

## Utjecaj procesa u žarištu potresa na seizmičko zoniranje terena

*Dragan Hadžievski*

*Seizmološka opservatorija Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta "Kiril i Metodij", Skopje, Jugoslavija*

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

Uspoređujući mikroseizmičke i makroseizmičke podatke s tektonskim karakteristikama tog područja, utvrđeno je da se rasjed u žarištu nekih naših potresa ne može uvijek predstaviti samo jednom ravninom. Na osnovi tih empirijskih podataka dolazimo i do spoznaja o vrsti kretanja u žarištu potresa što utječe na karakter seizmičkih oscilacija tla, na dinamičke karakteristike prostornih valova u odnosu na azimut i na karakter i veličinu stupnja intenziteta potresa. Zato se kod seizmičkog zoniranja, uz ostale parametre koji se standardno uzimaju u obzir, određuju još i ovi: orijentacija i dimenzije žarišta potresa te parametri pokreta u njemu. Tada se uz dinamiku seizmičkih oscilacija mogu odrediti još i prostorni odnos između žarišta potresa i razmatrane točke na površini Zemlje, zatim količina oslobođene energije, te stupanj intenziteta budućih potresa koji, kako pojedini primjeri pokazuju, može dostići skoro istu maksimalnu veličinu u epicentralnom području i u mjestima izvan njega.

### *Effect of the process within the earthquake focus upon the seismic zoning of the terrain*

Analysis of microseismic and macroseismic data of some of the earthquakes in our country and comparison with the tectonic characteristics of the region points to the conclusion that the fault in the earthquake focus could not always be presented by motion on one plain only.

From those empirical data we also learn the kind of motion in the focus that affects the character of the seismic ground oscillation, as well as the character and intensity degree. Thus, in seismic zoning, besides all other elements which are usually taken into consideration, it is also necessary to consider the following: orientation and dimension of the focus, and the kind and size of the motion in it. Then the spatial relationship between the motion focus and the area on the surface of the Earth under consideration could be determined, along with the dynamic characteristics of the seismic oscillations, and also the volume of the released energy, as well as the intensity degree of expected motion in future, which, as it can be seen from some examples, can reach almost the same maximal epicentral value not only in the epicentral area but also outside it.

## 1. Uvod

Na osnovi mikroseizmičkih i makroseizmičkih podataka zaključuje se o karakteristikama seizmičkog izvora i o sredstvu kroz koje prolaze valovi potresa. Proces u prostoru žarišta procesa zajedno sa sredstvom uvjetuju zamršenu sliku seizmograma i raznovrsne učinke potresa na površini Zemlje. Za ilustraciju te činjenice ovdje se razmatraju izoseiste i seizmogrami nekoliko autohtonih potresa na području Makedonije, te se iznose karakteristična zapažanja na osnovi njihove analize. Uz ostalo te karakteristike utječu na djelovanje potresa na površini, te ih treba uvažiti u postupku seizmičkog zoniranja tih površina.

## 2. Podaci

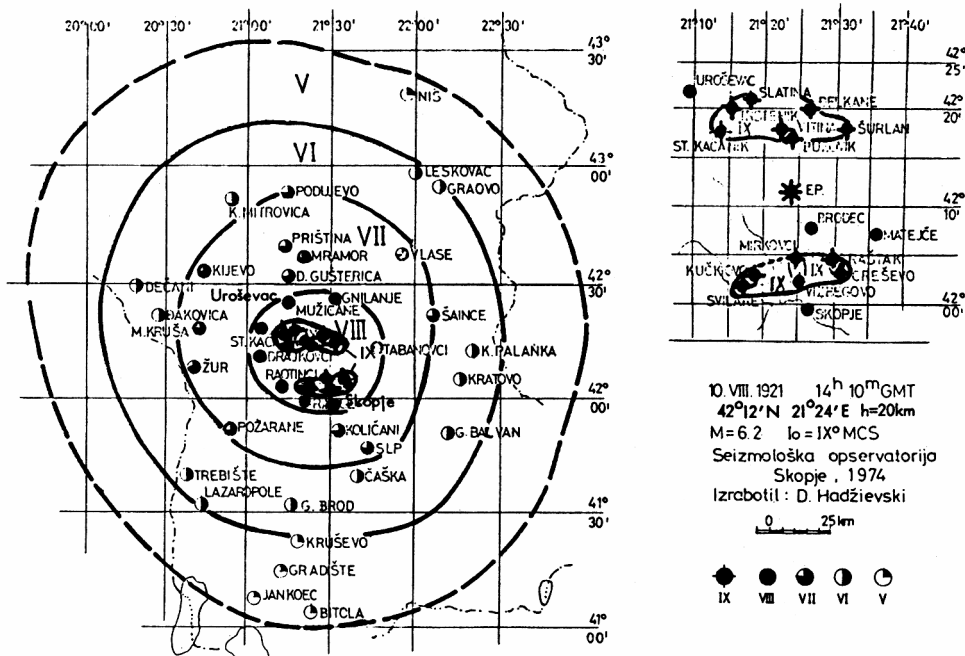
Od makroseizmičkih podataka razmatrane su izoseiste ovih potresa:

- 10. VIII 1921. u području Uroševac-Skopje,
- 15. III 1958. u području Bitolja,
- 26. VII 1963. u području Skopja,
- 10. III 1974. u području Bitolja,
- 28. IX 1985. u području Negotina-Demir Kapije.

Od mikroseizmičkih podataka razmatrani su seizmogrami potresa 28. IX 1985. iz područja Negotina-Demir Kapije i naknadnih potresa. Seizmološke stanice najbliže epicentru toga potresa su Valandovo (epicentralna udaljenost 30 km), Skopje (90 km) i Ohrid (138 km).

*Potres od 10. VIII 1921. ( $M = 6.2$ , IX MCS,  $h = 20$  km) s epicentrom u području između Uroševca i Skopja, vezan je uz tektonsku strukturu planinskog masiva Crne gore. Na karti izoseista (sl. 1) zapažaju se dvije pleistoseiste, te maksimalni učinci potresa (IX MCS) nastali u dva odvojena područja. Jedno je sjeverno od planine Crna gora u području uroševačko-vitinske depresije, a drugo južno u području skopske depresije. Položaj mikroseizmičkog epicentra toga potresa (izračunat iz seizmograma 35 seizmoloških stanica) određen je koordinatama  $42^{\circ}12' N$   $21^{\circ}24' E$  i nalazi se u sredini navedenog planinskog masiva, između tih dviju pleistoseista (oznaka EP na sl. 1 desno).*

Objašnjenje uzroka pojave dviju pleistoseisti i asimetrije u raspodjeli maksimalnih učinaka potresa nalazimo u sl. 2(b).

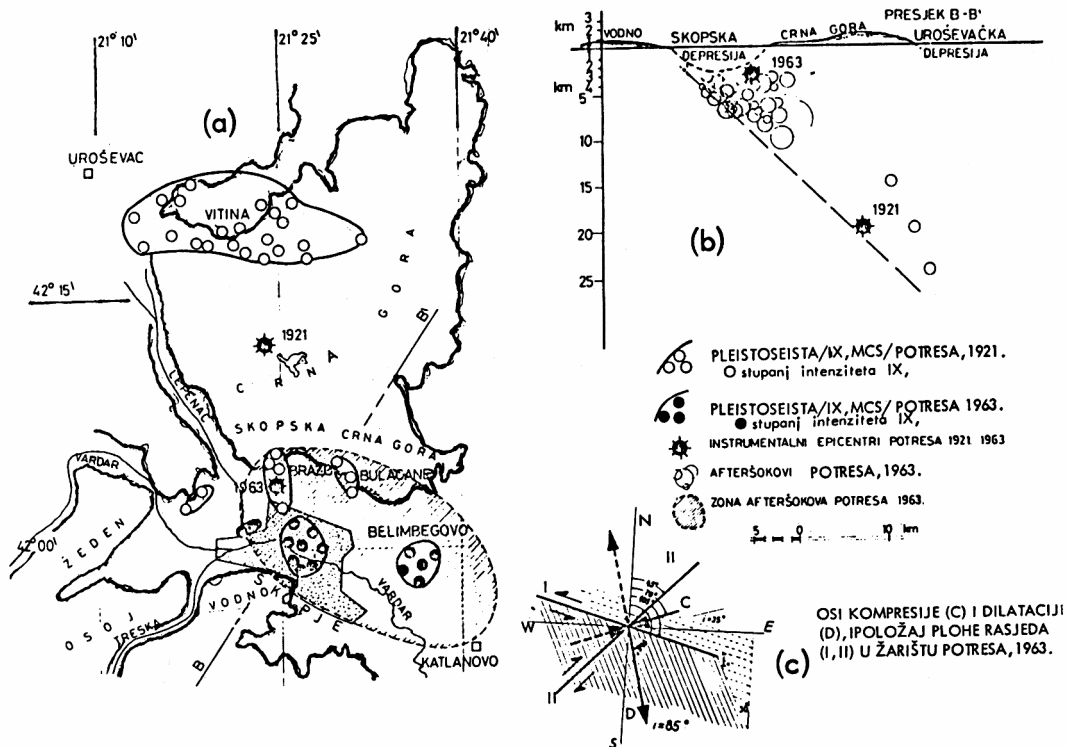


Slika 1. Izoseiste potresa od 10.VIII 1921.

Figure 1. Isoseismals of the earthquake of 10 August 1921.

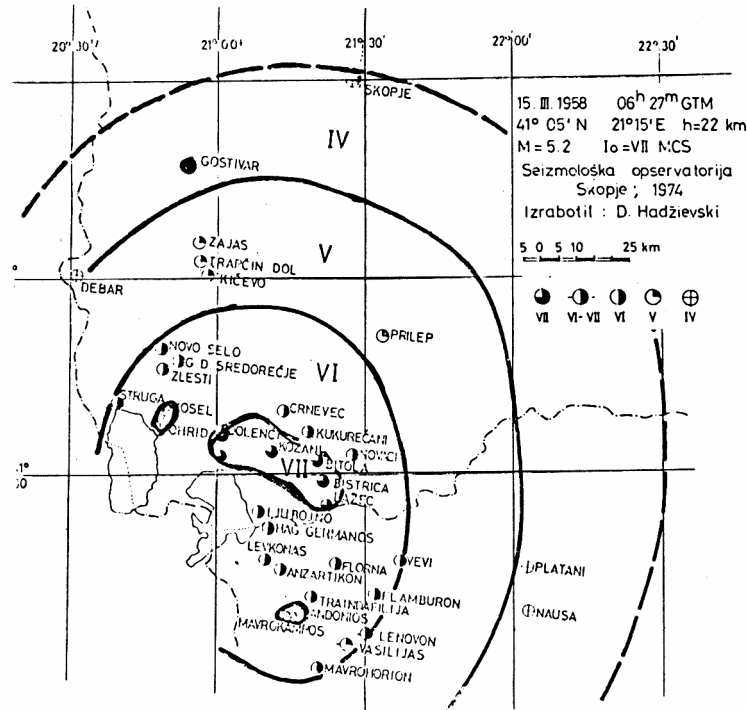
Na toj slici prikazane su projekcije hipocentara potresa od 1921. i još tri njegova naknadna potresa (za koje postoje mikroseizmički i makroseizmički podaci), u vertikalnoj plohi presjeka BB' (sl. 2a).

Vidi se da tektonski kontakt masiva Crne gore sa depresijama na sjeveru i jugu uvjetuje intenzivnije generiranje energije iz hipocentra potresa koji se nalazi na dubini od 20 km (sl. 2b). Rezultat tog prostornog odnosa između hipocentra i geomorfološko-tektonske strukture terena je karakteristična raspodjela najvećih učinaka na površini Zemlje. Na osnovi toga može se konstatirati da u slučaju kad se područje žarišta potresa nalazi u predjelu planinskog masiva koji s okolicom čini tektonski



Slika 2. Pleistoseiste (a), presjek (b) i mehanizam pomaka (c).  
Figure 2. Pleistoseisms (a), cross section (b), and fault plane solution (c).

sklop, najjači učinci potresa nastaju duž rubnih rasjeda između tektonskog bloka i depresije u koje seizmička energija iz hipocentra dolazi kraćim putevima. Tada je seizmička opasnost podjednako relevantna i za jednu i za drugu depresiju koje se u našem primjeru nalaze na suprotnim stranama tektonskog bloka podno kojeg je područje žarišta potresa. Tu konstataciju treba imati u vidu kod seizmičkog zoniiranja takvih terena.



Slika 3. Izoneiste potresa od 15.III.1958.

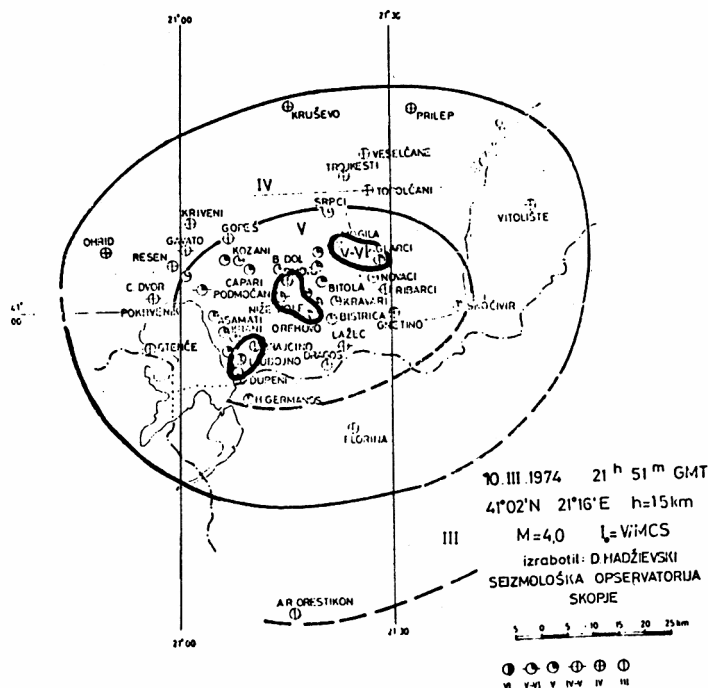
Figure 3. Isoseismals of the earthquake of 15 March 1958.

Na sličnu konstataciju navode nas analize izoseista potresa koje potječu iz tektonskog bloka planine Babe u području Bitolja, prikazane na sl. 3 i 4. Na tim slikama opaža se asimetrija pleistoseiste i pojava većih ili manjih dijelova izoseiste jednog stupnja intenziteta potresa unutar izoseiste drugog stupnja.

Navedena karakteristična pojava zapaža se gotovo kod svih potresa iz tog područja s dubinom hipocentara većom od 15 km, neovisno o magnitudi potresa. Najveći učinci javljaju se s obje strane tektonskog bloka, istočno u prespanskoj i zapadno u bitoljskoj kotlini.

*Potres od 26. VII 1963. ( $M=6.1$ , IX MCS,  $h=3\text{km}$ )* nastao je u području južnih padina Skopske Crne gore koja predstavlja ogranak planine Crne gore. Najveće učinke potresa (IX MCS) nalazimo samo u skopskoj kotlini i to uglavnom u uskom dijelu centra grada Skopja (sl. 5)

Objašnjenje za nastanak tog potresa prikazano je na sl. 2 (b). Na presjeku duž linije BB' projiciran je hipocentar glavnog (1963) i naknadnih potresa. Iz te slike vidimo da se seizmička aktivnost odvijala u sloju na dubini od 2 do 10 km duž dislokacije koja koso od juga k sjeveru zalazi u zemljinu koru, a koju poistovećujemo s tektonskim kontaktom između sjevernog tektonskog bloka (Crna gora) i južnog

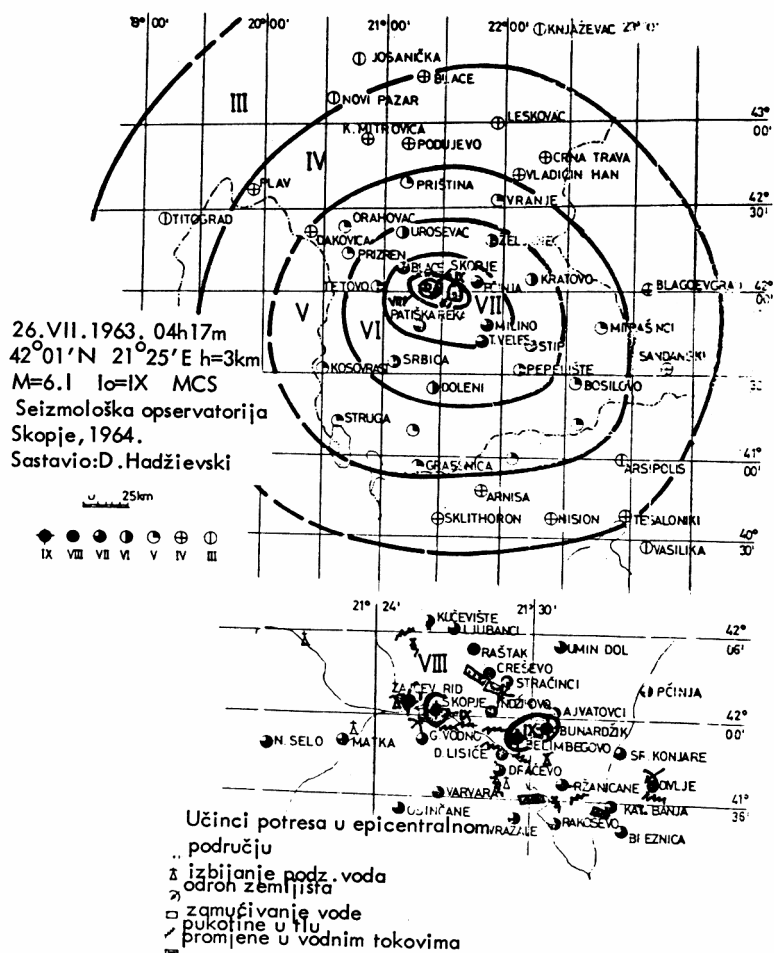


Slika 4. Izoseiste potresa od 10.III.1974.

Figure 4. Isoseismals of the earthquake of 10 March 1974.

(Vodno). Između tih blokova nalazi se skopska depresija ispod koje se vrlo plitko u zemljinoj kori, nalazi žarište skopskog potresa od 1963. Iz tih razloga su učinci potresa od 1963. bili koncentrirani u uskom području, za razliku od učinaka prouzrokovanih potresom od 1921.

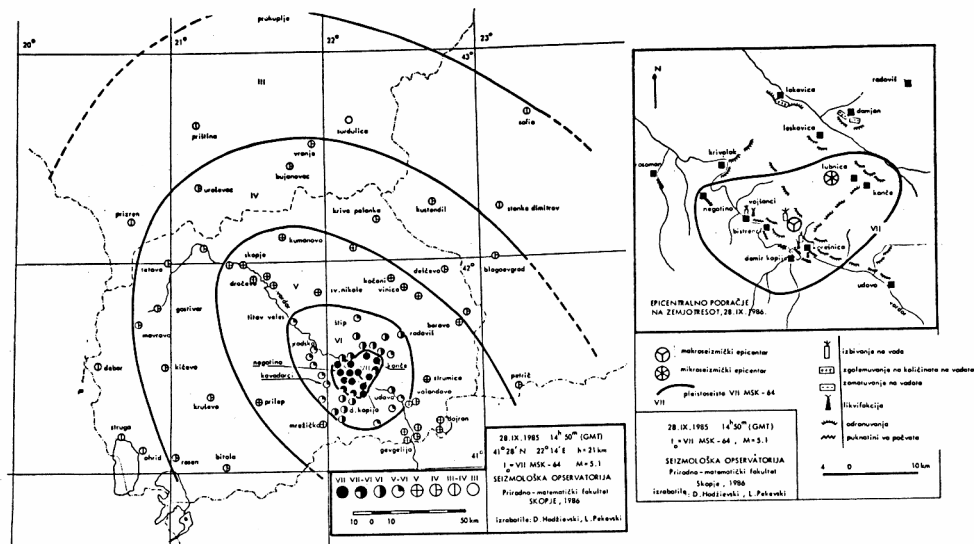
Iz sl. 2(b) također se vidi da se projekcije hipocentara potresa od 1921. i 1963. i njihovih naknadnih potresa spajaju i leže na istoj dislokaciji, što upućuje na zaključak da se u ovom području radi o jednom jedinstvenom žarištu vezanom uz tektonski blok planine Crne gore na sjeveru i Vodna na jugu. Potresom od 1921. aktivirao se donji dio, a potresom od 1963. aktivirao se gornji dio istog hipocentralnog područja. U tom dijelu vardarske seizmogene zone radi se dakle o jednom žarištu, iako je u našoj terminologiji i katalozima prvi potres poznat kao uroševački a drugi kao skopski, te su se čak mogla čuti mišljenja o navodnoj migraciji potresa u tom području. Potvrdu za postojanje dislokacije prikazane na sl. 2 (b) i njene prostorne orijentacije određene raspodjelom hipocentara potresa nalazimo u rezultatu rješenja mehanizma pomaka u žarištu potresa od 1963, prikazanom na sl. 2 (c). Ploha I na toj slici je ploha transkurentnog rasjeda na kojoj je nastao potres 1963. uz horizontalno kretanje smjera od SSE k NNW i uz istovremeno spuštanje gornjeg u odnosu



Slika 5. Isoseiste potresa od 26.VII 1963.  
 Figure 5. Isoseismals of the earthquake of 26 July 1963.

na donje krilo toga rasjeda. Poklapanje plohe rasjeda I (sl. 2c) s plohom koju određuju hipocentri potresa (sl. 2b) s dužom osi zone naknadnih potresa, te s dužom osi izoscista toga potresa (sl. 5) potvrđuje navedeni zaključak (Rustanović et al., 1966; Rustanović i Hadžievski, 1967; Balakina et al., 1967; Hadžievski, 1985).

*Potres od 28. IX 1985 (M=5.1, VII MKS-64, h=21km)* nastao je u vardarskoj seizmogenoj zoni u predjelu Negotina-Demir kapije, na domak područja katastrofalnih valandovskih potresa iz 1931. Epicentralno područje nalazi se u dolini r. Vardara između Negotina, Demir kapije i Radoviša (sl. 6).

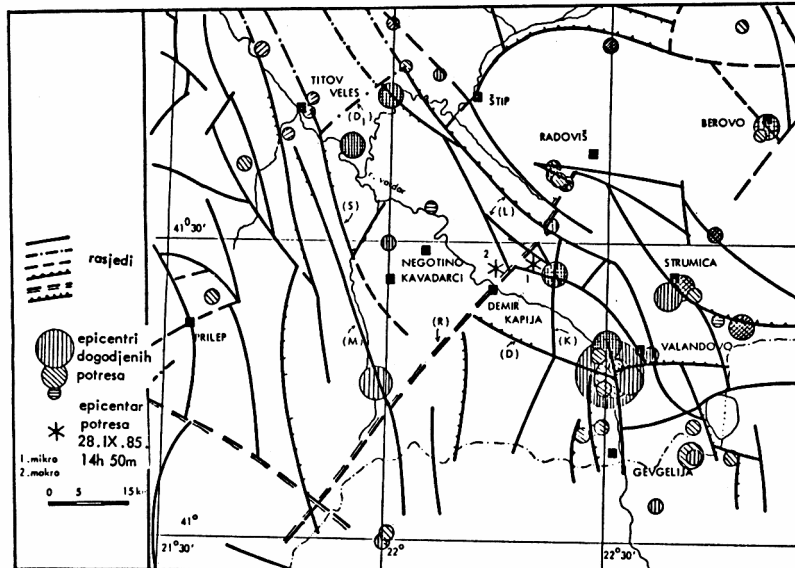


Slika 6. Izosciste potresa od 28.IX 1985.

Figure 6. Isoseismals of the earthquake of 28 September 1985.

Iz slike 6 vidimo da asimetrija pleistosciste pokazuje dva smjera pružanja. Jedan je SW-NE, a drugi SE-NW. Od druge izosciste dalje uspostavlja se pružanje duž osi izoscista, karakteristično za vardarsku zonu (SE-NW), što se uočava kod izoscista svih potresa koji potječu iz epicentralnih područja unutar vardarske zone. Na sl. 6 desno u krupnijem mjerilu prikazani su učinci koji su za vrijeme potresa bili opažani na tlu šireg epicentralnog područja. U tom području izbijala je podzemna voda, zamućivala se voda u bunarima, izvorima, došlo je do pojave likvifikacije, odrona zemljišta, pukotina na tlu i sl. Navedene pojave bile su primijećene svuda u kotlini, a njihov intenzitet je bio najveći po rubovima kotline, dakle uz ras-



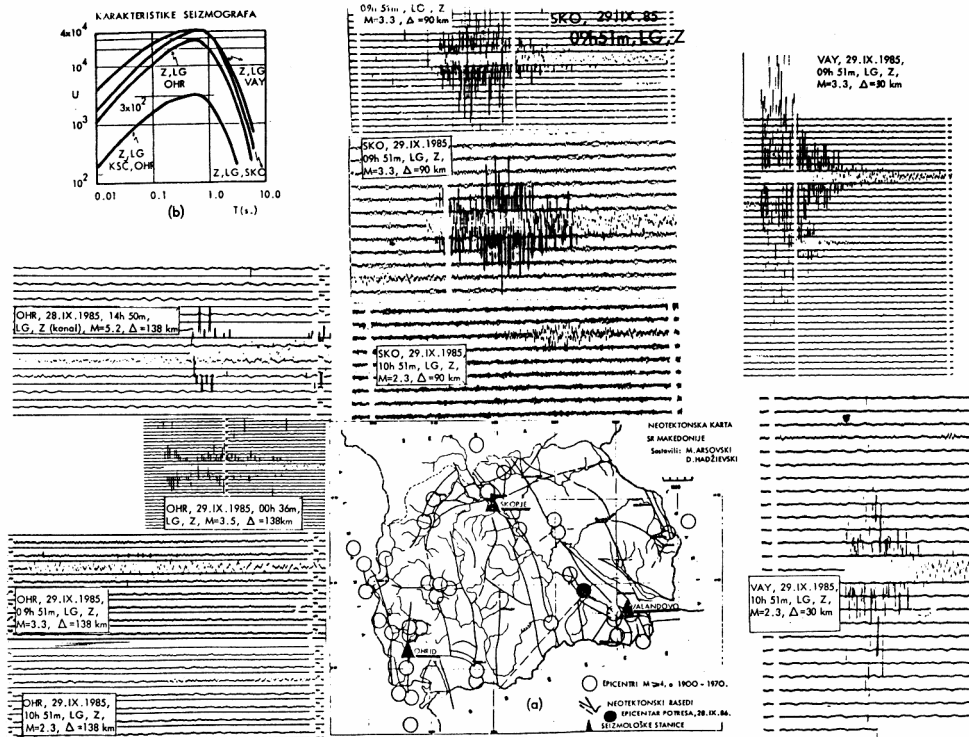


Slika 7. Seizmotektonska karta vardarske zone.  
Figure 7. Seismotectonic map of the Vardar zone.

jede. Neotektonskom rajonizacijom (Arsovski i Petkovski, 1973) u gore navedenom području definirana su četiri planinska bloka (morfostrukture izdizanja) i pet depresija (morfostrukture tonjenja). Njihove međusobne granice su rasjedi. U tom području postoji veoma složen sistem rasjeda različite veličine, vrste orijentacije i međusobnog kretanja. Na sl. 7 prikazan je dio seizmotektonske karte SR Makedonije (Arsovski et al., 1973) koji se odnosi na šire područje u kome je nastao potres od 28. IX 1985.

Rasjedi koji okružuju i presijecaju područje potresa (Negotino-Demir-kapija-Radoviš) su sljedeći. Uzdužni: svečanski(S), mrežički(M), drenovski(D), i laka-vički(L), poprečni: dervenski(D<sub>1</sub>), radoviško-vitačevski(R) i kožuvski(K). Prema tome, može se reći da epicentralno područje ovoga potresa predstavlja tektonski veoma složenu depresiju, u kojoj se epicentar potresa ne može vezati samo za jedan jedini rasjed, već je ta povezanost složena u sklopu rasjeda koji sačinjavaju taj konkretni tektonski sistem. Zato su i najintenzivniji učinci potresa nastali uz gotovo sve okolne rasjede po rubovima kotline, čak i izvan pleistocena.

To je druga važna specifičnost seizmičnosti tektonski složenih kotlinskih epicentralnih područja, za razliku od onih prvih koje smo zabilježili kod razmatranja potresa vezanih uz planinske blokove.

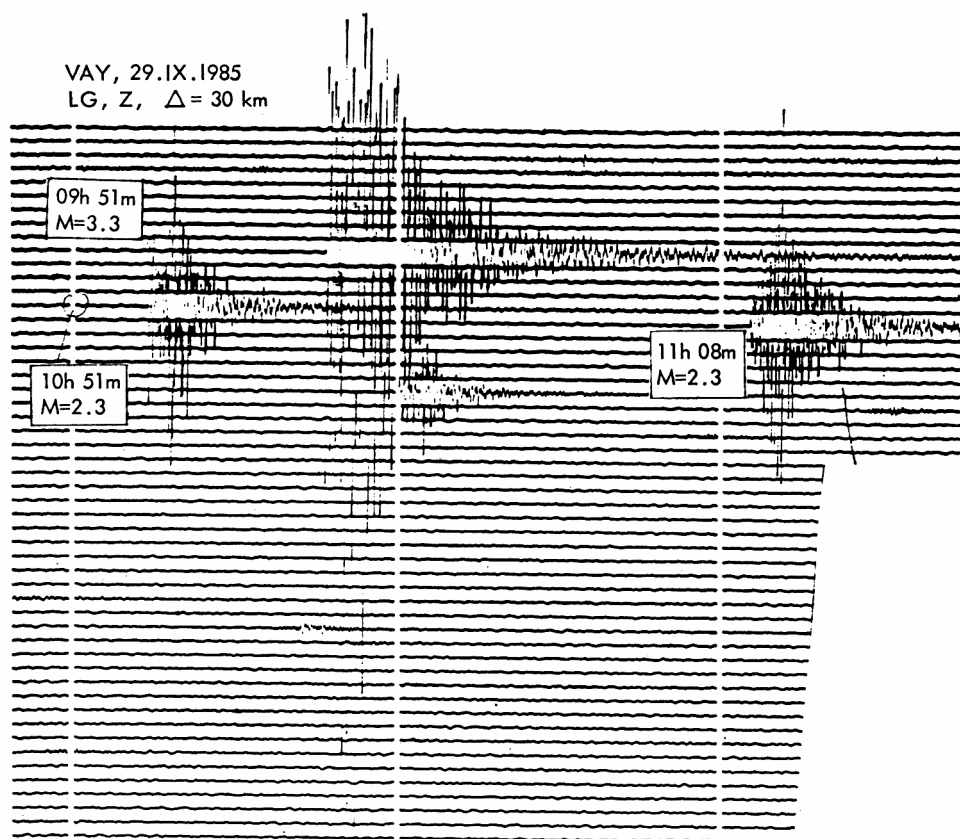


Slika 8. Neotektonska karta i položaj seizmoloških stanica SR Makedonije (a) i seizmogrami potresa od 28.IX 1985. i naknadnih potresa.

Figure 8. Neotectonic map and the position of the seismological stations in SR Macedonia (a) and seismograms of the earthquake of 28 September 1985 and the aftershocks.

Od mikroseizmičkog materijala analizirani su seizmogrami potresa 28. IX 1985. seizmoloških stanica najbližih epicentru: Valandovo(VAY), Skopje(SKO) i Ohrid(OHR), opremljenih istovrsnim seizmografima identičnih karakteristika (Sl. 8 b).

Na Sl. 8 prikazan je položaj tih stanica u odnosu na epicentar potresa i seizmotektoniku područja. Seizmološke stanice VAY i SKO u odnosu na epicentar po-

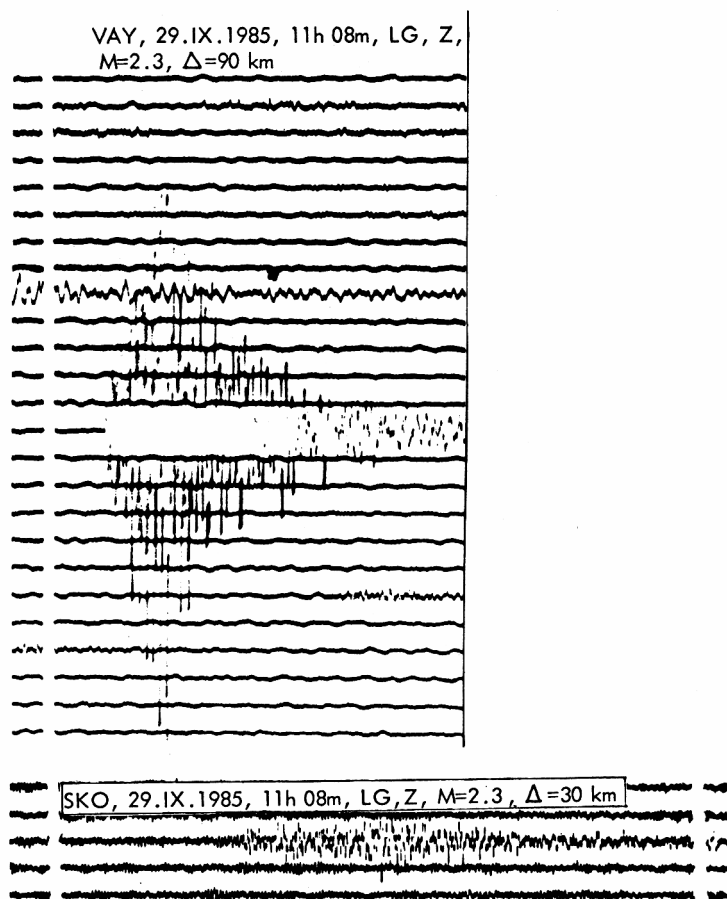


Slika 9. Seizmogrami naknadnih potresa.  
Figure 9. Seismograms of the aftershocks.

tresa nalaze se suprotno jedna od druge, ali u istom smjeru vardarske zone. Seizmološka stanica OHR nalazi se poprečno na taj smjer.

Analizom kinematičkih i dinamičkih karakteristika valova P i S na tim seizmogramima dolazimo do sljedećih zapažanja.

- Vrijeme putovanja tih valova istog potresa je manje u smjeru pružanja rasjeda-smjer vardarske zone (seizmogrami stanice VAY i SKO) od vremena u poprečnom smjeru koje je veće (seizmogrami stanice OHR). To ukazuje na činjenicu da je žarište potresa izduženo u smjeru pružanja vardarske zone (SE-NW).



Slika 10. Seizmogram naknadnog potresa, 29.IX 1985, 11h 08m.  
 Figure 10. Seismogram of the aftershock of 29 September 1985, 11h 08m.

-Na seizmogramima stanica VAY i SKO zapaža se manja perioda valova P i S a veća, skoro dva puta, u poprečnom smjeru, na stanici OHR, za isti potres.

- Na seizmogramima stanica VAY i SKO amplituda P valova je izrazito veća u odnosu na amplitudu u poprečnom smjeru, na stanici OHR.

- Na seizmogramima razmatranih stanica primjećuje se registracija dvije vrste naknadnih potresa. Jedna, koja je mnogobrojnija, odnosi se na seizmogram s oštrim i intenzivnim nastupom grupe (5 ili više faza) longitudinalnih valova, gotovo podjednake amplituda, neovisno od magnitude potresa (sl. 9, potresi 09h 51m i 10h 51m). Tu grupu faza nije moguće interpretirati pomoću postojećih hodohrona.

Druga vrsta odnosi se na seizmogram s početnim slabim nastupom vala P, a amplituda vremenom regularno raste sve do nastupa maksimalne amplitude u grupi

S valova (koja se sastoji gotovo samo od jednog impulsa). Iza toga nastaje naglo smanjenje amplituda oscilacija na seizmogramu (Sl. 9. potres 11h 08m). Na tom seizmogramu nema istaknutih maksimalnih amplituda vala P, impulsi su glatki i nema drugih intenzivnih impulsa podjednake amplitude u grupi P valova. Takova vrsta seizmograma opaža se na svim razmatranim stanicama, bez obzira na magnitudu potresa (Sl. 10).

### 3. Zaključak

Analizom makroseizmičkih i mikrosezmičkih podataka razmatranih potresa dolazi se do sljedećih zaključaka:

1. Potresi koji nastaju u područjima planinskih blokova, mogu imati podijeljenu pleistoseistu, tj. maksimalni učinci potresa mogu se pojaviti u dvije odvojene kotline koje se nalaze na suprotnim stranama toga planinskog bloka.

2. Potresi koji nastaju u tektonski složenim kotlinama, sastavljenim s više blokova i depresija i ispresijecanim iz više rasjeda, imaju asimetričnu pleistoseistu, a učinci potresa se raspoređuju po tektonskim rubovima kotline, čak i izvan pleistoseiste. Pojava takvog potresa ne može se vezati samo uz jedan jedini rasjed.

3. U smjeru plohe rasjeda perioda prostornih valova je manja (i do dva puta) od periode valova istog potresa u poprečnom smjeru. Istovremeno, amplitude tih valova su znatno manje u smjeru plohe rasjeda, a znatno veće u poprečnom smjeru.

4. Potresi koji nastaju u tektonski složenim područjima rezultat su kretanja u sistemu različitih rasjeda. Jedni daju jednostavan izgled seizmograma na kome pored nastupa vala P i S nema između njih drugih oštrih i intenzivnih faza. Drugi daju složeni izgled seizmograma na kome između nastupa P i S valova ima po nekoliko skoro podjednako intenzivnih faza, koje se ne mogu interpretirati postojećim hodohronama. Pored jednakih magnituda maksimalan se učinak tih potresa isto tako razlikuje. Prva vrsta potresa djeluje impulzivno, kratkotrajno, gotovo jednim udarcem. Druga vrsta djeluje vremenski produženo, dugotrajnije s više uzastopnih udara. Ljudi izjavljuju da je "potres bio vrlo jak i da je trajao skoro 10-20 minuta". Vjerojatno da se u prvom slučaju radi o pokretu duž glatke plohe jednog rasjeda, a u drugom o pokretu duž isprekinute plohe iz više sekundarnih rasjeda.

5. Za unapređenje metoda seizmičkog zoniranja potrebno je povezati fizičke karakteristike procesa u području žarišta potresa s konkretnim geotektonskim uvjetima toga područja. Kako smo iz prethodnih razmatranja vidjeli, pojava potresa nije vezana samo s tektonskim rasjedima, već s ukupnošću geološke građe i dinamike Zemljine kore razmatranog područja, što je važno za određivanje karaktera i raspodjele učinaka potresa na površini Zemlje, pa prema tome i za uspješnu zaštitu od njihovog djelovanja.

**Literatura**

- M. Arsovski i R. Petkovski (1973): Neotektonika na S.R. Makedonija. Publik. br. 49, IZIIS, Skopje.
- M. Arsovski, R. Petkovski i D. Hadžievski (1973): Seizmotektonska karta na S. R. Makedonija. IZIIS, Seizmološka opservatorija, Skopje.
- L. M. Balakina, D. N. Rustanovič i D. Hadžievski (1967): Mehanizmot na skopskiot zemljotres od 26 juli 1963 god. i na negovite afteršokovi. Povremeni izdanija br. 3, Seizmološka opservatorija na Univerzitetot vo Skopje.
- D. Hadžievski (1985): Atlas na kartite na izoseisti na zemljotresite vo Makedonija 1901-1985. Fond na Seizmološka opservatorija na PMF, Skopje.
- D. N. Rustanovič i D. Hadžievski (1967): Seizmička aktivnost na skopskoto podrađe, Povremeni izdanija br. 3, Seizmološka opservatorija na Univerzitetot vo Skopje.
- D. N. Rustanovič, V. A. Tikmakov i D. Hadžievski (1965): Zemljotresot vo podrađe na gradot Skopje od 26 juli 1963 godina, negovata epicentralna zona, mehanizmot i uslovite za postanok. Povremeni izdanija br. 1, Seizmološka opservatorija na Univerzitetot vo Skopje.