

| | | | |
|---------------|---------|--------------|--------------|
| Geol. vjesnik | Vol. 42 | str. 287—299 | Zagreb 1989. |
|---------------|---------|--------------|--------------|

UDK 550.348.64:550.34.042.43:551.248.2

Izvorni znanstveni članak

Geološki i seizmološki podaci potrebni za određivanje maksimalnih magnituda potresa

Dragutin SKOKO¹ i Eduard PRELOGOVIĆ²

¹ *Geofizički zavod Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac b.b., YU — 41000 Zagreb*

² *Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU — 41000 Zagreb*

Ključne riječi: Neotektonski pokreti, Magnitude potresa

Keywords: Neotectonic movements, Earthquake magnitudes

Opisuje se metoda određivanja maksimalno mogućih magnituda potresa. Odnosi magnituda potresa, najaktivnijih dionica rasjeda i veličine neotektonskih pokreta prikazani su za 24 epicentralna područja. Iznose se karakteristike seizmotektonskih provincija i ukazuje se na tektonske pokrete.

Paper presents a determination of the maximum possible earthquake magnitude. Correlations between earthquake magnitude and the most active sections of the faults and neotectonic movements for 24 epicentral areas are shown. Characteristics of the seizmotectonic provinces are exposed and the tectonic movement are pointed at.

UVOD

Uzročnici nastanka potresa u području Jugoslavije gotovo uvijek su tektonski pokreti u unutrašnjosti Zemlje. Rijetko se javljaju urušni potresi. Njihov broj i oslobođena energija su zanemarivi. Dosada nije utvrđen odnos potresa i vulkanske aktivnosti. Gotovo u svim predjelima Jugoslavije dogodili su se potresi. Najstariji zapis datira iz 73. godine p.n.e. Postoji izrazita koncentracija potresa duž čitave obale Jadranskog mora (osobito od srednjoadraskih otoka do Albanije i zapadne Makedonije), uz južni rub Panonskog bazena (Pokuplje, Banja Luka, Rudnik), te u Srbiji i Makedoniji (dolina Morave, Kopaonik, Škopje, zapadna i jugoistočna Makedonija). Od najjačih potresa trima se pripisuje intenzitet $X^{\circ}MCS$. Oni su se dogodili kod Dubrovnika 1667. godine, Pehčeva 1964. godine i Valandova 1931. godine.

S obzirom na znatnu seizmičku aktivnost u nekoliko navrata izrađivane su seizmološke karte s ciljem izdvajanja područja različitog intenziteta potresa. (npr. Kišpatić, 1895; Mihailović, 1937; Janković i dr., 1982). Ipak, one su se pokazale nedovoljnima za detaljniju procjenu seizmičnosti i pogotovo utvrđivanja njihovih uzročnika. Sustavno proučavanje povezanosti tektonskih pokreta i pojava potresa za-

počelo je tek sedamdesetih godina (G o r s h k o v i dr., 1974., S h e b a l i n i dr., 1976). Nastojalo se protumačiti uzročnike nastanka potresa i izdvojiti zone u kojima se događaju ili se očekuju. Najvažniji podaci koji su se htjeli postići odnosili su se na utvrđivanje maksimalno mogućih magnituda potresa. U tom smislu izrađene su pojedine karte uglavnom manjih područja (V u k a š i n o v i ć, 1979; S k o k o i dr., 1976; P r e l o g o v i ć i dr., 1978; H a d Ź i e v s k i & P e k e v s k i, 1985). U radovima su upotrebljene različite metode određivanja maksimalno moguće magnitude potresa ovisno o izboru geoloških podataka. Ipak, pojedini podaci mogli su biti upotrebljeni prilikom izrade nove seizmološke karte Jugoslavije (J o r g i ć i dr., 1987). Ona je izrađena u dvije faze.

U prvoj su razmatrane žarišne zone mogućih pojava potresa određenih magnituda. U drugoj fazi računani su intenziteti maksimalnih očekivanih potresa na slobodnoj površini za različite povratne periode.

Prilikom određivanja maksimalno mogućih magnituda potresa geološki parametri činili su poteškoće zbog neujednačenosti potrebnog broja podataka za čitavo područje Jugoslavije. Osnovni nedostatak, koji je i danas prisutan, predstavlja rekonstrukciju geološke građe u dubini, na nivoima javljanja žarišta potresa. U nekim dosadašnjim istraživanjima učinjene su i pogreške u pristupu. Promatrani su geološki podaci na površini, a zanemarena je potreba prostorne korelacije seizmotektonskih odnosa. Također vrednovane su posljedice, a ne uzroci tj. tektonski pokreti. Njih je trebalo promatrati u širem prostoru zajedno s utvrđivanjem geološkog razvitka, paleostrukturalnih odnosa i usporedbom geološke građe uz površinu i u dubini. Zadnjih godina u pojedinim predjelima Jugoslavije izvršeni su daljnji naponi u proučavanju neotektonskih pokreta i posebno geološke građe u dubini uz definiranje debljine kompleksa sedimentnih naslaga, deformacija Mohorovičićevog diskontinuiteta i uočavanja mehanizma tektonskih pokreta (npr. S i k o š e k & P r o s e n, 1980; S i k o š e k, i dr., 1980; P r e l o g o v i ć i dr., 1982; A l j i n o v i ć, 1984; A l j i n o v i ć i dr., 1984; 1987; R i b a r i ć, 1986; S k o k o i dr., 1987; A d e r s o n & J a c k s o n, 1987). Zajedno s novom geotektonskom koncepcijom Dinarida (H e r a k, 1986) dobiveni su osnovni ali bitni podaci i o prostornim odnosima geološke građe i recentnih tektonskih odnosa.

Nakon prikupljenih novih podataka mogli su se pouzdanije razraditi geološki parametri potrebni za određivanje maksimalnih magnituda potresa. U nastavku teksta prikazuje se dio područja Dinarida i Panonskog bazena unutar kojeg su obuhvaćena 24 veća epicentralna područja.

ODNOS MAGNITUDA POTRESA, DULJINA NAJAKTIVNIJE DIONICE RASJEDA I VELIČINE NEOTEKTONSKIH POKRETA

Neotektonska aktivnost može se procijeniti iz veličina vertikalnih i horizontalnih tektonskih pomaka. S obzirom da se uz potrese uočava i rasjedanje, kao posljedica određenih tektonskih pokreta, mogu se promatrati i parametri aktivnosti duž trasa rasjeda. Pri tom je važno utvrditi odnos veličine žarišnog prostora i najjačeg pridruženog potresa. Žarišni prostor označava aktivnu strukturu i zonu rasjeda. S obzirom na različitost karakteristika seizmičnosti, geološke građe i neotektonskih po-

kreta potrebno je izdvojiti pojedina područja, tzv. seizmotektonske provincije. U obuhvaćenom području njihove granice na površini uglavnom se podudaraju s najvećim strukturnim jedinicama: Dinaridima (zone Adrijatika, Dinarika sa Supradinarikom — u neotektonskom smislu najuzdignutiji dijelovi Dinarida posebno Vardarska zona), zatim Karpata — balkanidima, Srpsko-makedonskom masom (s obzirom na javljanje potresa, područje između Dinarida i Karpata) i Panonskim bazenom unutar kojeg se izdvajaju zasebne provincije u rubnim i centralnim dijelovima (slika 1). Međutim, žarišta potresa događaju se na dubini, pa seizmotektonske provincije treba promatrati prostorno.

Stoga je potrebno usporediti površinske i dubinske geološke strukture, tip i veličinu tektonskih pokreta. U tom smislu iskazuju se najaktivnije provincije: zone Adrijatika i pridruženi rubni dijelovi Dinarika i Vardarska zona, te južna i zapadna rubna zona Panonskog bazena.

Centralna zona Panonskog bazena (I). U osnovi prevladavaju strukture tipa horstova i graba. Nizovi horstova i glavne depresije predstavljaju relativno velike strukturne jedinice čiji su rubni dijelovi seizmotektonski najaktivniji. Amplitude dominantnih vertikalnih neotektonskih pokreta iznose između — 7000 m i 750 m. Razmatrano je sedam većih epicentralnih područja. Ona se nalaze u zonama normalnih rasjeda i rasjeda s horizontalnim smicanjem, rijetko reversnih rasjeda. Najjači potresi koji su se dogodili imali su magnitudu između 5,2 i 5,7.

Zapadna (Ia) i južna (Ib) rubna zona Panonskog bazena. I tu su u osnovi strukture horstova i graba uz izražene gradijente vertikalnih neotektonskih pokreta. U obje zone zapažaju se horizontalna smicanja. Reversnih, pa i navučenih struktura ima osobito u južnoj rubnoj zoni. Amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta su između — 5000 m i 1000 m, a horizontalnih smicanja do 10 km. U deset epicentralnih područja u zonama normalnih, reversnih i rasjeda s horizontalnim smicanjem dogodili su se potresi s magnitudama između 5,4 i 6,4 (najčešće oko 6,0).

Zona Adrijatika (III), uzdignuti dijelovi Dinarida (II), Vardarska zona (IV). Pretežu reversne, navučene strukture uz značajne tangencijalne pokrete (primjerice amplitude od površine do nivoa približno 20 km preko srednjodalmatinskih otoka iznose oko 70 km). Poznata su i horizontalna smicanja, najviše sjeverno od Splita (u tri zone po 7 do 10 km). Vertikalna komponenta pokreta doseže 2000 m. U četrnaest epicentralnih područja koji se nalaze u zonama reversnih rasjeda, mjestimice rasjeda s horizontalnim smicanjem ili normalnih rasjeda, dogodili su se potresi s magnitudama 5,5 do 6,5 (najčešće 6,0 i 6,5, a II od obuhvaćenog područja i 7,1).

Dijelovi Karpata, Balkana (IV) i struktura smještenih između Dinarida i Karpata (V) predstavljeni su reversnim ili s nekim drugim tipovima struktura s isticanjem graba u predjelu Pomoravlja. U nekoliko epicentralnih područja dogodili su se potresi s magnitudama između 5,4 i 6,0.

Slika 1. Karta epicentralnih područja i neotektonski najaktivnijih rasjeda

Legenda: 1 — Seismotektonske provincije; 2 — Panonski bazen (I — centralna zona, Ia — zapadna rubna zona, Ib — južna rubna zona, Ic — istočna rubna zona); 3 — Uzdignuti dijelovi Dinarida (II); 4 — zona Adrijatika (III); 5 — Vardarska zona (IV); 6 — zona između Dinarida i Karpata (V); 7 — Karpati—Balkan (VI);

Neotektonski najaktivniji rasjedi: 8 — dionice reversnih rasjeda duljine 30—80 km s vertikalnim pomakom 2000—3000 m ili više za neogen i kvartar te 250—300 m za kvartar; 9 — dionice reversnih rasjeda s najvećim tangencijalnim pomakom; 10 — dionice normalnih rasjeda duljine 30—90 km s vertikalnim pomakom 1600—3000 m za neogen i kvartar te 150—300 m za kvartar; 11 — rasjedi duljine do 90 km s naznakom dionice gdje je horizontalno smicanje za neogen i kvartar između 5 i 15 km; 12 — vjerojatno najaktivnije dionice reversnih, normalnih i vertikalnih rasjeda (nedovoljno pouzdani podaci o amplitudama neotektonskih pokreta);

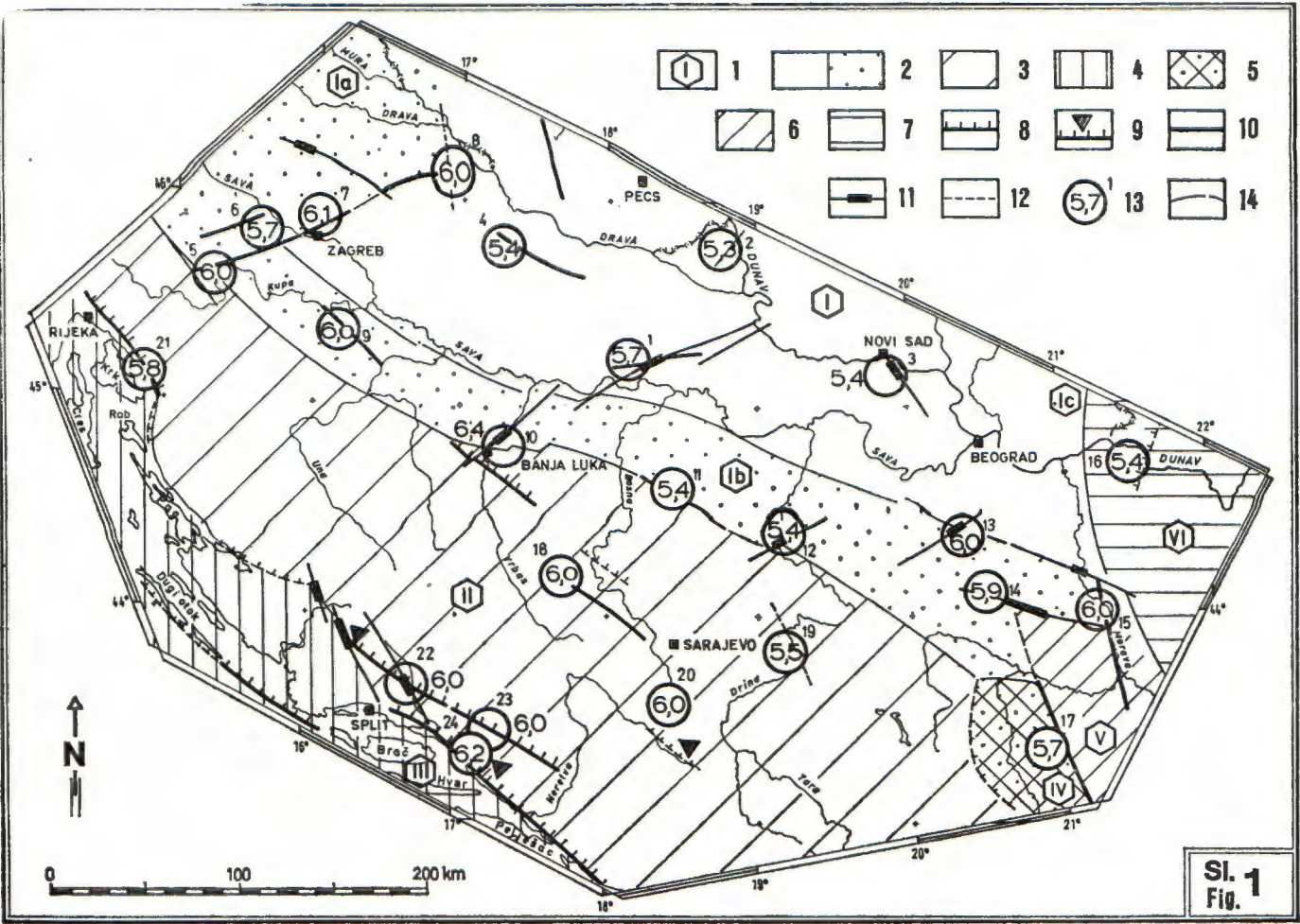
13 — epicentralna područja i epicentar najjačeg zabilježenog potresa s naznakom magnitude (1 — Dilj gora, 2 — Baranja, 3 — Fruška gora, 4 — Virovitica, 5 — Metlika, 6 — Zumberak, 7 — Medvednica, 8 — Bilogora, 9 — Pokuplje, 10 — Banja Luka, 11 — Tuzla, 12 — Zvornik, 13 — Lazarevac, 14 — Rudnik, 15 — Svilajnac, 16 — Golubac, 17 — Kopaonik, 18 — Travnik, 19 — Višegrad, 20 — Sarajevo, 21 — Vinodol, 22 — Sinj, 23 — Imotski, 24 — Biokovo); 14 — granice seismotektonskih provincija.

Fig. 1. Map of the Epicentar area and neotectonically most active faults

Legend: 1 — Seismotectonic provinces; 2 — Pannonian Basin (I — central zone, Ia — western marginal zone, Ib — southern marginal zone, Ic — eastern marginal zone); 3 — Uplifted parts of the Dinarides (II); 4 — Adriaticum zone (III); 5 — Vardar zone (IV); 6 — zone between the Dinarides and the Carpathians (V); 7 — Carpathians — Balkan Mts. (VI);

The most active Neotectonical faults: 8 — stretches of reverse faults having a length of 30—80 km with vertical displacement of 2000—3000 m or more for the Neogene and Quaternary and 250—300 m for the Quaternary; 9 — stretches of reverse faults with the largest tangential displacement; 10 — stretches of normal faults having a length of 30—90 km with vertical displacement of 1600—3000 m for the Neogene and Quaternary and 150—300 m for Quaternary; 11 — faults having a length to 90 km with indicated stretches where the strike slip for the Neogene and Quaternary is from 5 up to 15 km; 12 — probably the most active stretches of the reverse, normal and vertical faults (data on amplitudes of vertical movements not sufficiently reliable);

13 — epicentar areas and the epicentar of the strongest earthquake recorded with indicated magnitude (1 — Dilj gora, 2 — Baranja, 3 — Fruška gora, 4 — Virovitica, 5 — Metlika, 6 — Zumberak, 7 — Medvednica, 8 — Bilogora, 9 — Pokuplje, 10 — Banja Luka, 11 — Tuzla, 12 — Zvornik, 13 — Lazarevac, 14 — Rudnik, 15 — Svilajnac, 16 — Golubac, 17 — Kopaonik, 18 — Travnik, 19 — Višegrad, 20 — Sarajevo, 21 — Vinodol, 22 — Sinj, 23 — Imotski, 24 — Biokovo); 14 — boundaries of seismotectonic provinces.



Tablica 1. Odnos magnituda potresa, duljina najaktivnijih dionica rasjeda i amplituda neotektonskih pokreta

Table 1. Relationship between the earthquake magnitude, length of the most active fault sections and the amplitudes of the neotectonic movements

| Magnituda potresa Earthquake magnitude | Duljina najaktivnije dionice rasjeda Length of the most active fault section | | Amplitude neotektonskih pokreta Amplitudes of the neotectonic movements | | | | |
|---|---|-------|--|------------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | | Vertikalni pomaci Vertical displacement | | | Horizontalni pomaci Horizontal displacement | |
| | | | Neogen i kvartar Neogene and Quaternary | | Kvartar Quaternary | Horizontalni pomaci Horizontal displacement | |
| | | | Normalni rasjedi Normal faults | Reversni rasjedi Reverse faults | | Pomaknuti reversni rasjedi Displaced reverse faults | Pomaknuti normalni rasjedi Displaced normal faults |
| 6,5 | 140 km | 70 km | 3 km | 3,5 km | | 13 km | 27 km |
| 6,0 | 70 km | 55 km | 2,3 km | 2,8 km | oko 300 m | 8 km | 13 km |
| 5,5 | 33 km | 40 km | 1,7 km | 2,5 km | 160 m | 5,5 km | 5,5 km |
| 5,0 | 15 km | 28 km | | 2,0 km | | 3,7 km | 3,7 km |

Osim iz navedenih provincija u razmatranje su uzeti podaci i iz dijelova Južnih Alpa. U epicentralnim područjima kod Ljubljane i u Furlaniji dogodili su se potresi magnitude 6,5.

Od parametara koji ulaze u relacije za određivanje veličine potresa obično se primjenjuje magnituda M potresa i veličina žarišnog prostora izraženog duljinom D najaktivnije dionice rasjeda i maksimalni pomak P . Najčešće su to linearne relacije između magnitude M i logaritma parametara mogućeg žarišnog prostora (Iida, 1965; Slemons, 1977, Idriss, 1985). Jasno je da točnost dobivenih vrijednosti magnituda ovisi od geoloških podataka. Spoznalo se da podatke treba prvenstveno korelirati unutar seizmotektonskih provincija, također s obzirom na tip tektonskog pomaka i rasjeda, te duljinu promatranog razdoblja. Za prikaz određivanja maksimalno mogućih magnituda potresa uzeti su u obzir žarišni prostori u kojima se mogu dogoditi potresi magnitude 5,5 do 6,5 (slika 1).

Prikazuju se slijedeći podaci:

- magnitude potresa koji su se dogodili,
- neotektonski najaktivnije dionice tri tipa rasjeda: normalnih, reversnih i rasjeda duž kojih postoji horizontalno smicanje (u prostoru obično dijagonalno s obzirom na horizontalnu ravninu),
- amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta (u primjerima uzetim u razmatranje za razdoblja: neogen-kvartar, posebno kvartar, te gornji pleistocen-holocen),
- amplitude horizontalnih neotektonskih pokreta.

Od osam do sada provedenih korelacija u slici 2 prikazani su:

- odnos duljina najaktivnije dionice normalnih rasjeda i magnituda potresa (slika 2a, obrađeno devet epicentralnih područja uz napomenu da se neke zone rasjeda, prema mehanizmu pokreta u žarištu potresa iskazuju kao reversne npr. Žumberačko-medvedničko-kalnički rasjed),
- odnos duljina najaktivnijih dionica reversnih rasjeda i magnituda potresa (slika 2b, devet epicentralnih područja),
- odnos vertikalnih pomaka duž normalnih rasjeda za $25 \cdot 10^6$ god i magnituda potresa (slika 2c, sedam epicentralnih područja),
- odnos duljina najaktivnije dionice normalnih rasjeda i magnituda potresa za zadnjih 130.000 god. (slika 2d, sedam epicentralnih područja),
- odnos rasjeda s horizontalnim smicanjem za $25 \cdot 10^6$ god. (pomaknuti reversni rasjedi) i magnituda potresa (slika 2e, sedam epicentralnih područja).

Geološki parametri izraženi su u logaritamskom obliku. Linearni trendovi ovisnosti magnituda potresa i geoloških parametara definirani su s pravcima regresije pomoću metode najmanjih kvadrata odstupanja.

Geološki parametri mogli su se ustanoviti iz površinskog geološkog, geomorfološkog i daljinskog kartiranja, posebice dubinskog strukturnog i geofizičkog kartiranja. Bolje su korelirani površinski i pripovršinski podaci od onih iz većih dubina. Za prikaz su upotrebljeni podaci do dubina pouzdanih repernih horizonata ustanovljenih seizmičkim profiliranjem (oko 7 km u Panonskom bazenu i do 15 km u Jadranskom bazenu i priobalju).

Zapaženo je da su sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta kod najvećih rasjeda 3000 ili 3500 m. Amplitude za kvartar došuju 350 m. Amplitude horizontalnih smicanja iznose do 10 km, mjestimice i više. Zbog moguće korelacije navode se podaci za neke poznate rasjede:

— Žumberačko-medvedničko-kalnički rasjed (na slici 1 uz epicentralno područje 5, 7 i 8): amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta 2500 m i 300 m za kvartar,

— Južni rubni rasjed Dravske potoline (na slici 1 uz epicentralno područje 4): oko 3000 m za čitavo neotektonsko razdoblje i 350 m za kvartar,

— Đakovački rasjed (na slici 1 uz epicentralno područje 1): amplitude horizontalnog smicanja 8 km.

Kod određivanja aktivnosti rasjeda najvažnije je izdvajanje najaktivnije dionice. Zapažena je činjenica da većoj duljini rasjeda odgovaraju i veće sumarne amplitude neotektonskih pokreta. Kod pojedinih tipova rasjeda ustanovljene su razlike najaktivnijih dionica.

a) Reversni rasjedi:

— najaktivnije dionice duljine 65 do 80 km mogu imati vertikalni pomak za neogen i kvartar do 3500 m i za kvartar oko 300 m;

— dionice duljine 45 do 65 km: 2500 do 3000 m za neogen — kvartar i 250 do 300 m za kvartar;

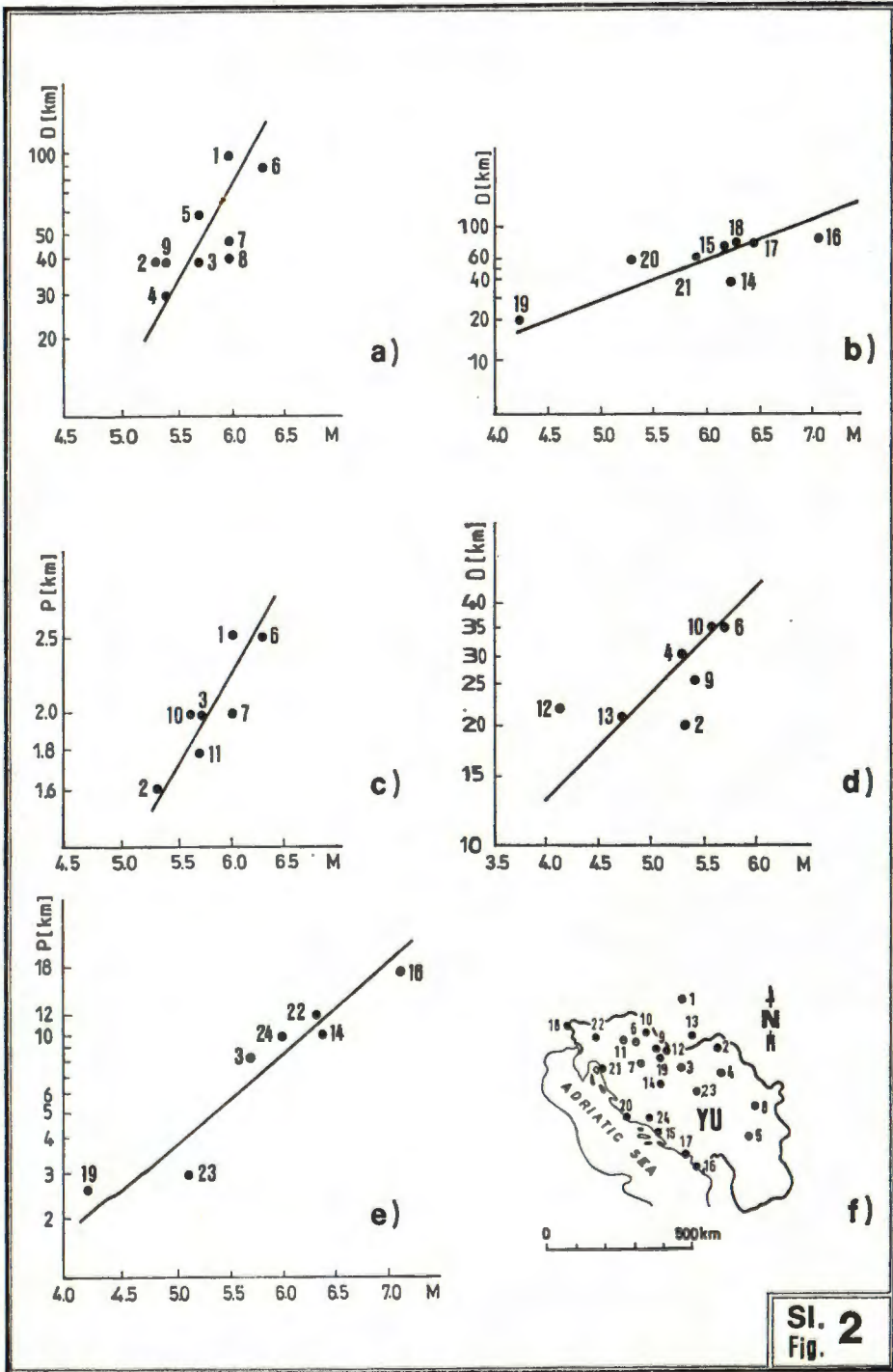
— dionice duljine 30 do 45 km: 2000 do 2500 m za neogen-kvartar i 150—250 m za kvartar.

Slika 2.

- a) Odnos duljina najaktivnije dionice normalnih rasjeda i magnitude potresa
- b) Odnos duljina najaktivnije dionice reversnih rasjeda i magnitude potresa
- c) Odnos vertikalnih pomaka duž normalnih rasjeda za $25 \cdot 10^6$ god. i magnitude potresa
- d) Odnos duljina najaktivnije dionice normalnih rasjeda i magnitude potresa za zadnjih 130.000 god.
- e) Odnos rasjeda s horizontalnim smicanjem za $25 \cdot 10^6$ god. (pomaknuti reversni rasjedi) i magnitude potresa
- f) Epicentralna područja:
 1 — Bükk, 2 — Baranja, 3 — Dilj gora, 4 — Fruška gora, 5 — Kopaonik, 6 — Medvednica, 7 — Pokuplje, 8 — Svilajnac, 9 — Virovitica, 10 — Bilogora, 11 — Brežice, 12 — Podravska Slatina, 13 — Mohacs, 14 — Banja Luka, 15 — Biokovo, 16 — Crna Gora, 17 — Dubrovnik, 18 — Furlanija, 19 — Papuk, 20 — Šibenik, 21 — Vinodol, 22 — Ljubljana, 23 — Majeвица, 24 — Sinj.

Fig. 2.

- a) Relationship between the most active sections of the normal faults and the earthquake magnitude
- b) Relationship between the most active sections of the reverse faults and the earthquake magnitude
- c) Relationship of the vertical displacements of the normal faults during the period of $25 \cdot 10^6$ years and the earthquake magnitude
- d) Relationship between the most active sections of the normal faults during the period of the last 130.000 years and the earthquake magnitude
- e) Relationship between the strike slip faults during the period of $25 \cdot 10^6$ years (reverse faults are displaced) and the earthquake magnitude
- f) Epicentral areas:
 1 — Bükk, 2 — Baranja, 3 — Dilj gora, 4 — Fruška gora, 5 — Kopaonik, 6 — Medvednica, 7 — Pokuplje, 8 — Svilajnac, 9 — Virovitica, 10 — Bilogora, 11 — Brežice, 12 — Podravska Slatina, 13 — Mohacs, 14 — Banja Luka, 15 — Biokovo, 16 — Crna Gora, 17 — Dubrovnik, 18 — Furlanija, 19 — Papuk, 20 — Šibenik, 21 — Vinodol, 22 — Ljubljana, 23 — Majeвица, 24 — Sinj.



Sl. 2
Fig. 2

b) Normalni rasjedi:

— najaktivnije dionice duljine 70 do 90 km mogu imati vertikalni pomak za razdoblje neogen-kvartar 26000 do 3000 m i za kvartar 300 m ili više;

— dionice duljine 50 do 70 km: 2000 do 2600 m za neogen-kvartar i 250 do 300 m za kvartar;

— dionice duljine 30 do 50 km: 1600 do 2000 m za neogen-kvartar i 150 do 250 m za kvartar.

c) Rasjedi s horizontalnim pomacima:

— rasjedi smicanja mogu se razvrstati u dvije grupe prema pomacima i to: 5 do 10 km (najčešće) i 10 do 15 km (izuzetno više); dijagonalni i poprečni rasjedi mogu se usporediti s uzdužnima ako se uzme u obzir duljina tih rasjeda vidljiva na površini; na jduži od njih dosižu 70 i 90 km.

Odnos između duljine najaktivnije dionice rasjeda, veličine neotektonskih pokreta i magnitude potresa predložen je u tablici 1. Dobiveni podaci mogu se smatrati pouzdanim, ali ne i konačnim veličinama. Razabire se da će najjači mogući potres u nekom epicentralnom području imati maksimalnu magnitudu manju od potresa koji se već dogodio ili veću ukoliko to pokazuju neotektonski podaci. Prije konačne ocijene maksimalno moguće magnitude potresa uzete su u obzir slijedeće okolnosti:

— magnitude potresa koji su se dogodili prije 1901. godine dobivene su iz odnosa intenziteta, dubine žarišta i magnitude potresa;

— pojedini neotektonski podaci relativno su manje pouzdani, a za neke rasjede niti nije bilo moguće polučiti potrebne podatke o amplitudama tektonskih pokreta;

— za neke najaktivnije dionice rasjeda, prema pojedinim neotektonskim parametrima, mogu se dobiti različite vrijednosti magnituda potresa npr. za Južni rubni rasjed Dravske potoline: prema duljini najaktivnije dionice rasjeda (40 km) magnituda potresa je oko 5,5, prema pomaku za neogen i kvartar (oko 3000 m) magnituda potresa je oko 6,5, a prema pomaku za kvartar (350 m) magnituda potresa je oko 6,0;

— za određene rasjede dovoljno su točno poznate duljine najaktivnije dionice i amplitude neotektonskih pokreta, ali su magnitude potresa koji su se dogodili veće nego bi trebalo biti iz neotektonskih parametara; npr. za Pokupski rasjed postoje odnosi: magnituda potresa 6,0, duljina najaktivnije dionice rasjeda samo 45 km i vertikalni pomak za neogen i kvartar oko 2000 m;

— s obzirom da se vrijednosti magnituda potresa mogu procijeniti jedino na temelju neotektonskih pokreta to će se, ukoliko se pravci na slici 2 uzmu kao mjerodavni, magnitude potresa povećati samo za epicentralna područja koja se nalaze lijevo od spomenutih pravaca, a iznosi će se očitavati na pojedinim pravcima.

ZAKLJUČAK

Korelirajući javljanje potresa i strukturne odnose uočava se da je najveći broj potresa povezan s prostorima podvlačenja dijelova Zemljine

kore u dubini, kao i relativno velikih reversnih struktura i navlaka. Utjecaj mehanizma podvlačenja prati se do Panonskog bazena. Najveći broj potresa javlja se u prostoru gdje je ploha podvlačenja relativno blago nagnuta. Ističu se zone: od srednjedalmatinskih otoka prema Albaniji (najveća koncentracija žarišta do dubine 45 km), u Južnim Alpama (žarišta do dubine 30 km) i Makedoniji (žarišta do dubine 20 km). U tim zonama dogodili su se i najjači potresi. Računajući pomak projekcije rasjeda od površine do Mohorovičićevog diskontinuiteta podvlačenja u rubnim dijelovima Dinarida vjerojatno iznosi 100 do 140 km, u Južnim Alpama oko 80 km i Kopaoniku oko 70 km.

U Panonskom bazenu potresi su vezani pretežno uz strmo nagnute rasjede i neotektonske strukture u osnovi tipa horstova i graba. U obuhvaćenom području na površini se zapaža i horizontalno smicanje duž rasjeda pružanja SI-JZ i I-Z (pretežno južni rubni dio Panonskog bazena i dijelovi okolnih seizmotektonskih provincija), te SZ-JI (zapadna rubna zona Panonskog bazena, Alpe, obuhvaćeni dio Dinarida). Uz te rasjede najčešće se javljaju plitka žarišta potresa, do 10 km dubine.

Iz geoloških i seizmoloških parametara dobivene su vrijednosti maksimalno mogućih magnituda potresa. Unutar prikazanog područja ističu se pojedina epicentralna područja sa slijedećim maksimalnim magnitudama (iznosi u zagradama znače relativno manje pouzdane podatke):

- 1 — Dilj Gora 6,0; 2 — Baranja 5,5; 3 — Fruška gora 5,5; 4 — Virovitica 6,0; 5 — Metlika (6,0); 6 — Žumberak 5,7 (—6,0); 7 — Medvednica 6,5; 8 — Bilogora 6,0; 9 — Pokuplje 6,0; 10 — Banja Luka 6,4; 11 — Tuzla 5,5; 12 — Zvornik 5,5; 13 — Lazarevac (5,5—6,0); 14 — Rudnik 6,0; 15 — Svilašnjac 6,0; 16 — Golubac 5,5; 17 — Kopaonik 6,0; 18 — Travnik (6,0); 19 — Višegrad (5,5); 20 — Sarajevo 6,0; 21 — Vinodol 6,0; 22 — Sinj 6,2; 23 — Imotski 6,2; 24 — Biokovo 6,5.

Primljeno: 16. 01. 1989.

LITERATURA

- Aljinović, B. (1984): Najdublji seizmički horizonti sjeveroistočnog Jadrana. Disertacija, 1—265, Prirodosl.-matemat. fak., Zagreb.
- Aljinović, B., Blašković, I., Cviijanović, D., Prelogović, E., Skoko, D. & Brdarević, N. (1984): Correlation of geophysical, geological and seismological data in the coastal part of Yugoslavia. *Bull. di oceanol. teor. ed applic.*, 2/2, 77—90, Trieste.
- Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji. *Geol. vjesnik*, 40, 255—269, Zagreb.
- Anderson, H. and Jackson, J. (1987): Active tectonics of the Adriatic region, *Geophys. Journal of the R.A.S.*, 91, 937—983. Oxford, U.K.
- Gorshkov, G. P., Karnik, V. & Sik ošek, B., Eds. (1974): Survey of the seismicity of the Balkan region. UNDP/UNESCO, 1—290, Skopje.
- Hadžievski, D. and Pekevski, L. (1985): Determination of maximum of expected earthquakes according to seismological data, *Acta Seismol. Jugoslav.*, No. 11, Vol. 11, 1—9, Beograd.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides, *Acta Geol. JAZU*, 16/1, 1—42, Zagreb.
- Idriss, I. M. (1985): Evaluating seismic risk in engineering practice. Proc. of the 11 th. Inter. Conf. on soil mech. and fund. engin., San Francisco (12—16 Aug. 1985., Balkema Publ., Boston, Rotterdam.

- Iida, K. (1965): Earthquake magnitude, earthquake fault, and source dimensions. Nagoya Univ., *Journal, Earth Science*, Vol. 13, No. 2, 115—132. Nagoya.
- Janković, M., Vučinić, S., Šupić, V., Cvijanović, D., Skoko, D., Hadžijevski, D., Ribarić, V. & Vukašinić, M. (1982): Privremena seizmološka karta. Seizmološki zavod SR Srbije, Beograd.
- Jorgić, M., Šupić, V., Kuk, V., Hadžijevski, D., Pekevski, V., Ribarić, V. & Vukašinić, M. (1987): Osnovna karta maksimalnih očekivanih intenziteta. Seizmološka karta za povratni period od 10.000 godina. Zajed. za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Kišpatić, M. (1895): Potresi u Hrvatskoj, *Rad JAZU*, 122, 1—94, Zagreb.
- Mihailović, J. (1937): Glavne trusne oblasti u Jugoslaviji, *Glas srps. kralj. akad.*, 177, Beograd.
- Mihailović, J. (1950): Carte seismologique de Yougoslavie, Publ. de l'Institut Seismologique de Beograd, 3—110, Beograd.
- Prelogović, E., Cvijanović, D. & Skoko, D. (1978): O uzročnoj vezi neotektonskih pokreta i seizmičke aktivnosti u SR Hrvatskoj. *Geol. vjesnik*, 30/2, 745—755, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D., Aljinović, B., Kranjec, V., Skoko, D., Blašković, I. & Zagorac, Z. (1982): Seizmotektonska aktivnost duž priobalnog dijela Jugoslavije. *Geol. vjesnik*, 35, 195—207, Zagreb.
- Ribarić, V. (1986): Prilozi proučavanju seizmičnosti i seizmičkog zoniranja Slovenije, Disertacija, 1—337, Prir.-mat. fak., Zagreb.
- Shebalin, N. V., Reisner, G. I., Drumea, A. V., Aptekman, J. Y., Sholpo, V. N. and Shepanenko, N. Y. (1976): Earthquake origin zones and distribution of maximum expected seismic intensity for the Balkan region, Proc. of the Seminar on Seismic Zoning Maps, Vol. II, UNDP/UNESCO, 68—171, Skopje.
- Sikošek, B., Prosen, D., Nedeljković, S., Krstanović, M. & Metović, B. (1980): Neotektonske i seizmotektonske karakteristike seizmogenog područja Pomoravlja. *Seiz. glasnik*, 2/2, 23—76, Beograd.
- Sikošek, B. & Prosen, D. (1980): O mehanizmu zemljotresa od 15. 4. 1979. godine. Zb. Simp. o zemljotresu u Crnogorskom primorju, 189—201, Herceg Novi.
- Slemmons, D. B. (1977): State — of the — art for assessing earthquake hazard in the United States. Report 6, Faults and Earthquake magnitude. Aragonne Nat. Lab., 1—129, Aragonne, Illinois.
- Skoko, D., Arsovski, M. and Hadžijevski, D. (1976): Determination of possible earthquake origin zones on the territory of Yugoslavia. Proc. of the Seminar on Seismic Zoning Maps, Vol. I, UNDP/UNESCO, 116—131, Skopje.
- Skoko, D., Prelogović, E. and Aljinović, B. (1987): Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia. *Geophys. Journal of the R.A.S.*, 89, 379—382. Oxford, U.K.
- Vukašinić, M. (1971): Tumač karte seizmičke regionalizacije teritorije SR Srbije, Seizmološki zavod SR Srbije, 3—173, Beograd.

Geological and Seismic Data Required for Maximum Earthquake Magnitude Determination

D. Skoko and E. Prelogović

Determination of the maximum possible earthquake in some epicentral areas has been achieved on the base of the correlation between seismic and geological data. The following parameters are taken into account: magnitude of the earthquakes occurred, most active neotectonic sections of the reverse faults, normal faults and the horizontal slip faults, summary amplitudes of the vertical neotectonic movements, separately for Quaternary, Upper Pleistocen and Holocene, and the ampli-

tudes of horizontal neotectonic movements. Parameters of the geological data are expressed logarithmically. Regression functions between maximum earthquake magnitude and the parameters of the geological data have been derived by the least squared method where empirical data are approximated by a linear functions (Fig. 2).

Those relationships are treated for some seismotectonic provinces: Pannonian basin — central zone (the strongest earthquakes were of magnitude 5,7) and western and southern its boundary zone (magnitude 6,4), Dinarides (magnitude 7,1), Southern Alps (magnitude 6,5), parts of Carpathians, Balkans and the area between Dinarides and Carpathians (magnitude 6,0). Fig. 1 shows the most active neotectonic faults of a Yugoslavia part, where the earthquakes of maximum magnitude 5,5 and 6,5 are expected.

The relationship between earthquake magnitudes, length of the most active fault sections and the amplitudes of the neotectonic movements is shown in the Table 1.

Causes of the earthquake appearance can be attributed to the three type of tectonic movements. In Dinarides, Southern Alps, parts of Carpathians and in the area between Dinarides and Carpathians the earthquakes are predominantly connected to the tangential movements and the reverse and overthrust structures, and to the horizontal movements in minority. In Pannonian basin earthquakes are caused by the vertical movements at horst and graben structures, but horizontal slips and vertical movements are frequent.

Within the seismotectonic provinces of the treated area the strongest earthquakes can take place in the following epicentral areas: Pannonian basin, details Dilj Mountain in central zone (maximum magnitude 6,0), Banja Luka in southern marginal zone (6,4), and Medvednica in western marginal zone (6,5), then Biokovo in Dinarides (6,5) and Kopaonik Mountain in the area between Dinarides and Carpathians (6,0).