

POGOSTOST POTRESOV V SLOVENIJI

Janez Lapajne*, Barbara Šket Motnikar**, Polona Zupancič***

UDK 550.34 (497.12)

Večkrat se pojavi vprašanje, kako pogosti so veliki potresi na nekem območju oz. na koliko let se rušilni potresi "ponavljajo". Posebej žgoče je postalo to vprašanje ob letošnji stoti obletnici ljubljanskega potresa, saj prevladuje prepričanje, da se taki potresi na območju Ljubljane pojavljajo v povprečju prav na sto let. Zato smo se odločili, da to raziščemo nekoliko temeljiteje.

Ko se vprašamo, kako pogosto oz. na koliko let se (v kraju našega bivanja) lahko pojavi močan potres, moramo najprej razčistiti, kaj pri tem mislimo. Ali imamo v mislih potres, ki nastane nekje pod našim krajem, ali pa mislimo le na močne tresljaje, ki jih lahko povzroči potres iz bližnjega ali bolj oddaljenega žarišča? Večinoma imamo v mislih slednje, saj za učinke in škodo ni pomembno, kje je potres nastal. Idrijski potres leta 1511, na primer, je imel v Ljubljani verjetno sorazmerno večje učinke kot ljubljanski potres leta 1895.

Pri oceni "ponovljivosti" potresov (to je ponovljivosti velikosti potresa: magnitude, intenzitete ali amplitude nihanja tal) moramo zato upoštevati možne potrese s širšega območja. Obravnava temelji na ugotovitvah dosedanjih raziskav potresne zgodovine Slovenije in obmejnih območij Italije, Avstrije, Madžarske in Hrvaške. Temeljni vhodni podatek je poenoten katalog potresov (5), ki zajema poleg Slovenije še okoli 50 000 km² zunaj naših meja.

Potresno nevarnost na izbranem mestu najbolje ponazarjajo ustrezne krivulje, potresno nevarnost danega ozemlja pa ustrezne karte. Podobno velja tudi za ponovljivost potresov. Karte potresne nevarnosti Slovenije (1,2) kažejo, da je v Sloveniji največja potresna nevarnost na območju Ljubljane in Brežic. Zato smo za izračune krivulj ponovljivosti poleg Ljubljane, ki je za bralce posebej zanimiva zaradi stote obletnice, izbrali še Brežice. Ker je bil na Idrijskem leta 1511 najmočnejši znani potres v Sloveniji, smo za primerjavo izračunali ponovljivost tudi za to območje. Za izbrane parametre smo pripravili še nakatere karte, ki kažejo ponovljivost za celotno ozemlje Slovenije.

Izračun omenjenih krivulj in kart zahteva izdelavo modela potresnih izvorov in modela pojemanja tresljajev z oddaljevanjem od potresnega izvora. Pri pripravi kart potresne nevarnosti Slovenije (1,2) smo izdelali tri različice modela potresnih izvorov za ozemlje Slovenije in sosednjih

dežel. Model pojemanja tresljajev pa smo morali zaradi pomanjkanja podatkov za Slovenijo privzeti iz literature (3). Iste modele smo uporabili tudi pri obravnavanju ponovljivosti potresov. Tako kot pri izračunu kart potresne nevarnosti smo tudi tu uporabili računalniški program FRISK88, ki temelji na Poissonovem modelu pojavljanja potresov (4).

Krivulje potresne nevarnosti

Slika 1 kaže nekaj krivulj potresne nevarnosti za Ljubljano (približno za njeno središčno točko). Na tej in drugih slikah so naslednje količine:

- vršni pospešek tal **a** (vrednost) oz. **A** (slučajna spremenljivka), izražen z zemeljskim pospeškom **g** ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
- čas **t** v **letih**; to je poljubno obdobje, za inženirsko seizmologijo in potresno inženirstvo pa je posebej zanimiva amortizacijska ali življenjska doba izbranega gradbenega objekta
- verjetnost **P**, da vršni pospešek tal **A** v času **t** ne bo presegel izbrane vrednosti **a**
- povratna doba **T** v **letih**.

Krivulje potresne nevarnosti prikazujejo odvisnost verjetnosti **P** od vrednosti vršnega pospeška **a** za izbrane čase **t**, na sliki so to 50, 100, 200, 500 in 1000 let. Točka na krivulji pove, da pripadajoča vrednost pospeška **a** v času **t** ne bo presežena z verjetnostjo **P** oz. da bo presežena z verjetnostjo $100\% - P$. Slika 1 kaže, da je 30-odstotna verjetnost, da vrednost pospeška 0,3 g (to je približno 3 m/s^2) v 1000 letih ne bo presežena, in 70-odstotna, da bo presežena (namesto verjetnosti **P** lahko privzamemo za odvisno spremenljivko $100\% - P$; v tem primeru se krivulje na sliki 1 zavrtijo okoli vodoravne osi za 180°).

Krivulje potresne ponovljivosti

Pri 37-odstotni verjetnosti so izbrani časi **t** ravno enaki povratnim dobam **T** pripadajočih vrednosti pospeška. Na sliki 1 so to presečišča premice $P = 37\%$ s krivuljami za različne čase **t**. Zato je za ponazoritev ponovljivosti posebej zanimiva odvisnost **t** od **a** pri $P = 37\%$, torej odvisnost **T(a)**. Zgornje (odebeljene) krivulje na slikah 2 do 4 ponazarjajo to odvisnost za Ljubljano, Brežice in kraj nastanka idrijskega potresa. Te slike torej kažejo povratno dobo za različne vrednosti pospeška. Zato jih lahko imenujemo krivulje potresne ponovljivosti.

Pripadajoče vrednosti pospeška opredeljujejo le spodnjo mejo možnih vrednosti, ki jih vključuje neka povratna doba. Povratna doba je namreč povprečen čas ponavljanja potresov, ki poleg te spodnje vrednosti vključujejo tudi vse večje vrednosti. Seveda pa so verjetnejše tiste, ki so bližje spodnji vrednosti. Primer s slike 2 (in 1): slika kaže, da ima pospešek $\geq 0,1 \text{ g}$ v Ljubljani povratno dobo 50 let. To pomeni, da je 50 let povratna doba tresljajev, ki lahko presežejo pospešek 0,1 g. Drugače povedano: v Ljubljani v naslednjih 50 letih s 37-odstotno verjetnostjo vrednost pospeška 0,1 g ne bo presežena; 63-odstotna pa je verjetnost, da bo presežena.

Ker ima pospešek 0,1 g povprečno učinko približno VII. stopnje MSK, je v primeru Ljubljane 50 let povratna doba za potresne učinke, ki lahko presežejo VII. stopnjo MSK. Pospešek 0,2 g ima povprečno učinko VIII. stopnje, pospešek 0,4 g pa IX. stopnje MSK. Račun pokaže (s slike 2 to težko ocenimo), da je v Ljubljani povratna doba potresov, ki presežejo VIII. stopnjo MSK, približno 250 let, povratna doba potresov, ki presežejo IX. stopnjo, pa dobrih 1400 let. **To pa pomeni, da se potresi pojavijo v svoji povratni dobi s 63-odstotno verjetnostjo.**

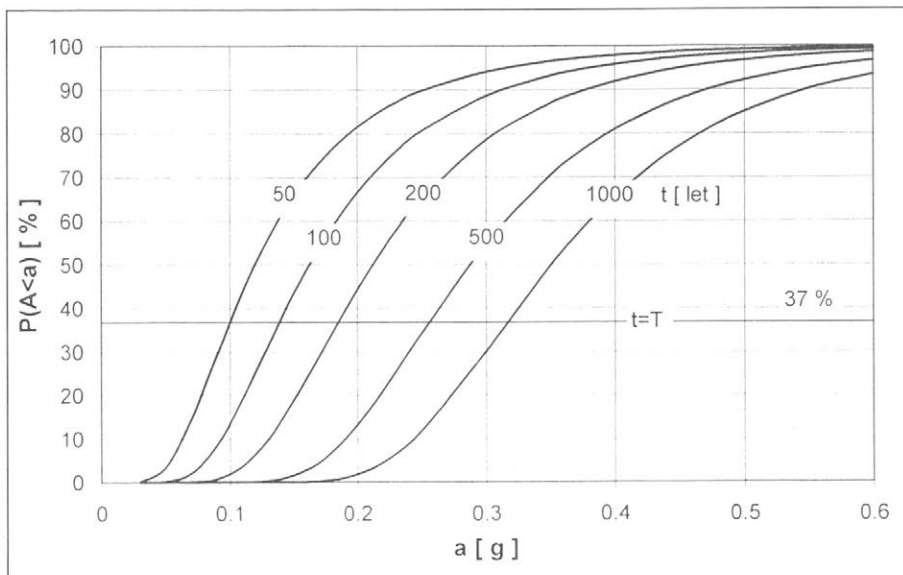
* dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana

*** Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana

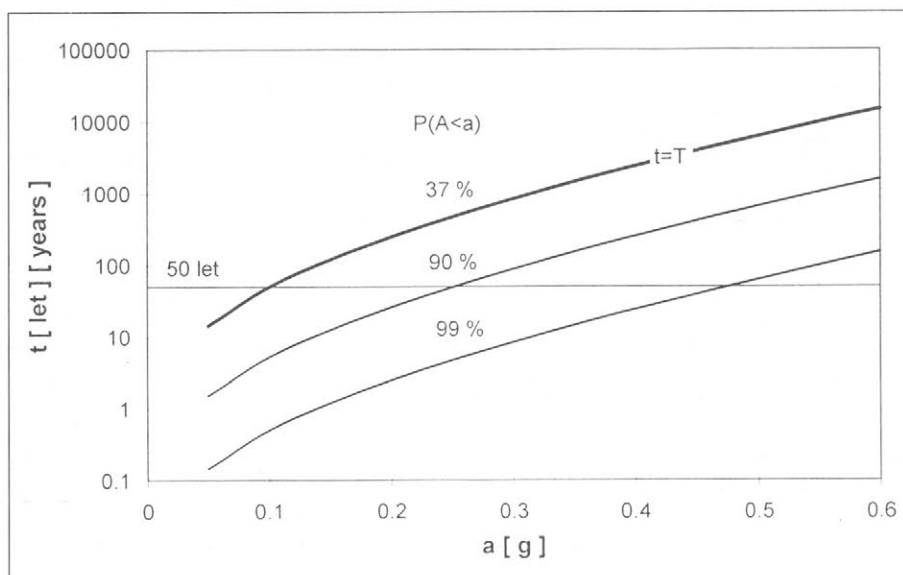
Slike 2 do 4 kažejo, da so povratne dobe potresov IX. ali večje stopnje MSK za Brežice in Idrijsko nekaj tisoč let. Povratne dobe potresov X. ali večje stopnje (pospešek približno $\geq 0,8$ g) pa so povsod precej čez deset tisoč let. Poudariti je treba, da so izračuni oz. krivulje za pospeške, ki presegajo npr. 0,4 g in povratno dobo tisoč let (morda sta tudi ti vrednosti previsoki), statistična ekstrapolacija, ki ni podprta s seizmološkimi podatki. Pri ocenah za večje potrese in čase lahko pomagajo le paleoseizmološki podatki, ki pa za slovensko ozemlje vsaj zaenkrat ne obstajajo.

Pri potresno varnem projektiranju in gradnji je treba upoštevati vrednost potresne stopnje oz. pospeška (ki določa potresno obremenitev oz. silo), ki v amortizacijski oz. življenjski dobi objekta ne bo presežena z veliko verjetnostjo, npr. 90 % ali več. Ker je verjetnost, da potresa v njegovi povratni dobi ne bo, le 37-odstotna, je očitno, da mora biti povratna doba potresa, katerega velikost je predvidena pri projektiranju, precej večja od življenjske dobe objekta. Zato sta na slikah 2 do 4 za primerjavo krivulji $t(a)$ še za $P=90\%$ in $P=99\%$. Ti krivulji npr. kažejo, da v Ljubljani v 50 letih (amortizacijska doba navadnih zgradb) z 90-odstotno verjetnostjo ne bo presežen potresni pospešek 0,25 g, z 99-odstotno verjetnostjo pa pospešek 0,38 g.

Za lažjo primerjavo ponovljivosti potresov smo na sliki 5 ponazorili krivulje $T(a)$ za Ljubljano, Brežice in Idrijsko. Za vrednosti pospeška nad približno 0,11 g so povratne dobe najmanjše v Ljubljani, pod vrednostjo 0,11 g pa so najmanjše v Brežicah. Na Idrijskem so povratne dobe največje do približno 0,37 g, potem pa so največje v Brežicah. Na območju Brežic so v primerjavi z Ljubljano in Idrijskim pogosti manjši potresi in redkejši veliki.



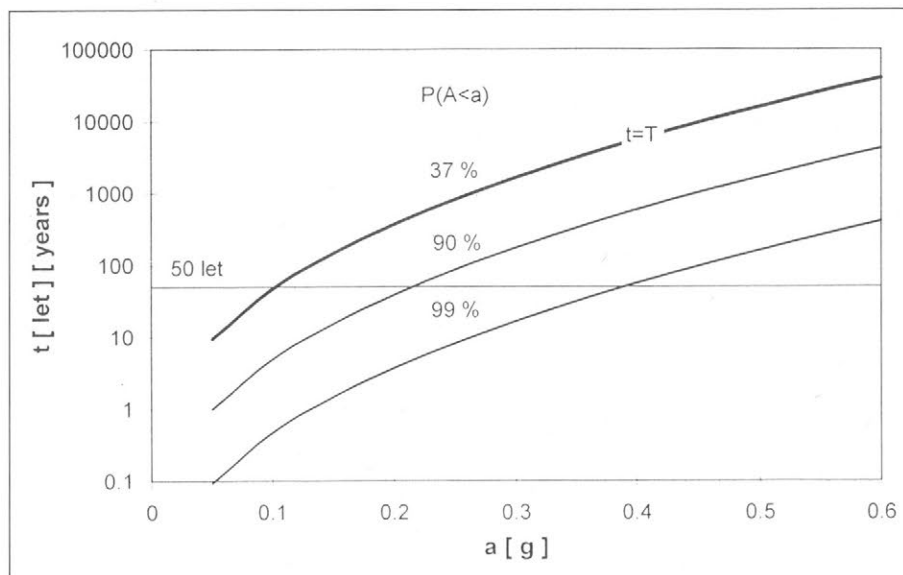
Slika 1. Krivulje potresne nevarnosti za Ljubljano
Figure 1. Seismic hazard curves for Ljubljana



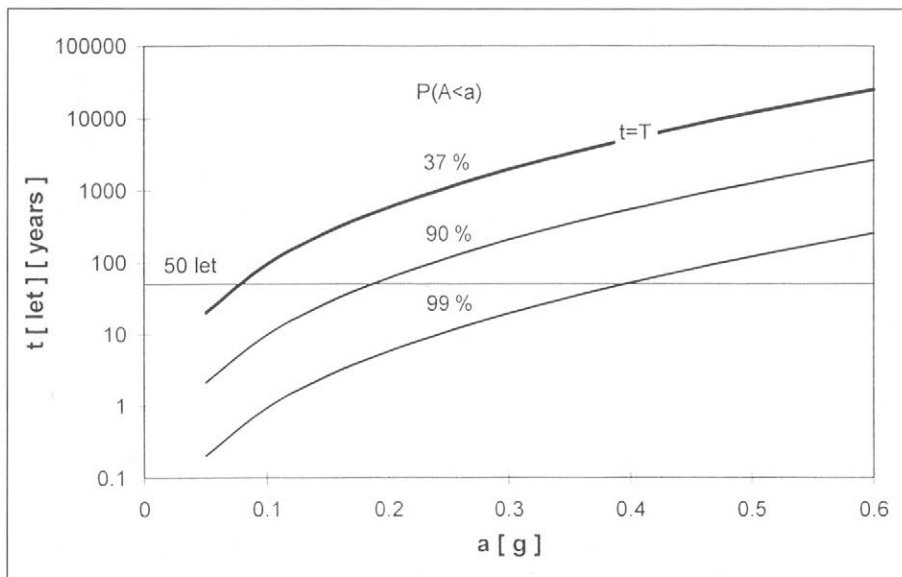
Slika 2. Krivulje potresne ponovljivosti za Ljubljano
Figure 2. Earthquake recurrence curves for Ljubljana

Karte potresne ponovljivosti

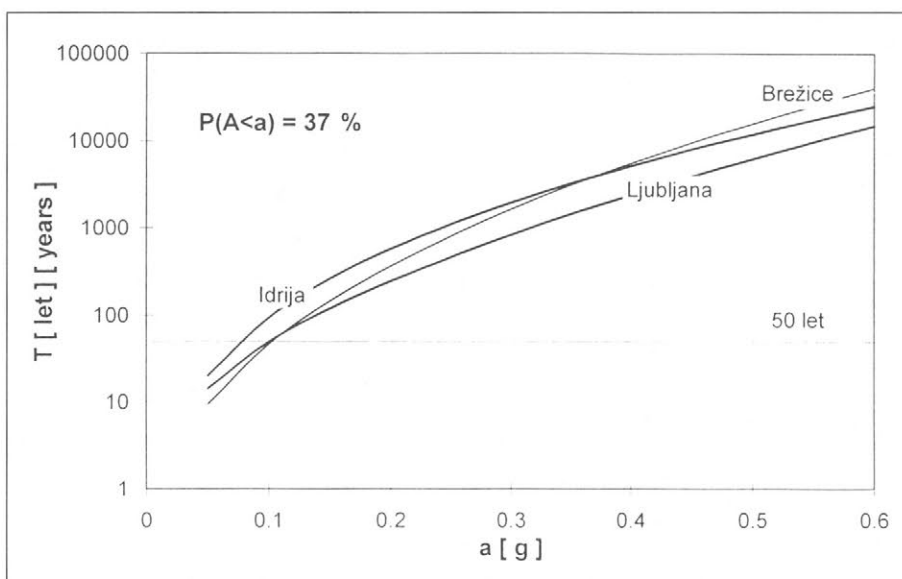
Primerjalni pregled potresne ponovljivosti na celotnem ozemlju Slovenije dajejo ustrezne karte. To so npr. karte povratnih dob potresnega pospeška nad izbrano vrednostjo. Sliki 6 in 7 kažeta karti povratnih dob za vrednost pospeška $\geq 0,1$ g in $\geq 0,2$ g. Prva slika kaže, da so potresi s pospeškom $\geq 0,1$ g najpogostejši (najmanjša povratna doba) na območju Brežic (podobno smo ugotovili že na sliki 5), pogosti pa so še na območju Ljubljane, Breginja, Ilirske Bistrice in Idrijskem. Redki so v severovzhodni Sloveniji in na Koprskem. Pri vrednosti pospeška $\geq 0,2$ g se razmere bistveno spremenijo na območju Ljubljane, Breginja in južno od Ilirske Bistrice, kjer se pogostost sorazmerno poveča glede na druga območja.



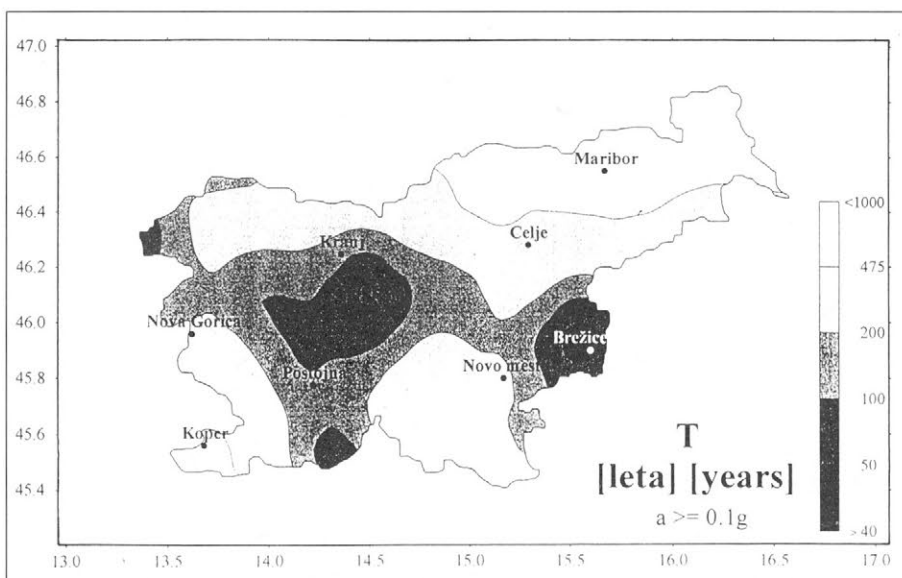
Slika 3. Krivulje potresne ponovljivosti za Brežice
Figure 3. Earthquake recurrence curves for Brežice



Slika 4. Krivulje potresne ponovljivosti za lokacijo potresa na Idrijskem leta 1511
Figure 4. Earthquake recurrence curves for the 1511 Idrija earthquake site



Slika 5. Primerjava krivulj potresne ponovljivosti za tri območja
Figure 5. Comparison of earthquake recurrence curves for three sites



Slika 6. Karta povratnih dob za vršni pospešek tal $\geq 0,1 g$
Figure 6. Map of return periods for peak ground acceleration $\geq 0,1 g$

Pri potresno varnem projektiranju navadnih zgradb (večji del objektov visoke gradnje) nas zanima, kaj se lahko zgodi v njihovi amortizacijski dobi (ponavadi je to 50 let), npr. kolikšna je v Sloveniji verjetnost, da vrednost pospeška 0,1 g ali 0,2 g ne bo presežena. Ustrezni karti kažeta sliki 8 in 9. Tudi tu je za manjši pospešek na območju Brežic največja verjetnost, da bo presežen (oz. manjša, da ne bo presežen), pri večjem pospešku pa je to predvsem na območju Ljubljane. Slika 9 kaže, da z več kot 80-odstotno verjetnostjo vrednost pospeška 0,2 g v 50 letih nikjer v Sloveniji ne bo presežena. Če izvajamo območji Ljubljane in Brežice ter dva manjša obmejna predela, pa je ta verjetnost vsaj 90-odstotna.

Sklep

Za korektno statistično obdelavo in verjetnostne napovedi ter ocene povratnih dob oz. ponovljivosti močnejših potresov je slovenska potresna zgodovina veliko prekratka, potresni katalog pa zelo pomanjkljiv. Večji potresi so dokaj redki, najmočnejši potresni pojavi pa zaradi velike povratne dobe v naši potresni zgodovini morda sploh še niso bili zabeleženi. Poleg tega do konca 19. stoletja veliko zaznavnih potresov sploh niso zapisali, instrumentalni zapisi pa so še mnogo mlajši (zapisi prve potresne opazovalnice v Ljubljani, ki je bila ustanovljena leta 1897, so namreč izgubljeni).

Za korektno statistično verjetnostno obravnavanje bi potrebovali vsaj nekaj desetstisočleten popoln potresni katalog in nespremenljive seizmotektonske razmere v tem času. Taka nedosegljiva datoteka bi izboljšala le ocene statističnih količin in verjetnostno predvidevanje. Determinističnih napovedi kraja, časa in velikosti potresa pa še tako dober potresni katalog ne bi omogočil, saj so potresni pojavi v Sloveniji (pa tudi nasploh) zelo nepredvidljivi in jih je mogoče obravnavati le kot slučajne dogodke. Stanje na tem področju lahko (vsaj deloma) spremeni boljše poznavanje paleoseizmoloških in seizmotektonskih razmer ter žariščnega dogajanja in drugih fizikalnih procesov in pojavov.

Kljub zelo pomanjkljivim vhodnim podatkom in strogo matematično nekoraktnemu obravnavanju so verjetnostne ocene ponovljivosti potresov, ki opredeljujejo potresno nevarnost, neprecenljive za potresno varno gradnjo, prostorsko načrtovanje in ukrepe civilne zaščite.

1. Lapajne, J. K., Šket Motnikar B., Zupančič P., 1995. Preliminary seismic hazard maps of Slovenia, XX General Assembly of the European Geophysical Society, Hamburg, Germany.

2. Lapajne, J. K., Šket Motnikar B., Zupančič P., 1995. Priprava novih kart potresne nevarnosti Slovenije. Ujma, 9, Ljubljana.
3. Pugliese, A., Sabetta F., 1989. Stima di spettri di risposta da registrazioni di forti terremoti italiani, Ingegneria Sismica VI/2, 3-14.
4. Risk Engineering, 1988. FRISK88 User's Manual, Version 1.2, Risk Engineering, Golden, Colorado.
5. Živčič, M., 1992. Katalog potresov. Priloga študije: Verjetnostna ocena potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško, Revizija 1, Končno poročilo. Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani.

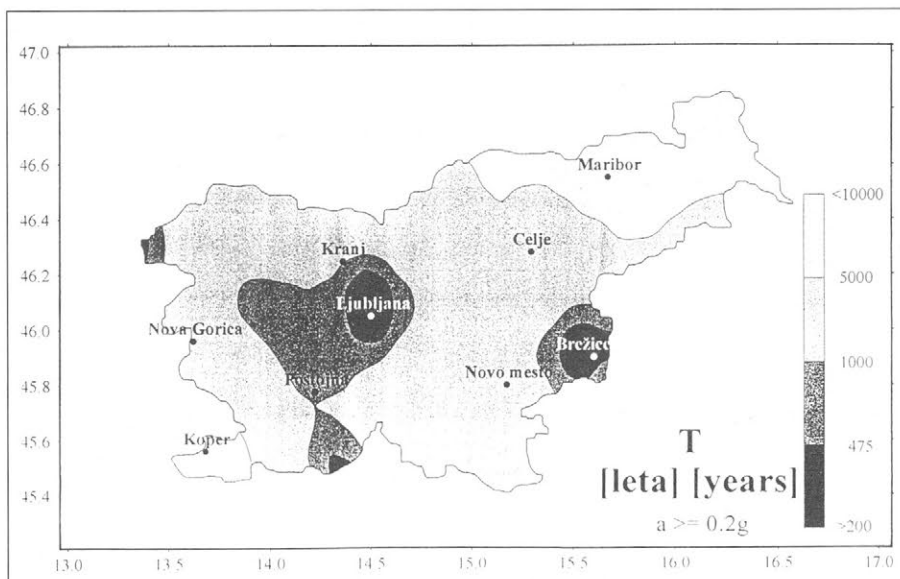
**Janez Lapajne,
Barbara Šket Motnikar,
Polona Zupančič**

The Recurrence of Earthquakes in Slovenia

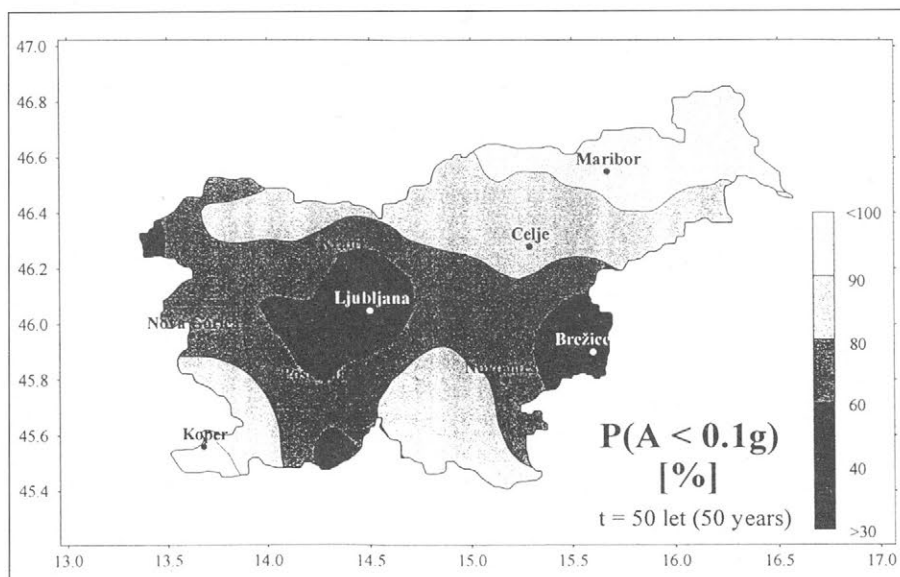
A century after the Ljubljana earthquake with an estimated intensity of VIII to IX on MSK scale, many questions arise about the recurrence of strong earthquakes in Slovenia. For this reason, seismic hazard and earthquake recurrence curves and maps are given in this paper. In view of the great seismic hazard in Ljubljana, Brežice and Idrija area, these three locations were considered in detail. Seismic hazard curves show the dependencies of the non-exceedance probability P on the peak ground acceleration (PGA) a , while earthquake recurrence curves show the dependencies of the time t (in years) on the peak ground acceleration a . When the probability P equals 37 %, the corresponding time t equals the return period T (the average time between two earthquakes of a given size).

Maps of return periods T for PGA ≥ 0.1 g and ≥ 0.2 g were made for the whole territory of Slovenia. These accelerations approximately correspond to the effects of $\geq$ VII and $\geq$ VIII on MSK scale. In designing earthquake resistant buildings, a period of 50 years is usually chosen. Therefore, the maps of 50-years non-exceedance probability for PGA 0.1 g and 0.2 g are also presented.

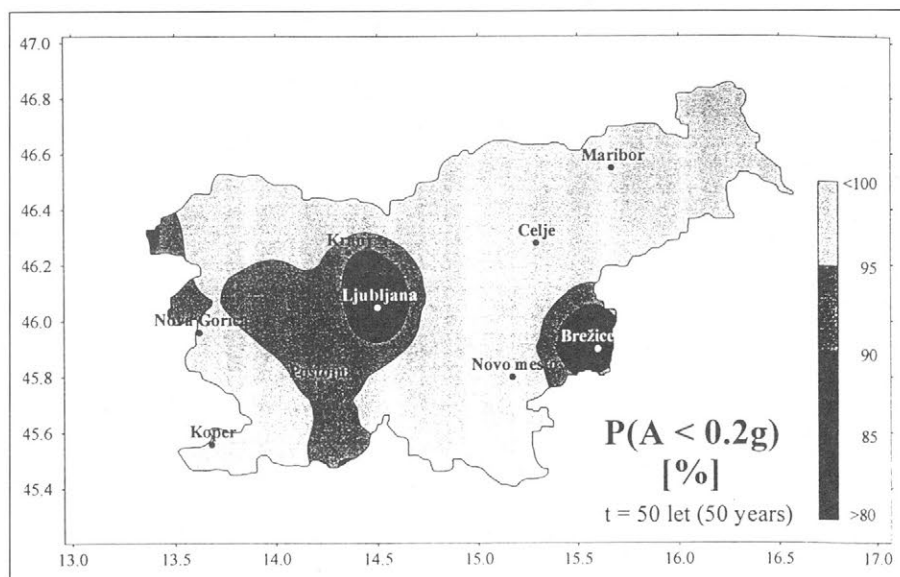
Results show that for PGA ≥ 0.1 g ($\geq$ VII MSK) the earthquake return period for Ljubljana is 50 years, for PGA ≥ 0.2 g ($\geq$ VIII MSK) is 250 years, and the return period for PGA ≥ 0.4 g ($\geq$ IX MSK) is 1,400 years. Similar conclusions can be made for the Brežice and Idrija areas. In Slovenia, there is at least 80 % probability that the PGA value of 0.2 g (VIII MSK) will not be exceeded in 50 years.



Slika 7. Karta povratnih dob za vršni pospešek tal $\geq 0,2$ g
Figure 7. Map of return periods for peak ground acceleration $\geq 0,2$ g



Slika 8. Karta verjetnosti, da vršni pospešek tal 0,1 g ne bo presežen v 50 letih
Figure 8. Map of 50 years non(exceedance probability for PGA 0,1 g



Slika 9. Karta verjetnosti, da vršni pospešek tal 0,2 g ne bo presežen v 50 letih
Figure 9. Map of 50 years non(exceedance probability for PGA 0,2 g