

BRANISLAV GLAVATOVIĆ\*

ANALIZA NEKIH METODOLOŠKIH POSTUPAKA  
POVEĆANJA TAČNOSTI NUMERIČKE OBRADE  
ZEMLJOTRESA NA CRNOGORSKOM PRIMORJU

Tokom seizmičke aktivnosti koja je neposredno prethodila i slijedila katastrofalni zemljotres od 15. aprila 1979. godine, sa magnitudom 7.0 u regionu Crnogorskog primorja, registrovano je 185 zemljotresa sa magnitudom većom ili jednakom 3.5 i oko 10.000 slabijih zemljotresa.

Na slici 1 prikazana je distribucija zemljotresa sa magnitudom većom ili jednakom 3.5, koji su u periodu od januara 1979. do kraja marta 1980. godine dogođeni na Crnogorskom primorju. Epicentri su locirani kompjuterski (Hypo71 — Lee 1972.) primjenom Geigerove iterativne metode, koristeći pri tom podatke sa 25 najbližih seizmoloških stanica (Slika 2) i takozvani Balkan seizmički model Zemljine kore (Slika 6).

Jednu od primarnih namjena rezultata analize položaja epicentara i hipocentara zemljotresa svakako čini i definisanje stepena aktivnosti već utvrđenih rasjeda ili utvrđivanje novih aktivnih rasjeda, putem korelacije položaja epicentara i elemenata tektonske strukture Zemljine kore.

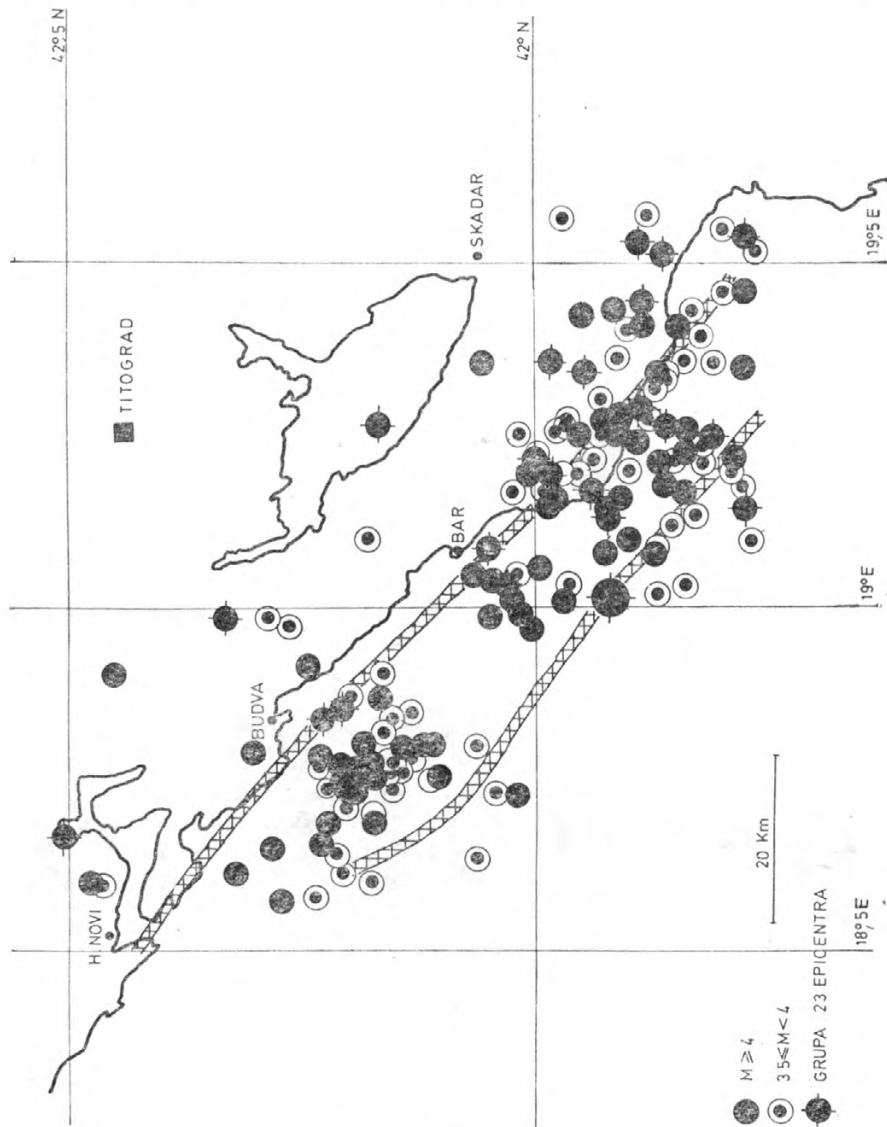
Na osnovu više publikovanih relacija, koje izražavaju zavisnost između magnitude zemljotresa i ukupne dužine aktiviranog rasjeda u procesu generisanja tog zemljotresa, za crnogorski potres od 15. aprila 1979. godine proističe da ekvivalentna dužina rasjeda koji ga je mogao prouzrokovati treba da iznosi između 50 i 70 km. Na Slici 1. prikazani su i geofizičkim metodama utvrđeni regionalni rasjedi u zoni Crnogorskog primorja, koji su —

---

\* Mr Branislav Glavatović, dipl. ing. geofizike, Seizmološki zavod SR Crne Gore, Titograd.

po ovakvom pristupu — mogli generisati tako snažan zemljotres. Međutim, uočljivo je da ne postoji pouzdane korelabilnosti između položaja epicentara i prikazanih rasjeda.

U cilju analize stepena mogućih metodoloških poboljšanja tačnosti lociranja epicentara zemljotresa na Crnogorskom primor-



Sl. 1. Distribucija zemljotresa, sa magnitudom iznad 3.5, u periodu od 1. januara 1979. do 31. marta 1980. god.

ju, iz serije zemljotresa dogođenih tokom 1979. godine izabrana je grupa od 23 reprezentativna — bolje registrovana — zemljotresa (posebnim simbolom indicirani na Slici 1) koji su prikazani na Slici 3. Ako uporedimo distribuciju ove grupe zemljotresa sa položajem dva regionalna rasjeda, takođe ćemo konstatovati vrlo slabu korelabilnost.

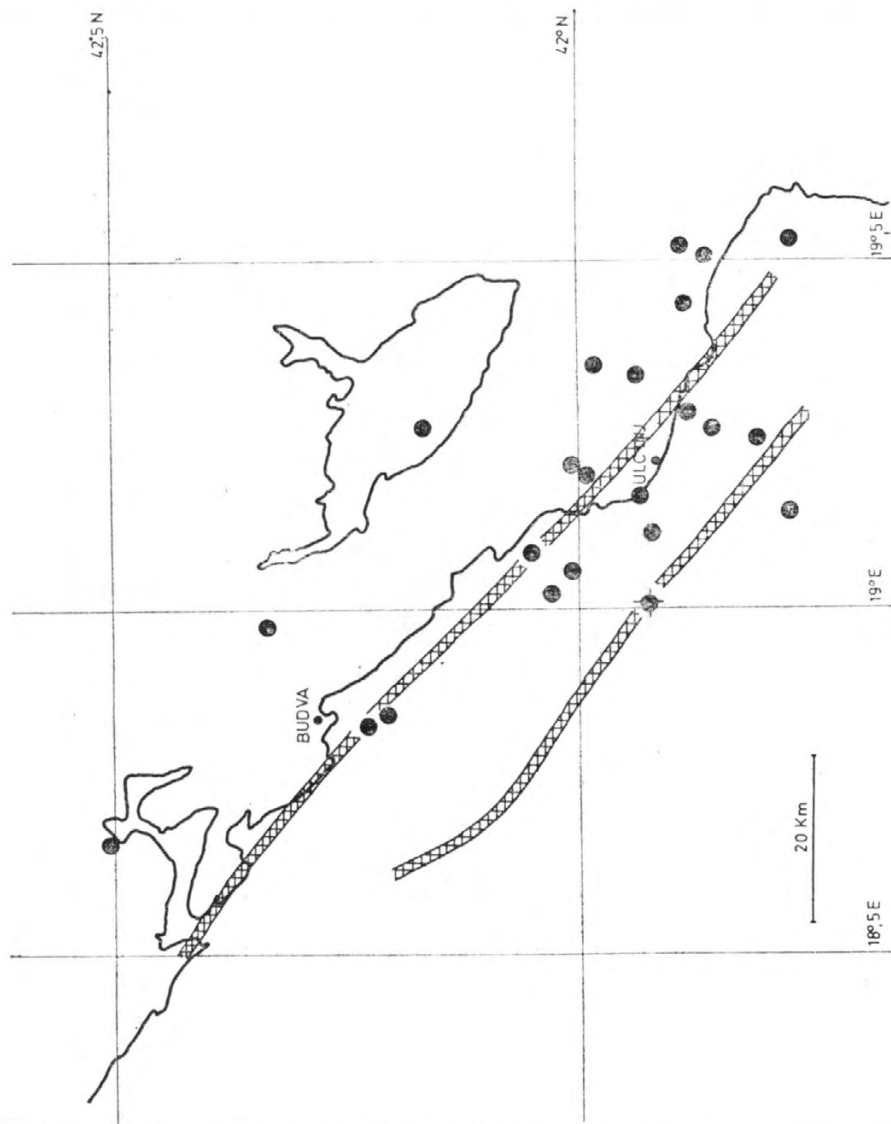
Neposredni uzroci ovakve pojave svakako leže u relativno velikoj standardnoj devijaciji sračunatih epicentralnih parametara zemljotresa, koja u ovom slučaju za grupu od 23 zemljotresa iznosi po 3.6 km za obje geografske koordinate (Slika 4).

Krajem 1982. godine Seizmološki zavod SR Crne Gore će na teritoriji SR Crne Gore instalirati 9 novih telemetrijskih kratko-

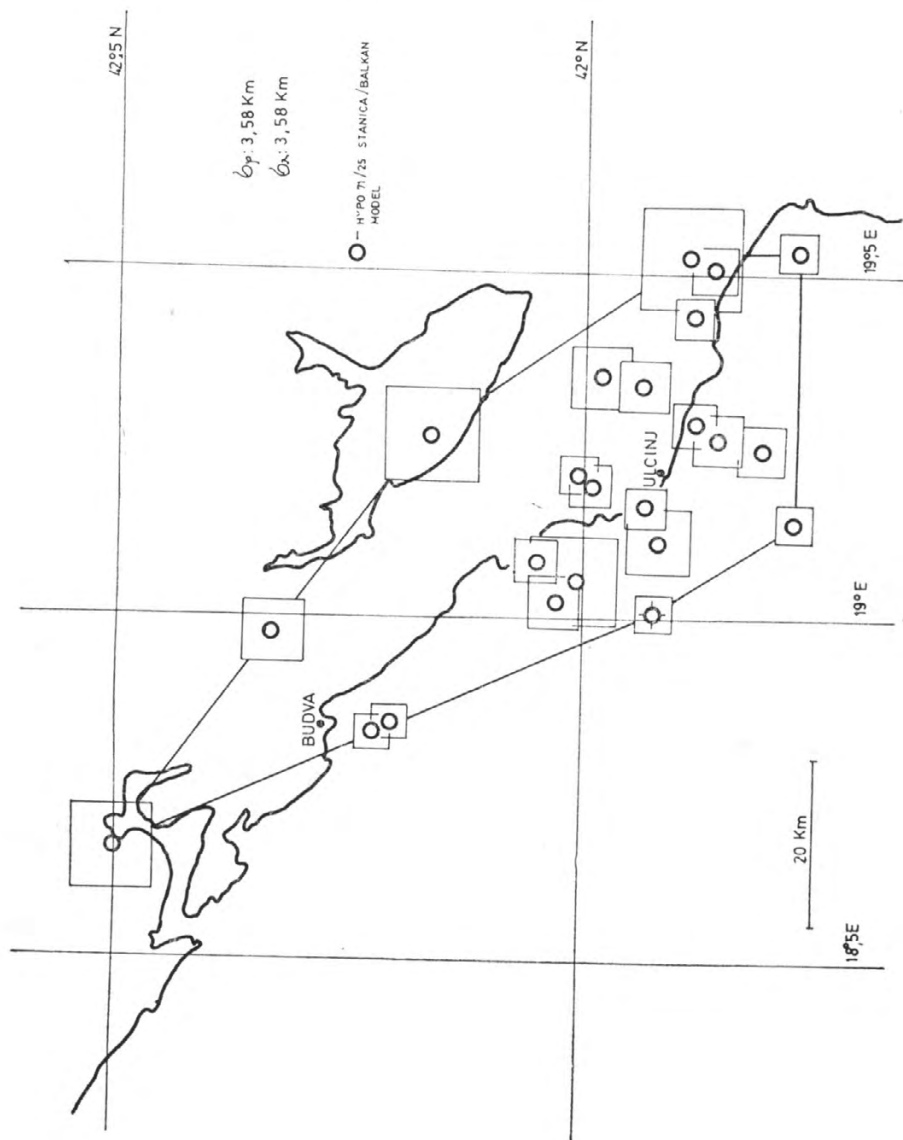


Sl. 2. Raspored 25 najbližih seizmoloških stanica Balkana u odnosu na seizmogeno područje Crnogorskog primorja.

periodičnih seizmoloških stanica, što će omogućiti daleko pouzdanije i efikasnije lociranje zemljotresa u Crnoj Gori i susjednim područjima. Međutim, za kvalitetniju analizu zemljotresa iz ranijih godina, a naročito iz seizmički vrlo aktivne 1979. godine, neophodno je koristiti postojeću seizmološku mrežu Balkana. No, i



Sl. 3. Grupa od 23 reprezentativna zemljotresa — odabrana za analizu mogućnosti metodoloških poboljšanja. Takođe je prikazan položaj dva utvrđena regionalna rasjeda.



Sl. 4. Grafički prikaz standardnih devijacija grupe od 23 zemljotresa. Spoljna kontura oivičava zonu u kojoj su distribuirani epicentri, kao rezultat primjene metode HYPO 71, na osnovu podataka sa 25 seizmoloških stanica, uz primjenu BALKAN seizmičkog modela

u takvim okolnostima moguće je u okviru numeričkog postupka obrade unijeti određena metodološka poboljšanja u odnosu na do sada korišćene postupke, a u cilju povećanja kvaliteta finalne interpretacije položaja epicentara. U narednom tekstu prikazano je nekoliko takvih mogućnosti koje su primijenjene na odabranom uzorku od 23 zemljotresa.

Kao prvi korak u postupku poboljšanja kvaliteta obrade, ukupan broj korišćenih seizmoloških stanica u obradi svakog potresa povećan je sa 25 na 40, čime je obuhvaćen najveći broj stanica u krugu radijusa 700 km. Tako je postignuto da maksimalna azimutalna separacija između susjednih stanica (po pravcu) ne prelazi 35 stepeni, u odnosu na 60 stepeni u prethodnom slučaju, što je vrlo značajno sa aspekta tačnosti lociranja zemljotresa (Slika 5).

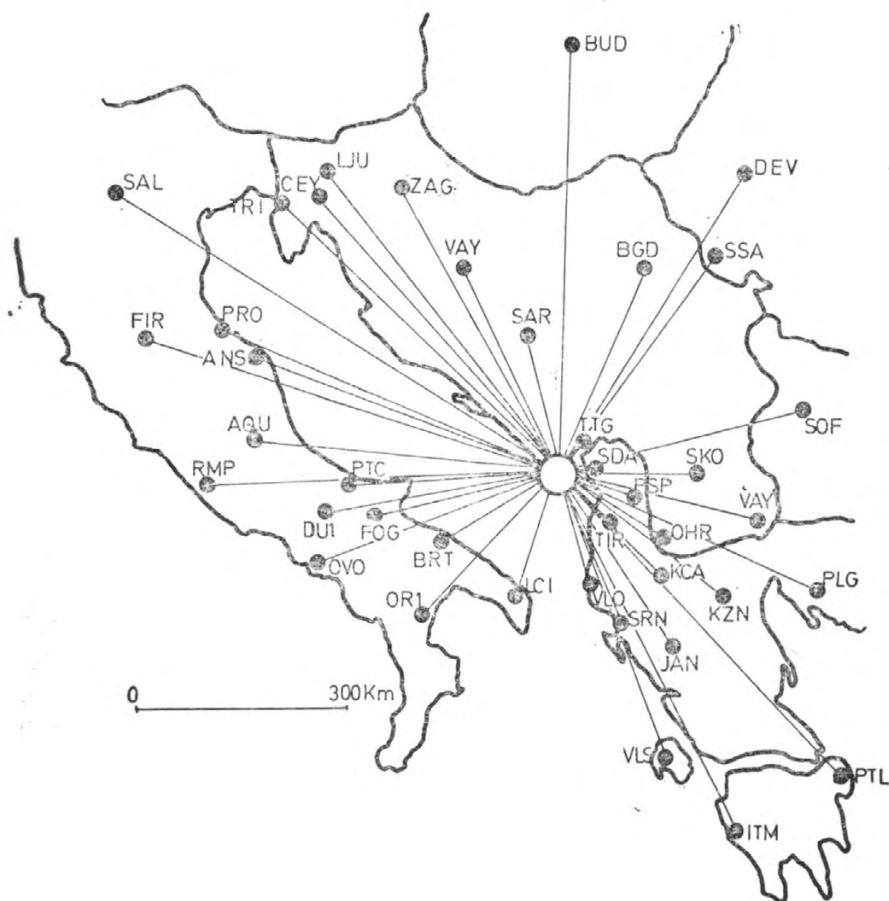
Primjenom posebnog iterativnog postupka, Rothe (1972.) je, koristeći podatke o samo nekoliko zemljotresa Balkana, definisao parametre seizmičkog modela Zemljine kore Balkana (Slika 6). U cilju verifikacije tog modela i njegove eventualne korekcije, za uže područje Balkana — za svaki iz grupe od 23 izabrana zemljotresa sa Crnogorskog primorja, primjenom identičnog postupka određeni su seizmički parametri granitnog i bazalnog sloja (u seizmološkom smislu) i Mohorovičićeve granice. Srednje vrijednosti od 23 nezavisno dobijena rješenja, usvojene su kao finalne. Seizmički parametri sedimentnog kompleksa utvrđeni su na osnovu rezultata dubokog seizmičkog sondiranja u Jugoslaviji i Albaniji, kao i na osnovu rezultata reflektivnog seizmičkog ispitivanja na Jadranu (Slika 6).

Primjenjujući novi seizmološki model Zemljine kore, koristeći podatke o registracijama zemljotresa na 40 stanica, ponovo su kompjuterski obrađena 23 tretirana zemljotresa. Rezultati ove obrade bili su okarakterisani dvostruko manjim standardnim odstupanjima (1.6 km u prosjeku za obje koordinate) u poređenju sa prvobitnim rješenjima (Slika 7).

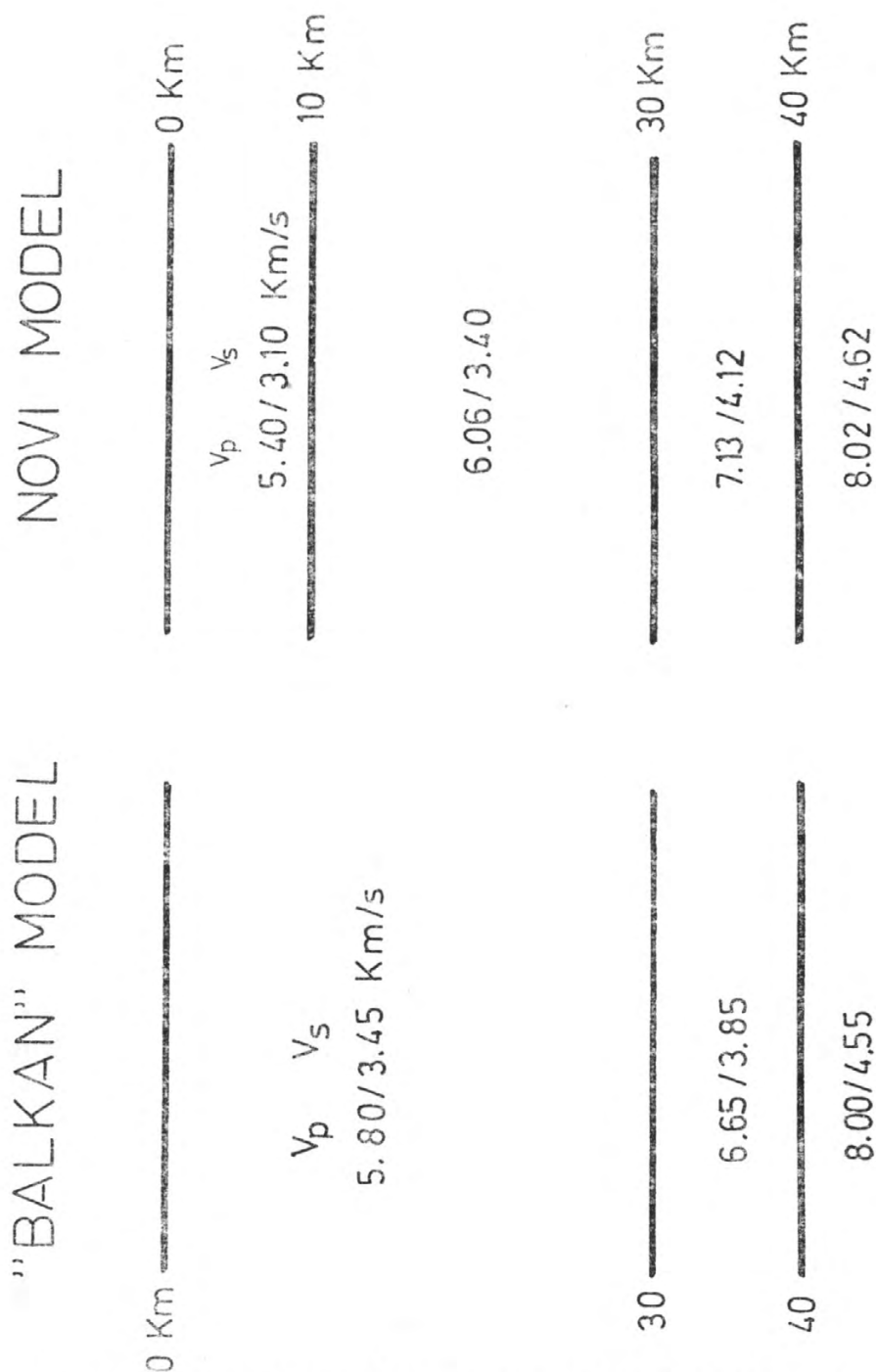
Tokom ove obrade istovremeno je izvršen proračun prosječnih staničnih vremenskih korekcija — kao srednjih vrijednosti svih finalnih vremenskih reziduala za grupu od 23 analizirana zemljotresa. Ove stanične korekcije zatim su upotrijebljene u okviru sljedeće ponovne obrade — u cilju daljeg redukovanja standardnih odstupanja. Na taj način odstupanje je smanjeno u prosjeku na oko 1.1 i 1.2 km za geografsku širinu i dužinu, respektivno (Slika 8) tako da su dimenzije simbola kojim su epicentri prikazani na ovoj slici u većini slučajeva prevazilaze veličinu standardne devijacije.

Kao jedna od najsavremenijih i najpouzdanijih metoda numeričke obrade zemljotresa, u svijetu se sve više koristi metoda simultanog lociranja grupe zemljotresa (Douglas 1967, Dewey 1971, Smith 1982 i dr.). Pri tome se za odabranu grupu zemljo-

trasa istovremeno proračunavaju svi hipocentralni parametri svih zemljotresa, kao i sve stanične korekcije, a često i svi parametri seizmičkog modela Zemljine kore. Velika prednost ovakvog postupka analize, u odnosu na metode pojedinačnog lociranja zemljotresa, leži u vrlo visokom kvalitetu i velikoj pouzdanosti dobije-



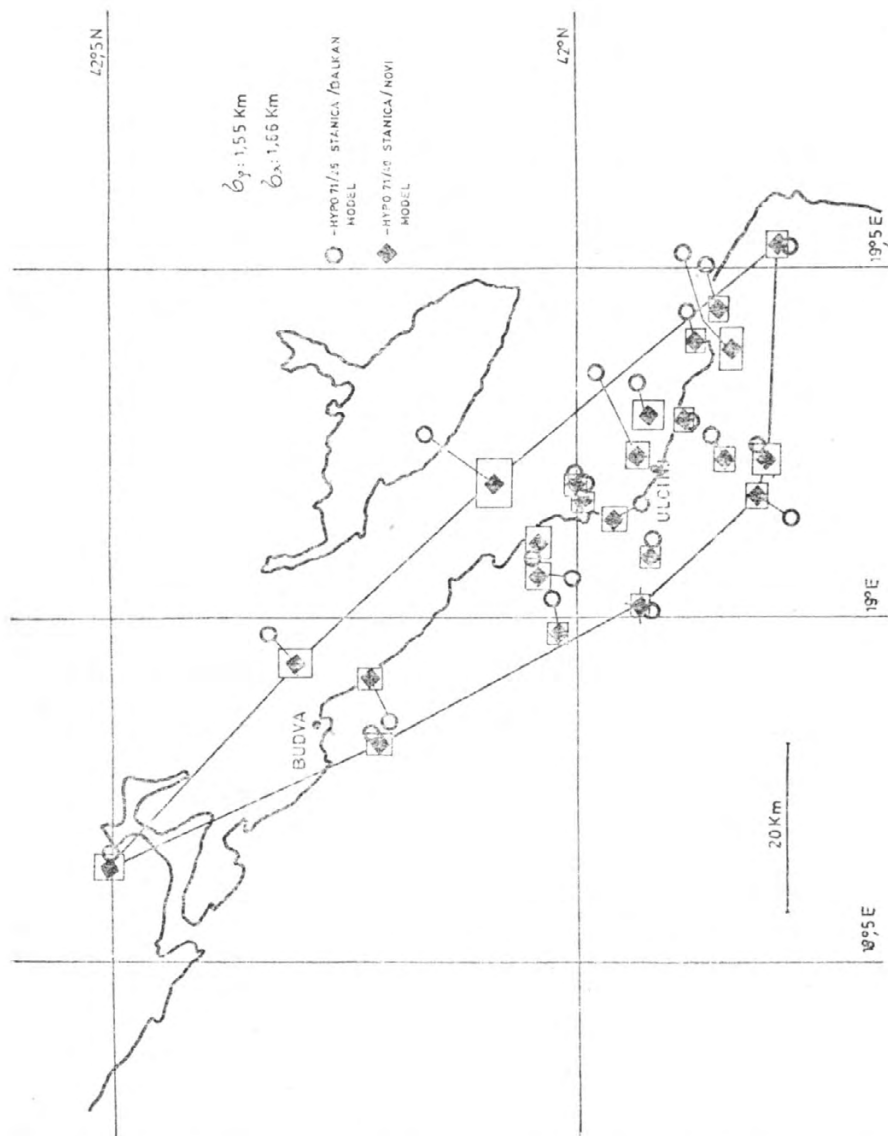
Sl. 5. Mreža 40 seizmoloških stanica Balkana, korišćenih pri proračunu hipocentralnih parametara zemljotresa.



Sl. 6. Struktura novog seizmičkog modela u odnosu na Balkan model.

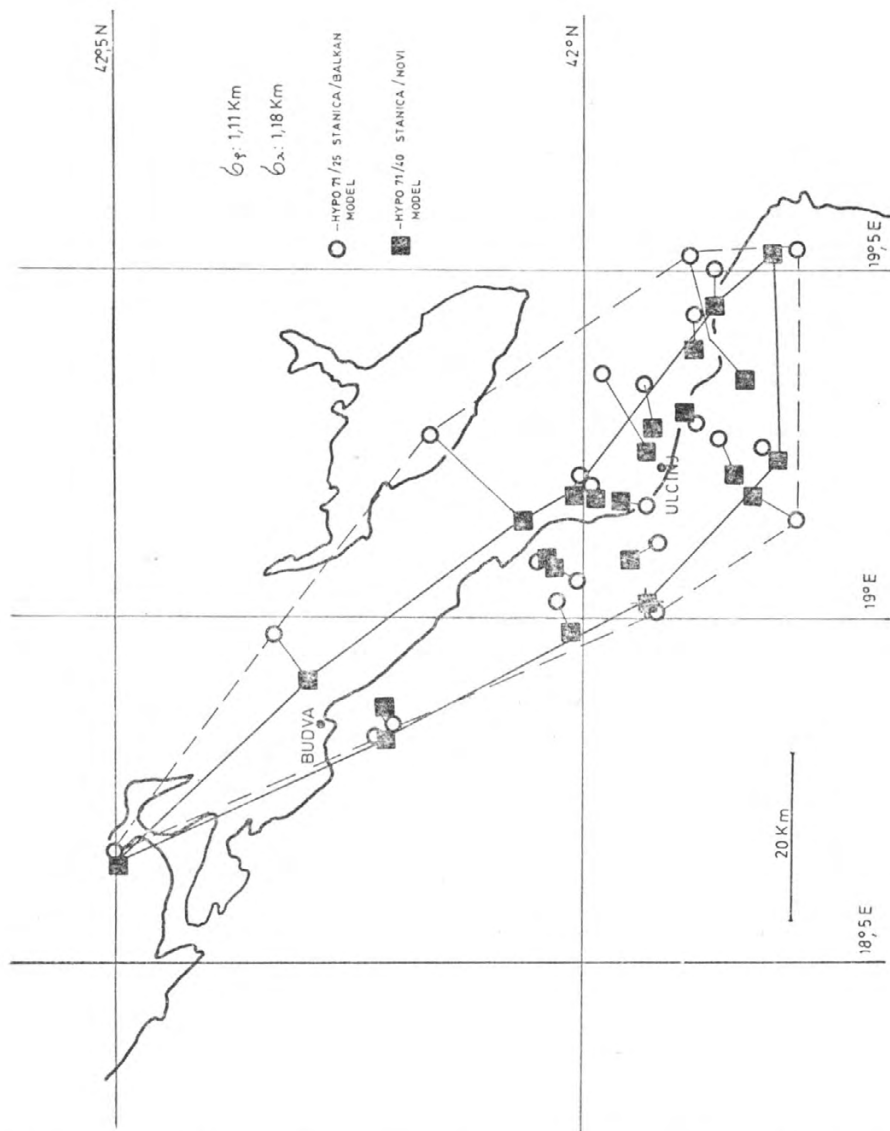


nih podataka. Međutim, za primjenu ove metode potrebno je angažovati računar sa vrlo velikim kapacitetom — kako po brzini rada tako i po memorijskom kapacitetu.



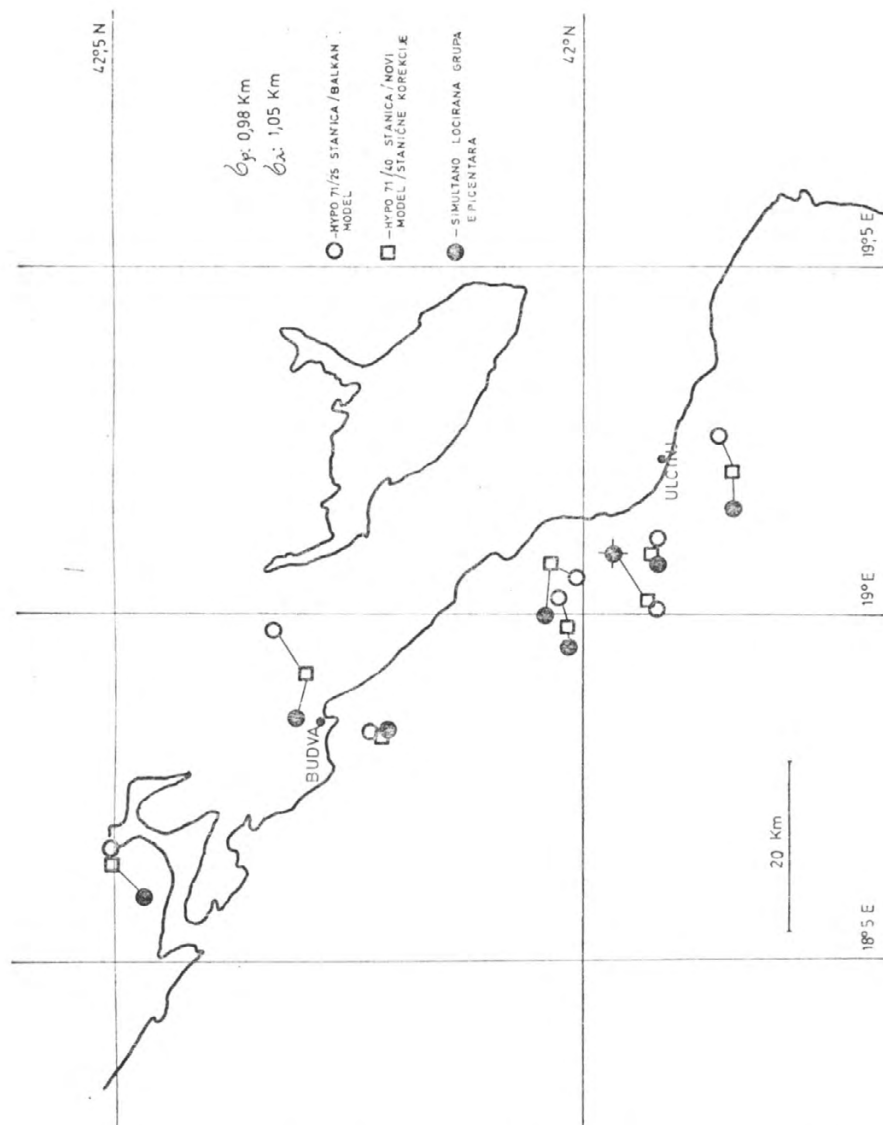
Sl. 7. Rezultat primjene novog seizmičkog modela i podataka sa 40 seizmoloških stanica.

Za obradu pomoću metode simultanog lociranja grupe zemljotresa, od 23 tretirana zemljotresa odabrana je podgrupa od 8 najbolje registrovanih, koji su zatim simultano obrađeni na računaru CDC 6000 sa kapacitetom od 5 miliona riječi. Rezultati obrade su prikazani u grafičkom obliku na Slici 9.



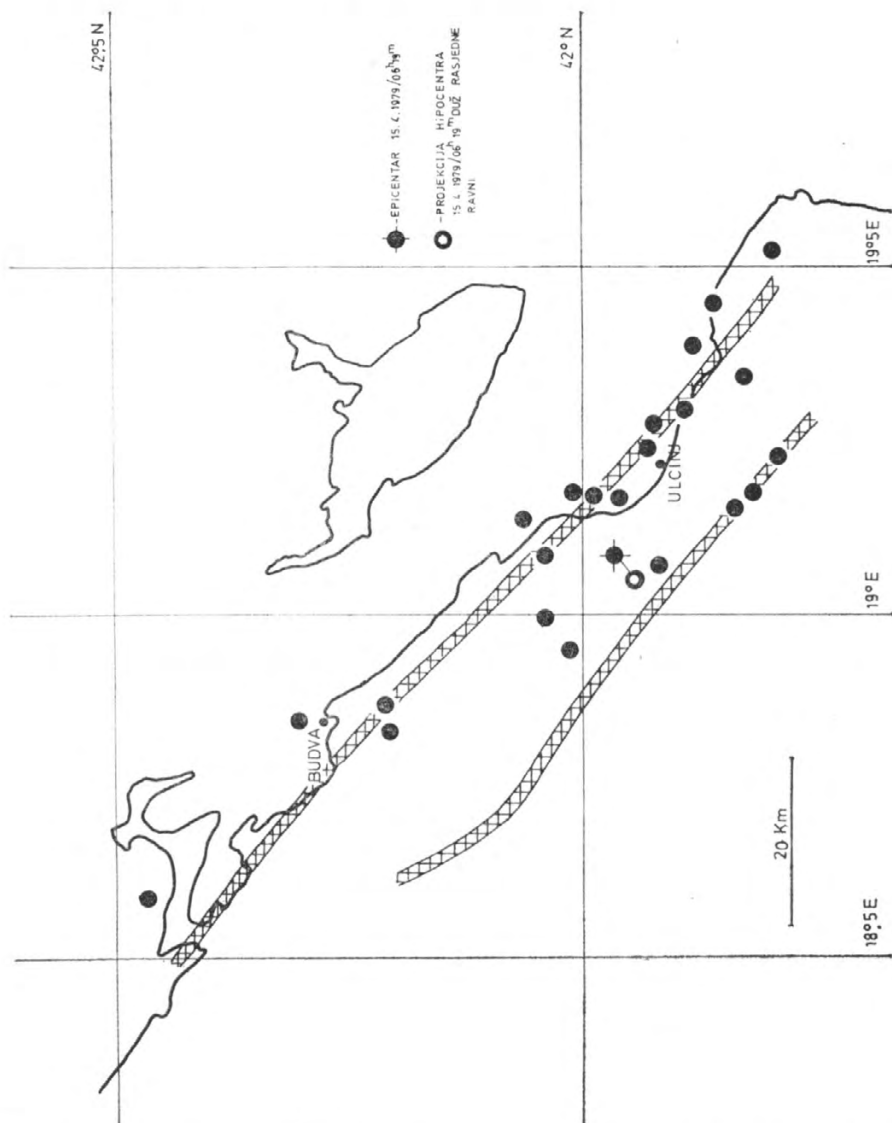
Sl. 8. Rezultat dalje primjene prosječnih vremenskih staničnih korekcija.

Konačno, na Slici 10. prikazani su rezultati obrade 23 zemljotresa dobijeni kombinacijom rezultata analize metodom simultanog lociranja i rezultata dobijenih prilikom pojedinačne obrade uz primjenu prosječnih staničnih korekcija.



Sl. 9. Relociranje metodom simultane obrade grupe hipocentara.

Ovaj finalni rezultat sa sigurnošću indicira da primijenjeni metodološki postupci značajno doprinose poboljšanju kvaliteta interpretacije podataka o zemljotresima na Crnogorskom primorju, što postaje očividno ako se uporede Slika 3 (sa elementima standardne kompjuterske obrade) i Slika 10.



Sl. 10. Finalna distribucija epicentara, kao rezultat metode simultanog lociranja grupe epicentara i obrade uz primjenu staničnih korekcija.

## LITERATURA

- DEWEY J. 1971. Seismicity Studies with the Method of Joint Hypocenter Determination. Dissertation.
- DOUGLAS A. 1967. Joint Epicentre Determination. Nature, Vol. 215.
- LEE W.H.K., LAHR J.C. 1972. HYPO 71: A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude and first Motion Pattern of Local Earthquakes. USGS Open File Report.
- ROTHER J. P. 1972. Tables de tempts de propagation des ondes seismiques (Hodohrones) pour la region de Balkans. UNESCO project »Survey of the seismicity of the Balkan region«.
- SMITH E. 1982. An Efficient Algorithm for Routine Joint Hypocentre Determination. Physics of the Earth and Planetary Interiors (in press).

Branislav GLAVATOVIĆ

ANALYSIS OF SOME METHODS FOR INCREASING  
ACCURACY OF NUMERICAL ELABORATION OF EARTHQUAKES  
AT THE MONTENEGRO COAST

S u m m a r y

From the earthquake sequence generated by the strong earthquake of April 15, 1979 ( $M=7.0$ ) at the Montenegro coast, a group of 23 earthquakes was selected to analyze the possibility for increasing accuracy for the epicenter location, applying some newer numerical methods.

Total number of the seismic stations was increased to 40; a specially evaluated new seismic model of the Earth crust was applied; to the area covered by the used stations, average station time-residuals were calculated and applied; finally, the joint epicenter determination method for simultaneous location of a group of earthquakes, was applied. It showed up that the final results correlated two well known regional faults much better than the results when standard numerical technique was applied.

