

## Seizmičko zoniranje i problem određivanja maksimalne magnitude očekivanih potresa

*Dragan Hadžievski, Lazo Pekevski i Vera Čejkovska*

*Seizmološka opservatorija, Prirodno-matematički fakultet Skopje, Jugoslavija*

*Primljeno 13. lipnja 1986, u konačnom obliku 18. kolovoza 1987.*

Određivanje maksimalne magnitude ( $M_{max}$ ) očekivanih potresa jedan je od najvažnijih problema u seizmičkom zoniranju područja. Na primjeru područja Jugoslavije primijenjena je metoda za određivanje  $M_{max}$  očekivanih potresa na osnovi seizmoloških podataka. Korišteni su podaci dogođenih potresa u Jugoslaviji iz razdoblja 1901-1980. Primijenjene su metode određivanja  $M_{max}$  na osnovi izračunate čestine potresa u odnosu na magnitudu,  $N(M_{max})$  i izračunate sume oslobođenih energija potresa.

Te metode se prvi put primjenjuju na 4 seizmoaktivne zone područja Jugoslavije te je od velikog interesa uspoređivanje dobivenih rezultata s rezultatima za  $M_{max}$  dobivenim drugim metodama. Poredba, koja se daje u tablici 8, pokazuje veoma dobro podudaranje navedenih rezultata.

### *Seismic zoning and the problem of determination of expected maximum magnitude*

Determination of the expected maximum magnitude ( $M_{max}$ ) in future earthquakes is one of the most important problems in seismic zoning of an area. On the example of the territory of Yugoslavia, an attempt is made for application of methods for expected  $M_{max}$  determination on the basis of seismological data. These data are taken from the catalogue of past earthquakes in Yugoslavia in the 1901-1980 period. The methods used for  $M_{max}$  determination are: magnitude-frequency relation  $N(M)$  and the sums of earthquake energy release.

These methods have been used for the first time for 4 seismoactive zones on the territory of Yugoslavia and for that fact it is interesting to compare the obtained results with the  $M_{max}$  results obtained by other methods. The comparison given in Table 8 shows a good accordance between these results.

## 1. Uvod

Praksa je pokazala da samo seizmostatistički pristup u seizmičkom zoniranju nije dovoljan, kao što nije dovoljan ni samo geotektonski, i da je u kompleksu pitanja seizmičkog zoniranja problem određivanja maksimalne magnitude ( $M_{max}$ ) očekivanih potresa jedan od najvažnijih. Kao što je danas poznato i na mnogo primjera pokazano, u ostvarivanju seizmičkog zoniranja potrebno je razvijati i primjenjivati princip seizmogeneze. U ovom radu je upravo izvršen pokušaj sinteze empirijskih seizmoloških i tektonskih podataka za određivanje osnovnih seizmoaktivnih zona, a zatim su na osnovi seizmoloških podataka o potresima izračunate maksimalne magnitude očekivanih potresa u tim zonama. Rad se odnosi na čitavo područje Jugoslavije. Primjenjivane su metode koje za područje Jugoslavije u cjelini nisu bile do sada primjenjivane, čak niti kod realizacije projekta "UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region (1970- 1976)". To je bio razlog pristupanja ovom radu. Primijenjene metode za izračunavanja  $M_{max}$  na osnovi određivanja funkcija čestine potresa  $N(M)$  i sume oslobođenih energija dogođenih potresa osnovane su jedino na seizmološkim podacima o dogođenim potresima. Imalo se u vidu adekvatne rezultate postignute realizacijom spomenutog projekta, te sve do sada publicirane radove naših i drugih istraživača o tom pitanju. Svi ti dosadašnji rezultati uspoređeni su s vrijednostima  $M_{max}$  koje su dobivene ovim radom.

## 2. Podaci

Ovaj rad uključuje podatke o potresima, dogođenim na području Jugoslavije, magnitude  $M \geq 5.0$  za razdoblje 1901-1980.

Svi podaci koji se odnose na period do 1970. uzeti su iz kataloga projekta "UNDP-UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region (1970-1976)". Nadopuna toga kataloga za razdoblje 1971-1980 izvršena je podacima ( $M \geq 5.0$ ) ISC-a, te biltena i radova jugoslavenskih seizmoloških instituta (tablica 1).

Potresi magnitude  $M \geq 6.0$ , dogođeni na području Jugoslavije u razdoblju 1901-1980. prikazani su u tablici 2.

Kontinuirani niz podataka o potresima u Jugoslaviji, počev od magnitude  $M=4.0$ , postoji od 1901. Međutim, točnost određivanja glavnih parametara potresa u razdoblju 1901-1980 najveća je za potrese magnitude  $M \geq 5.0$ , te je zato ovaj rad zasnovan na tim potresima. Broj dogođenih potresa za razdoblje prije 1900, ( $I \geq IX$  MCS) i za razdoblje 1901-1980, ( $M \geq 5.0$ ), prikazan je u tablici 3.

Tablica 1: Katalog potresa u Jugoslaviji,  $M \geq 5.0$ , u razdoblju 1971-1980.Table 1: Catalogue of earthquakes in Yugoslavia,  $M \geq 5.0$ , in the period 1971-1980.

Br.	Datum	Vreme Koordinate		h	$I_0$	M	Područje	Referenca
		(GMT)	epicentra					
	h m	(°N	°E)	(km)	(MCS)			
1.	20. 06. 1974	17-08	46.2 15.5	15	VII	5.2	Grabelno (Slovenija)	ISC, LJU, SKO
2.	29. 10. 1974	01-05	44.6 18.4	13	VII	5.0	Tuzla (Bosna i Hercegovina)	CSEM, SKO, SAR
3.	16. 09. 1975	05-06	41.6 19.3	10	VIII	5.2	Jadransko more (Albanija)	NEIS, SKO
4.	2. 03. 1975	19-41	40.7 19.6	11	VII	5.2	Jadransko more (Albanija)	ISC, CSEM, SKO
5.	13. 01. 1977	09-19	43.6 17.1	13	VII	5.0	Split (Hrvatska)	ISC, ZAG, SKO
6.	13. 04. 1978	18-05	43.3 21.0	10	VII-VIII	5.2	s. Blaževo (Kopaonik, Srbija)	ISC, BEO, SKO
7.	18. 08. 1978	20-53	41.8 20.5	15	VII	5.0	Mirdita (Albanija)	SKO, ISC, TIR
8.	9. 04. 1979	02-10	41.9 19.0	13	-	5.2	Jadransko more (Crna Gora) (prethodni potres)	ISC, TTG, SKO
9.	15. 04. 1979	06-19	42.0 19.0	23	IX	7.2	Crna Gora, glavni potres	ISC, SKO, TTG
10.	15. 04. 1979	10-25	41.9 19.3	10	VII-VIII	5.2	Crna Gora, naknadni potres	ISC, SKO, ZAG
11.	15. 04. 1979	14-43	42.3 18.7	14	VIII	5.8	Crna Gora, naknadni potres	ISC, SKO, TTG
12.	16. 04. 1979	10-04	41.9 19.2	21	VI-VII	5.3	Crna Gora, naknadni potres	ISC, SKO
13.	12. 05. 1979	03-30	42.3 18.8	11	VII-VIII	5.2	Crna Gora, naknadni potres	ISC, SKO, TTG
14.	24. 05. 1979	17-23	42.2 18.8	15	VIII	5.9	Crna Gora, naknadni potres	ISC, CSEM, SKO
15.	3. 10. 1979	22-57	43.5 18.1	13	VII	5.0	Nevesinje (Bosna i Hercegovina)	ISC, SAR, SKO
16.	18. 05. 1980	20-02	43.3 20.8	17	VIII	6.0	Brus (Kopaonik, Srbija)	ISC, NEIS, SKO, BEO
17.	18. 05. 1980	20-26	43.3 20.9	10	VII	5.3	Brus (Kopaonik, Srbija)	ISC, MOS

Tablica 2: Katalog potresa u Jugoslaviji  $M \geq 6.0$ , u razdoblju 1901–1980  
 Table 2: Catalogue of earthquakes in Yugoslavia,  $M \geq 6.0$ , in the period 1901–1980

Br.	Datum	Vreme (GMT) h m	Koordinate epicentra (°N °E)	$h$ (km)	$M$	Područje
1.	4. 04. 1904	10-02	41.8 23.0	15	7.1	Pehtevo-Kresna (SR Makedonija-Bugarska)
2.	4. 04. 1904	10-25	41.7 23.1	30	7.8	Pehtevo-Kresna (SR Makedonija-Bugarska)
3.	1. 06. 1905	04-42	42.0 19.5	18	6.6	Skadar (Albanija)
4.	8. 10. 1905	07-27	41.8 23.1	19	6.4	Pehtevo-Kresna (SR Makedonija-Bugarska)
5.	2. 10. 1906	04-26	45.9 16.1	11	6.0	Zagrebačka gora
6.	28. 09. 1906	02-30	40.9 20.7	20	6.0	Starova-Ohridsko jezero
7.	8. 10. 1909	09-59	45.4 16.2	10	6.0	Pokuplje
8.	18. 02. 1911	21-35	40.9 20.8	25	6.7	Pogradec-Ljubušina (Ohridsko jezero)
9.	13. 02. 1912	08-03	40.9 20.6	16	6.0	Pogradec-Ljubušina (Ohridsko jezero)
10.	24. 03. 1922	12-22	44.4 20.4	4	6.0	Rudnik
11.	15. 03. 1923	05-40	43.3 17.3	16	6.2	Biokovo
12.	24. 02. 1927	03-43	43.0 18.1	17	6.0	Stolac
13.	7. 03. 1931	00-16	41.3 22.5	25	6.0	Valandovo
14.	8. 03. 1931	01-50	41.3 22.5	20	6.7	Valandovo
15.	27. 08. 1942	06-14	41.8 20.5	15	6.0	Peškopija-Debar
16.	29. 12. 1942	03-42	43.4 17.2	15	6.0	Imotsko polje
17.	11. 01. 1962	05-05	43.2 17.2	10	6.1	Biokovo
18.	11. 06. 1962	07-15	43.6 18.4	8	6.0	Truskavica
19.	26. 07. 1963	04-17	42.1 21.4	5	6.1	Skopje
20.	30. 11. 1967	07-23	41.4 20.4	20	6.5	Debar
21.	27. 10. 1969	08-10	44.8 17.2	18	6.4	Banja Luka
22.	15. 04. 1979	06-19	42.0 19.0	23	7.1	Crna Gora
23.	18. 05. 1980	20-02	43.3 20.8	17	6.0	Kopaonik

Tablica 3. Broj dogđenih potresa u Jugoslaviji

Table 3. Number of earthquakes that occurred in Yugoslavia

intenzitet $I$ (MCS) ili magnituda $M$ potreša	razdoblje	broj potresa
$I \geq IX$	prije 1900	57
$5.0 \leq M \leq 5.9$	1901-1980	153
$M \geq 6.0$	1901-1980	23

### 3. Seizmičnost

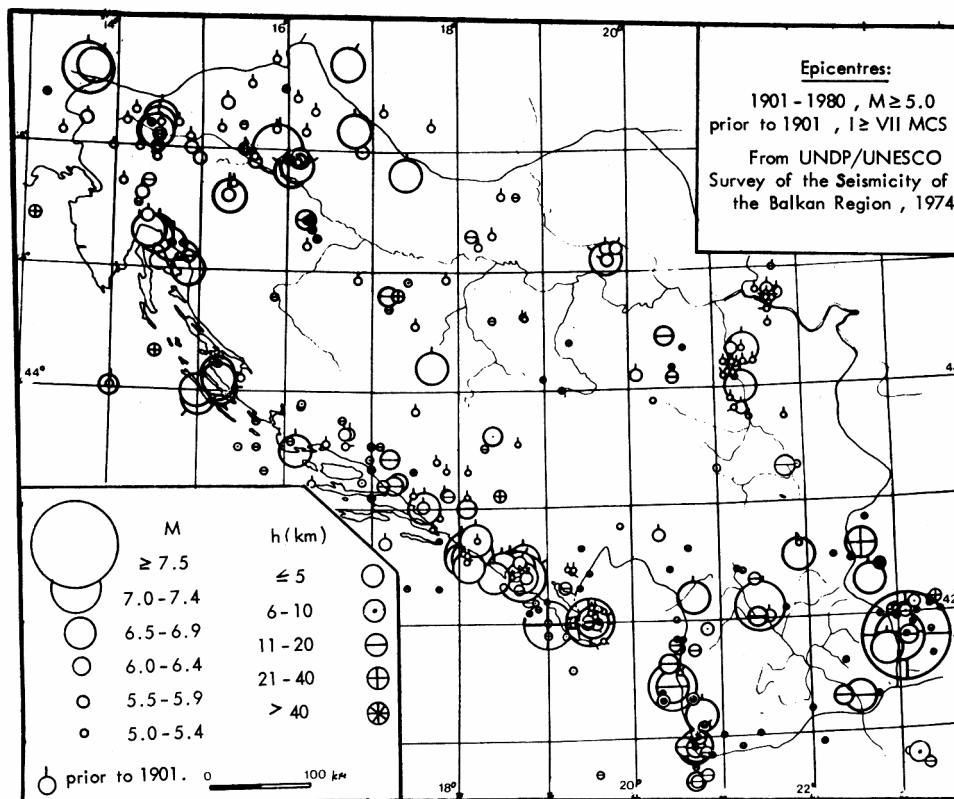
Područje Jugoslavije predstavlja jedno od seizmički aktivnih područja na Balkanu s čestim i katastrofalnim potresima. Iz navedenih podataka vidi se da su u proteklih 80 godina svake godine nastajala prosječno 2 potresa magnitude od 5.0 do 5.9, a svake treće do četvrte jedan katastrofalni potres ( $M \geq 6.0$ ).

Seizmičnost područja Jugoslavije predstavljena je kartama epicentara. Karta epicentara na sl. 1 sadrži potrese magnitude  $M \geq 5.0$  za razdoblje 1901-1980, potrese intenziteta  $I \geq VII$  MCS za razdoblje 1801-1900. i potrese intenziteta  $I \geq VIII$  MCS za razdoblje do 1800.

Kartom epicentara na slici 2 obuhvaćeni su potresi na području Jugoslavije u razdoblju 1901-1970. magnitude od 4.0 do 4.9.

Analizom tih karata dolazi se do prvog zaključka da se prostorne raspodjele svih potresa u Jugoslaviji iz različitih vremenskih razdoblja iz kojih potječu podaci uglavnom podudaraju, bez obzira na intenzitet, odnosno magnitudu potresa. Isto tako dolazi se i do drugog zaključka da se potresi u Jugoslaviji koncentriraju u pojedina epicentralna područja koja se mogu povezivati u seizmoaktivne zone. Prema tim kartama mogu se odrediti ove seizmoaktivne zone.

I. Zona istočnih Alpa odnosi se na područje Slovenije. II. Zona panonskog horsta odnosi se, uglavnom, na šire područje Posavine sve do ušća Save. III. Zona Dinarida proteže se kroz srednji dio Jugoslavije, počev od zapadnih dijelova Slovenije, dijelova Hrvatske, većeg dijela Bosne i Hercegovine, sve do centralnog dijela Srbije. IV. Zona jadranskog priobalnog područja. V. Šarsko-pindiska zona se uglavnom proteže u pograničnim područjima između Albanije i Jugoslavije obuhvaćajući dolinu Drima, pa je još nazvana drimskom zonom. VI. Vardarska zona s Pomoravljem kod nas obuhvaća doline rijeka Vardara i Morave. VII. Zona Ograždena obuhvaća pogranične predjele između Bugarske i Jugoslavije i proteže se uglavnom duž Strume, te je zbog toga nazvana još i strumskom zonom.



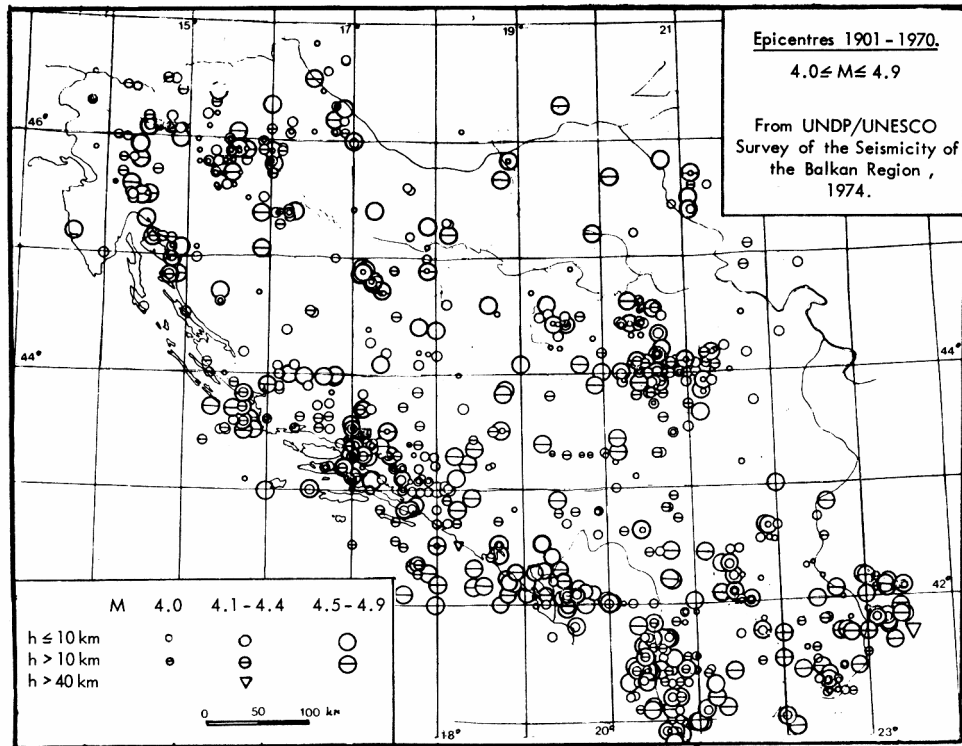
Slika 1. Epicentri potresa na području Jugoslavije 1901-1980,  $M \geq 5.0$ ; prije 1901,  $I \geq VII$  MCS. Prema projektu UNDP/UNESCO za proučavanje seizmičnosti balkanskog regiona, 1974.

Figure 1. Epicentres on the territory of Yugoslavia 1901-1980,  $M \geq 5.0$ ; prior to 1901,  $I \geq VII$  MCS. From UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan region, 1974.

Sve te seizmoaktivne zone prikazane su na slici 3, na kojoj su uneseni epicentri potresa s magnitudom  $M \geq 6.0$  za razdoblje 1901-1985. Iz te se slike vidi da su preostale dvije zone (VIII-zona istočno-srpskog masiva i IX zona panonskog bazena) za razliku od ostalih gotovo autohtono seizmički neaktivne, ali su podložne seizmičkom djelovanju udaljenih potresa. To se odnosi na zonu I jer je ona bila autohtono seizmička aktivna potresima s magnitudom  $M \geq 6.0$  u vremenu do 1900. godine.

Treba imati u vidu da se tako definirane seizmoaktivne zone ne odnose jedino na područje Jugoslavije, već da se one protežu i izvan njenih granica. Ovdje su razmatrani samo oni njihovi dijelovi koji su unutar granica Jugoslavije. Dubine hipocentara dogođenih potresa na području Jugoslavije nalaze se u granicama Zem-

ljine kore, tj iznad Mohorovičićevog diskontinuiteta, a najčešće su u intervalu od 10 do 20 km.

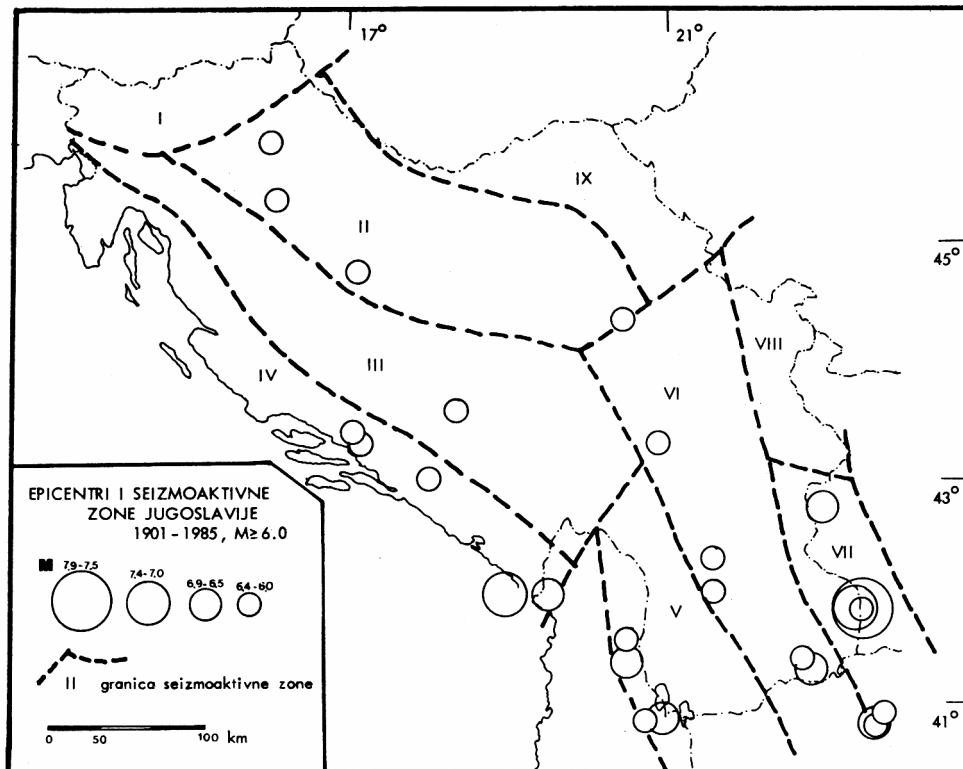


Slika 2. Epicentri potresa na području Jugoslavije 1901-1970,  $4.0 \leq M \leq 4.9$ . Prema projektu UNDP/UNESCO za proučavanje seizmičnosti balkanskog regiona, 1974.

Figure 2. Epicentres on the territory of Yugoslavia 1901-1970,  $4.0 \leq M \leq 4.9$ . From UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan region, 1974.

Tablica 4. Seizmoaktivne zone: vrijednosti čestina  $N(M)$  i razredi magnituda  
Table 4. Seismoactive zones: the  $N(M)$  values and the classes of magnitude

$M$ zona	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9
IV	32	10	4	1	1	
II	7	2	2			
VI-VII	15	8	6	3		1
V	12	4	3	2		



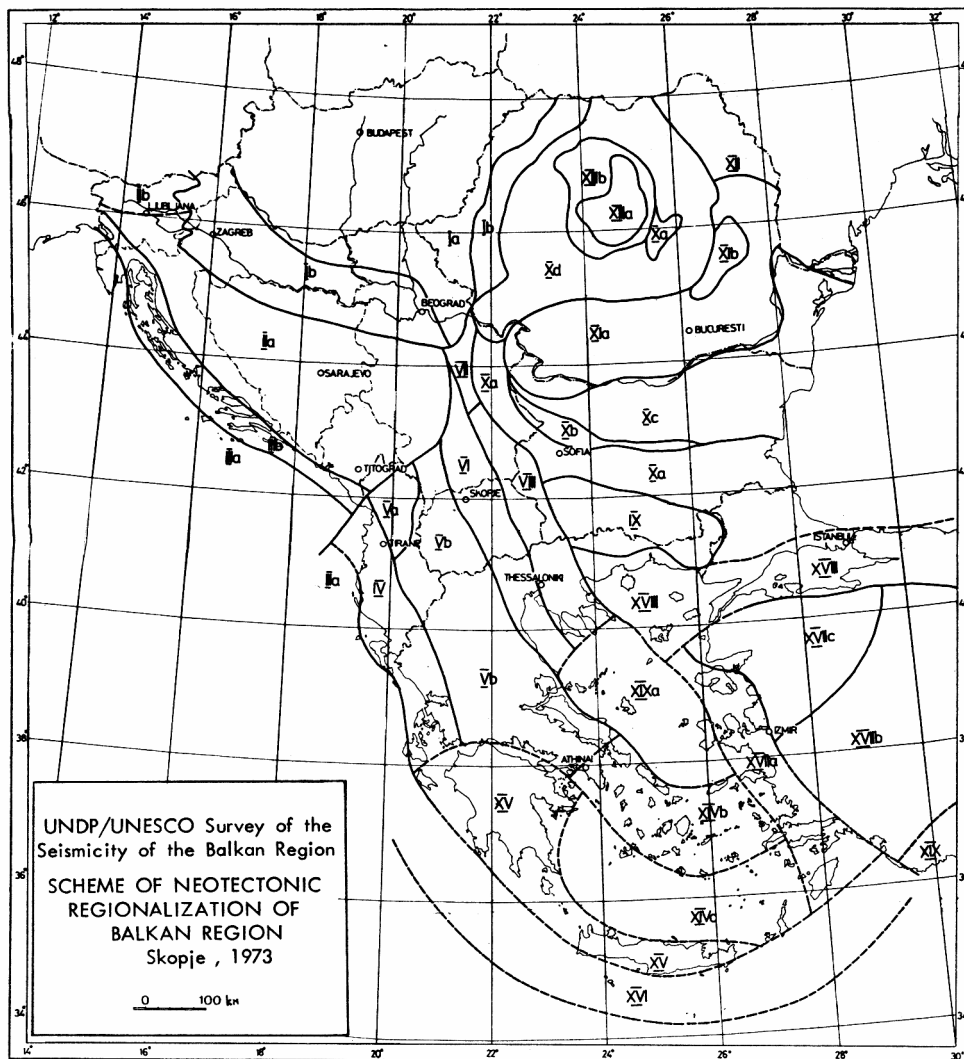
Slika 3. Epicentri (1901-1985,  $M \geq 6.0$ ) i seizmoaktivne zone područja Jugoslavije

Figure 3. Epicentres (1901-1985,  $M \geq 6.0$ ) and seismoactive zones on the territory of Yugoslavia

Pored pojave autohtonih potresa koji određuju lokalnu seizmičnost, područje Jugoslavije je u većem dijelu podložno očitavanju potresa iz udaljenih epicentralnih područja izvan njenih granica.

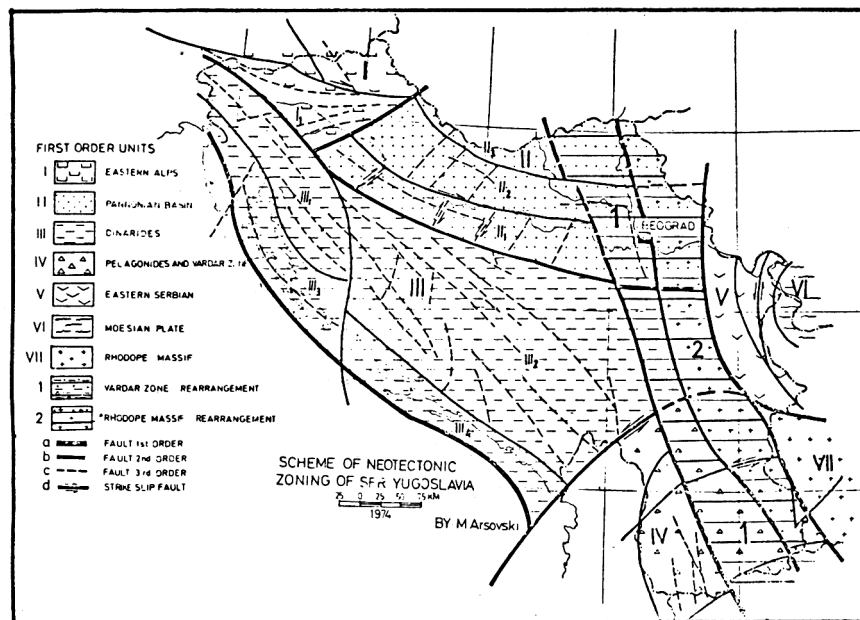
Karakteristika seizmičnosti Jugoslavije je u činjenici da postoji određeni odnos između seizmičke aktivnosti i geološke građe, koju su isticali gotovo svi dosadašnji istraživači. Zato se smatra da su potresi u Jugoslaviji rezultat tektonske, a naročito neotektonske aktivnosti. Na shemi neotektonske rajonizacije (sl. 4) određene su neotektonske zone na balkanskom području. Uspoređujući ih sa zonama seizmičke aktivnosti (sl. 3) dolazi se do zaključka da se one međusobno podudaraju, pa su zbog toga i seizmoaktivne zone nazvane istim imenima kao i neotektonske. Te se zone međusobno uglavnom odjeljuju tektonskim rasjedima, a unutar njih samih nalaze se rasjedi različitih vrsta, smjera pružanja i intenziteta kretanja tektonskih blokova, (slika 5, Arsovski i dr, 1975). Uz te granice i unutar njih nastaju potresi, tako da su





Slika 4. Shema neotektonske rajonizacije balkanskog regiona. Prema projektu UNDP/UNESCO za Proučavanje seizmičnosti balkanskog regiona, 1973.

Figure 4. Scheme of neotectonic regionalization of Balkan region. From UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan region, 1973.



Slika 5. Shema neotektonske rajonizacije SFR Jugoslavije

Figure 5. Scheme of neotectonic zoning of SFR Yugoslavia

te zone osnovni izvori seizmičke energije. Posebnu ulogu u tome imaju mjesta u kojima se presijecaju različiti rasjedi. Ta su mjesta kompleksne tektonske strukture i predstavljaju epicentralna područja katastrofalnih potresa, kao što su : ljubljansko, zagrebačko, banjalučko, ulcinjsko, lazarevačko, skopsko, valandovsko, pehčevsko i dr.

#### 4. Metode rada

Istaknuto je već da određivanje maksimalne magnitude očekivanih potresa predstavlja jedan od najvažnijih problema u proučavanju seizmičnosti i seizmičkog zoniranja određenog područja. Ta je veličina neposredno vezana sa procjenom seizmičkog hazarda i rizika. Međutim, još uvijek ne postoji jedinstvena i u potpunosti točna metoda za određivanje maksimalne magnitude očekivanih potresa. Za područje Jugoslavije to je pitanje do sada rješavano primjenom metoda vjerojatnosti u okvirima projekta o proučavanju seizmičnosti balkanskog regiona, izradom karte maksimalne magnitude očekivanih potresa za cijeli balkanski region, zasnovan na funkciji  $B(I)$ , (Drumea i dr, 1975) i računskom metodom, primjenom samo geotektonskih

parametara za izračunavanje maksimalne magnitude očekivanih potresa (Skoko i dr, 1976).

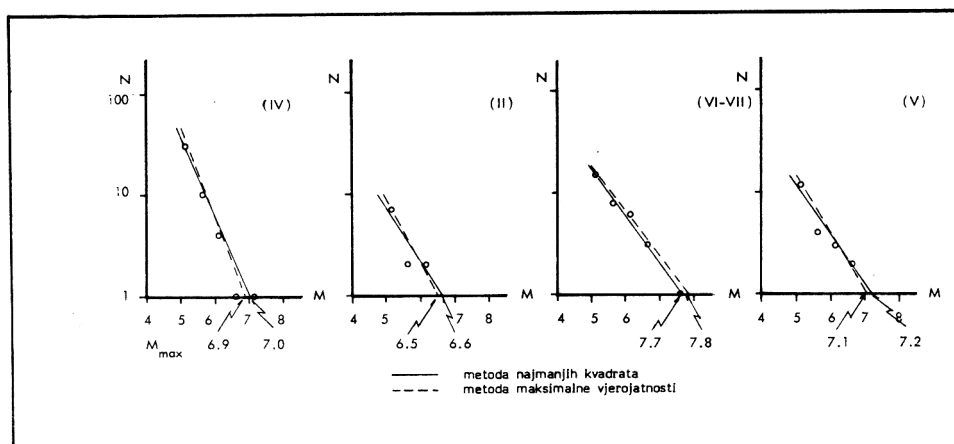
U ovom radu primjenjivane su metode koje nisu bile primjenjivane u navedenim radovima. Te metode su najprije bile primijenjene na području SR Makedonije (Hadžievski i Pekevski, 1985) i nakon što su dobiveni zadovoljavajući rezultati u usporedbi s do sada poznatim adekvatnim rezultatima, pokušalo ih se primijeniti i za područje Jugoslavije.

To su poznate i do sada primjenjivane metode na nekim drugim područjima u svijetu, a značajno je za njih da se izričito zasnivaju samo na katalogu potresa za razmatrano područje. To su metode :

- određivanje  $M_{max}$  očekivanih potresa iz funkcije čestine dogođenih potresa u odnosu na magnitudu,  $N(M)$ ;
- određivanje  $M_{max}$  očekivanih potresa iz sume oslobođenih energija dogođenih potresa.

#### 4.1. Određivanje $M_{max}$ očekivanih potresa iz funkcije čestine dogođenih potresa u odnosu na magnitudu, $N(M)$

Ova metoda razmatrana u mnogim radovima (Šenkova i Kárnik, 1974 ; Shouhan, 1970; Tsuboi, 1965) i primjenjivana za razna druga područja osniva se na ekstra-



Slika 6. Čestina potresa u odnosu na magnitudu za seizmoaktivne zone II, IV, VI-VII i V  
Figure 6. The magnitude-frequency relation for the seismoactive zones II, IV, VI-VII and V

polaciji funkcije  $\log N(M)$ , uz pretpostavku o vremenskoj stabilnosti seizmičkog režima:

$$\log N = a - bM, \quad (1)$$

Vrijednosti  $N(M)$  čestine potresa u određenim razredima veličina magnituda dobivene su iz kataloga potresa (Shebalin i dr, 1974) za razdoblje 1901-1970 i podacima o potresima na teritoriju Jugoslavije s magnitudama  $M \geq 5.0$  za razdoblje 1971-1980. Vrijednosti  $N(M)$  za četiri razmatrane seizmoaktivne zone (II, IV, VI-VII i V) prikazane su u tablici 4.

Točka presjeka pravca (1) u polulogaritamskom koordinatnom sustavu ( $M$ ,  $\log N$ ), s apscisnom osi daje traženu vrijednost maksimalne magnitude očekivanih potresa ( $M_{max}$ ) za svaku zonu (sl. 6). Račun je vršen na dva načina: metodom najmanjih kvadrata i metodom maksimalne vjerojatnosti, te zbog toga imamo po dvije vrijednosti za koeficijente  $a$  i  $b$  i po dva pravca, tj. po dvije vrijednosti za  $M_{max}$  za svaku zonu.

Poznato je da točke funkcije  $\log N(M)$  manje ili više odstupaju od položaja pravca, kao što se i u ovom slučaju pokazalo (sl. 6). Na to utječe više faktora: moguće varijacije stabilnosti seizmičkog režima razmatranog područja, nehomogenost područja u geološkom i geofizičkom pogledu, kratkoća razdoblja seizmoloških opažanja (u ovom slučaju - 80 godina).

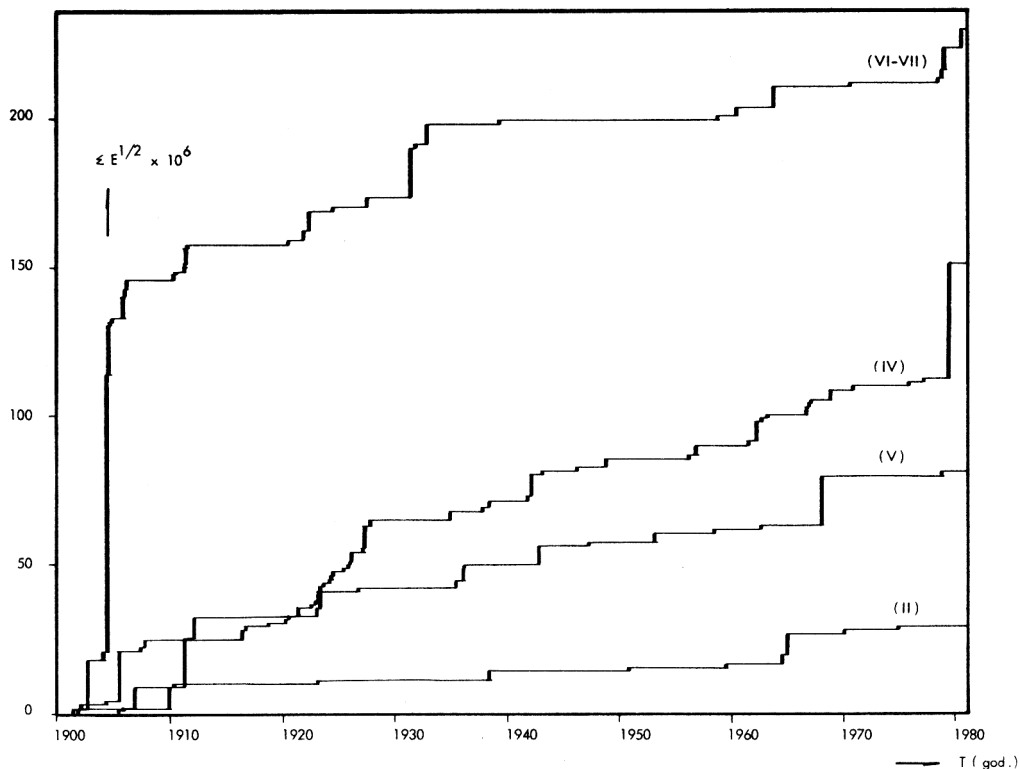
#### 4.2. Određivanje $M_{max}$ očekivanih potresa iz sume oslobođenih energija dogođenih potresa

Dijagrami sume oslobođenih energija tijekom vremena (ili Benioffovi dijagrami) predstavljaju još jedan način određivanja  $M_{max}$  očekivanih potresa. Po definiciji Benioffa jedan takav dijagram daje funkciju sume oslobođenih seizmičkih deformacija u odnosu na vrijeme, pri čemu su same te deformacije, svaka sa svoje strane, proporcionalne kvadratnom korijenu oslobođene energije potresa u vidu elastičnih valova. Kod konstrukcije tih dijagrama obično se energija  $E$  potresa računa iz magnituda  $M$  potresa poznatom Gutenbergovom formulom :

$$\log E (J) = 4.4 + 1.5 M \quad (2)$$

kao što je učinjeno i ovdje. Na sl. 7 dati su Benioffovi dijagrami za iste one seizmoaktivne zone kao u prethodnom slučaju, a na sl. 8 prikazan je postupak određivanja  $M_{max}$  za zonu IV.

Kao što se iz tih slika vidi dijagrami nisu posve periodični u odnosu na pojavu potresa tijekom vremena. To na prvi pogled navodi na pomisao o slučajnom karak-

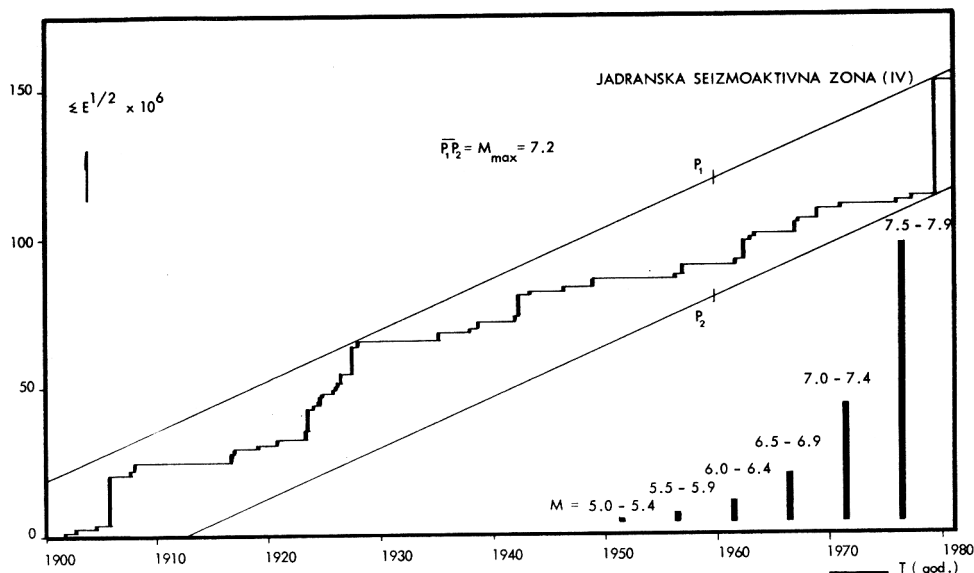


Slika 7. Sume oslobođenih energija dogođenih potresa za seizmoaktivne zone II, IV, VI-VII i V.  
 Figure 7. Strain release of earthquake energy for the seismoactive zones II, IV, VI-VII and V.

teru pojave potresa. No, ako se spoje gornje i donje ekstremne točke na jednom dijagramu, dobiju se dva paralelna pravca, koji uvijek imaju isti nagib za pojedino područje, pokazujući time njegov opći (i karakteristični) trend.

Fizikalnu interpretaciju ove pojave dao je C. Tsūboi (1965) primijetivši da je količina potencijalne energije potrebne za postanak potresa u jednom području veoma homogena u vremenu. Na osnovi toga pretpostavio je da se može odrediti maksimalna energija (odnosno magnituda) očekivanih potresa u tom razmatranom području. Ta maksimalna energija (magnituda) dobiva se iz dijagrama kao razlika ordinata između dviju točaka ( $P_1$  i  $P_2$ ) na istoj apscisi, kao što je prikazano na slici 8.

U mnogobrojnim istraživanjima u kojima je ta metoda korištena za određivanje  $M_{max}$  osim jednostavnosti u primjeni i relativno dobrih rezultata koje daje, ističu se i njeni nedostaci. Prije svega, problem se i ovdje, kao i kod prethodne metode, od-



Slika 8. Suma oslobođenih energija događenih potresa za seizmoaktivnu zonu IV i postupak određivanja  $M_{max}$  očekivanih potresa

Figure 8. Strain release of earthquake energy for the seismoactive zone IV and the determination procedure for expected  $M_{max}$

nosi na pitanje stabilnosti seizmičkog režima razmatranog područja i oslobađanja potencijalne energije u toku budućeg vremena, postupnom pojavom slabih potresa ili naglom pojavom jednog glavnog, najjačeg potresa i naknadnih potresa. Ta su pitanja ostala otvorena i u ovim istraživanjima.

## 5. Rezultati

U tablici 5 i na slici 6 prikazani su rezultati dobiveni linearnim ekstrapolacijama (regresijama) funkcije  $\log N(M)$ , uz primjenu metode najmanjih kvadrata i metode maksimalne vjerojatnosti za seizmoaktivne zone II, IV, VI - VII i V.

Tablica 5 daje vrijednosti koeficijenata  $a$  i  $b$  iz formule (1), kao i njihove standardne pogreške (za metodu najmanjih kvadrata) za svaku seizmoaktivnu zonu uzetu u razmatranje.

Presjek regresionog pravca sa  $N=1$  daje  $M_{max}$  za očekivane potrese. Iz slike 6 vidimo da za zonu IV,  $M_{max}$  ima vrijednost 7.0 po metodi najmanjih kvadrata, i

Tablica 5. Vrijednosti koeficijenata  $a$  i  $b$  u relaciji  $\log N = a - bM$ , za zone IV, II, VI-VII i V

Table 5. The values of the coefficients  $a$  and  $b$  in relation  $\log N = a - bM$  for zones IV, II, VI-VII and V

zona:		IV	II	VI-VII	V
suma najmanjih kvadrata	$a$	$5.59 \pm 0.68$	$3.58 \pm 1.80$	$3.60 \pm 0.15$	$3.54 \pm 0.66$
	$b$	$0.80 \pm 0.11$	$0.54 \pm 0.31$	$0.47 \pm 0.02$	$0.49 \pm 0.11$
maksimalna vjerojatnost	$a$	6.18	4.17	3.52	4.02
	$b$	0.90	0.65	0.45	0.57

6.9 po metodi maksimalne vjerojatnosti. Na toj slici označene su i vrijednosti  $M_{max}$  za ostale tri zone, dobivene prikazanim linearnim regresijama.

Na osnovi standardnih pogreški regresija (Vukadinović, 1981) i srednjih vrijednosti  $M_{max}$  računatih pomoću vrijednosti koeficijenata  $a$  i  $b$  iz tablice 5, određene su granice  $M_{max}$  očekivanih potresa, uz određenu vjerojatnost pojave (68%, 95%, 99%). Vrijednosti gornjih granica  $M_{max}$  za razmatrane seizmoaktivne zone date su u tablici 6.

Na slici 7 prikazani su dijagrami suma oslobođenih energija dogođenih potresa u 4 razmatrane zone. Na slici 8 prikazan je postupak određivanja  $M_{max}$  očekivanih potresa iz takvog dijagrama za zonu IV, kojim se za tu zonu dobiva  $M_{max} = P_1P_2 = 7.2$ . Tim postupkom dobivene vrijednosti  $M_{max}$  za sve razmatrane zone prikazane su u tablici 7.

Interesantno je na kraju međusobno usporediti dobivene rezultate za  $M_{max}$  očekivanih potresa ovdje primijenjenim metodama s do sada publiciranim rezultati-

Tablica 6: Gornje granice  $M_{max}$  očekivanih potresa za zone II, IV, V i VI-VII

Table 6: The upper extremes of  $M_{max}$  for the zones II, IV, V and VI-VII

zona	srednja $M_{max}$ graf. sl. 5	srednja $M_{max}$ po računu	st. pogreška regresija	vjerojatnosti i gornja $M_{max}$		
				68%	95%	99%
II	6.6	6.63	0.24	6.87	7.11	7.35
IV	7.0	6.99	0.16	7.15	7.31	7.47
V	7.2	7.22	0.18	7.40	7.58	7.76
VI-VII	7.7	7.66	0.08	7.74	7.82	7.90

- Shebalin, N.V., V. Kárnik, D. Hadžievski /editors/ (1974): Catalogue of Earthquakes. Part I, 1901–1970. Part II, prior to 1901. UNESCO–Skopje.
- Shouhan, R.K.S. (1970): On the frequency–magnitude relation. Pure and Appl. Geophys. No 4, 81.
- Skoko, D., M. Arsovski, D. Hadžievski (1976): Determination of possible earthquake origin zones on the territory of Yugoslavia. Proceedings of the seminar on seismic zoning maps. UNESCO–Skopje.
- Šenkova, Z., V. Kárnik (1974): Sravnenie metodov opredelenija maksimalnih možnih zemletrjasenij. Izv. An. SSSR, Fizika Zemli, No 11
- Tsuboi, C. (1965): Time rate earthquake energy release in and near Japan. Proc. Jap. Acad. 41
- Vukadinović, S. V. (1981): Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike. Privr. pregled, Beograd



Tablica 7: Vrijednosti  $M_{max}$  očekivanih potresa dobivene iz suma oslobođenih energija za zone II, IV, V i VI-VII

Table 7: Values of expected  $M_{max}$  obtained from strain release of earthquake energy for the zones I, IV, V and VI-VII

zona:	II	IV	V	VI-VII
$M_{max}$	6.4	7.2	7.0	7.9

ma za  $M_{max}$  očekivanih potresa za područje Jugoslavije. Takva je usporedba prikazana u tablici 8.

Iz tablice 8 vidi se da su sve do sada dobivene vrijednosti za  $M_{max}$  očekivanih potresa različitim metodama u dobroj suglasnosti, kako međusobno tako i u odnosu na  $M_{max}$  do sada dogođenih potresa u razdoblju 1901-1985.

Tablica 8: Usporedba vrijednosti  $M_{max}$  očekivanih potresa po različitim metodama

Table 8: A comparison of expected  $M_{max}$  obtained by various methods

zona:	II	IV	V	VI-VII
Srednja $M_{max}$ po metodi najmanjih kvadrata	6.6	7.0	7.2	7.7
Srednja $M_{max}$ po metodi maksimalne vjerojatnosti	6.5	6.9	7.1	7.8
$M_{max}$ po sumi oslobođenih energija dogođenih potresa	6.4	7.2	7.0	7.9
Interval $M_{max}$ očekivanih potresa, Skoko i dr. (1975)	6.6-6.9	6.6-6.9	6.6-6.9	7.6-7.9
Interval $M_{max}$ očekivanih potresa, Drumea i dr. (1975)	6.0-6.5	7.0-7.5	6.5-7.0	7.5-7.9
Magnituda najjačeg dogođenog potresa u periodu 1901-1985	6.4	7.2	6.7	7.8

## 6. Zaključak

Iz dobivenih rezultata za  $M_{max}$  očekivanih potresa u četiri razmatrane seizmoaktivne zone na području Jugoslavije, može se zaključiti sljedeće :

–Kada uvjeti nalažu primjenu metoda koje su zasnovane samo na seizmološkim podacima, dobre rezultate daju i metode primijenjene u ovom radu. To potvrđuju dobiveni rezultati suglasni s rezultatima drugih istraživanja.

–Isti rezultati se dobro podudaraju i s opažanjima dogođenih potresa u Jugoslaviji u razdoblju 1901-1985.

–Sve metode daju (tablica 8) najveće vrijednosti  $M_{max}$  (uključujući i gornju granicu) za vardarsku i strumsku zonu. Potvrda tome je i podatak, da se u strumskoj zoni dogodio najjači do sada potres na području Jugoslavije i kopnenog dijela Balkanskog poluotoka. To je potres od 1904, magnitude  $M=7.8$ , u području Pehčevo-Kresna.

–U seizmoaktivnim zonama u kojima se opaža izrazito intenzivna seizmička aktivnost i pojava najjačih potresa ( $M \geq 6.5$ ), vrijednost koeficijenta  $b$  je najmanja. U ovom slučaju, to su vardarska i strumska zona (VI i VII), gdje je nastao najjači potres, 1904,  $M=7.8$ . Za tu zonu je  $b=0.45$ , odnosno  $b=0.47$ .

## Literatura

- Arsovski, M. /editor/ (1973): Neotectonical Map of SFR Yugoslavia. UNDP/UNESCO Survey of Seismicity of Balkan Region.
- Arsovski, M., B. Sikošek, M. Vidović, E. Prelogović (1973): Tectonic Map of Yugoslavia. UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Yugoslavia
- Arsovski, M., V. Radulović, E. Prelogović, B. Sikošek, M. Vidović (1975): O p š t e karakteristike neotektonike teritorije SFR Jugoslavije. "Acta Seismologica Iugoslavica", No 2–3. Beograd.
- Drumea, A.V., G.I. Reisner, N.V. Shebalin, V.N. Sholpo, N.J. Stepanenko (1975): Maps of seismic origin zones and maps of maximum expected intensity. Balkan Region. UNDP/UNESCO Survey of Seismicity of the Balkan Region. Moscow. Kishinev
- Gorškov, G. P. /editor/ (1973): Scismogenetic map of Balkan Region. UNDP/UNESCO Survey of the Balkan Region.
- Hadžievski, D., L. Pčekovski (1985): O određivanju maksimalne magnitude očekivanih potresa na osnovu seizmoloških podataka. Acta Seismologica Iugoslavica, No 11. Beograd

- Shebalin, N.V., V. Kárnik, D. Hadžievski /editors/ (1974): Catalogue of Earthquakes. Part I, 1901–1970. Part II, prior to 1901. UNESCO–Skopje.
- Shouhan, R.K.S. (1970): On the frequency–magnitude relation. Pure and Appl. Geophys. No 4, 81.
- Skoko, D., M. Arsovski, D. Hadžievski (1976): Determination of possible earthquake origin zones on the territory of Yugoslavia. Proceedings of the seminar on seismic zoning maps. UNESCO–Skopje.
- Šenkova, Z., V. Kárnik (1974): Sravnenie metodov opredelenija maksimalnih možnih zemletrjasenij. Izv. An. SSSR, Fizika Zemli, No 11
- Tsuboi, C. (1965): Time rate earthquake energy release in and near Japan. Proc. Jap. Acad. 41
- Vukadinović, S. V. (1981): Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike. Privr. pregled, Beograd