

OCENA MOŽNIH POSLEDIC POTRESA V LJUBLJANI

Milan Orožen Adamič*

UDK 550.34 (497.12 Ljubljana)

Bližamo se stoti obletnici zadnjega rušilnega potresa v Ljubljani (1985). To seveda ni razlog za skorajšnjo ponovitev podobnega pojava, verjetnost zanj pa se seveda povečuje. Kako hude bi lahko bile posledice potresa, je odvisno od naše pripravljenosti nanj. Potres bo edini nepristranski ocenjevalec preventivnih ukrepov, protipotresne zaščite in neusmiljen sodnik slabo zasnovanim gradnjam. V prispevku je s pomočjo geografskih informacijskih sistemov prikazan poglobljeni rezultati ocene možnih posledic potresa v Ljubljani.

Leta 1976 je zaradi posledic potresa v Posočju in zaradi drugih nesreč v tem letu škoda presegla 7 % letnega družbenega proizvoda Slovenije. Škoda po neurju v letu 1990 je znašala okrog 20 % letnega družbenega proizvoda Slovenije. Za Slovenijo je značilno, da je v naravnih nesrečah razmeroma malo žrtev, materialna škoda, ki jo povzroča, pa je velika. Ob tem se moramo zavedati, da bi bila ob večjem potresu škoda zelo velika in lahko bi bilo tudi veliko smrtnih žrtev (3).

Iz ocen potresne ogroženosti Slovenije (13) je razvidno, da po kapacitetah močno izstopa ljubljansko območje z največjo koncentracijo prebivalstva in največjim povprečnim družbenim proizvodom na prebivalca. Stopnja industrializacije je tu sicer razmeroma majhna (v absolutnem smislu je velika), v ospredju so tudi druge dejavnosti, pri čemer ne gre pozabiti centralnih funkcij največjega in glavnega mesta Slovenije. Razmeroma starih in potresno ne dovolj varno grajenih stanovanj je v Ljubljani veliko. Zato imamo ljubljansko območje upravičeno za relativno najbolj ogroženo območje v Sloveniji. S to ugotovitvijo seveda ne želimo zmanjšati pomena ali stopnje ogroženosti drugih potresno ogroženih območij v Sloveniji. Nemimo pa, da bi potres leta 1976, ki je prizadel Posočje (manj gosto poseljeno in manj razvito območje), imel na ljubljanskem območju znatno večje posledice. Razumljivo je, da bi bile te tudi drugačne kot v Posočju, kajti gre za dve različni regiji, kompleksno geografskem pogledu bistveno različnih območij.

Zato smo za Ljubljano zbrali vrsto podatkov in opravili številne analize. Naš namen je bil s prekrivanjem nekaterih v nadaljevanju imenovanih "elementov" mesta in območij posameznih potresnih stopenj ugotoviti oziroma oceniti potresno ogroženost delov mesta. V prvi vrsti smo želeli ugotoviti, kaj posamezna območja mikrosezmične rajonizacije Ljubljane dejansko pomenijo, kaj je v njih, kakšne so kapacitete. Opravili smo analize, s katerimi smo poskušali poiskati odgovor na vprašanje "Kaj se lahko zgodi ob potresu z učinki 8 ali 9 stopnje po MCS?".

Ocena ogroženosti je osnova za preventivno dejavnost, načrtovanje, oblikovanje in izvajanje konkretnih ukrepov (15). Za Ljubljano in za širše območje mesta je velika potresna nevarnost že dolgo znana. Številne izkušnje pri nas in po svetu potrjujejo, da lahko le z dolgoročno preventivnim delovanjem bistveno omilimo posledice potresa. To je spodbudilo izdelavo prve podrobne študije za območje mesta Ljubljane z naslovom "Potresna mikrorajonizacija Ljubljane" (18). Ta raziskava je bila tudi ena od temeljnih prostorskih "danosti" v dokumentih novelacije generalnega urbanističnega načrta mesta Ljubljane (11).

Prvi poskusi ocene kapacitet v Ljubljani so bili opravljeni ob novelaciji Generalnega urbanističnega načrta Ljubljane v letih 1973–1974. Kasneje so bili z nekaterimi kapacitetami deloma dopolnjeni in kvantitativno ovrednoteni (4).

Nesporno se kaže razlika med bolj ogroženim osrednjim in južnim delom mesta in "varnejšim" severnim delom mesta. Ob potresu nas seveda najbolj prizadene izguba človeških življenj, šele nato materialna škoda, zato bi morali preventivno dejavnost osredotočiti na območja oziroma objekte, v katerih se zadržuje največ ljudi, to so stanovanja, delovni in najrazličnejši javni prostori. Opravljenih je bilo več gradbenotehničnih raziskav, zbrani so bili številni podatki, ki so bili deloma tudi objavljeni (9).

Raziskave, ki so usmerjene v preventivo, bi morale potekati sistematično, in to na dveh vzporednih ravneh. Najprej bi morali popisati objekte, v katerih se zadržuje veliko ljudi, in na osnovi teh podatkov, od primera do primera, konkretno preveriti gradbenotehnične elemente objekta. Če bi se objekt izkazal za gradbenotehnično pomanjkljivega, bi ga morali uvrstiti med prednostne preventivne sanacijske naložbe. To bi morala biti dolgoročna in trajna naloga. To delo v okviru svojih možnosti in v sodelovanju z drugimi deloma izvaja Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij. Z dolgoročno zastavljenim in dobro vodenim preventivnim delovanjem bi lahko bistveno zmanjšali potencialno nevarnost in število žrtev ob morebitnem

katastrofalnem potresu. Vendar dosti naprej od osnovnih zamisli še nismo prišli. Temelj našemu delu je bila podrobna karta mikrosezmične rajonizacije Ljubljane (8). V tej študiji so tri karte pričakovanih učinkov potresov za povratno periodo 50 let, 500 let in 1000 let. Izris območij na kartah je sicer identičen, razlike pa so v največjih pričakovanih MCS stopnjah. Glede na seizmološke podatke se za območje mesta Ljubljane s 63-odstotno verjetnostjo pričakuje prekoračitve in povratno periodo 1000 let tudi za potrese 9. stopnje po MCS-lestvici, 500 let za potrese 8. stopnje in 50 let za potrese 7. stopnje (8).

Preglednica 1. Največje pričakovane MCS stopnje.

Table 1. The highest expected MSC grade.

potresi za povratno periodo	* potresna območja							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 50 let	6/3	7/1	7/2	7/3	8/2	8/3	9/2	9/3
2. 500 let	7/3	8/1	8/2	8/3	9/2	9/3	10/2	10/3
3. 1000 let	8/3	9/1	9/2	9/3	10/2	10/3	11/2	11/3

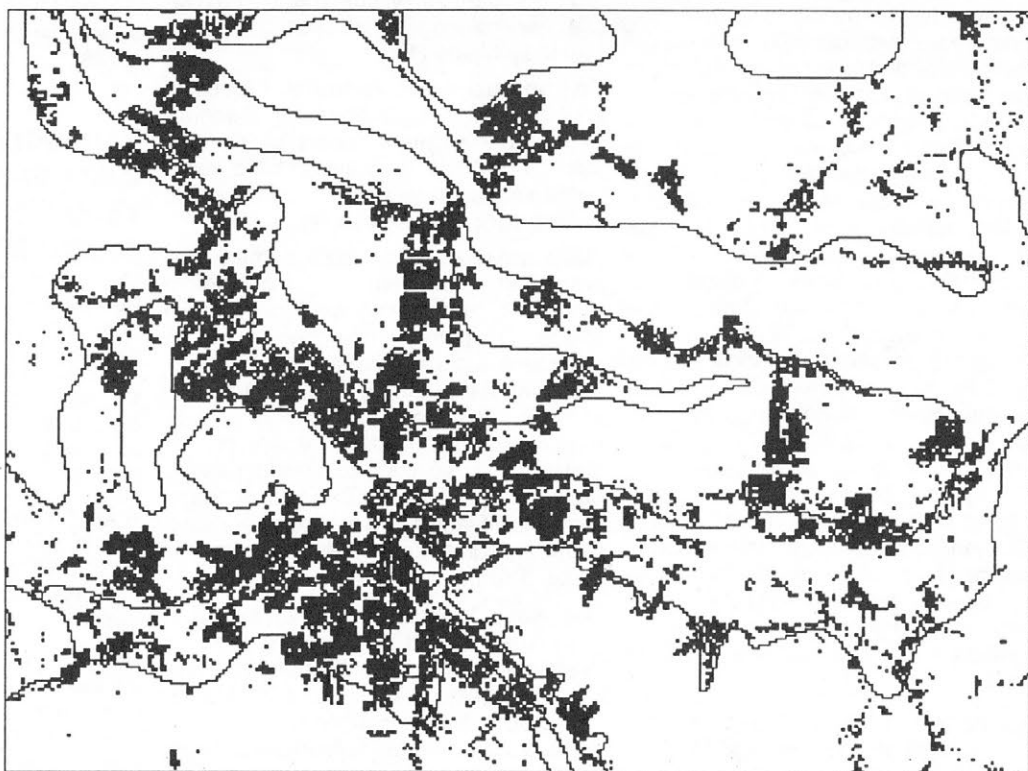
Z zvezdico (*) je označen stolpec MCS območij, ki v raziskavi niso upoštevani, ker so že zunaj ožjega obravnavanega območja, oziroma zunaj našega geografskega informacijskega sistema.

Druga karta, s pomočjo katere smo izdelali osnovne analize kapacitet po posameznih potresnih območjih, je bila karta mesta Ljubljane v merilu 1 : 20 000, ki je v osnovi generalizacija kart v merilu 1 : 5000 (2). Sledila je faza priprave digitalnega modela reliefa 100 x 100 m (17), ki je bil osnova našemu računalniškemu informacijskemu sistemu. Površina našega informacijskega sistema je 182,71 km² oziroma približno 0,9 % površine Slovenije (slika 1).

Temu je sledila faza podrobnega zajemanja cele vrste podatkov, in to v glavnem s pomočjo digitalizacije, in oblikovanje podatkovne zbirke v geografskem

* Dr., Geografski inštitut Antona Melika, ZRC SAZU, Gosposka 13, Ljubljana.

-  8/1
-  8/2
-  8/3
-  9/2
-  9/3



Slika 1. Skica karte mikrosezmičnih območij za periodo 500 let (8).

Figure 1. Map of macroseismic areas for a period of 500 years.

informacijskem sistemu. Osnovne podatke – plasti smo v nadaljevanju po potrebi preoblikovali v posebne tematske prikaze. Tako smo na primer izdelali analizo naklonov reliefa po naklonskih razredih in MCS-območjih.

Pregled osnovnih plasti geografskega informacijskega sistema:

- digitalni model reliefa 100 m x 100 m,
- interpoliran digitalni model reliefa 50 m x 50 m,
- 10-metrski višinski pasovi,

- 25-metrski višinski pasovi,
- 50-metrski višinski pasovi,
- nakloni terena,
- hidrografska omrežje,
- potresna območja,
- upravna razdelitev po občinah,

- upravna razdelitev po krajevnih skupnostih,
- pozidane površine,
- stanovanjske pozidane površine,
- proizvodne pozidane površine,
- površine, namenjene šolam,
- površine, namenjene za šport in rekreacijo,
- sakralni objekti in površine,
- zelene površine – gozd,
- parkovne površine,
- železnica,
- zgrajene avtoceste,
- načrtovane avtoceste.

Preglednica 2. Površine posameznih MCS-območij.

Table 2. Areas of MSC regions.

MCS	ha	%
8/1	4989,50	27,31
8/2	5366,75	29,37
8/3	5748,00	31,46
9/2	776,00	4,25
9/3	1391,00	7,61
skupaj	18271,25	100,00

Iz preglednice 2 je razvidno, da območja s potresno stopnjo 8/1, 8/2 in 8/3 zavzemajo 88,14 % obravnavane površine in da je le 11,86 % površine na območjih 9/2 in 9/3 potresne stopnje MCS. To je pomembna ugotovitev seizmične mikrorazionizacije, saj je sicer po osnovni pregledni karti za celo Slovenijo skoraj celotno območje Ljubljane uvrščeno v 9. stopnjo po MCS-lestevici.

Na obravnavanem območju zavzemajo pozidane površine 20,7 % (preglednica 3). To so stanovanjske zgradbe, poslovni prostori, šole, športni oziroma rekreacijski objekti, cerkve s pokopališči in druge pozidane površine. Komunalne površine zavzemajo 3,36 %; upoštevali smo površino obstoječih avtocest s priključki, načrtovane avtoceste in površine, ki jih s spremljevalnimi objekti zavzema železnica. Gozd, travniki, njive in druge površine (odprt prostor) so ob potresih manj ogrožene in obsegajo 70,49 % obravnavane površine. Vodne površine, to so vodotoki, jezera – bajerji in podobno, zavzemajo 5,44 % skupne površine.

Zastavlja se vprašanje, zakaj ne gradimo, oziroma zakaj nismo postavili večjega dela Ljubljane na potresno manj ogroženih območjih? Eden od možnih odgovorov je, da so to reliefno najbolj razgibana, najmanj ravna, gričevnata območja. Poleg tega je večji kompleks MCS-območja 8/1 v osrednjem delu Ljubljanskega polja omejen za gradnjo zaradi vodnega rezervata. Prav zato tudi v prihodnje ne moremo pričakovati, da bi tu gradili bolj intenzivno. Pa vendar bi se dalo storiti marsikaj in ob podrobnem ter dobro pretehtanem načrtovanju koristno izrabiti

mnoge potresno varnejše površine mesta. V ZDA (okolica San Francisca) veljajo na takih območjih nižje zavarovalne premije in drugi omejevalni ukrepi (16).

Ob potresih v Posočju (14), na Kozjanskem (20) in drugod se je pokazalo, da je bilo najtežje v zelo kratkem času zagotoviti začasna bivališča za prebivalstvo, ki je ostalo brez varnih stanovanj. V Sloveniji nimamo podrobne gradbenotehnične ocene kakovosti in seizmične ogroženosti stanovanjskega fonda. Zato smo si pomagali s statističnim popisom števila in starosti stanovanj (21).

V geografski informacijski sistem (GIS) smo vključili tudi register (EHIS). Ti podatki omogočajo izdelavo zelo podrobnih analiz, ki so opre na poljubno izbrane, vendar v geografskem informacijskem sistemu točno določene teritorialne enote. V naši raziskavi je bila to v prvi vrsti karta MCS-območij.

S primerno urejeno pravno regulativo, ustrezno programsko opremo in kadrovsko zasedbo bi ob naravnih nesrečah lahko zelo koristno uporabili te izjemno podrobne informacije. Še posebej zato, ker je možnost povezave teh podatkov z EMSO (enotna matična številka prebival-

ca) in registrom prebivalstva. Ti podatki so v Sloveniji urejeni z visoko stopnjo natančnosti in nanje se navezuje cela vrsta dodatnih informacij, kot na primer davčne prijave, ki odlikavajo ekonomsko stanje prebivalstva, zdravstvena statistika itd. S tem želimo opozoriti na dodatne možnosti geografskih informacijskih sistemov, ki bi imeli zlasti ob večji nesreči izjemno praktično vrednost.

V nadaljevanju raziskave smo se odločili za podrobno analizo podatkov iz Popisa stanovanj in gospodinjstev iz leta 1991 (21). V 31.824 objektih obravnavanega območja je 95.877 stanovanj. V naši raziskavi smo obdelovali osnovne statistične podatke. Uporabljali smo del za to raziskavo zanimivih podatkov iz obrazca P-2, to je vprašalnika o Popisu prebivalstva, gospodinjstev, stanovanj in kmečkih gospodinjstev v Sloveniji v letu 1991. Podatke je bilo treba ustrezno obdelati in jih vnesti v podatkovno zbirko geografskega informacijskega sistema.

V tem delu geografskega informacijskega sistema imamo obdelane naslednje informacije:

1. Lokacija stanovanja, ki je določena s koordinatami.

Preglednica 3. Pregled osnovnih kategorij rabe tal na obravnavanem območju.

Table 3. Land use categories of the research area.

št.	raba tal	ha	%
1	pozidane površine	3044,50	16,6628
2	industrija – proizvodnja	569,50	3,1169
3	šole	61,50	0,3366
4	športni objekti	50,75	0,2778
5	sakralni objekti (cerkve, pokopališča)	56,50	0,3092
6	zgrajene avtoceste	215,75	1,1808
7	načrtovane avtoceste	168,75	0,9236
8	železnica	229,50	1,2561
9	vodne površine	994,25	5,4416
10	ostalo (gozd, travniki, njive, nerodovitno)	12880,25	70,4946
11	skupaj zgoraj navedene komunalne površine (6+7+8)	614,00	3,3605
12	skupaj vse pozidane površine (1 + 2 + 3 + 4 + 5)	3782,75	20,7033
13	skupaj	18271,25	100,0000

Preglednica 4. Število stanovanj po občinah in na obravnavanem območju.

Table 4. Number of dwellings by communities of the research area.

občina	1 število stanovanj v občini	2 število stanovanj na našem območju	% (2/1)	število hiš	povprečno število stanovanj v hiši	število prebivalcev v obravnavanem območju
Domžale	13920	562	4,09	523	1,07	1955
Ljubljana Bežigrad	22224	20712	92,04	5810	3,56	58899
Ljubljana Center	10957	10946	100,00	2316	4,73	29504
Ljubljana Moste-Polje	25370	22571	90,16	7471	3,02	68866
Ljubljana Šiška	30526	23398	76,58	7195	3,25	65139
Ljubljana Vič-Rudnik	29120	17688	60,59	8509	2,08	51515
skupaj	132117	95877	72,57	31824	3,01	275878

148 2. Informacija o stanovanju, gospodinjstvu in stavbi, za katero je izpolnjen vprašalnik:

- 1 – stanovanje,
 - 2 – naseljen poslovni prostor,
 - 3 – zasilno naseljen prostor.
3. Uporaba stanovanja:
- 1 – samo za stanovanje,
 - 2 – za stanovanje in opravljanje dejavnosti,
 - 3 – samo za opravljanje dejavnosti,
 - 4 – začasno nenaseljeno stanovanje,
 - 5 – nenaseljeno (oz. zapuščeno) stanovanje;
- za počitek in rekreacijo:
- 6 – v počitniški hiši,
 - 7 – v družinski hiši,
 - 8 – v drugi vrsti stavbe,
 - 9 – v času sezonskih del v kmetijstvu.
4. Skupna površina stanovanja v m2.
5. Nadstropje, v katerem je stanovanje:
- 00 – pritličje,
 - 01 – I. nadstropje,
 - 02 – II. nadstropje,
 - 03, 04, 05 itd.,
 - 60 – klet,
 - 70 – podpritličje,
 - 80 – mansarda,
 - 90 – dve etaži.
6. Leto izgradnje stavbe (do vključno 1900 in nato za vsako leto).
7. Material zunanjih zidov stavbe:
- 1 – trd material,
 - 2 – slabši material.

8. Število popisanih gospodinjstev v stanovanju.

9. Število popisanih oseb v stanovanju.

Iz izkušenj po potresu, ki je v letu 1976 prizadel Posočje, vemo, da je v prvi fazi po potresu največji problem, kako zagotoviti varna bivališča za prizadeto prebivalstvo.

Za 95,99 % objektov smo ugotovili, da v njih prebiva 264.815 ljudi. Po uradnih podatkih popisa je imela Ljubljana leta 1991 267.003 prebivalcev, to je 2188 ali 0,83 % več. Razlika v primerjavi z našimi podatki je minimalna, razlagamo jo z metodološkimi vzroki zajemanja podatkov.

V Ljubljani prevladuje gostota poselitve od 20 do 49,9 prebivalca/ha (37,76 %). Sledi gostota poselitve od 50 do 99,9 prebivalca/ha (21,73 %), v preostalih razredih pa so gostote poselitve pod 20 oziroma 10 prebivalcev/ha.

Analiza števila gospodinjstev v stanovanjih nam pokaže, da je v veliki večini stanovanj (98,1 %) eno samo gospodinjstvo. Izkušnje obnove v Posočju so pokazale, da so po potresu ljudje želeli nova, nadomestna stanovanja po številu gospodinjstev in ne po številu nekdanjih stanovanj.

Analiza površine stanovanjskega fonda je pokazala, da je na obravnavanem območju 6.121.073 m² stanovanjske površine. Povprečna površina stanovanja je 63,84 m². Na posameznega prebivalca v Ljubljani odpade povprečno 22,19 m² stanovanjske površine.

Preglednica 5. Objekti, stanovanja, prebivalci in gospodinjstva po posameznih MCS-območjih.

Table 5. Houses, dwellings, population and households within the MSC regions.

MCS-območje	število objektov	%	število stanovanj	%	povprečno stanovanj v objektu	število prebivalcev	%	število gospodinjstev	%
8/1	4379	13,760	15686	16,361	3,58	44326	16,07	16088	16,33
8/2	10229	32,142	32468	33,864	3,17	94673	34,32	33600	34,11
8/3	12362	38,845	37283	38,886	3,16	106715	38,68	38235	38,82
9/2	3687	11,586	9140	9,533	2,48	25858	9,37	9251	9,39
9/3	1167	3,667	1300	1,356	1,11	4306	1,56	1330	1,35
skupaj	31824	100,000	95877	100,000	3,01	275878	100,00	98504	100,00

Preglednica 6. Površina stanovanj v m2 po posameznih MCS-območjih.

Table 6. Area of dwellings in m² within the MSC regions.

MCS-območje	površina stanovanj	%
8/1	971506	15,87
8/2	2034972	33,24
8/3	2434474	39,77
9/2	584804	9,55
9/3	95317	1,56
skupaj	6121073	99,99

Pri proučevanju potresne ogroženosti Ljubljane lahko glede na starost stanovanj postavimo dva pomembna mejnika. Po potresu, ki ga je Ljubljana doživela v letu 1895, je bil uveden poseben gradbeni predpis in mnogi objekti so bili obnovljeni. Takrat je bil v Ljubljani sprejet stavbeni red, ki je predpisal potresno varnejšo gradnjo. Pri starejših objektih (grajenih pred potresom l. 1895) lahko pričakujemo v primeru potresa za iste intenzitetne stopnje hujše potresne učinke. Drugi mejnik lahko postavimo v leto 1965. To je čas po skopskem potresu (1963), ko so se začeli v praksi uveljavljati strožji gradbenotehnični predpisi. Podatki o starosti objektov, s katerimi razpolagamo, žal ne vsebujejo informacije o starosti objektov, ki so bili zgrajeni pred letom 1900. Zato smo se odločili, da vse objekte, ki so bili zgrajeni do leta 1900, uvrstimo v prvo skupino, v drugo

skupino smo uvrstili objekte, zgrajene v obdobju med leti 1901 in 1964, in v tretjo skupino objekte, zgrajene po letu 1964, v obdobju 1965–1991.

Poskus ocene potresne škode

Kljub vsem prizadevanjem lahko posledice pričakovanih potresov ocenimo le približno. Osnovni problem je v tem, da ne moremo predvideti konkretnega dogajanja ob potresu. Od potresa do potresa so lahko velike razlike (globina epicentra, oddaljenost epicentra od mesta, čas potresa itd.). Drug problem je v tem, da v Ljubljani še nimamo dovolj podrobne ocene kakovosti zadostnega števila stavb. Tretji problem je, da zaradi najrazličnejših vzrokov poznamo le del kapacitet mesta Ljubljane. Opravka imamo z velikim številom neznank, zato je ocena možnih posledic lahko le okvirna.

Navkljub celi vrsti težko določljivih dejavnikov menimo, da je naša analiza koristna, ker opredeljuje nekatere konkretne količine. Makroseizmična intenzitetna lestvica ne govori o fizikalnih ali geofizikalnih količinah. Makroseizmična intenziteta je statistična količina, določljiva za določeno območje (ne eno samo lokacijo) in za populacijo elementov (ne en sam element). Kot taka je polkvantitativna mera učinkov potresa in se kaže

Preglednica 7. Starost stanovanj po MCS-območjih.

Table 7. The age of dwellings within the MSC regions.

MCS-območje	< 1900	%	1901-1964	%	1965	%	skupaj	%
8/1	642	7,34	4831	16,00	10213	17,94	15686	16,36
8/2	1923	21,99	11231	37,20	19314	33,92	32468	33,86
8/3	5291	60,49	12040	39,88	19952	35,03	37283	38,89
9/2	746	8,53	1899	6,29	6495	11,41	9140	9,53
9/3	144	1,65	189	0,63	967	1,70	1300	1,36
skupaj	8746	100,00	30190	100,00	56941	100,00	95877	100,00
%	(9,12)		(31,49)		(59,39)		(100,00)	

Preglednica 8. Deleži poškodb na vseh objektih po MCS-lestvici (8).

Table 8. The portion of damage to all houses within the MSC regions.

poškodbe po MCS lestvici					
MCS-stopnja	lahke	zmerne	hude	porušitve	uničenje
7/1	42	12	3		
7/2	55	20	5		
7/3	50	30	8		
8/1		42	12	3	
8/2		55	20	5	
8/3		50	30	8	
9/1			42	12	3
9/2			55	20	5
9/3			50	30	8

no poškodovane objekte, ceno 500 DEM 149 za 1 m² in za lahko poškodovane objekte 250 DEM za 1 m². Seveda je treba upoštevati še druge stroške: rušenje objektov, obnova komunikacij, komunalne infrastrukture, izpad dohodka, stroški začasnega bivanja itd. To je zelo težko ocenljiv del škode. Po drugi strani pa bi gotovo prišlo do največje možne redukcije stroškov (9). Poleg tega seveda lahko pričakujemo škodo tudi na industrijskih, poslovnih, sakralnih in drugih objektih, ki jo je zelo težko ali sploh nemogoče objektivno oceniti. Kljub vsem pomislekom in številnim neznankam se le pokažejo neke okvirne vrednosti, ki so prikazane v preglednici 13.

To je izjemno velika škoda. Izkušnje ob posledicah potresov po svetu in v Slove-

kot primerna za analize potresne nevarnosti (6).

S pomočjo geografskega informacijskega sistema smo ugotovili vrsto količin po posameznih MCS-območjih.

Preglednica 9. Stanovanja, površina stanovanj in prebivalci po posameznih MCS-območjih.

Table 9. Dwellings, area of flats and popuation within the MSC regions.

MCS območje	število stanovanj	površina stanovanj	ljudi v stanovanjih
1 (8/1)	15686	971506	44326
2 (8/2)	32468	2034972	94673
3 (8/3)	37283	2434474	106715
4 (9/2)	9140	584804	25858
5 (9/3)	1300	95317	4306
skupaj	95877	6121073	275878

V preglednici 9, so le sumarno prikazani podatki, izračunani s pomočjo geografskega informacijskega sistema in modela postavljenega v preglednici 8.

Ocenili smo pričakovane poškodbe na stanovanjih v primeru potresa 7., 8. in 9. MSC-stopnje, ki so prikazane v preglednicah 10, 11 in 12.

Iz preglednic 10, 11 in 12 po posameznih potresnih stopnjah je razvidno število poškodovanih stanovanj po posameznih MCS-območjih v Ljubljani. Ob potresu 9. stopnje bi bilo uničenih kar 7295 ali 7,6 % stanovanj. Porušenih bi bilo 25.238 ali 26,3 % vseh stanovanj, hude poškodbe bi imelo 43.086 ali 44,9 % stanovanj. Ob šibkejših potresih bi bile poškodbe sorazmerno manjše. Ob potresu 8. stopnje po MCS bi bilo povsem uničenih le 0,58 % stanovanj, ob potresu 7. stopnje po MCS pa tako hudo poškodovanih stanovanj ne bi bilo. V Ljubljani stane 1 m² stanovanja od 1300 do 2400 DEM (razlika v ceni je odvisna od starosti stanovanja, lokacije in

Preglednica 10. Pričakovane poškodbe stanovanj ob potresu z učinki 7. stopnje po MCS.

Table 10. Expected damage to dwellings by an earthquake of 7 MSC.

Število stanovanj (number of dwellings)					
poškodbe po MCS lestvici					
MCS-stopnja	lahke	zmerne	hude	porušitve	uničenje
7/1	6588	1882	471		
7/2	17857	6494	1623		
7/3	18641	11185	2983		
8/2		5027	1828	457	
8/3		650	390	104	
skupaj	43086	25238	7295	561	

19.697 stanovanj predvidoma ne bo poškodovanih. Ob takem potresu se ne pričakuje povsem uničenih stanovanj.

Preglednica 11. Pričakovane poškodbe stanovanj ob potresu z učinki 8. stopnje po MCS.

Table 11. Expected damage to dwellings by an earthquake of 8 MSC.

Število stanovanj (number of dwellings)					
poškodbe po MCS lestvici					
MCS-stopnja	lahke	zmerne	hude	porušitve	uničenje
8/1		6588	1882	471	
8/2		17857	6494	1623	
8/3		18641	11185	2983	
9/2			5027	1828	457
9/3			650	390	104
skupaj	(19697)	43086	25238	7295	561

19.697 stanovanj ne bo poškodovanih ali pa bodo imela lahke do zmerne poškodbe.

vrste drugih dejavnikov). Če predvidevamo, da bi bilo treba stanovanja, ki so se porušila, in uničene objekte zgraditi povsem na novo, bi lahko za 1 m² določili ceno okrog 2.000 DEM, za hudo poškodovane objekte, ki bi jih bilo treba temeljito popraviti, 1.000 DEM za 1 m², za zmer-

niji kažejo, da je ocena dokaj realna (5). V letu 1990 je imela Slovenija (še zadnji izračunan) bruto družbeni proizvod 164.942.591.000 dinarjev. Ob vrednosti 7 dinarjev za 1 DEM je bilo to približno 23.563.227.286 DEM (21). Po desetletja ustaljeni metodologiji (10) preračunava-

Preglednica 12. Pričakovane poškodbe stanovanj ob potresu z učinki 9. stopnje po MCS.

Table 12. Expected damage to dwellings by an earthquake of 9 MSC

Število stanovanj (number of dwellings)					
poškodbe po MCS lestvici					
MCS-stopnja	lahke	zmerne	hude	porušitve	uničenje
9/1			6588	1882	471
9/2			17857	6494	1623
9/3			18641	11185	2983
10/2				5027	1828
10/3				650	390
skupaj	(20258)		43086	25238	7295

20.258 stanovanj ne bo poškodovanih ali pa bodo imela lahke, zmerne in deloma celo hude poškodbe.

Preglednica 13. Približna ocena škode na stanovanjih v DEM.

Table 13. The approximated calculation of damage to dwellings in DEM.

poškodbe po MCS lestvici					
potres z učinki	lahke poškodbe (250 DEM/m²)	zmerne poškodbe (500 DEM/m²)	hude poškodbe (1000 DEM/m²)	porušitve in uničenje (2000 DEM/m²)	skupaj DEM
7. stopnje MCS	686126250	666869500	365941000	73730000	1792666750
8. stopnje MCS	?	1372252500	1333739000	805612000	3511603500
9. stopnje MCS	?	?	2744505000	3399360000	6143865000

? označuje neznano količino škode

nja škode glede na družbeni proizvod v preteklem letu lahko približno izračunamo delež škode. Ob potresu 7. stopnje po MCS bi škoda samo na stanovanjih znašala približno 8 %, ob potresu 8. stopnje po MCS 15 % in ob potresu 9. stopnje MCS 26 % v preteklem letu ustvarjenega družbenega proizvoda države. K temu moramo prišteti škodo, ki je ne moremo predvideti, zato bi bil končni znesek še večji. Realnost te ocene lahko delno primerjamo s škodo, ki jo je v Sloveniji povzročil furlanski potres leta 1976. Skupni delež škode v družbenem proizvodu je bil takrat ocenjen na približno 7 %. Analiza posledic potresa, ki je prizadel Posočje (1976), je pokazala (12), da je znašal delež škode na stanovanjih približno 40 % skupne škode. Ob tem se moramo zavedati lokalnih posebnosti – v Posočju ni bilo pomembnejših sekundarnih in terciarnih dejavnosti –, zato lahko skupno pričakovano škodo v Ljubljani povečamo za najmanj 150 %.

Ob potresu 7. stopnje po MCS bi ob tej predpostavki celovita škoda v Ljubljani znašala približno 20 %, ob potresu 8. stopnje po MCS že blizu 40 % in ob potresu 9. stopnje po MCS že več kot 75 % letnega družbenega proizvoda Slovenije. (Družbeni proizvod se v Sloveniji

ne izračunava več, uporabljajo se drugi, vendar podobni kazalci.)

Na enak način lahko ugotovimo število ljudi v tipu poškodovanega objekta. Rezultati teh analiz so seveda lahko le približni, okvirni. Ob tem se moramo zavedati, da se kakovost stanovanjskega fonda spreminja. Spreminja se tudi število in razporeditev stanovalcev in drugih uporabnikov. Poleg tega temelji ta ocena le na stanovanjih, ne pa tudi na poslovnih in drugih prostorih, v katerih se zadržuje veliko ljudi. Po empiričnem grafu (19) lahko približno ocenimo delež zasutih in ga preračunamo za celotno obravnavano območje. Ob potresu 8. stopnje po MCS bi bilo zasutih približno 130 ljudi, ob potresu 9. stopnje po MCS pa približno 1700. Ob tem moramo vedeti, da ima južni del mesta znatno višje pričakovane potresne stopnje (tudi 10/2 in 10/3) od občine Ljubljana-Center. Izrazito starih in slabih objektov pa je v občini Center precej. Izračun nam je pokazal 1500 zasutih v primeru potresa 8. stopnje in dobrih 20.000 v primeru potresa 9. stopnje. To je grozljivo visoka številka. Po udarjamo, da je to le izračunana številka in zelo verjetna predpostavka, kajti neke posebne trdne povezave med stopnjo ob potresu poškodovanega objekta in številom zasutih ni.

Lahko samo upamo, da je ta računska ocena pretirana in da ne bo prišlo do potresa, v katerem bi se te številke morda celo potrdile.

Iz praktične izkušnje in analize posledic potresa v Posočju leta 1976 (12) moramo opozoriti na dejstvo, da je bilo takrat 9,31 % prebivalstva prizadetega območja začasno ali dalj časa brez varnega bivališča. V Sloveniji so bile posledice tega potresa ocenjene na 8. stopnjo MCS na manjšem območju Breginjskega kota in 7. stopnjo MCS v povprečju za območja občin Tolmin, Nova Gorica in Idrija. Ta raziskava je pokazala, da bi bilo v primeru potresa 7. stopnje v Ljubljani v hudo poškodovanih in porušenihi stavbah 25 287 ljudi. To je 9,2 % prebivalstva obravnavanega območja, kar se presenetljivo sklada s stanjem, ki je bilo v Posočju. Ob potresu višje, 8. MCS-stopnje razumljivo naraste delež prebivalcev, ki bi bili začasno ali dalj časa brez varnega bivališča, na približno 35 % in ob potresu 9. stopnje celo na 80 %. To so zelo velike številke, ki prav tako kot ob potresu v Posočju pomenijo, da je potrebno v zelo kratkem času zagotoviti veliko začasnih bivališč, začeti z intenzivno obnovno poškodovanih stavb in gradnjo novih stanovanj.

V furlanskem potresu (1976) je bil približno eno minuto pred glavnim rušilnim sunkom predpotres (foreshock), ki je opozoril in preplašil prebivalstvo (1). Mnogi so se imeli možnost umakniti iz objektov, zato je bilo smrtnih primerov gotovo manj, kot bi jih bilo, če tega "opozorilnega" potresa ne bi bilo. Serija dodatnih potresov po glavnem rušilnem potresu in izredno močna ponovitev potresne aktivnosti septembra 1976 je znatno prispevala k dokončni oceni škode. Iz tega sledi, da ni mogoče postaviti trdne povezave med stopnjo poškodovanosti objektov in številom smrtnih žrtev.

Sklep

Odgovoren odnos do okolja ter preprečevanje in varstvo pred nesrečami vseh vrst je pomembno ekonomsko vprašanje, vprašanje razvoja in prihodnosti.

Dosedanje raziskovanje naravnih nesreč v Sloveniji je pokazalo, da za celo vrsto naravnih nesreč še nimamo celovitih ocen ogroženosti. Mnogih pojavov in njihovih posledic ne poznamo dovolj, ali pa je naše znanje o njih še vse preveč nesistematično.

Mnogih naravnih nesreč, kot je na primer potres, ne moremo preprečiti ali z zanesljivostjo napovedati, z dobrim poznavanjem pojava, možnih posledic in ustrezno organiziranostjo pa lahko močno omilimo posledice.

V območju najvišje stopnje potresne ogroženosti je v Ljubljani dejansko pozidanih razmeroma malo površin – 2,9 %. Precej več, kar trikrat več (11,45 %), jih je

v območju stopnje 9/2. Vseh pozidanih površin v območju 9. stopnje MCS-lestvice je v Ljubljani 14,35 %. Od območij 8. stopnje je največja gostota pozidave v območju 8/3 s 35,07 %, le malo manjša, 34,09 % v MCS-območju 8/2 in bistveno manjša, 16,49 %, v najbolj varnem MCS-območju 8/1.

Zakaj ne gradimo, oziroma zakaj nismo postavili večjega dela Ljubljane v MCS-območju 8/1? Eden od možnih odgovorov je, da so to reliefno najbolj razgibane, najmanj ravne in gričevnate površine, ki so za gradnjo manj primerne. Poleg tega je večji kompleks MCS-območja 8/1 v osrednjem delu Ljubljanskega polja, kjer gradnja omejena zaradi vodnega rezervata.

Pa vendar bi se dalo storiti marsikaj in ob podrobnem ter dobro pretehtanem načrtovanju mesta intenzivno izrabi potresno varnejše površine. Potresno varna gradnja je na takih območjih tudi cenejša.

V najbolj ogroženih območjih 9. stopnje po MCS (9/2, 9/3) je 15,23 % vseh objektov in tu živi skoraj 10 % Ljubljančanov.

Naša analiza je pokazala, da bi bilo ob potresu 9. stopnje uničenih 7295 (7,6 %) stanovanj, porušenih 25.238 ali 26,3 % vseh stanovanj, hudo poškodovanih 43.086 ali 44,9 % stanovanj. Ob šibkejših potresih bi bile poškodbe sorazmerno manjše. Ob potresu 8. stopnje po MCS bi bilo povsem uničenih le 0,58 % stanovanj. To so zelo velike številke, ki nakazujejo dimenzije možnih potresnih učinkov. Ob tem se moramo zavedati, da je to le del škode. Vsiljuje se vrsta vprašanj in pomislekov o teh izračunih, ostaja pa nesporno dejstvo, da bi potres 7., 8., zlasti pa 9. stopnje povzročil izjemno veliko materialno škodo. Zato si moramo prizadevati storiti, kar je le mogoče, da bi zmanjšali možne posledice rušilnega potresa.

Za različne tipe objektov so ob potresu precejšnje razlike v oceni števila mrtvih. Za Ljubljano smo izračunali, da bi bilo lahko v primeru potresa 8. stopnje skoraj 1500 zasutih in dobrih 20 000 v primeru 9. stopnje. To je grozljivo visoka številka. Poudarjamo, da je to izračunana ocena, ki je zelo visoka, in ob tem upamo, da ne bo prišlo do potresa, v katerem bi se to morda celo potrdilo.

Slaba stran naše raziskave je, da deloma zaradi objektivnih razlogov nismo mogli vključiti nekaterih podatkov, ki bi bili za naš namen pomembni. V prvi vrsti so to informacije o delovnih mestih, industrijski proizvodnji, vrednosti kulturnih spomenikov idr. Drugi del problema je v tem, da je v Ljubljani le za 112 hiš ali 0,35 % objektov znana podrobna potresna kakovost objektov. Zato lahko naše ocene slonijo le na modelih, ki opredeljujejo možne posledice ob različnih potresih in postavljajo le približne okvirje. Vkljub temu menimo, da je to doslej najpogodnejša ocena možnih posledic potresa v Ljubljani, ki ji ob vseh pomislekih velja prisluhniti in jo z vso resnostjo upoštevati.

1. Geipel, R., 1982. Disaster and Reconstruction. George Allen & Unwin, London.
2. Geodetski zavod, 1991. Karta Ljubljane 1:20.000. Ljubljana.
3. Godec, M., R. Vidrih, 1992. Potresna ogroženost v občini Ljubljana Center. Ujma št. 6, str. 82–85, Ljubljana.
4. Klemenčič, I., 1986. Seizmična ugroženost Ljubljane. 4. kongres Saveza društva za seizmično gradjevinarstvo Jugoslavije, Cavtat.
5. Knez, M., 1981. Ocenjevanje škode. Zbornik seminarja o izvajanju enotne metodologije za ocenjevanje škode in poškodovanih objektov ob naravnih in drugih nesrečah. Republiški sekretariat za LO, Poljče.
6. Lapajne, J., 1984. The MSK-78 Intensity Scale and Seismic Risk. Engineering Geology, št. 20, Amsterdam.
7. Lapajne, J., M. Tomaževič, 1991 a. Potresna ogroženost mesta Ljubljane 1. del. Elaborat, Ljubljana.
8. Lapajne, J., M. Tomaževič, 1991 b. Potresna ogroženost mesta Ljubljane, 2. del. Elaborat, Ljubljana.
9. Markov, P. 1987. Ugradjivanje mera zaštite od elementarnih nepogoda u prostorne i urbanistiške planove. Elementarne nepogode i katastrofe. Prvo Jugoslovensko svetovanje, Budva 1986, str. 41–45, Beograd.
10. Metodologija o procjeni šteta od prirodnih nepogoda, 1979. Sl. list SFRJ 24. 4., Beograd.
11. Orožen Adamič, M., 1974. Tehnologija generalnega plana. Dopolnitev in usklajevanje urbanističnega programa in načrta Ljubljane – novelacija GUP Ljubljana 2000. Ljubljana, Ljubljanski urbanistični zavod, metodologija Ljubljana.
12. Orožen Adamič, M., 1979. Posledice potresov leta 1976 v SR Sloveniji. Geografski zbornik, št. 18, str. 97–169. Ljubljana.
13. Orožen Adamič, M., 1983. Nekatere kapacitete seizmičnih območij Slovenije. Naravne nesreče v Sloveniji, str. 27–40. Ljubljana.
14. Orožen Adamič, M., 1983. Geografsko proučevanje naravnih katastrof s posebnim ozirom na posledice potresa v Posočju. Geografski obzornik, Ljubljana.
15. Orožen Adamič, M., 1991. Potresna ogroženost Ljubljane, analiza po krajevnih skupnostih. Elaborat, ZRMK, str. 38, Ljubljana.
16. Palm, R., 1990. Natural Hazards. The John Hopkins University Press, Baltimore, London.
17. Republiška geodetska uprava, 1991. Digitalni model reliefa 100 m. Baza podatkov. Ljubljana.
18. Ribarič, V., 1972. Potresna mikrorajonzacija Ljubljane. Elaborat, Ljubljana.
19. Sakai, S., A. Coburn, R. Spence, 1990. Human Casualties in Building Collapse – Literature review. Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge.
20. Turnšek, V., 1974. Poročilo o oceni škode, povzročene s potresom 20. 6. 1974 na področju občin Šmarje pri Jelšah, Šentjur pri Celju, Celje in Slovenske Konjice. Ljubljana.
21. Zavod za statistiko Republike Slovenije.

Milan Orožen Adamič

The Calculation of Severe Earthquake Damage in Ljubljana

Seismic research of Slovenia's regions has established that the Ljubljana region stands out strongly (90 MCS). Ljubljana boasts both the greatest concentration of population and the greatest average per capita GDP. The level of industrialization is relatively small (though large in the absolute sense), but in the foreground are other important central functions which, it must be remembered, are vital to the whole of Slovenia. Therefore, the Ljubljana region can be reasonably considered the most threatened by earthquake in Slovenia. This is the main reason we decided to devote our attention to this problem. By overlapping some "elements" of the city significant for earthquakes according to individual earthquake areas, we defined and estimated the earthquake threat to parts of the city and its districts and ranked the level of threat by district. We attempted to establish what individual loci of microseismic activity in Ljubljana actually mean. In concluding the research, we formulated several comprehensive calculations of models and attempted to find an answer to the question of what the consequences of earthquakes of 7, 8, or 9 degrees MSC would be in Ljubljana.

In Ljubljana, traces of the earthquake of 1895 still exist after almost one hundred years. The effects of that earthquake on Ljubljana were so extensive that the rebuilding of the city gave it a completely new appearance. At that time, Ljubljana had a population of around 32,000; today, the population is almost nine times greater. Ljubljana was then a small provincial center; today, it is the capital city of a sovereign country.

In our research we used the geographic information system (GIS) which is based on a digital relief model. Using computer supported technology, it was possible to process an extremely large quantity of data. In the most-detailed section of the research, we focused on an apartment or a house, certainly the smallest possible spatial unit. This is the first case of such detailed research in Slovenia on this city environment which covers about 0.9 % of Slovenia's surface area and includes 13.4 % of its population.