo razvijal tudi postopek za čim boljše določitev instrumentalne intenzitete tudi za območja, ki jih ne pokrivamo s seizmološkimi instrumenti, pri čemer bo imela pomembno vlogo potresna mikrorajonizacija.

Viri in literatura

1. Cecić, I., Živčić, M., Jesenko, T., Kolar, J., 2005. Potresi v Sloveniji leta 2004, Potresi v letu 2004, ARSO, Ljubljana.
2. Lapajne, K. J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Karta potresne nevarnosti Slovenije, MOP – Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47/VII, 1000 Ljubljana, http://www.arso.gov.si/potresi/podatki/tolmac_pospeska_tal.html (dostopano 30. 3. 2012).
3. Freeman, A. S., Irfanoglu, A., Paret, F. T., 2004. Earthquake Engineering Intensity Scale: a template with many uses. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B. C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 1667.
4. Gosar, A., 2007. Raziskave vpliva lokalne geološke zgradbe na potresno nihanje tal in ranljivosti objektov z mikrotremorji, *Geologija* 50/1, 65–76, Ljubljana, 2007; *Geologija* 50/1, 65–76, Ljubljana, 2007.
5. Grünthal, G. (Editor), 1998. European macroseismic scale 1998, *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Vol. 15, Luxembourg, 1–99.
6. USGS, 2009. Shakemap atlas, Michoacan, Mexico, 1985; U. S. Department of the Interior | U. S. Geological Survey, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/atlas/shake/198509191317> (dostopano 30. 3. 2012).
7. USGS, 2010. Historic Earthquakes, Michoacan, Mexico, 1985; U. S. Department of the Interior | U. S. Geological Survey, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1985_09_19.php (dostopano 30. 3. 2012).
8. USGS, 2011. Shakemap atlas, Newhall, CA 2011; U. S. Department of the Interior | U. S. Geological Survey, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/sc/shake/11001205/> (dostopano 30. 3. 2012).
9. Vidrih, R., 1983. Poročilo o potresu dne 10. 10. 1982 na ilirsko-bistriškem področju, Seizmološki zavod RS Slovenije, Ljubljana, Interno poročilo.
10. Vidrih, R., 2008. Potresna dejavnost zgornjega Posočja. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 509 p., Ljubljana.
11. Zupančič, P., Šket, M. B., Gosar, A., Prosen, T., 2003. Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Slovenije, MOP – Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47/VII, 1000 Ljubljana, 2003, http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/karta_mikrorajonizacije_lj.html (dostopano 30. 3. 2012).
12. Wald, J. D., Quitoriano, V., Heaton, H. T., Kanamori, H., 1999. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Intensity in California, *Earthquake Spectra* 15, pp. 557–564 (1999); doi:10.1193/1.1586058.