

POTRESNA NEVARNOST NA OBMOČJU LJUBLJANE

Renato Vidrih*, Matjaž Godec**

UDK 550.34 (497.12—191.2)

Gorenjsko—ljubljsko seizmogeno področje je med potresno najbolj nevarnimi v Sloveniji. Po sproščeni potresni energiji ga uvrščamo na prvo mesto, sledita pa mu idrijsko in krško—brežiško področje. Iz preteklosti so v Ljubljani in okolici znani močni potresni sunki. Najmočnejši je nastal 14. 4. 1895 ob 22. uri in 17. minut po UTC. Dosegel je 6,1 stopnje po Richterjevi lestvici oziroma učinke med 8. in 9. stopnjo po MSK. Poleg velike grotne škode je povzročil tudi nekaj smrtnih žrtev. Na podlagi seizmoloških podatkov in geološke zgradbe terena smo izrisali karte potresne nevarnosti, ki so objavljene v elaboratu Potresna ogroženost mesta Ljubljane. Tu dajemo le osnovne elemente potresne nevarnosti in karto potresne mikrorajonizacije, ki temelji na karti za povratno dobo 500 let.

Položaj mesta Ljubljane z okolico

Mesto Ljubljana je v ljubljanski seizmogeni coni (6). Celotno območje ljubljanskih občin pa pripada gorenjsko-ljubljansko-dolenjsko-notranjsko-belokranjskemu seizmogenemu področju, ki ga gradijo trije sistemi:

- gorenjsko-ljubljanski,
- dolensko-notranjski in
- belokranjski.

Te sisteme delimo v seizmogene cone, te pa v bloke. Oglejmo si le razdelitev gorenjsko-ljubljanskega seizmogenega sistema. Delimo ga v naslednje cone in bloke:

- gorenjska seizmogenena cona:
 - gorenjski seizmogeni blok,
 - blok Sorškega polja,
 - blok Kranjskega polja;
- ljubljanska seizmogenena cona:
 - centralni blok Ljubljane,
 - seizmogeni blok osamelcev,
 - seizmogeni blok Kamniškega polja,

— seizmogeni blok Ljubljanskega barja;

- seizmogenena cona Polhograjskih dolomitov:

— seizmogeni blok Tošča,
— polhograjski seizmogeni blok,
— horjulski seizmogeni blok.

Izračunane so prognozne karakteristike za vsak seizmogeni blok. Za celotni gorenjsko-ljubljanski seizmogeni sistem sta možni največja magnituda $M = 6,2$ in največja možna intenziteta $I^0 = 9$ MSK. (4).

Neotektonska zgradba in prelomna tektonika

Ozemlje Ljubljane in širše okolice gradijo neotektonski bloki (5). Področja južno od Ljubljane so se v kvartarju pogrezala, zahodni in vzhodni predeli imajo tendenco dvigovanja, severne predele pa gradijo

miocenske depresije s pogrezanjem v pliocenu in kvartarju.

Ozemlje sekajo številni prelomi, ki se razprostirajo v štirih glavnih smereh. Poleg redkih najstarejših prelomov s smerjo vzhod-zahod, sekajo ozemlje številni dinarski in prečnodinarski prelomi, ki so večinoma potresno aktivni. Potresno so aktivni tudi prelomi, ki potekajo v smeri sever-jug.

Pregled močnejših potresov z žarišči na širšem območju Ljubljane

Preglednica 1 prikazuje najmočnejše potrese, ki so nastali v Ljubljani in okolici od 1. 792 n.e. dalje in so na epicentralnem območju presegli intenziteto 6,5 MSK (2). Razpored vseh potresov, ki so nastali na tem področju, vidimo na sliki 1.

Preglednica 1. Pregled najmočnejših potresov v Ljubljani in okolici od leta 792 n. e. dalje. Našteti so vsi potresi, ki so dosegli učinke, večje od 6,5 stopnje po MSK.

Datum	Čas UTC	Kraj	I ⁰ MSK	M po Richterju
leto 792	—	Kranjska	8	
januar 1000	—	Ljubljana	8	
26. 03. 1081	—	Ljubljana	8	
januar 1508	—	Ljubljana	7	
17. 11. 1575	—	Ljubljana	7	4,7
22. 04. 1590	12.30	Ljubljana	7	4,7
leto 1621	—	Ljubljana	7	4,7
05. 05. 1622	11.00	Ljubljana	7—8	4,9
leto 1625	—	Kranjska	7	4,7
21. 10. 1684	05.30	Ljubljana	7	4,7
21. 12. 1845	20.40	Ljubljana	7—8	4,9
09. 11. 1856	22.17	Ljubljana	7	4,5
17. 07. 1882	07.51	Vrhnika—Rovte	7	4,8
14. 04. 1895	22.17	Ljubljana	8—9	6,1
14. 04. 1895	23.01	Ljubljana	7	5,1
15. 07. 1897	05.57	Ljubljana	8	4,9
19. 05. 1963	10.00	Litija—Šmartno	7	4,9

Sproščena potresna energija

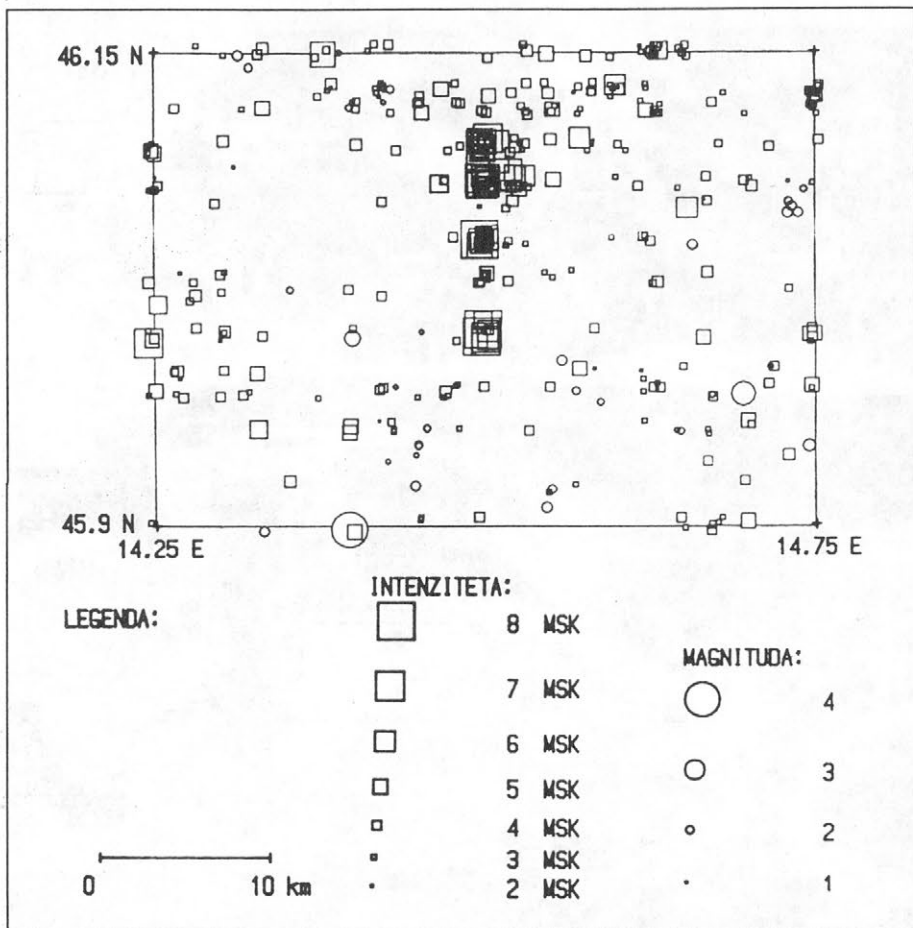
Gorenjsko-ljubljansko seizmogeno področje je po sproščeni energiji najbolj aktivno v Sloveniji (slika 2). Sproščena energija je izračunana po enačbi Solovjeva:

$$\log E = 11,5 + 1,5 M$$

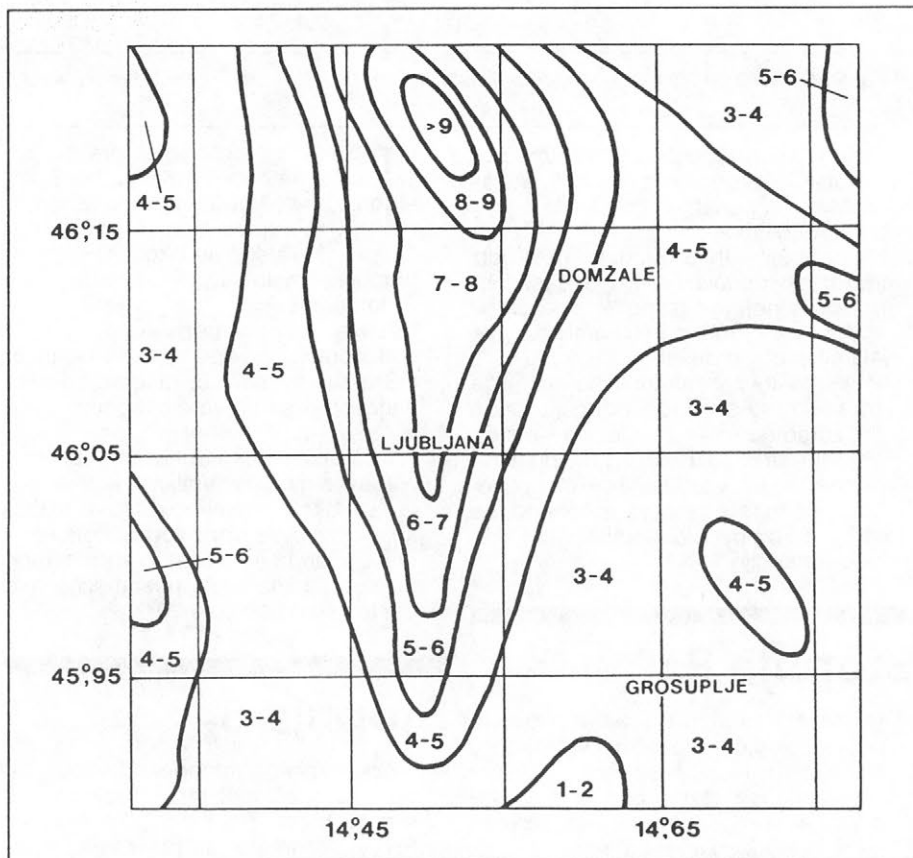
Celovita slika sproščene energije predstavlja približno oceno, izračunano na podlagi zabeleženih potresov. Dana je v enotah $\log_{10} MJ$ (megajoulov).

* Mag., Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Glovec 25, Ljubljana.

** Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Kersnikova 3, Ljubljana.



Slika 1. Pregled potresov na širšem območju mesta Ljubljane od leta 792 n. e. do danes med koordinatami 45,90 in 46,15 N ter 14,25 in 14,75 E. Mesto Ljubljana leži približno v središču slike.



Slika 2. Sproščena potresna energija na širšem območju mesta Ljubljane, izražena v enotah $\log_{10} MJ$ (megajouli). (Ribarič, 1982)

Karta potresne mikrorajonizacije

Za ozemlje Slovenije so bile izdelane karte za povratne dobe potresov 50, 100, 200, 500, 1000, 10 000 let kot del seizmološke karte Jugoslavije (3). Slika 3 kaže karto mikrorajonizacije dela Ljubljane. Narejena je na osnovi karte za povratno dobo potresov 500 let (3), ki je predpisana pri projektiranju objektov visoke gradnje. Povratno dobo 500 let imajo na območju Ljubljane potresi 8. stopnje po MSK. Na podlagi geoloških struktur smo obravnavano ozemlje razdelili na manjša področja z največjimi pričakovanimi stopnjami 8, 8₂, 8₃, 9₂, 9₃ MSK. Glede na seizmološke podatke (upoštevaje karto za povratno dobo 1000 let) lahko na območju mesta Ljubljane pričakujemo tudi potrese 9. stopnje po MSK, ki lahko na določenih predelih dosežejo tudi učinke do 10. stopnje po MSK.

Opis pričakovanih potresnih učinkov

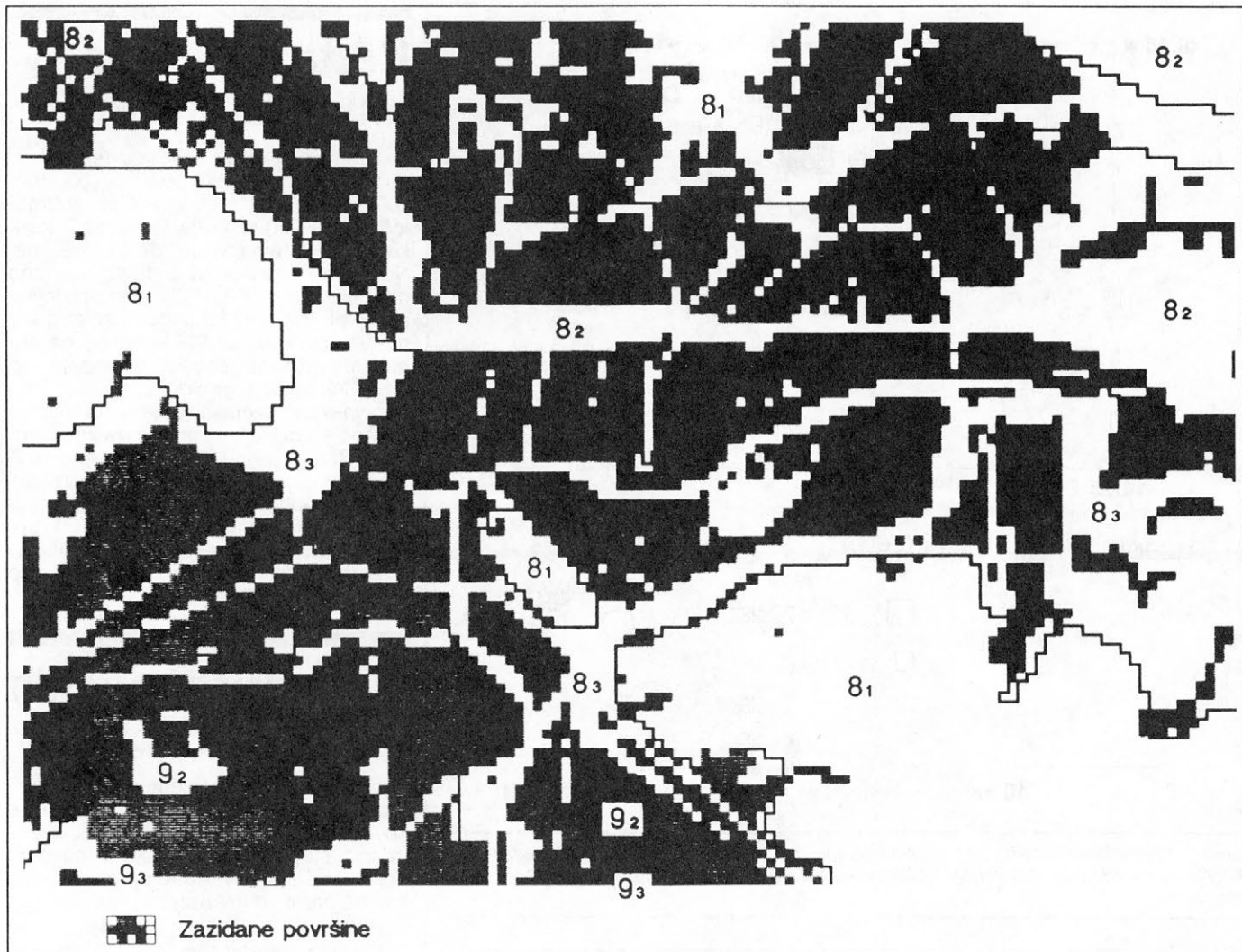
Karta tako poenostavljene potresne mikrorajonizacije mesta Ljubljane in pričakovani potresni učinki pripadajočih potresnih stopenj predstavljajo osnovo za oceno pričakovanih izgub pri potresu določene največje intenzitete.

Opis potresnih učinkov, ki temelji na različici potresne lestvice MSK 78, povzamemo po J. Lapajnetu (5), vidike klasifikacije, vrste zgradb in poškodbene kategorije pa iz opisa MSK-lestvice (1).

Osovni elementi, ki jih uporabljamo pri opisu pričakovanih potresnih učinkov, so:

- Vidiki klasifikacije:
 - ljudje in njihova okolica — zanznavanje,
 - zgradbe — poškodbe,
 - narava — pojavi, spremembe.
- Vrste zgradb:
 - stavbe iz neobdelanega kamna, kmečka poslopja, hiše iz na zraku sušene opeke — adobe, domovi iz ilovice;
 - navadne opečne hiše, zgradbe iz velikih blokov, zidana poslopja z lesenim ogrodjem, stavbe iz naravnega obdelanega kamna;
 - zgradbe z železobetonskim in jeklenim ojačanjem ali ogrodjem, stavbe iz večjih prefabriciranih plošč, močnejše lesene hiše.

(Opomba: Zgradbe, ki so grajene po predpisih o potresnovarni gradnji, tu niso zajete.)
- Poškodbene kategorije:
 - kategorija — LAHKE POŠKODBE: fine razpoke v ometu, odpadanje koščkov ometa;
 - kategorija — ZMERNE POŠKODBE: majhne razpoke v stenah, odpa-



Slika 3. Karta potresne mikrorajonizacije, narejena na osnovi karte za povratno periodo potresov 500 let (izdelana na Seizmološkem Zavodu RS, na enotno mrežo rastra 50x 50 m priredil M. Orožen Adamič).

danje večjih kosov ometa, odpadanje strešnikov, razpoke v dimnikih, odlomi delov dimnikov;

3. kategorija — HUDE POŠKODBE: velike in globoke razpoke v stenah, odlomi dimnikov;

4. kategorija — PORUŠITVE: prelomi in reže v zidovih, podiranje delov stavb, popuščanje povezav posameznih delov zgradb, zrušenje notranjih sten in zapolnitev v ogradjah;

5. kategorija — UNIČENJE: zrušenje zgradb.

Prek 40 % zgradb tipa C pretrpi poškodbe 1. kategorije, prek 10 % 2. kategorije, na posameznih pa nastanejo poškodbe 3. kategorije.

Na pobočjih lahko pride do poškodb in zdrsov osnovne blazine cest. Na poteh se pojavijo razpoke, stiki cevodovodov na vodovodnih omrežjih se marsikje poškodujejo.

- c) Peščene in prodne brežine marsikje zdrsnejo, na strmejših pobočjih pride do zdrsov zemljin, v vlažnih tleh se pojavijo širše razpoke, voda postane motna zaradi vzburkanega blata, nekateri izviri presahnejo, ponekod pa se pojavijo novi. Vodostaji v vodnjakih se spremenijo.

Prek 50 % zgradb tipa B pretrpi poškodbe 2. kategorije, okoli 20 % 3. kategorije, maloštevilne pa 4. kategorije. Prek 50 % zgradb tipa C pretrpi poškodbe 1. kategorije okoli 20 % 2. kategorije, maloštevilne zgradbe pa 3. kategorije.

Pojavijo se posamezni lomi na šivih vodovodnih napeljav, spomeniki in kipi se premaknejo in deloma zavrtijo, nagrobniki se prevrnejo, kamniti zidovi se rušijo.

- c) Na pobočnih cestnih nasipih pride do zdrsov in usadov zemljin, v tleh se pojavijo nekaj centimetrov široke razpoke, pojavijo se nove vodne kotanje, v mnogih primerih pride do spremembe toka in gladine vode, posamezne veje dreves se odlomijo.

Stopnja 8₁

- a) Prebivalstvo se močno prestraši. Posamezniki se poškodujejo. Premakne se težje pohištvo in mesta se lahko tudi prevrne.

- b) Prek 40 % zgradb tipa A pretrpi poškodbe 3. kategorije, prek 10 % 4. kategorije, posamezne zgradbe pa 5. kategorije. Prek 40 % zgradb tipa B pretrpi poškodbe 2. kategorije, prek 10 % 3. kategorije, posamezne zgradbe pa tudi 4. kategorije.

Stopnja 8₂

- a) Nastaneta strah in panika. Prestrašijo se tudi ljudje v vozečih avtomobilih. Maloštevilni se poškodujejo. Premakne se težko pohištvo, posamezni kosi se prevrnejo. Nekateri viseče svetilke se poškodujejo.
- b) Prek 50 % zgradb tipa A pretrpi poškodbe 3. kategorije, okoli 20 % 4. kategorije, maloštevilne pa 5. kategorije.

Stopnja 8₃

- a) Panika zajame mnoge. Nekateri se poškodujejo, možna je tudi kakšna smrtna žrtev. Precej predmetov se prevrne ali pade in razbije.
- b) Dobra polovica zgradb tipa A pretrpi poškodbe 3. kategorije, slaba tretjina

4. kategorije, prek 5 % pa 5. kategorije.

Dobra polovica zgradb tipa B pretrpi poškodbe 2. kategorije, slaba tretjina 3. kategorije, prek 5 % 4. kategorije, posamezne se porušijo.

Polovica zgradb tipa C pretrpi poškodbe 1. kategorije, okoli 30 % 2. kategorije, prek 5 % 3. kategorije, posamezne (okoli 2 %) tudi 4. kategorije.

Na šivih vodovodnih napeljav se pogosto lomi, lažje se poškodujejo vodni rezervoarji, spomeniki in kipi se ponekod prevrnejo.

- c) Na pobočjih pride do manjših zemeljskih plazov, v tleh nastanejo širše razpoke, voda v rezervoarjih vzvalovi, na poplavnih območjih se ponekod pojavijo voda, blato in pesek.

Stopnja 9₂

- a) Ljudi zajame splošna panika. Možne so smrtno žrtve. Živali begajo sem in tja in spuščajo predirljive glasove. Pohištvo se močno poškoduje.

- b) Dobra polovica zgradb tipa A pretrpi poškodbe 4., okoli 20 % pa 5. kategorije.

Dobra polovica zgradb tipa B pretrpi poškodbe 3. kategorije, okoli 20 % poškodbe 3. kategorije, kakih 5 % pa se jih poruši.

Dobra polovica zgradb tipa C pretrpi poškodbe 2. kategorije, okoli 20 % 3. kategorije, kakih 5 % pa 4. kategorije.

Spomeniki in stebri se prevrnejo. Rezervoarji se precej poškodujejo, podzemeljski cevovodi se ponekod pretrgajo. Tu in tam se poškodujejo železniške proge in ukrivijo tračnice.

- c) V ravninskih predelih so pogosta poplavljanja ter nanosi peska in blata. Razpoke v tleh dosežejo širino do 1 decimetra, na pobočjih in brežinah pa tudi več. Poleg teh nastane tudi več manjših razpok. Skalovje se ruši. Pogosti so usadi, udori in osipi zemljin. Na vodni gladini nastanejo veliki valovi.

Stopnja 9₃

- a) Splošna panika in obup. Možne so smrtno žrtve.

- b) Okoli 60 % zgradb tipa A pretrpi poškodbe 4. kategorije, prek četrtine pa se jih poruši.

Dobra polovica zgradb tipa B pretrpi poškodbe 3. kategorije, Dobra četrtina poškodbe 4. kategorije, med 5 in 10 % pa se jih poruši.

Dobra polovica zgradb tipa C pretrpi poškodbe 2. kategorije, okoli 30 % 3. kategorije, med 5 in 10 % 4. kategorije, tu in tam pa se katera lahko tudi poruši.

Pregrade, nasipi in mostovi se deloma poškodujejo. Na več mestih se pretrgajo podzemeljski cevovodi, po-

škodujejo železniške proge in ukrivijo tračnice.

- c) Razpoke v tleh dosežejo širino prek 1 decimetra, na pobočjih in brežinah tudi precej več. Zelo pogosti so usadi, udori in osipi zemljin ter rušenje skalovja. Gladine vod so močno razburkane in vzvalovljene.

OPOMBA: Učinki, ki so značilni za neko stopnjo, pa niso naštetih pri naslednjih stopnjah, se seveda pojavijo tudi pri teh, če ne pride do hujših posledic. Možnost smrtnih žrtev je navedena šele pri stopnji 8₃, ker so pri nižjih stopnjah smrtni primeri izredno redki. Zaradi številnih dejavnikov, ki lahko privedejo do nevarnih okoliščin, so posamezne smrtno žrtve možne tudi pri nižjih stopnjah (posebno pri 8₁ in 8₂).

Zaključek

Rezultati naloge, ki sta jo naročila Mestni sekretariat za ljudsko obrambo in Mestni štab za civilno zaščito, izdelala pa Seizmološki zavod Republike Slovenije in Inštitut za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije pri Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij in so izšli v elaboratu Potresna ogroženost mesta Ljubljane I. in II. del, predstavljajo oceno učinkov, ki bi jih v Ljubljani povzročil močnejši potres. V nalogi sta obravnavani potresna nevarnost in potresna ogroženost.

Tu smo prikazali zelo poenostavljeno sliko potresne nevarnosti, ki je del naloge, namenjene načrtovanju ukrepov v civilni zaščiti v primeru potresa.

Za natančnejšo oceno potresne nevarnosti bi morali obstoječe podatke dopolnjevati predvsem s terenskimi meritvami, ki jih dosedaj praktično ni bilo. Seveda bi z boljšim poznavanjem potresne nevarnosti mesta Ljubljane veliko več vedeli tudi o potresni ogroženosti.

- Lapajne, J., 1989. Potresna lestvica MSK. Ujma št. 3, Ljubljana, 62—66.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n.e.—1981). Publikacije seizmološkega zavoda SR Slovenije, Ljubljana.
- Ribarič, V. in sod., 1987. Seizmološke karte za povratne periode 60, 100, 200, 500, 1000 in 10 000 let. Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Sikošek, B., 1982. Tektonika, neotektonika in seizmotektonika SR Slovenije. Publikacije seizmološkega zavoda SR Slovenije, Ljubljana.
- Tomažević M., J. Lapajne, P. Sheppard, M. Bergant, M. Lutman, M. Godec, R. Vidrih, 1991. Potresna ogroženost mesta Ljubljane I. in II. del, Seizmološki zavod R Slovenije in IKFIS — ZRMK, Ljubljana.
- Vidrih, R., M. Godec, J. Lapajne, 1991. Potresna ogroženost Slovenije — občine Brežice, Idrija, Krško, Tolmin in ljubljanske občine. Seizmološki zavod R Slovenije, Ljubljana.

R. Vidrih, M. Godec

Seismic Hazard in Ljubljana

The area of the City of Ljubljana and its vicinity ranks among the seismically most active regions in Slovenia, which is corroborated by the released seismic energy. The most powerful earthquake took place on April 14, 1895 at 22.:17 UTC. It measured 6.1^o on the Richter scale and its strongest devastating effects were between 8^o and 9^o MSK.

The entire Ljubljana District falls in the Gorenjsko-Ljubljana-Dolenjsko-Notranjsko-Bela Krajina seismogenous area, which consists of three systems. Ljubljana is situated in the Gorenjsko-Ljubljana system, which is made up of three zones: Ljubljana, Gorenjsko, and the Pohorajski Dolomites. The prognostic features of this system are a maximum of 6.2^o on the Richter scale and a maximum intensity as 9^o MSK.

The numerous faults that criss-cross the area extend in four main directions. The oldest faults extend east-west and are seismically inactive. Dinaric faults stretch northwest-southeast and are partly active. Likewise partly active are transverse Dinaric faults extending northeast-southwest. The most active are faults of later geological development north-south.

The map of the seismic microzonation of Ljubljana is based on the probability seismic map for a return period of 500 years (8^o MSK for Ljubljana), which is requisite for the construction of high-rise buildings in seismic areas. According to geological structures, these areas are ranked by expected levels of seismic activity as 8₁, 8₂, 8₃, 9₂, 9₃. The results indicate an approximate seismic hazard estimate. For a more accurate estimate, the existing data should be supplemented by field work results.

UJMA

UJMA

UJMA