

POTRES 12. JULIJA 2004 V ZGORNJEM POSOČJU IN KARTA POTRESNE NEVARNOSTI – VPLIV ZMANJŠANJA POTRESNE ODPORNOSTI IN USMERJENOSTI PRETRGA Earthquake of July 12, 2004 in Posočje and Seismic Hazard Map - the Influence of Seismic Resistance Reduction and Rupture Directivity

Janez Lapajne * UDK 550.34(497.4 Posočje)“2004”

Povzetek Abstract

V zadnjih treh desetletjih so se tla v Zgornjem Posočju močno stresla v letih 1976, 1998 in 2004. Ob zadnjem, ki je bil v primerjavi s predhodnimi potresi najšibkejši, se zastavljata dve vprašanji: zakaj so bile v tem potresu poškodovane hiše, ki so potrese v letih 1976 in 1998 prestale brez vidnih poškodb, in zakaj so bile na dveh opazovalnicah – v Bovcu in Drežnici zabeležene vrednosti vršnega pospeška tal, ki so znatno presegle vrednosti v uradni karti projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let. Omenjene poškodbe hiš je mogoče pojasniti z domnevo, da se je tem in seveda tudi drugim hišam v preteklih potresih bistveno zmanjšala potresna odpornost, čeprav se to morda še ni pokazalo v vidnih poškodbah, prišle pa so na dan ob zadnjem potresu. Podobno lahko sklepamo tudi za nekatere delno utrjene hiše v popotresni obnovi. Kot kažejo analize potresnih zapisov, velikih vrednosti vršnega pospeška tal ni mogoče pripisati le učinku lokalnih tal. Glede na podobne pojave v svetu je najbolj utemeljena domneva, da je poleg vpliva lokalnih tal velike vrednosti pospeška povzročila predvsem bližina potresnega prelomnega pretrga, še zlasti učinek usmerjenosti pretrga.

In 1976, 1998 and 2004 earthquakes strongly affected the Upper Soča Valley in Slovenia. The magnitude of the earthquake in 2004 was the smallest (4.9) of the four earthquakes (6.5 in May 1976 and 6.0 in September 1976, and 5.6 in 1998). Nevertheless, it causes some striking effects. Some houses, which were apparently undamaged in the previous events, suffered serious damage in the last earthquake. In addition, two accelerometers out of three installed after the 1998 earthquake in the broader epicentral region, registered high peak ground accelerations that considerably exceeded design ground acceleration in the official seismic hazard map for the return period of 475 years. The damage to the aforementioned houses can be simply explained by the assumption that the seismic resistance of those, as well as other houses, was significantly diminished in the previous earthquakes. Analyses of strong motion registration showed that high values can only be partly explained by local soil conditions. The proximity of the seismic source, and especially the rupture directivity, are probably the main causes of the extremely high peak ground accelerations, velocities and spectral values.

Uvod

V zadnjih treh desetletjih se je zahodna Slovenija večkrat močno zatresla. Leta 1976 se je to zgodilo v vrsti potresnih sunkov v maju (najmočnejši 6. maja z magnitudo 6,5) in v septembru (najmočnejši 15. septembra z magnitudo 6). Takrat je bilo sicer žarišče potresov v sosednji

Furlaniji, kjer je bilo precej smrtnih žrtev, zaradi velike moči glavnega potresa in nekaterih popotresov pa so bila zelo poškodovana tudi mesta in vasi v Zgornjem Posočju. 12. aprila 1998 in 12. julija 2004 pa je bilo žarišče potresov v globinah krnskega pogorja, zato sta dva glavna potresa (ki so jima sledili številni popotresi) kljub manjši moči (magnituda 5,6 leta 1998 in 4,9 leta 2004) tudi imela hude posledice v tem delu Posočja. V tem prispevku potresi, ki so bili podrobno opisani v številnih člankih in

* Dr., Bernikova 3, Domžale, jlapajne@siol.net

referatih, podatke pa je mogoče najti tudi na medmrežju, niso obravnavani. Zanimajo nas nekateri pojavi ob potresu leta 2004, ki glede na velikost potresa niso bili v skladu s pričakovanji in so presenetili laično in strokovno javnost. Pojavila so se vprašanja, ki se nanašajo na razumevanje potresnega dogajanja v bližini potresnega prelomnega pretrga in poškodbe objektov v povezavi z dosedanjim, pa tudi prihodnjim ocenjevanjem potresne nevarnosti na širšem nadžariščnem območju.

Projektiranje navadnih objektov v Sloveniji in s tem tudi v Posočju urejata dva dokumenta: 1) še vedno veljavni Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Uradni list SFRJ, 1981) in 2) evropski standard Eurocode 8, 1. del, v nadaljevanju označen kot EC8-1 (CEN, 2004), ki je trenutno v postopku sprejemanja in je bil že v različici evropskega predstandarda (CEN, 1994) sprejet leta 1995 kot predstandard po metodi platnice, nato preveden in uradno sprejet kot slovenski predstandard (URSSM, 2000; SIS, 2001). Pravilnik iz leta 1981 se od leta 1990 dalje (UL SFRJ, 1990) opira na karto potresne intenzitete po lestvici MSK (avtorji: Medvedev, Sponheuer, Karnik) za tla II. kategorije (»srednja tla« v slovenskem pravilniku iz leta 1963 in jugoslovanskem iz leta 1964) za povratno dobo 500 let (ki je bila sicer izdelana že leta 1987, v pravilnik pa je bila uradno vključena tri leta pozneje). EC8-1 temelji na karti projektnega pospeška za trdna tla za povratno dobo 475 let (Lapajne in drugi, 2002).

Intenzitete MSK na karti so bile po uveljavitvi nove evropske potresne lestvice EMS (European Macroseismic Scale) preprosto sprejete tudi kot intenzitete EMS, saj je lestvica EMS dejansko posodobljena lestvica MSK. Je pa opis posameznih stopenj v lestvici EMS bolj izpopolnjen in temelji izključno na poškodbah objektov. Pred izidom karte projektnega pospeška tal leta 2001 je potresno odporno projektiranje navadnih objektov po slovenskem predstandardu tudi temeljilo na omenjeni karti intenzitete, pri čemer pa so bile njenim vrednostim prirejene ustrezne vrednosti projektnega pospeška tal, in sicer: intenziteti VI, pospešek 0,05 g, intenziteti VII, pospešek 0,10 g, intenziteti VIII, pospešek 0,20 g in intenziteti IX, pospešek 0,35 g. Te vrednosti so bile povzete po prireditvah pospeška intenzitetam v lestvici MSK (razen za intenziteto IX, ki ji je v lestvici MSK prirejen pospešek 0,4 g) in naj bi pomenile učinkovite vrednosti vršnega pospeška tal, ki povzročajo opisane poškodbe objektov pri posameznih intenzitetah. Lestvica EMS v primerjavi z lestvico MSK ne vključuje povezave med intenziteto in pospeškom. Posamezni intenziteti lahko namreč priredimo velik razpon njegovih vrednosti, določitev učinkovitih vrednosti pa ni niti preprosta niti enolična. Poleg tega pospešek tal sploh ni najpomembnejša posamezna fizikalna veličina, ki vpliva na intenziteto.

Potres 12. aprila 1998 in potresna intenziteta

Uradno veljavna karta potresne intenzitete za povratno dobo 500 let, ki jo je kot del seizmološke karte Jugoslavije leta 1987 za ozemlje Slovenije izdelal prof. dr. Vlado Ribarič (Uradni list SFRJ, 1990), kaže, da je ožjemu območju Bovca pripisana intenziteta VIII po MSK, širši okolici pa VII-IX po MSK. Vrednosti intenzitete se nanašajo na II. kategorijo tal. Tla II. kategorije so opredeljena v 9. členu pravilnika iz leta 1981 kot »gosta in polgosta tla ter zelo gosta in trda tla, debeline več kot 60 m, iz stabilnih slojev proda, peska in trde glinice na trdno geološko formacijo« (Uradni list SFRJ, 1981).

Potres 12. aprila 1998 z magnitudo 5,6 je dosegel največjo intenziteto VII-VIII po EMS (Gosar in drugi, 1999; Živčič in drugi, 1999) na ožjem območju Bovca in okolice. Pri tem so vključene vse vrste tal (in drugi dejavniki, ki bodo obravnavani v nadaljevanju), ki odstopajo od opredelitve II. kategorije tal. Ocenjena intenziteta ni nikjer preseгла projektne intenzitete v uradni karti (pri čemer ni upoštevana možnost, da je potres morda dosegel intenziteto VIII kje na tleh I. kategorije, karta pa predvideva to vrednost na tleh II. kategorije, na tleh I. kategorije pa ustrezno manj).

Zapisov z ožjega potresnega območja med glavnim potresom ni, ker na tem območju takrat ni bilo instrumentov. Zato ni podatkov o tem, kakšni so bili fizikalni parametri gibanja tal, npr. vršni pospešek tal in spektralni pospešek. Glede na ocenjeno intenziteto in omenjeno povezavo med intenziteto in učinkovitim vrednostmi vršnega pospeška tal pa naj bi bil ta med 0,10 g in 0,20 g. To domnevo je upravičevala tudi na analizi poškodb neutrjenih stavb temelječa ugotovitev, »da vrednosti učinkovitih pospeškov tal med potresom 12. aprila 1998 niso presegle vrednosti 0,15, kar je nekoliko manj, kot je vrednost računskega pospeška tal, ki ga zahteva Eurocode 8 za preverjanje potresne odpornosti konstrukcij na območjih, kjer lahko pričakujemo potrese VIII. stopnje jakosti po EMS-lestvici [...0,2 g]« (Tomažević in drugi, 1999).

Potres v Zgornjem Posočju leta 1998 zato ni spodbudil nobenih kritičnih vprašanj glede učinkov potresa in ocenjenega projektnega pospeška, ki je bil opredeljen z intenziteto po MSK na uradno veljavni karti. Potres tudi ni vnesel dvomov o ustreznosti potresne sanacije hiš po potresu leta 1998, saj so strokovnjaki za sanacije ugotovili: »Analiza obnašanja kamnitih hiš med potresom 12. aprila 1998 je pokazala, da so hiše, ki so bile po potresih leta 1976 v celoti utrjene z upoštevanjem takrat pripravljenih tehničnih navodil, potres leta 1998 prestale brez poškodb ali pa so na njih nastale le manjše, nepomembne poškodbe. Potres leta 1998 pa je bil dovolj močan, da je na območju z največjo jakostjo povzročil hude poškodbe na hišah, ki sploh niso bile utrjene, ali pa ukrepi za utrjevanje niso bili sistematično v celoti izvedeni« (Tomažević in drugi, 1999).

Potres 12. julija 2004 in projektni pospešek tal

Iz uradne karte projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let (Lapajne in drugi, 2002) je razvidno, da je ožjemu območju Bovca pripisan projektni pospešek tal 0,225 g, širši okolici pa od 0,200–0,250 g. Pri tem se projektni pospešek tal nanaša na trdna tla tipa A po EC8–1. Za primerjavo karte intenzitete in karte projektnega pospeška so v preglednici 1 prikazane njune glavne lastnosti.

Iz zadnje vrstice v preglednici je razvidno, da je za Bovec vrednost projektnega pospeška tal 0,225 g na varnejši strani kot vrednost intenzitete VIII po MSK (EMS), saj je slednji prirejena vrednost pospeška 0,200 g. Razlika pa je dejansko še večja, če upoštevamo še različna tla, na katera se nanaša ena in druga karta. Tako se karta intenzitete nanaša na II. kategorijo tal (to še najbolj ustreza tipu B po EC8), karta projektnega pospeška pa na tla tipa A po EC8 (kar ustreza I. kategoriji po pravilniku iz leta 1981). Upošteva vrednosti koeficienta tal v EC8–1 (CEN, 2004) bi bil pripadajoč projektni pospešek za različne vrste tal na območju Bovca od 0,225 do 0,315 g, pri čemer ustreza tlom tipa B pospešek 0,270 g. Za območje Bovca je torej treba primerjati vrednost 0,200 g, ki izhaja iz karte intenzitete za II. kategorijo tal, z vrednostjo 0,270 g, ki izhaja iz karte projektnega pospeška za tla tipa B. Vrednost na karti projektnega pospeška tal je torej dejansko za 35 % večja od vrednosti, ki izhaja iz karte intenzitete.

Po oceni seizmologov je potres 12. julija 2004 z magnitudo 4,9 dosegel največjo intenziteto VI–VII po EMS na območju Bovca in okolice, kar je v povprečju eno do dve stopnji manj od projektne stopnje. Tudi tu so vključene vse vrste tal (in drugi dejavniki, o katerih bo govor v nadaljevanju). Učinki potresa so bili torej pod učinki, ki jih predvideva karta

	Karta intenzitete MSK (EMS)	Karta projektnega pospeška
povratna doba	500 let	457 let
letna verjetnost prekoračitve	0,0020	0,0021
50-letna verjetnost prekoračitve	9,5%	10%
tla	II. kategorija	tip A po EC8–1
projektni parameter	intenziteta MSK (EMS) (prirejen efektivni vršni pospešek)	vršni pospešek tal (kot efektivna vrednost)
projektni parameter na območju Bovca	intenziteta: VIII MSK (EMS) ali 0,200 g	projektni pospešek tal: 0,225 g
Preglednica 1.	Primerjava lastnosti kart intenzitete in projektnega pospeška Slovenije	
Table 1.	Comparison of the seismic intensity and the design acceleration maps of Slovenia.	

potresne intenzitete za povratno dobo 500 let, kar bi posledično pomenilo, da je tako tudi s projektnim pospeškom tal. V primerjavi z razmerami ob potresu leta 1998 pa so tokrat potres zapisali instrumenti, ki so bili po potresu leta 1998 postavljeni v Bovcu, Drežnici in Kobaridu. Ti zapisi so presenetili strokovnjake za seizmologijo in inženirsko seizmologijo in tudi strokovnjake za potresno inženirstvo, saj je vršni pospešek tal v Bovcu in Drežnici dosegel zelo velike vrednosti, kar je razvidno iz preglednice 2.

Da bi pojasnili nepričakovano visoke vrednosti, so na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani podrobneje analizirali vpliv tal na vrednosti vršnega pospeška tal in spektre vodoravnih komponent zapisov (predvsem) glavnega potresa v smereh sever-jug in vzhod-zahod z omenjenih treh krajev. Pri tem so ugotovili: »Analiza registracij glavnega potresnega sunka bovškega potresa je pokazala, da obstajajo pomembne razlike med značilnostmi gibanja tal na treh lokacijah, kjer so bile dobljene registracije. ... Najmočnejše je bilo gibanje tal v Bovcu, kjer so maksimalne vrednosti pospeškov tal v obeh vodoravnih smereh dosegle skoraj 50 % g. Istočasno so maksimalne hitrosti dosegle vrednosti 29 in 17 cm/s v smereh NS in EW. Po teh podatkih bi lahko ocenili, da je bila intenziteta potresa na lokaciji instrumenta večja od VIII po MSK-lestvici. V Drežnici so bili registrirani visoki pospeški (38 in 29 % g v smereh NS in EW, hitrosti pa so bile nižje (9 in 6 cm/s), medtem ko so bili v Kobaridu razmeroma nizki pospeški (15 in 13 % g) in hitrosti tal (6 in 8 cm/s)« (Fajfar in drugi, 2004). Ugotovili so, da se vrednosti faktorja tal, ki so dobljene v analizah bovškega potresa, zelo razlikujejo med seboj, poleg tega so največje izračunane vrednosti (te so v območju nihajnega časa 0,1–0,4 s) v spektrih precej večje od vrednosti, ki jih priporoča EC8 za tla tipa E. To prekoračenje bi lahko bilo usodno, saj se območje 0,1–0,4 s prekriva z območjem lastnega nihajnega časa najpogostejših hiš na obravnavanem ozemlju.

Ne glede na velike instrumentalne vrednosti parametrov potresnega gibanja tal na nekaterih krajih pa je pomembno predvsem to, da so bili statistični učinki potresa na

Kraj	Tip tal	Vodoravna komponenta (g)	
		sever-jug	vzhod-zahod
Bovec (knjižnica)	E (B?)	0,485	0,471
Drežnica	E (A?)	0,375	0,290
Kobarid	B (E?)	0,152	0,133
Preglednica 2. Instrumentalno zabeležene vrednosti vodoravnih komponent vršnega pospeška tal v Bovcu, Drežnici in Kobaridu ob potresu 12. 7. 2004.			
Table 2. Instrumental values of the horizontal components of the peak ground acceleration in Bovec, Drežnica and Kobarid for the earthquake of July 12, 2004.			

objekte ocenjeni z največ VI.–VII. stopnjo po EMS. In tudi v raziskavi na Zavodu za gradbeništvo v Ljubljani so ugotovili: »Pospeški tal, registrirani med potresom na naplavin-skem gramoznem sloju, in spekter odziva so močno preseglji vrednosti, ki jih na danem območju za projektiranje konstrukcij predvidevata sodobna karta potresne nevarnosti Slovenije in standard EC8. ... Ne glede na to pa analiza odziva zidanih stavb na potres kaže, da jakost potresa ni preseгла največje pričakovane« (Tomažević in drugi, 2005). Še bolj nedvoumna je izjava, da »ni bilo niti rušenj niti hujših poškodb, številne stavbe pa so ostale nepoškodovane« (Tomažević, 2004).

Je pa potres dejansko poškodoval nekatere hiše, ki so brez vidnejših poškodb prestale potres leta 1998 in potrese leta 1976, in nekatere po potresu leta 1998 deloma utrjene hiše. Zato je potres leta 2004 sprožil nekaj kritičnih vprašanj, ki so bila namenjena seizmologom in gradbenikom. Posebej pomembni sta naslednji dve vprašanji, na kateri doslej niso bili dani povsem zadovoljivi odgovori: zakaj so bile v tem potresu močno poškodovane hiše, ki so brez vidnih poškodb prestale močnejši potres leta 1998 in potrese leta 1976, ter hiše, ki so bile utrjene po potresu leta 1998 in kako je mogoče, da je bil pri razmeroma šibkem potresu na širšem nadžariščnem območju presežen projektni pospešek tal.

Nekaj odgovorov

Odgovor na vprašanje, zakaj so bile v potresu leta 2004 močno poškodovane hiše, ki so na videz nepoškodovane prestale močnejše potrese leta 1998 in 1976, je razmeroma preprost. Nepoškodovanost nekaterih hiš v predhodnih potresih je bila zelo verjetno le navidezna. Dejansko pa je bila že takrat zmanjšana sposobnost sipanja potresne energije in prevzeta potresnih sil in s tem celotna potresna odpornost hiš, čeprav se to še ni pokazalo na zunanjih poškodbah. Zato za nastanek vidnih poškodb ob potresu leta 2004 vsaj na nekaterih hišah z zmanjšano potresno odpornostjo niso bile potrebne posebno velike potresne sile, saj so glavno delo opravili že prejšnji potresi. Seveda pa sta svoje prispevali tudi bližina preloma in usmerjenost pretrga. Izčrpen odgovor na prvo zastavljeno vprašanje, ki sicer ne vključuje posebnih učinkov pretrga, pa lahko najde bralec v objavljenih izsledkih že omenjene raziskave Zavoda za gradbeništvo, v kateri so objekte analizirali na računskih modelih (Tomažević, 2004; Tomažević in drugi, 2005). Za poškodbe hiš, ki so bile utrjene po potresu leta 1998, so ugotovili, da so »poškodbe utrpeli tudi nekateri objekti, ki so bili po letu 1998 le deloma utrjeni, ker med potresi leta 1976 in 1998 niso bili poškodovani«.

Precej bolj zapleten je odgovor na drugo vprašanje. Omenjena analiza potresnih zapisov na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo je pokazala, da posebnosti teh zapisov in njihovih razlik ni mogoče pojasniti le z lastnostmi tal: »Samo del teh razlik lahko pripišemo vplivu tal. Glede na to, da ne obstaja bistvena razlika med oddaljenostmi

treh lokacij od žarišča, sklepamo, da so na gibanja tal na različnih lokacijah vplivali še drugi dejavniki, ki jih še ne poznamo. Možni dejavniki so različno širjenje potresnih valov v različnih smereh, morebiten vpliv interakcije tal in objektov, v katerih so bili nameščeni inštrumenti, ali pa tudi nenatančnost pri določanju žarišč« (Fajfar in drugi, 2004). Vpliv lokalnih geoloških tal na potresne učinke podrobneje obravnava tudi poseben prispevek o potresu 12. julija 2004 v tej številki Ujme (Vidrih, 2005).

Pri odgovoru je treba upoštevati, da gre za potresne učinke v neposredni bližini potresnega izvora oziroma potresnega prelomnega pretrga in gorsko območje s strmimi pobočji, visokimi vrhovi in globoko zarezanimi dolinami, ki so zelo neenakomerno zapolnjene s heterogenim materialom. Tla niso zgrajena iz razsežnih vodoravnih plasti enakomerne debeline, zato ne moremo njihovega ojačevalnega učinka preprosto oceniti z enodimenzionalnim modelom, ki se pogosto uporablja. Glede velike razgibanosti površja je treba upoštevati tudi vpliv topografije. Na gibanje tal v bližini potresnega pretrga bistveno vplivajo mehanizem, smer in hitrost širjenja pretrga (pri pretrgu do površja pa še mogoč stalen premik tal). Vpliv smeri in hitrosti pretrga je tolikšen, da govorimo o učinku usmerjenosti pretrga (rupture directivity) ali kar o učinku usmerjenosti (directivity). To je pojav, pri katerem pride do večje sprostitve potresne energije v določeni smeri namesto enakomerne porazdelitve v vseh smereh. S tem pa so vsaj načelno pojasnjeni »možni dejavniki so različno širjenje potresnih valov v različnih smereh,...« (Fajfar in drugi, 2004). V Pojmovniku potresnih izrazov Geološkega zavoda ZDA je pod »directivity« zapisano: »Usmerjenost je učinek trganja preloma, pri katerem je potresno gibanje tal v smeri širjenja pretrga močnejše kot v drugih smereh od potresnega izvora.«

V bližini pretrga (near-field) so fizikalne razmere povsem drugačne kot nekoliko dlje od njega (far-field) in zato tudi fizikalno matematično modeliranje in enačbe, s katerimi sicer obravnavamo potresno valovanje zunaj ožje okolice pretrga, v bližini pretrga ne dajejo pravih rezultatov. Tu odpovedo modeli pojemanja, ki se sicer uporabljajo pri ocenjevanju potresne nevarnosti. V bližnji okolici pretrga obvladujejo potresno gibanje tal značilnosti tega potresnega izvora. Potresa v Zgornjem Posočju leta 1998 in 2004 ter njune številne popotrese so povzročili pretrgi vzdolž zmičnih prelomov. Pri takih pretrgih lahko učinek usmerjenosti pretrga zasenči vpliv lokalne sestave tal. Širjenje pretrga vzdolž preloma namreč poteka s hitrostjo, ki je blizu hitrosti strižnega valovanja (navadno je nekoliko manjša). Zato se strižno valovanje v smeri trganja preloma natovarja, kar ima za posledico kratkotrajne sunke z veliko amplitudo pospeška, hitrosti in pomika tal. Pri tem je lahko komponenta gibanja tal prečno na prelom nekajkrat močnejša od komponente gibanja vzporedno s prelomom.

Močnega gibanja tal pri pretrgu ni mogoče ustrezno obravnavati s poznanimi modeli pojemanja. »Določanje učinkov usmerjenosti in vrste preloma je prednostna

naloga v bližnjem območju pretrga, razlike v atenuaciji pa postanejo predmet obravnavanja pri večjih razdaljah» (Reiter, 1990). V danem primeru zato zamenjava modela pojemanja (Sabetta in Pugliese, 1996), ki smo ga uporabili za izdelavo kart potresne nevarnosti Slovenije, ni rešitev za opis gibanja tal v bližini pretrga. (Seveda pa je za siceršnje obravnavanje potresnega gibanja tal na ozemlju Slovenije lahko kak model boljši od omenjenega.) Tudi priporočene vrednosti raznih parametrov, koeficientov in faktorjev, ki določajo spektre odziva za razne tipe tal v EC8, za bližnje območje pretrga niso uporabne. Razmerje največjega spektralnega pospeška in vršnega pospeška tal, ki naj bi bilo 2,5 za tla tipa A, očitno tu ne velja. Faktorji tal so pri šibkih do zmernih potresnih sunkih v območju kratkih nihajnih časov tu precej večji, kot jih priporoča EC8. Vprašljivo je tudi v izračunih spektrov privzeto 5-odstotno kritično dušenje. Pri manjšem dušenju je namreč razmerje spektralnega pospeška in vršnega pospeška tal večje, kar bolj ustreza izsledkom analize potresnih zapisov.

Verjetnostna narava karte potresne nevarnosti

V zvezi z uporabo kart potresne nevarnosti (Lapajne in drugi, 2002) ni odveč ponovno opozoriti, da so to verjetnostne karte. Ne glede na to pa laična javnost vrednosti na teh kartah večinoma razume deterministično, pogosto pa jih tako jemljejo tudi strokovnjaki. To verjetno nehote izraža tudi ta izjava: »Po definiciji predstavlja projektni pospešek tal ... največji pospešek tal, ki lahko nastane med potresom v danem časovnem obdobju (perioda ponavljanja 475 let) na trdnih tleh« (Tomažević, 2004; Tomažević in drugi, 2005). Za razumevanje verjetnostne narave karte je v nadaljevanju na kratko opisano izhodišče za določanje vrednosti projektnega pospeška in drugih parametrov, ki določajo karto potresne nevarnosti.

Pri obravnavanju časovnega pojavljanja potresov in potresnih učinkov se navadno uporablja Poissonov model (v tuji praksi večinoma, pri nas pa doslej izključno). Poissonov model je še posebej primeren za območja, na katerih je povezava potresov s potresnimi prelomi in pretrgi zelo nezanesljiva ali celo nepoznana. Če izvzamemo zadnje potrese v Posočju, za katere je ta povezava zdaj razmeroma dobro poznana, velja prejšnja ugotovitev tudi za Slovenijo. Poissonov model omogoča razmeroma preprost izračun verjetnosti dogodkov, ki sledijo Poissonovemu procesu. Dogodek Poissonovega procesa je slučajen, brez »spomina« za čas, velikost ali kraj predhodnega dogodka. To je sicer v nasprotju s temeljno teorijo nastanka potresov – teorijo elastičnega odskoka (elastic rebound theory), za uporabo katere pa za ocenjevanje potresne nevarnosti še nimamo nobenih uporabnih podatkov. Po drugi strani pa se pojavljanje potresov, če ne upoštevamo pred- in popotresov, kaže kot slučajen proces. Pokazati je tudi mogoče, da je Poissonov model

upravičen celo v primerih, v katerih obstaja »spomin prelomov« na potrese (Cornell in Winterstein, 1988). Za verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti je treba iz kataložnega seznama potresnih dogodkov na primeren način odstraniti pred- in popotrese, da dobimo zaporedje dogodkov, ki je skladno s Poissonovim procesom. (Trebajo dodati, da se zaradi pomanjkanja ustrežnejšega modela Poissonov model v praksi marsikdaj uporablja tudi, kadar ni utemeljen.)

V Poissonovem modelu je verjetnost, da je v danem primeru projektni pospešek največji pospešek tal v 475 letih, le slabih 37 %. Tudi povratna doba 475 let izhaja iz Poissonovega modela, in sicer ob privzetju 10 % verjetnosti prekoračitve projektnega pospeška tal v 50 letih. Podobno velja tudi za karto intenzitet, da je verjetnost dobrih 63 %, da bodo vrednosti na karti presežene v povratni dobi, ki je v tem primeru 500 let (verjetnost prekoračitve v 50 letih pa je približno 9,5 %).

Ali je bila potresna nevarnost podcenjena

V karti iz leta 2001 je potresna nevarnost opredeljena z vrednostmi projektnega pospeška tal na tleh tipa A po EC8-1, ki je za ožje območje Bovca 0,225 g. Če obravnavamo te vrednosti kot vrednosti vršnega pospeška tal in privzamemo faktorje tal, ki so dani v EC8-1, je bila vrednost projektnega pospeška brez dvoma presežena, kar kažeta raziskava, ki so jo naredili na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (Fajfar in drugi, 2004), in raziskava, ki so jo naredili na Zavodu za gradbeništvo (Tomažević, 2004; Tomažević in drugi, 2005). Kot smo že ugotovili, pa uporaba faktorjev iz EC8-1 s precejšnjo verjetnostjo v neposredni bližini potresnega prelomnega pretrga ni ustrezna. Ker »pravih« faktorjev ne poznamo, vršnega pospeška na tleh tipa A sploh ne moremo zanesljivo oceniti.

Pri potresu v letu 2004 tudi vidimo, da poškodbe in njihov obseg očitno niso povsem usklajeni z velikimi vrednostmi vršnega pospeška tal in spektralnega pospeška, zato slednjih ni mogoče preprosto primerjati z vrednostmi projektnega pospeška tal na karti. Če ne bi imeli na razpolago potresnih zapisov z ožjega potresnega območja, ne bi bilo dileme »velike vrednosti pospeška – sorazmerno majhne poškodbe« in bi se morda tudi ob potresu leta 2004 zatekli v pojem »efektivni vršni pospešek« kot pri potresu leta 1998. Obratno lahko na podlagi izkušnje s potresom leta 2004 z veliko verjetnostjo trdimo, da bi tudi ob potresu leta 1998 instrumenti na nekaterih krajih zabeležili velike vrednosti pospeška tal, če bi bili takrat tam. Po informaciji seizmologov z Urada za seizmologijo in geologijo (mag. Mladen Živčić) sta namreč potresa iz leta 1998 in 2004 po frekvenci praktično enaka, kar kaže primerjava zapisov obeh potresov na nekoliko bolj oddaljenih opazovalnicah.

Po drugi strani je prekoračitev vrednosti projektnega pospeška tal z določeno verjetnostjo (10 % v 50 letih in dobrih 63 % v 475 letih) pričakovana. Zato ne pomeni nujno, da so vrednosti v karti nepravilne. Seveda pri prekoračitvi ne vemo, ali je prekoračitev v okviru omenjenih 10 % oziroma 63% ali pa so vrednosti projektnega pospeška za povratno dobo 475 let dejansko podcenjene. Zato odgovor na zastavljeno vprašanje ni enoličen. Toda tudi ob domnevi, da je prekoračitev projektnih vrednosti zaradi verjetnostne narave karte »normalna«, je bila s stališča ogroženega prebivalstva potresna nevarnost podcenjena. Zato je premislek o morebitnem povečanju ocene potresne nevarnosti nujen. Morda bi lahko ustrežneje ocenili potresno nevarnost na širšem območju Bovca in popravili sedanje vrednosti projektnega pospeška tal na podlagi podatkov o potresih in popotresih iz leta 1998 in leta 2004 z upoštevanjem vseh omenjenih učinkov bližine prelomnega pretrga. Ne rešuje pa tak popravek problematike ocenjevanja potresne nevarnosti in morebitne podcenitve na večjem območju oziroma na celotnem ozemlju Slovenije, ker za to nimamo na razpolago potrebnih podatkov.

Ker lahko z večjo ali manjšo verjetnostjo pričakujemo prekoračenje vrednosti projektnega pospeška tal ob kakem prihodnjem potresu na kakem drugem območju, bi bilo treba najti ustrežnejši način za morebiten popravek karte. Ena od možnosti, ki se ponuja in ne zahteva posebnih novih raziskav in dodatnih domnev, je zmanjšanje predpisanega potresnega tveganja na celotnem ozemlju Slovenije. Namesto 10-odstotne verjetnosti prekoračitve v 50 letih bi npr. privzeli 5- ali 2-odstotno verjetnost. Take vrednosti se namreč ponekod tudi uporabljajo. V Kanadi letos zamenjujejo dosedanje karte potresne nevarnosti iz leta 1995, ki so temeljile na 10-odstotni verjetnosti prekoračitve v 50 letih, s kartami za 2-odstotno verjetnost prekoračitve (Adams in Atkinson, 2003; Adams in Halchuk, 2004). V ZDA pa so izdelali vse karte potresne nevarnosti za tri verjetnosti prekoračitve v 50 letih: za 10 %, 5 % in 2 % (Frankel in drugi, 2000). Tako bi lahko naredili tudi pri nas in bi poleg sedanjih kart projektnega in spektralnega pospeška, ki se nanašajo na 10-odstotno tveganje v 50 letih in povratno dobo 475 let (Lapajne in drugi, 2002), izdelali še karte za 5- in 2-odstotno tveganje, ki bi imele v začetku le informativni pomen. Že izdelana karta vršnega pospeška tal za povratno dobo 1000 let (Lapajne in drugi, 2002), kateri ustreza okoli 4,9-odstotna verjetnost prekoračitve v 50 letih, je dober približek za karto s 5-odstotnim tveganjem. Različne karte potresne nevarnosti ter (sedanji in morebitni novi) instrumentalni podatki o gibanju tal med potresi bi bili najboljše podlaga za nadaljnje ukrepanje in odločanje. S kartami za 2-odstotno tveganje bi »pokrili« tudi podobne pojave in učinke, ki so bili očitni ob potresu 12. 7. 2004 v Zgornjem Posočju, in to na celotnem ozemlju Slovenije. Strožje zahteve za projektiranje objektov bi pri novogradnjah tudi preprečile ali vsaj omejile zmanjševanje sposobnosti sipanja potresne energije in prevzemanja potresnih sil v več zaporednih potresih v življenjski dobi objektov.

Zatekanje v verjetnostno karto intenzitet (češ, projektna intenziteta ni bila prekoračena) ne rešuje niti dilem zaradi prekoračitve projektnega pospeška niti težav z opredelitvijo »efektivnega vršnega pospeška«. Težav s prekoračenjem projektna intenzitete v danem primeru (pa tudi v splošnem) preprosto ni zato, ker je intenziteta zelo neobčutljiva za razmeroma velike razlike v vrednostih pospeška. V zvezi z uporabo karte intenzitet je pomembna ta ugotovitev: »Ujemanje predvidevanj in dejanskega obnašanja stavb med potresom, predvsem pa tudi glede poškodb, je ponovno opozorilo, da je skrajni čas, da se opusti uporaba jugoslovanskega pravilnika iz leta 1981. Po jugoslovanskem pravilniku je za zidane konstrukcije računski potresna obtežba, na katero se dimenzionirajo, več kot dvakrat manjša kot obtežba, določena po EC8« (Tomažević in drugi, 2005). EC8 pa seveda predpostavlja karto projektnega pospeška tal in ne karte intenzitete.

Efektivni vršni pospešek

Vrednosti projektnega pospeška tal na karti potresne nevarnosti kažejo po eni strani, kje v Sloveniji je potresna nevarnost večja in kje manjša ter posebej, kje je največja in kje najmanjša. Druga, pomembnejša vloga karte pa je neposredna uporaba (absolutnih) vrednosti projektnega pospeška tal. Pri tem sta bistvena ustrezno razumevanje danih vrednosti in njihov prenos v projektiranje. Tu je očiten pomen »efektivnih« vrednosti vršnega pospeška tal in nekoliko sporni pojem »efektivni vršni pospešek« (EPA). Za EPA ne obstaja enotna opredelitev. Načeloma pa ustreza EPA gibanju tal, ki traja dovolj dolgo, da nastanejo glede na velikost pospeška na objektih »pričakovane« nekonstrukcijske poškodbe, pri prekoračitvi projektnega pospeška pa poleg nekonstrukcijskih tudi nekatere »pričakovane« poškodbe same konstrukcije. Opozoriti je treba še na to, da je projektni pospešek tal na karti potresne nevarnosti v bistvu statistična veličina, podobno kot intenziteta, saj je opredeljen za večje območje in ne »napoveduje« mogočih velikih razlik potresnega nihanja na kratkih razdaljah.

Pri pripravi karte potresne nevarnosti Slovenije smo v začetku izhajali iz besedila EC8-1 iz leta 1994, ki določa EPA na tleh tipa A za povratno dobo 475 let kot projektni pospešek za navadne objekte: »Zamisel o EPA je poskus, da bi v splošnem nadomestili neprimernost osamljenih vrhov v zapisu gibanja tal za opis potresnih obremenitev zgradb z maksimalnim pospeškom in/ali hitrostjo« (CEN, 1994). EPA pa smo določili v skladu z dokumentom (ATC, 1978).

Praktično je EPA pospešek, ki je najbolj povezan z odzivom konstrukcije in poškodbami. Zato sta Basu in Gupta (1998) predlagala opredelitev EPA, ki temelji na poškodbah objektov. Predlagana opredelitev upošteva statistično spremenljivost gibanja tal in temelji na pričakovani skupni poškodovanosti objektov zaradi neelastičnih pomikov. Pokazala sta, da je mogoče kljub močni odvis-

nosti EPA od nihajnega časa dobiti uporabne povprečne vrednosti EPA za inženirske aplikacije. Kot vemo, temeljijo tudi ocene potresnih intenzitet na poškodbah objektov. Če bi v danem primeru povprečne vrednosti EPA preprosto določili iz potresnih intenzitet, bi ob sprejetju opredelitev v lestvici MSK za potres leta 1998 dobili na podlagi ocene intenzitete VII–VIII po EMS vrednosti 0,10–0,20 g, na kar se opirajo tudi Tomažević in drugi, 1999, za potres leta 2004 pa na podlagi ocene intenzitete VI–VII po EMS vrednosti 0,05–0,10 g.

Zaradi neenotnosti in težav pri opredelitvi EPA so besedilo EC8–1 pozneje spremenili in sedanji EC8–1 ne govori več niti o EPA niti o projektnem pospešku tal, ampak o referenčni vrednosti vršnega pospeška (referenčni vrednosti maksimalnega pospeška) na tleh tipa A za dano referenčno povratno dobo (CEN, 2004). Referenčna vrednost se nanaša na raven potresne akcije. EC8 določa dve ravni potresne akcije, ki sta določeni z dvema referenčnima povratnima dobama. Priporočeni referenčni povratni dobi sta 95 let (ki izhaja iz privzetja 10-odstotnega tveganja v 10 letih) in 475 let (ki izhaja iz privzetja 10-odstotnega tveganja v 50 letih). Slednja je tudi priporočena za temeljno karto potresne nevarnosti. Kako naj bi bil določen vršni pospešek tal, pa je prepuščeno posameznim državam, ki uvajajo EC8. Kakšne težave se lahko ob tem pojavijo, je nakazal potres 12. 7. 2004.

Sklepne misli

Zapisi potresa 12. julija 2004 na opazovalnicah v Zgornjem Posočju, ki so zabeležile gibanje tal v neposredni bližini prelomnega pretrga, so sicer povzročili nemajhno vznemirjenje in vnesli nekaj zmede v razumevanje nastalih poškodb objektov in potresnih zapisov, pomembnejše pa je, da so prispevali neprecenljive podatke za razumevanje potresnega dogajanja v tem tudi širšem prostoru. Ti podatki so zdaj poleg sedanjih geoloških, geofizikalnih in geodetskih podatkov na razpolago za uporabne raziskovalne naloge.

Da bi se izognili mogočim prihodnjim prekoračitvam referenčne vrednosti vršnega pospeška za povratno dobo 475 let, predvsem pa zaradi zmanjšanja potresne škode v prihodnjih potresih, bi kazalo razmisliti o prevzemanju manjšega potresnega tveganja za navadne objekte na celotnem ozemlju Slovenije in s tem o izdelavi ustrezne nove karte projektnega pospeška tal. Karta za npr. 2-odstotno verjetnost prekoračitve bi rešila večino vprašanj, ki jih je sprožil potres leta 2004 v Bovcu in okolici. Vsaj za nekaj časa pa bi rešil tudi vprašanje nezanesljivosti ocene potresne nevarnosti zaradi uporabljenega modela pojemanja in domneve o primernosti Poissonovega procesa časovnega pojavljanja potresov.

Viri in literatura

1. Adams, J., Atkinson, G. M., 2003. Development of Seismic Hazard Maps for the 2005 National Building Code of Canada, Canadian Journal of Civil Engineering, 30, 255–271.
2. Adams, J., Halchuk, S., 2004. A review of NBCC 2005 Seismic Hazard Results for Canada – the interface to the ground and prognosis for urban risk mitigation, 57th Canadian Geotechnical Conference, 5th Joint CGS/IAH-CNC Conference, Session 6C, Québec, 1–8.
3. ATC – Applied Technology Council, 1978. Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, ATC 3-06, NBS 510, NSF 78-8, U.S. Government Printing Office, Washington, str. 514.
4. Basu, B., Gupta, V. K., 1998. A damage-based definition of effective peak acceleration, Earthquake Engng & Struct. Dyn. 27, 503–512.
5. CEN, 1994. Eurocode 8 – Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures, European Prestandard (ENV) 1988-1-1, European Committee for Standardization, str. 25, Brussels.
6. CEN, 2004. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European standard, EN 1998-1: 2004 (E), Stage 64, European Committee for Standardization, Brussels. (Prevod v slovenščino v pripravi.)
7. Fajfar, P., Dolšek, P., Fischinger, M., Peruš, I., Poljanšek, K., 2004. Uvajanje standarda Evrokod 8 v Sloveniji, Potresna obtežba, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo.
8. Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Leyendecker, E., Wesson, R., Harmsen, S., Klein, F., Perkins, D., Dickamn, N., Hanson, S. and Hopper, M., 2000. USGS national seismic hazard maps, Earthquake spectra 16, 1–20.
9. Gosar, A., Živčič, M., Cecič, I., Zupančič, P., 1999. Seizmološke značilnosti potresa, Ujma 13, 57–65.
10. Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2002. Karta potresne nevarnosti Sloveniji. V: Ušeničnik, A. (urednik), Nesreče in varstvo pred njimi, Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo.
11. Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., Zabukovec, B., Zupančič, P., 1997. Spatially-smoothed seismicity modelling of seismic hazard in Slovenia, J. Seism. 1, 73–85.
12. Lapajne, J. K., Zabukovec, B., Zupančič, P., 1996. Trial effective peak ground acceleration map of Slovenia. Reykjavík, XXV General Assembly of the European Seismological Commission, September 9-14, 1996, Abstracts, Icelandic Meteorological Office, Ministry for the Environment, University of Iceland, Reykjavík, Island, SC-F1.21.



Slika 1. Strokovnjaki Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje so v prvih urah po potresu namestili tri začasne potresne opazovalnice, ki so v prvih dneh zaznale več sto popotresnih sunkov. Slika kaže postavitev seizmografa v Srpenici. (foto: M. Gostinčar)

Figure 1. In the first few hours following the earthquake, experts from the Seismology and Geology Office of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia set up three temporary earthquake observation stations which registered several hundreds post-quake seismic events over the next few days. The picture shows the setting-up of the seismographic device at Srpenica. (photo: M. Gostinčar)

13. Sabetta, F., Pugliese, A., Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 337–352, 1996.
14. SIS, 2001. Slovenski predstandard Eurocode 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
15. Tomažević, M., 2004. Ob julijskem potresu na Bovškem – potresne sile in poškodbe, Gradbenik 9, 42–45.
16. Tomažević, M., Klemenc, I., Lutman, M., 1999. Posledice potresa na kamnitih zidanih hišah: Kaj smo se naučili od potresa, Ujma 13, 122–128.
17. Tomažević, M., Lutman, M., Klemenc, I., Weiss, P., 2005. Obnašanje zidanih stavb med potresom v Bovcu 12. 7. 2004, Gradbeni vestnik 54, str. 2–12.
18. Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Uradni list SFRJ, št. 31/1981, str. 844–855.
19. Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Uradni list SFRJ, št. 52/1990, stran 1729.
20. URSSM, 2000. Eurocode 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila – Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije,



Slika 2. Potres je sprožil padanje večjih skal in manjše skalnate podore. Primer na sliki je nastal ob cesti Bovec–Soča. (foto: R. Vidrih)

Figure 2. The earthquake caused rocks and gravel falls. The picture shows the situation on the Bovec–Soča road. (photo: R. Vidrih)



Slika 3. Pogoste poškodbe so bile tudi dolge razpoke, ki so nastajale ob robovih teras. Primer na sliki je iz vasi Soča, na levem bregu Soče. (foto: R. Vidrih)

Figure 3. Frequently, long fractures occurred in the terrace edges. The picture shows such a fracture in the village of Soča, on the left bank of the river Soča. (photo: R. Vidrih)

- SIST ENV 1998-1-1, Urad RS za standardizacijo in meroslovje, 2000.
21. Vidrih, R., 2005. Potres 12. julija 2004 v Zgornjem Posočju, Ujma 19.
22. Živčič, M., Cecič, I., Gosar, A., Zupančič, P., 1999. Potres 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju – Osnovne značilnosti, 49–64, Potresi v letu 1998.