

Geol. vjesnik	33	75—93	5 slika u tekstu	Zagreb, 1981
---------------	----	-------	------------------	--------------

551.240

## Seizmotektonske značajke vinodolskog područja

Eduard PRELOGOVIĆ,<sup>1</sup> Ivan BLASKOVIĆ,<sup>1</sup> Dragutin CVIJANOVIĆ,<sup>2</sup>  
 Dragutin SKOKO<sup>3</sup> i Bruno ALJINOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Zavod za inženjersku geologiju, hidrogeologiju, geologiju nafte i ugljena, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb*

<sup>2</sup> *Geofizički zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Grič 3, YU—41000 Zagreb*

<sup>3</sup> *Geofizika, Savska 64, YU—41000 Zagreb*

Vinodolsko područje je seizmički jedno od najaktivnijih u Hrvatskoj. To je bio razlog detaljnijem proučavanju strukturno-tektonskih odnosa i najnovijih gibanja. Posebno se nastojalo prikazati tektonske uzročnike javljanja potresa i mogući seizmotektonski model.

### UVOD

U širem području Vinodola izvršena su seizmotektonska istraživanja. Tom prilikom dobiveni su novi podaci o tektonskim uzročnicima potresa. Posebice su uočeni detalji tektonskog sklopa i najnovijih tektonskih kretanja u vinodolskoj dolini odnosno u zoni epicentralnog područja. Kao osnova za zaključke koji se u članku iznose poslužili su podaci površinskog geološkog, strukturno-geomorfološkog i fotogeološkog istraživanja, zatim geofizičkih mjerenja izvršenih u prvih nekoliko kilometara ispod površine ili na još većim dubinama, te seizmoloških parametara. Dobiveni rezultat ukazuju na uzajamnost seizmotektonskih procesa u razmatranom području.

S geološkog gledišta obuhvaćeno područje dobro je poznato i više puta opisano. Stoga se detaljnije ne navode zapažanja pojedinih autora. Značajnija djela u kojima se s više pažnje opisuju strukturno-tektonski odnosi ili naslage koje mogu poslužiti kao reperi za upoznavanje neotektonskih pokreta zabilježeni su u popisu literature.

Prve bilješke o potresima potječu još od 361. godine. Makroseizmički podaci pouzdani su od 1750. godine, jer je tada započela u riječkom području pojačana seizmička aktivnost. Potresi se prate i opisuju i u manjim mjestima. Zbog toga postoje dovoljno točni podaci i o slabijim, lokalnim potresima, što je posebno vrijedno u određivanju prostornog položaja seizmotektonski aktivnih zona. I prije su autori u nekoliko navrata uspoređivali nastajanje potresa s tektonskim pokretima. Potrebno je istaći M. Kišpatića koji 1891. seizmičku aktivnost između Klane i Novog Vinodolskog veže uz »bakarsku« i »krčku« pukotinu. Još konkretniji je J. Mihailović. On 1940. godine zaključuje da potresi nastaju uslijed

pomicanja četiri tektonska bloka od kojih su najaktivniji: »blok Grižane—Novi« i »blok Kraljevica—Crikvenica«.

Najprije se u daljnjem tekstu iznosi pregled geološke građe, neotektonskih kretanja i seizmičnosti proučavanog područja. Nešto detaljnije se razmatra epicentralno područje u kojem se izdvajaju nivoi seizmičke aktivnosti, tektonski blokovi, njihovi odnosi i kretanja. Na kraju se prikazuje mogući seizmotektonski model.

### NEOTEKTONSKI PREGLED I SEIZMIČNOST

U građi područja obuhvaćenog neotektonskom kartom (slika 1) sudjeluju klastiti mlađeg paleozoika, zatim karbonatni sedimenti gornjeg trijasa do starijeg paleogena, te flišo-like naslage eocena. Za rekonstrukciju najmlađih tektonskih pokreta značajna je pojava gornjopliocenskih glina u Vinodolu, te kvartarnih taložina.

Osnovni pravac pružanja struktura i regionalnih rasjeda je sjeverozapad—jugoistok, ali ima i odstupanja npr. u Istri. U sjeveroistočnom dijelu dominiraju istaknute strukture Gorskog Kotara razlomljene brojnim rasjedima. Jugozapadno slijedi periklinalno položeni kompleks karbonatnih sedimenata.

Između Klane, Rijeke, otoka Krka, Vinodola i Senja nalazi se seizmotektonski aktivna zona uz koju je vezano vinodolsko epicentralno područje. Radi se o višestruko boranoj i rasjednutoj građi. Posebno se ističu sinklinale: Kraljevica—Vinodol i Omišalj—Vrbnik—Baška. Veći dio otoka Krka blago je boran, a otok Cres znatno intenzivnije uz jače naglašene rasjedne kontakte.

Najveće strukturalno-tektonske promjene nastale su u neotektonskoj eta-pi koja obuhvaća neogen i kvartar. U neotektonskoj karti (slika 1) izdvojene su sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta i posebno amplitude pokreta za kvartar, zatim neotektonski aktivni rasjedi s naznakom vremena najveće aktivnosti, predjeli s promjenom znaka vertikalnih gibanja, te zone rasjeda gdje su povećani srednji gradijenti brzine vertikalnih tektonskih pokreta u kvartaru.

Prevladavaju tri pravca pružanja neotektonski aktivnih rasjeda: sjeverozapad—jugoistok (uzdužni rasjedi), sjeveroistok—jugozapad (poprečni rasjedi) i sjever—jug (dijagonalni rasjedi). Samo lokalno zamjećuju se rasjedi pružanja gotovo istok—zapad. Po značenju u tektonskom sklopu odvajaju se uzdužni rasjedi s protezanjem većim od 100 km. To su: »rasjed Ilirska Bistrica—Rijeka—Senj« (2) i »rasjed Učke i Cićarije« (3). Od rasjeda pravca pružanja sjeveroistok—jugozapad naročito se ističu dva: »istarski rasjed« (4) i »rasjed Krk—Ogulin« (5). Veći dijagonalni rasjedi uglavnom se nalaze istočno od Bakarskog zaljeva i to su: »rasjed Fužine—Grižane—Crikvenica« (7) i »rasjed Risnjak—Križišće—Krk« (8). Mnogi od spomenutih rasjeda čine širu zonu unutar koje se izdvajaju dva ili više paralelna rasjeda. Prikazani rasjedi predstavljaju granice većih tektonskih jedinica ili pojedinih tektonskih blokova i krupnih struktura.

Područje između Klane, Rijeke, Vinodola i Senja seizmotektonski je najaktivnije. Značajni su kvartarni pokreti. Područje se izdvaja kao samo-

stalna neotektonska jedinica. Granica s Gorskim Kotarom je rasjedna. Na površini rasjedi su najčešće reversni. Područje se odlikuje:

- nizom paralelnih uzdužnih rasjeda i
- pojavom dubokih, rasjedima ukliještenih sinklinala (npr. dolina Vinodola i Baške) i istaknutih antiklinala sa strmo nagnutim krilima mjestimice i prebačenima.

Na temelju raznovrsnih geoloških i geomorfoloških pokazatelja bilo je moguće utvrditi amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta. O crtom i povijanjem izolinija amplituda razlučuju se konture pojedinih uzdignutih struktura i blokova. Za ocjenu amplituda vertikalnih pokreta u kvartaru kao reperi su poslužili izdanci gornjopliocenskih slatkovodnih glina i pjeskovitih glina. Nalaze se na tri mjesta: južno od Triblja (izdanci na visinama 140 do 200 m), u blizini Crikvenice (izdanci na visini 180 m) i u dolini Vinodola (izdanci na visinama 40 do 80 m). U ostalom dijelu prikazanog terena za utvrđivanje amplituda kvartarnih pokreta bile su od važnosti deformacije kvartarnih taložina ili terasa u većim depresijama — krškim poljima, te raspored, visinski položaj i nagib erozijsko-denudacijskih i akumulativnih površina.

Neotektonska aktivnost može se procijeniti po veličini horizontalnih i vertikalnih pomaka duž pojedinih rasjeda. Pri tom se promatraju regionalni uzdužni rasjedi i veći poprečni i dijagonalni rasjedi duž kojih dolazi do smicanja susjednih tektonskih blokova. Za seizmotektoniku najvažnija su kvartarna kretanja, koja ukazuju i na recentnu tektonsku aktivnost. Kao primjer mogu poslužiti pojedine dionice »rasjeda Ilirska Bistrica—Rijeka—Senj« (podaci su pripovršinski):

1) dolina Rječine: skokovi duž rasjeda u kvartaru oko 100 m, horizontalni pomak manjih blokova do 300 m;

2) Bakar: skokovi po regionalnom rasjedu u kvartaru oko 100 m, horizontalni pomak duž rasjeda pružanja sjever—jug 600 do 800 m;

3) Križišće: skokovi duž rasjeda za čitavu neotektonsku etapu do 500 m, u kvartaru do 150 m, horizontalni pomak u zoni »rasjeda Risnjak—Križišće—Krk« do 1,5 km;

4) Grižane: skokovi duž regionalnog rasjeda za čitavu neotektonsku etapu do 700 m, u kvartaru do 200 m, horizontalni pomak duž »rasjeda Fužine—Grižane—Crikvenica« do 4 km;

5) Vinodol: skokovi duž uzdužnog rasjeda za čitavu neotektonsku etapu do 500 m, u kvartaru do 100 m, sjecište s većim poprečnim rasjedom uz horizontalni pomak oko 1 km.

Pojas pojačane seizmičke aktivnosti prostorno se podudara s neotektonskom jedinicom Klana—Rijeka—Vinodol—Senj (slika 3). Najjači potresi s maksimalnim magnitudama  $M$  od 5,0 do 5,8 dogodili su se u predjelima unutar spomenute jedinice, gdje je i inače zabilježena najveća učestalost potresa. Izdvajaju se osnovne značajke seizmičke aktivnosti u nekoliko lokaliteta.

**K l a n a.** Između Ilirske Bistrice i Rijeke bilo je žarište više jačih potresa. Serija najjačih bila je 1870. godine, od kojih je potres od 1. ožujka

Slika 1. Neotektonska karta

## Legenda:

1 — izolinije amplituda izdizanja za neogen i kvartar; 2 — izolinije amplituda izdizanja za kvartar; 3 — predjeli s promjenom znaka vertikalnih pokreta u kvartaru u odnosu na pliocen; 4 — predjeli izdignuti u kvartaru; 5 — predjeli vjerojatnog spuštanja u kvartaru.

Neotektonski aktivni rasjed: 6 — regionalni rasjedi; 7 — rasjedi koji odvajaju tektonske jedinice i blokove; 8 — ostali aktivni rasjedi; 9 — zone paralelnih rasjeda; 10 — reverzni rasjedi; 11 — rasjedi bez oznake karaktera; 12 — rasjedi s naznakom smjera horizontalnog pomaka; 13 — pretpostavljeni rasjedi.

Vrijeme najveće aktivnosti rasjeda: 14 — u neogenu i kvartaru; 15 — u neogenu; 16 — u pliocenu i kvartaru;

17 — krška polja i manje depresije ispunjene kvartarnim naslagama; 18 — zone rasjeda u kojima su povećani iznosi gradijenata brzine vertikalnih kvartarnih pokreta;

19 — važniji rasjedi:

(1 — rasjed Ilirska Bistrica — Rijeka — Senj; 2 — rasjed Učke i Čićarije; 3 — istarski rasjed; 4 — rasjed Krk — Ogulin; 5 — rasjed Senj — Jablanac; 6 — rasjed Fužine — Grižane — Crikvenica; 7 — rasjed Risnjak — Križišće — Krk);

21 — tektonske jedinice:

(I — Istra; II — Čićirija — Učka — Labin; III — Klana — Rijeka — Vinodol — Senj; IV — Kvarner; V — Gorski Kotar; VI — Velika Kapela — Lika);

22 — zone rasjeda; 23 — geološko-geofizički profil.

Fig. 1. Neotectonic map

## Legend:

1 — isolines of the uplift amplitudes for Neogene and Quaternary; 2 — isolines of the uplift amplitudes for Quaternary; 3 — the regions with change in vertical movements in Quaternary in relation to Pliocene; 4 — the regions uplifted in Quaternary; 5 — the regions of possible subsidence in Quaternary.

Neotectonically active faults: 6 — regional faults; 7 — faults separating tectonic units and blocks; 8 — another active faults; 9 — zones of parallel faults; 10 — reverse faults; 11 — faults without designation of the character; 12 — faults with the indicated strike of horizontal displacement; 13 — the faults assumed.

Time of the major faults activity: 14 — Neogene and Quaternary; 15 — in the Neogene; 16 — in the Pliocene and Quaternary;

17 — karst valleys and smaller depressions with Quaternary deposits; 18 — fault zones in which the amounts of the gradients of velocity of vertical Quaternary movements are increased;

19 — rather important faults:

(1 — Ilirska Bistrica — Rijeka — Senj fault; 2 — Učka — Čićarija fault; 3 — Istra fault; 4 — Krk — Ogulin — fault; 5 — Senj — Jablanac fault; 6 — Fužine — Grižane — Crikvenica fault; 7 — Risnjak — Križišće — Krk fault);

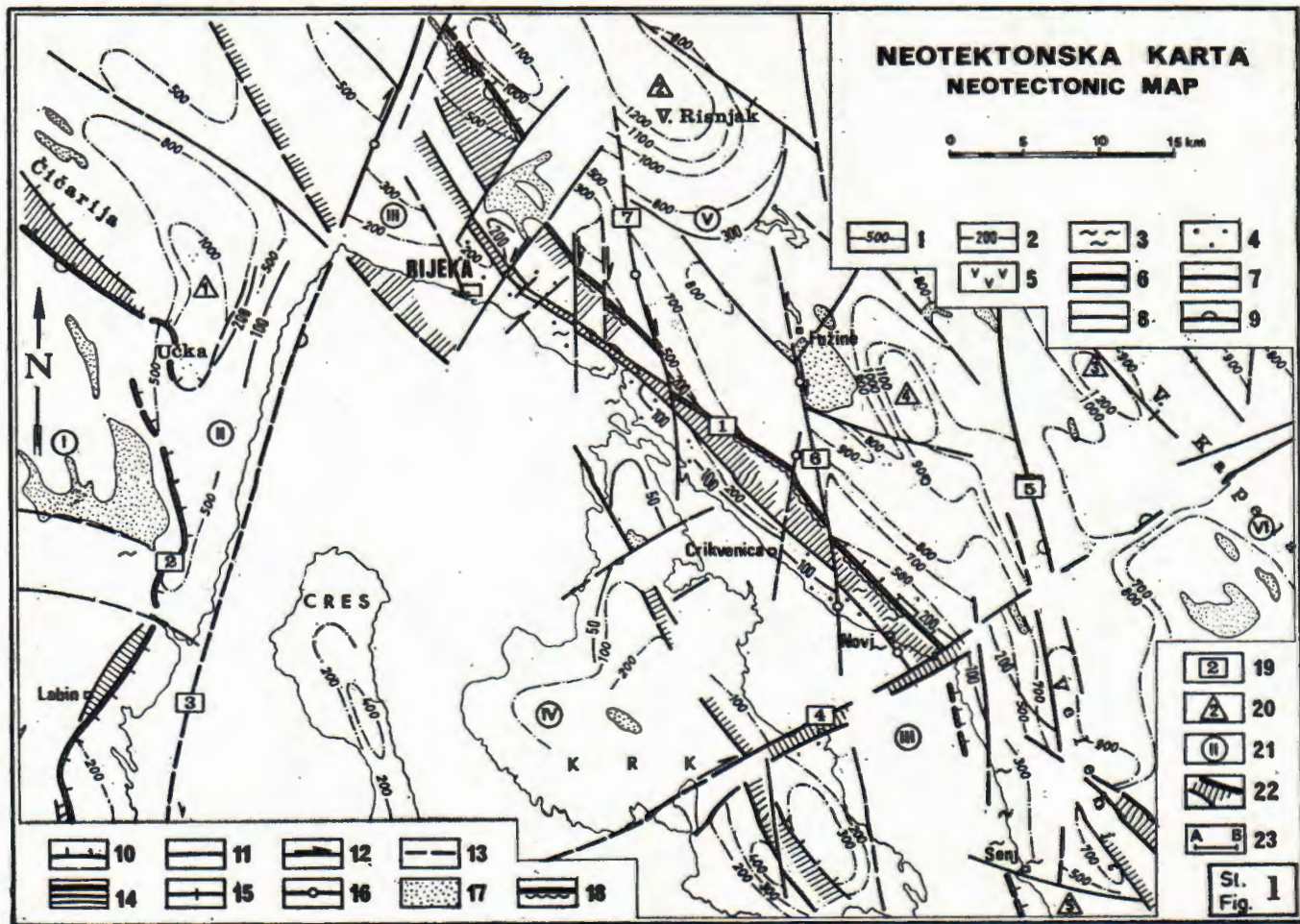
20 — uplifted bigger structures and tectonic blocks:

(1 — Učka; 2 — Risnjak and Snežnik; 3 — Velika Kapela; 4 — Bitoraj; 5 — Velebit);

21 — tectonic units:

(I — Istra; II — Čićirija — Učka — Labin; III — Klana — Rijeka — Vinodol — Senj; IV — Kvarner; V — Gorski Kotar; VI — Velika Kapela — Lika);

22 — fault zones; 23 — geological-geophysical cross section.



dosegao intenzitet VIII stupnjeva MCS ljestvice. Magnituda tog potresa procijenjena iz odnosa makro- i mikroseizmičkih podataka iznosi 5,4 do 5,8. Zbog malog broja seizmičkih podataka nije moguće odrediti izoseiste potresa i dubinu žarišta.

**Rijeka.** Oko grada Rijeke grupiraju se epicentri potresa. Tome je posebno doprinijela serija potresa iz 1750. godine. Najjači potres nije prelazio maksimalni intenzitet  $I_0 = VII$  stupnjeva MCS ljestvice ( $M = 4,9-5,0$ ). Dubina žarišta je približno 10 km.

**Bribir-Grižane.** Najveća koncentracija epicentra potresa obilježava uže vinodolsko epicentralno područje. Razdoblja pojačane seizmičke aktivnosti često su se ponavljala. Najizrazitija bila je 1916. godine. Najjači potres dogodio se 12. ožujka iste godine ( $M = 5,8$ ;  $I_0 = VII-VIII$  stupnjeva MCS ljestvice;  $h = 18$  km). U istom epicentralnom području dogodila su se još tri potresa magnitude od 5,0 do 5,2.

**Senj-Brinje.** U povijesti Senja često se spominje da je grad stradao od potresa. Noviji podaci pokazuju da oko Senja ima relativno mnogo potresa, ali najjači koji se dogodio 30. srpnja 1920. godine dosegao je samo magnitudu  $M = 4,7$  ( $I_0 = VI-VII$  stupnjeva MCS ljestvice;  $h = 7$  km). Epicentri potresa oko Senja migriraju ne samo duž obale već i okomito na nju od Brinja prema otoku Krku.

**Otok Krk.** Od svih otoka u Kvarnerskom zaljevu samo otok Krk pokazuje izrazitiju seizmičku aktivnost. Ona se najviše očituje u sjevernom dijelu otoka oko Omišlja, Dobrinja i Vrbnika. Najjači potres dogodio se 6. veljače 1939. godine ( $M = 4,9$ ;  $I_0 = VII$  stupnjeva MCS ljestvice;  $h = 12$  km). Iste godine dogodila su se još četiri potresa magnitude 4,0 do 4,4. Vrhnik je poznat po čestim slabim potresima i tušnjavama.

Rezimirajući zapažanja o širem razmatranom području može se utvrditi slijedeće:

— Vinodol predstavlja dio neotektonske jedinice Klana — Rijeka — Vinodol — Senj i zajedno čine granicu između područja različitih strukturnih osobitosti;

— navedeno područje odlikuje se intenzivno boranom i rasjednutom građom; bore su asimetrične i prebačene, sinklinale stisnute i dublje utonule, a antiklinale uzdignute; mjestimice se ostaci pliocenskih naslaga nalaze na visinama do 200 m;

— neotektonski taj dio terena je granična zona prema Gorskom Kotaru — predjelima najvećeg izdizanja tijekom neogena i kvartara;

— područje neotektonske jedinice odlikuje se pojačanom seizmičkom aktivnošću.

#### VINODOLSKO EPICENTRALNO PODRUČJE

Seizmotektonski najinteresantniji dio vinodolskog područja prostire se između Bakarca i Novog Vinodolskog. Od geoloških parametara istraživani su: sastav naslaga, tektonska građa i recentna kretanja u detaljima, pri čemu je posebna pažnja bila posvećena rasjedima, karakteru pokreta uz rasjede, vremenskom slijedu pokreta i definiranju rasjedima formiranih blokova.

Izdvajaju se tri kompleksa s obzirom na litološki sastav i strukture (slika 2):

- a) vapnenačko-dolomitni (kreda-paleogen), antiklinalno formirani kompleks između Vinodola i mora,
- b) karbonatni (kreda-paleogen), tektonski kompliciraniji kompleks, koji tvori sjeveroistočne padine Vinodola (kosa do prebačena antiklinala, reversni rasjedi),
- c) kompleks flišolikih naslaga, stiješnjen između kompleksa a) i b), predstavljen rasjednutim sinklinorijem.

Pružanje tih kompleksa je sjeverozapad-jugoistok.

Vapnenačko-dolomitni kompleks čini kosu antiklinalu sa strmijim sjeveroistočnim ( $40^{\circ}$  —  $50^{\circ}$ ) i blaže položenim jugozapadnim krilom (25 — 30).

Kompleks karbonatnih sedimenata strukturno je kompliciraniji i razolik po pružanju. Osnovni oblik je antiklinalna struktura. Međutim, idući po pružanju različit je intenzitet savijanja; u generalnom planu raste od sjeverozapada prema jugoistoku. Porast intenziteta poremećaja je skokovit, a odigrao se u zonama dijagonalnih rasjeda. Prati se najprije kosa antiklinala s gotovo okomitim slojevima jugozapadnog krila kod Križišća. Prema Triblju nagib istog krila je blaži, a zatim nakon zone dijagonalnih rasjeda antiklinala je prebačena, a krilo reveršno rasjednuto.

Flišoliki kompleks čini složeni sindiklinorij, mjestimice i uzdužno rasjednut. Širina kompleksa varira. Jugoistočno od Križišća ona iznosi 1500 do 2000 m. Kod Drivenika se proširuje do 3000 m, a oko Triblja čak do 5000 m. Ta suženja i proširenja flišolikog kompleksa na površini posljedica su boranja i osobito reversnog rasjedanja. Ponegdje su sačuvani elementi antiklinala (Drivenik, Tribalj). Poprečnim i osobito dijagonalnim rasjedima bore su na mnogo mjesta uništene, a njihovi nastavci i horizontalno pomaknuti, utonuli ili rasjedom prekinuti. Pretežno vrlo stisnute i rasjednute bore ukazuju na pojačanu kompresiju stijena. Tektonski potisci koji ju izazivaju još traju na što upućuju amplitude vertikalnih pokreta (slika 1).

Rasjedi su uz borane strukture jedna od osnovnih tektonskih karakteristika područja Vinodola. Uzdužni rasjedi (pravac pružanja sjeverozapad-jugoistok) najuočljiviji su na kontaktu flišolikih naslaga i karbonatnih stijena uz jugozapadni (pretežno normalni rasjedi) i sjeveroistočni rub doline Vinodola (pretežno reversni rasjedi). Poprečni rasjedi (pravac pružanja sjeveroistok-jugozapad) više se zapažaju u stijenama karbonatnih kompleksa. Duž njih se nisu odvijala značajnija kretanja. Rezultat poremećaja ogleda se u malim horizontalnim pomacima. Dijagonalni rasjedi (pravac pružanja gotovo sjever-jug) odražavaju se kao najmlađi rasjedi. Duž njih se događaju horizontalni pomaci i to pretežno istočnih krila prema jugu. Pokreti uz te rasjede imaju i morfološkog odraza u skokovitoj promjeni širine vinodolske doline.

Uzdužni i dijagonalni rasjedi ograničavaju tektonske blokove. Uz prve razlučena su tri osnovna bloka (A, B i C — prilog 2), podudarna s kom-

Slika 2. Karta tektonskih blokova, struktura i rasjeda

**Legenda:**

Uzdužni rasjedi, utvrđeni i pretpostavljeni, pravca pružanja SZ—JI: 1 — regionalni rasjedi; 2 — važniji rasjedi; 3 — reversni rasjedi.

Poprečni rasjedi, utvrđeni i pretpostavljeni, pravca pružanja SI—JZ (4).

Dijagonalni rasjedi: 5 — odijeljuju veće blokove; 6 — lokalnog značenja.

Tektonski blokovi: 7 — blokovi formirani dijagonalnim rasjedima.

Strukture: 8 — os uspravne sinklinale; 9 — os prebačene sinklinale; 10 — os uspravne antiklinale; 11 — os prebačene antiklinale; 12 — tonjenje osi; 13 — položaj slojeva, prosječna vrijednost veličine nagiba; 14 — prebačeni sloj.

Kompleksi naslaga: 15 — kompleks flišolikih naslaga (A); 16 — kompleks karbonatnih naslaga (B, C); 17 — karbonatne naslage unutar flišolikog kompleksa; 18 — izolinije amplituda izdizanja za kvartar; 19 — rasjed Fužine — Grižane — Crikvenica.

Fig. 2. The map of tectonic blocks, structures and faults

**Legend:**

Longitudinal faults, established and assumed, with NW—SE line of strike: 1 — regional faults; 2 — rather important faults; 3 — reverse faults.

Transversal faults, established and assumed, with NE—SW line of strike (4).

Diagonal faults: 5 — separating bigger blocks; 6 — of local significance.

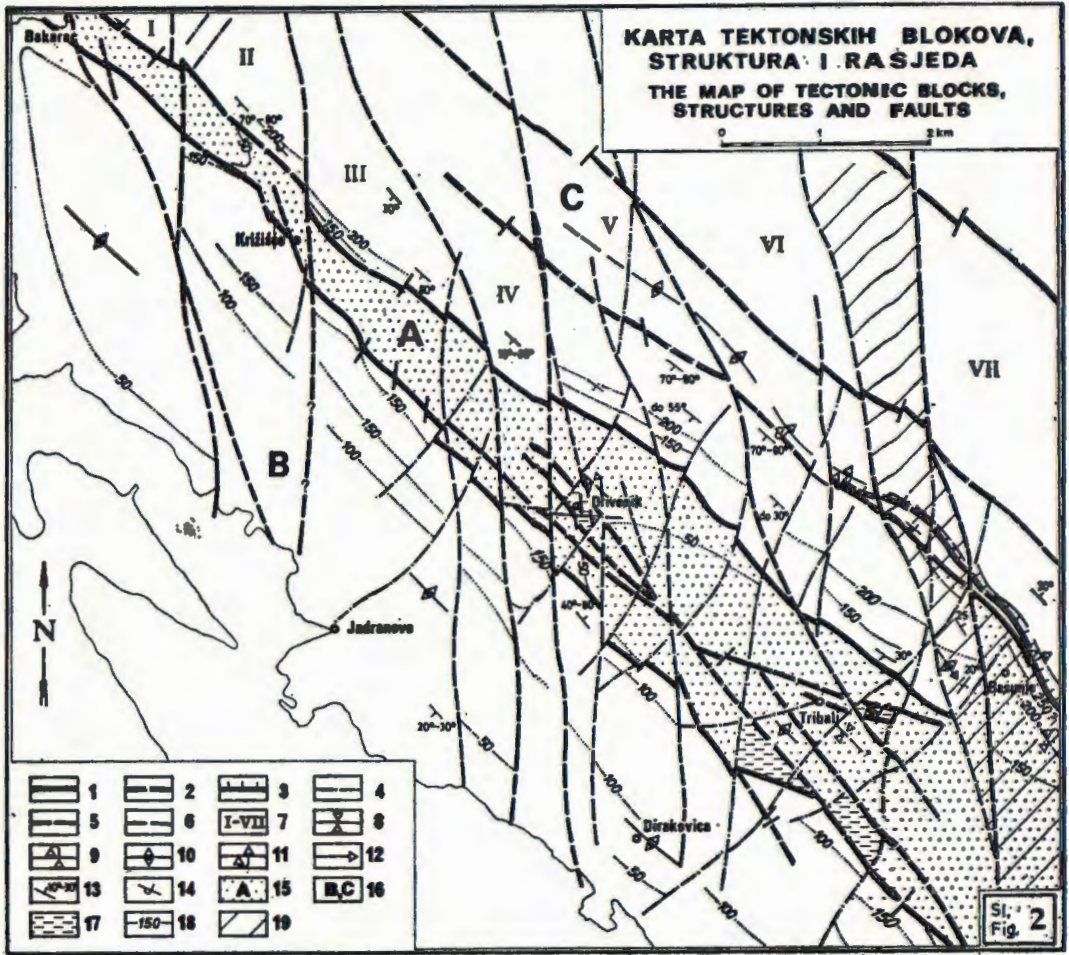
Tectonic blocks: 7 — blocks constituted by diagonal faults.

Structures: 8 — symmetrical syncline axis; 9 — overturned syncline axis; 10 — symmetrical anticline axis; 11 — overturned anticline axis; 12 — sinking of axis; 13 — position of beds, inclination average value; 14 — overturned bed.

Deposit complex: 15 — complex of flysch deposits (A); 16 — complex of carbonate deposits (B, C); 17 — carbonate deposits within flysch complex;

18 — isolines of the uplift amplitudes for Quaternary; 19 — Fužine — Grižane — Crikvenica fault.





pleksima stijena. Dijagonalni rasjedi odvajaju nekoliko manjih i međusobno horizontalno pomaknutih tektonskih blokova (oznake I—VII). S obzirom na recentnu tektonsku aktivnost i horizontalno pomicanje stijena valja istaći zonu dijagonalnih rasjeda između blokova VI i VII (rasjed Fužine — Grižane — Crikvenica«). Također se značajna aktivnost pripisuje zoni dijagonalnih rasjeda između blokova I i III (dio »rasjeda Risnjak — Križnšće — Krk«).

Na temelju prikazanih strukturno-tektonskih odnosa razabire se povećana neotektonska, posebno kvartarna i recentna tektonska aktivnost u vinodolskom području. Situacija je manje-više slična i šire između Senja i Klane. Najbolji dokaz tektonskih kretanja je pojačana seizmička aktivnost. Boranje, komadanje i horizontalno smicanje tektonskih blokova mogući su uzročnici javljanja potresa. U kojoj se oni mjeri mogu povezati sa seizmičkim pojavama pokušalo se predočiti seizmo-tektonskom kartom (slika 3). Prikazani su slijedeći podaci:

- epicentri potresa klasificirani po iznosima magnituda, dubinama žarišta i čestinama,
- izoseiste maksimalnih intenziteta potresa,
- očekivane maksimalne magnitude potresa,
- rasjedi ili zone rasjeda klasificirani prema jače ili slabije izraženoj seizmotektonskoj aktivnosti,
- dionice povećane seizmičke aktivnosti i moguće migracije epicentra potresa.

Žarišta potresa nalaze se na dubinama od 2 do 30 km. Seizmotektonski aktivna zona u prostoru nagnuta je prema sjeveroistoku (slika 4). To upućuje na reversne odnose između tektonskih jedinica, te na recentnu aktivnost reversnih rasjeda, naročito regionalnog »rasjeda Ilirska Bistrica—Rijeka—Senja«. Koncentracija epicentara potresa je veća na sjecištima rasjeda ili na dionicama horizontalnih pomaka uzdužnih rasjeda. Zaključuje se da horizontalna smicanja tektonskih blokova povećavaju seizmotektonsku aktivnost.

#### SEIZMOTEKTONSKI MODEL

Za rekonstrukciju tektonskih kretanja potrebno je poznavanje pri-površinskih strukturno-tektonskih odnosa, ali i dubinskih, te izvršiti odgovarajuće usporedbe.

Seizmičkim ispitivanjima utvrđen je reporni horizont lako uočljiv na seizmičkim profilima Istre i otoka Kvarnera. Smatra se da odgovara kontaktu trijaskih klastita i karbonatnih stijena u krovini. Od bušotine kod Rovinja, gdje je identificiran, pokazuje trend postupnog tonjenja prema Krku s manjim skokovima u Istri (300 m) i većim između Rapca i Krka (preko 400 m). Uspoređujući položaj navedenog repernog horizonta s podacima gravimagnetometrijskog ispitivanja i površinske geološke građe načinjen je profil preko Istre i kvarnerskih otoka do Vinodola (slika 4). Njime je poprečno presječeno seizmički najaktivnije područje, tako da je bilo moguće prostorno prikazivanje žarišta potresa i seizmotektonski aktivne zone.

Tektonska kretanja koja su uvjetovala deformacije u neotektonskoj jedinici Klan — Rijeka — Vinodol — Senj imaju svoje pokretače u dubini. Pretpostavljeni model je slijedeći (slika 5):

- a) osnovni regionalni tektonski potisak u dubini usmjeren je prema sjeveru, sjeveroistoku;
- b) uslijed takvog smjera potiska, koji je dijagonalan na pružanje dinarskih struktura, dolazi do rotacije tektonskih jedinica npr. Istre i područja otoka; prema geofizičkim podacima dio područja kvarnerskih otoka s Istrom čini jednu cjelinu; istočna granica te cjeline markirana je širokom zonom rasjeda pružanja sjever-jug, koji duboko zadiru na sjever u razmatrano područje; duž te zone rasjeda vjerojatno dolazi do pomicanja tektonskih jedinica prema sjeveru uz njihovu rotaciju i djelomično podvlačenje paralelno s neotektonskom jedinicom Klana — Rijeka — Vinodol — Senj;
- c) podvlačenje djelova Zemljine kore rezultira deformacijama u dubini (zadebljanje i stanjenje cjelokupnog karbonatnog kompleksa naslaga) i stvaranja kompresionog režima unutar neotektonske jedinice Klana—Rijeka—Vinodol—Senj;
- d) osnovni potisak i rotacija tektonskih jedinica južno od Velebita uvjetuje pomicanje pojedinih većih blokova Velebita duž rasjeda pravca pružanja istok-zapad prema zapadu; to nadalje dovodi do sučeljavanja Velebita i otočnog područja, jačeg boranja i rasjedanja na zapadnoj strani Velebita i reversnih odnosa spomenutih tektonskih cjelina;
- e) u zoni dodira i podvlačenja tektonskih jedinica nastaju potresi.

#### ZAKLJUČAK

Različitim geološkim, geofizičkim i seizmološkim israživanjima dobiveni su rezultati koji ukazuju na postojanje seizmotektonskih odnosa u području Vinodola. Dopunjavanjem podataka dobivena je predodžba o tektonskim kretanjima koja uzrokuju javljanje potresa. Najveći broj epicentara potresa nalazi se u području između Klane, Rijeke, otoka Krka, Vinodola i Senja. To je granično ili dodirno područje između tektonskih cjelina s različitim strukturnim osobinama i tektonskim kretanjima. Današnja pripovršinska građa odraz je tektonskih zbivanja u dubini. Vjerojatno je da su osnovni tektonski potisci usmjereni prema sjeveru, sjeveroistoku u dubljim dijelovima Zemljine kore Uz to dolazi do rotacije pokretanih tektonskih jedinica i stvaranja kompresionog režima unutar neotektonske jedinice Klana — Rijeka — Vinodol — Senj. Prisutno je i podvlačenje pokretnih stijenskih masa na što upućuje prostorni položaj seizmotektonski aktivne zone. Boranje, komadanje i smicanje stijena (uslijed podilaženja) koje nastaje u području između Klane, Senja i otoka Krka odvija se uz pojačanu seizmičku aktivnost. Takav model neotektonskih kretanja dovodi do reversnih odnosa, povećanih amplituda vertikalnih tektonskih pokreta, stvaranja kontrastnog reljefa,

Slika 3. Seizmotektonska karta

## Legenda:

Seizmotektonski podaci: 1 — očekivane maksimalne magnitude potresa (seizmotektonska rajonizacija).

Seizmološki podaci: 2 — magnitude potresa (a,  $\leq 2,7$ ; b, 2,8—3,3; c, 3,4—3,9; d, 4,0—4,5; e, 4,5—5,0; f, 5,1—5,5; g, 5,6—6,0); 3 — potresi koji su se dogodili prije 1901. godine; 4 — nepouzdati podatak; 5 — vjerojatan položaj epicentra; 6 — dubine žarišta potresa u km (a, nema podataka; b, 0—9; c, 10—19; d, 20—29; e,  $\geq 30$ ); 7 — učestalost potresa (a, 1; b, 2—4; c, 5—7; d,  $>7$ ); 8 — površine maksimalnih intenziteta potresa (seizmička rajonizacija).

Neotektonski podaci: 9 — rasjedi u čijim su zonama jače izraženi seizmotektonski procesi; 10 — rasjedi u čijim su zonama izraženi seizmotektonski procesi; 11 — rasjedi u čijim su zonama manje izraženi seizmotektonski procesi; 12 — neotektonski aktivni rasjedi kod kojih nije utvrđena seizmička aktivnost; 13 — horizontalno smicanje blokova i seizmički aktivna dionica; 14 — seizmički aktivna dionica u zonama uzdužnih rasjeda; 15 — reversni rasjedi; 16 — rasjedi bez oznake karaktera; 17 — pretpostavljeni rasjedi; 18 — rasjedi s naznakom smjera horizontalnog pomaka; 19 — zona migracije epicentara potresa: a) maksimalne magnitude potresa oko 6,0; b) oko 5,5.

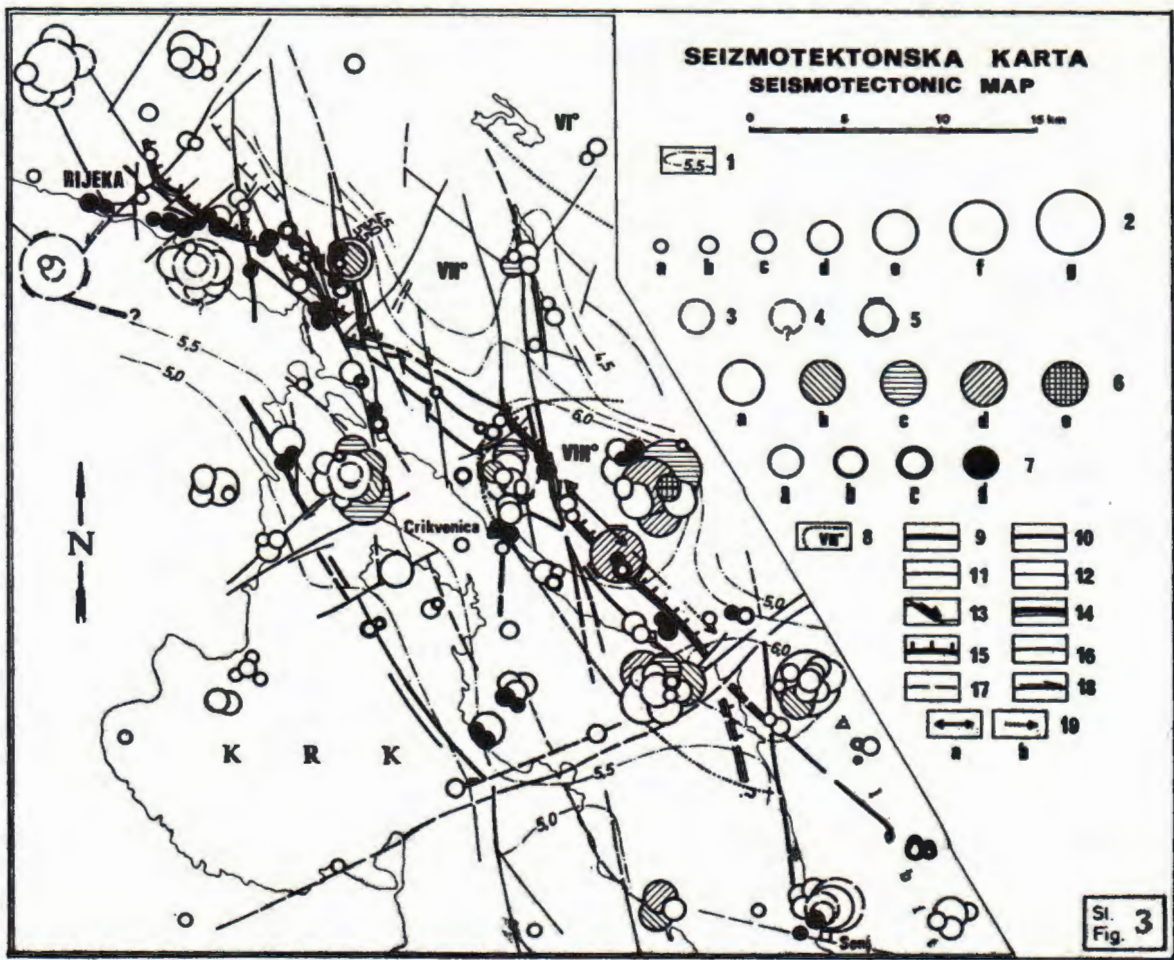
Fig. 3. Seismotectonic map

## Legend:

Seismotectonic data: 1 — the expected earthquake maximum magnitudes (seismotectonic zoning).

Seismological data: 2 — earthquake magnitudes (a,  $\leq 2,7$ ; b, 2,8—3,3; c, 3,4—3,9; d, 4,0—4,5; e, 4,5—5,0; f, 5,1—5,5; g, 5,6—6,0); 3 — the earthquakes occurred prior to year 1901; 4 — unreliable datum; 5 — probable position of epicentre; 6 — depths of hypocentres in km (a, no data; b, 0—9; c, 10—19; d, 20—29; e,  $\geq 30$ ); 7 — earthquake frequency (a, 1; b, 2—4; c, 5—7; d,  $>7$ ); 8 — surfaces of earthquake maximum intensities (seismic zoning).

Neotectonic data: 9 — faults with zones of rather strong pronounced seismotectonic processes; 10 — faults with zones of pronounced seismotectonic processes; 11 — faults with zones of less pronounced seismotectonic processes; 12 — neotectonically active faults by which the seismic activity is not established; 13 — horizontal shearing of blocks and seismically active section; 14 — seismically active section in the zones of longitudinal faults; 15 — reverse faults; 16 — faults without designation of the character; 17 — the fault assumed; 18 — faults with the indicated strike of horizontal displacement; 19 — zone of migration of earthquake epicentres: a) maximum earthquake magnitude about 6,0; b) about 5,5.



Slika 4. Geološko-geofizički profil

**Legenda:**

1 — pripovršinske strukture; 2 — pretpostavljena podinska ploha jurskih naslaga; 3 — reporni horizont seizmičkog refleksivnog profiliranja; 4 — linija totalnog intenziteta geomagnetskog polja; 5 — regionalni rasjed »Ilirska Bistrica—Rijeka—Senj«; 6 — rasjedi pri površini ili na nivou repernog seizmičkog horizonta; 7 — maksimalne magnitute potresa; 8 — seizmotektonski aktivna zona; 9 — smjer podvlačenja.

Fig. 4. Geological-geophysical cross section

**Legend:**

1 — near-surface structures; 2 — the assumed footwall of jurassic deposits; 3 — bench-mark horizon of seismic refleksive cross section; 4 — a total intensity line of the geomagnetic field; 5 — regional fault »Ilirska Bistrica—Rijeka—Senj«; 6 — faults near surface or in the level of bench-mark seismic horizon; 7 — earthquake maximum magnitudes; 8 — seismotectonically active zone; 9 — direction of subduction.



## Slika 5. Seizmotektonski model

## Legenda:

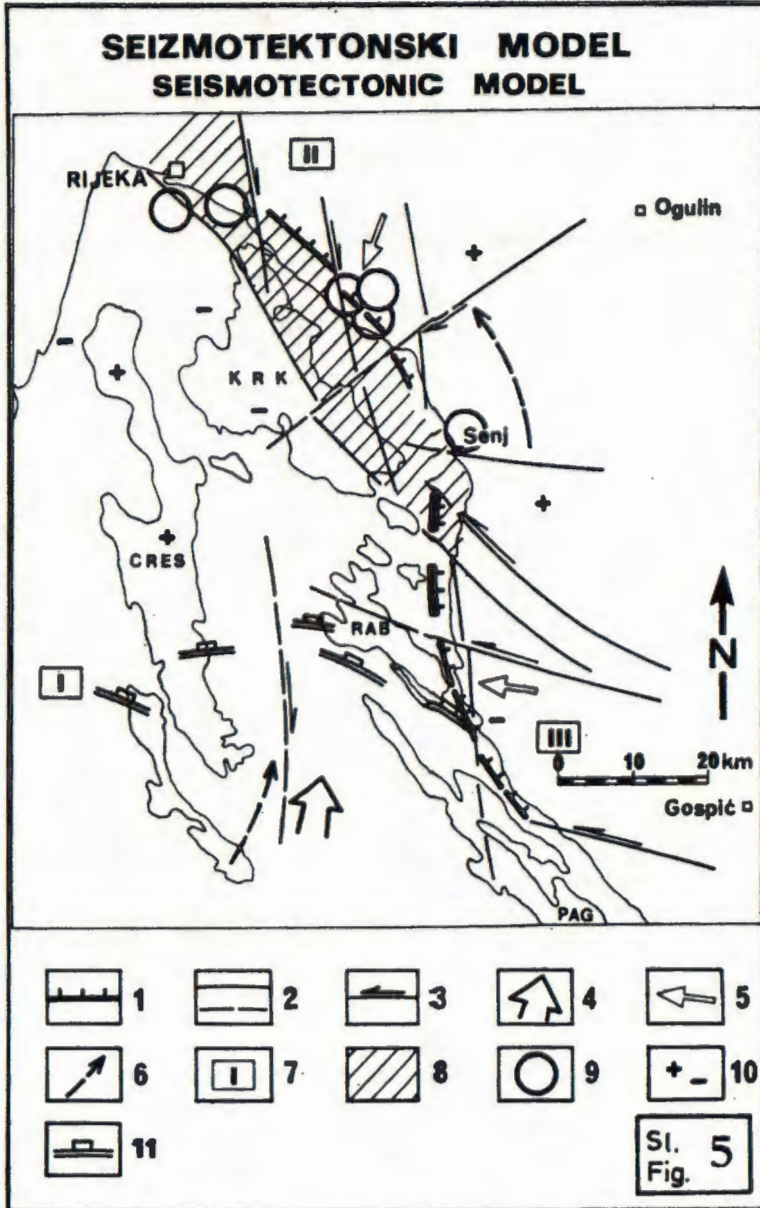
1 — uzdužni regionalni (reversni) rasjed; 2 — ostali važniji rasjedi (bez oznake karaktera); 3 — rasjed s naznakom smjera horizontalnog pomaka; 4 — pretpostavljeni smjer osnovnog potiska u dubini; 5 — pripovršinski smjer kretanja većih tektonskih jedinica; 6 — smjer rotacije tektonskih jedinica; 7 — neotektonska jedinica (I — Istra i područje kvarnerskih otoka; II — Gorski Kotar; III — Velebit); 8 — seizmički najaktivnija zona vinodolskog područja; 9 — epicentri potresa; 10 — važniji minimumi i maksimumi gravimetrijskog reziduala; 11 — granice (eventualno rasjedi) magnetskih tijela na dubini 15 km ili više.

## Fig. 5. Seismotectonical model

## Legend:

1 — longitudinal regional (reverse) fault; 2 — another rather important faults (without designation of the character); 3 — fault with the indicated strike of horizontal displacement; 4 — the assumed direction of the main force in the depth; 5 — near-surface direction of movement of bigger tectonic units; 6 — direction of tectonic units rotation; 7 — neotectonic units (I — Istra and region of Kvarner islands; II — Gorski Kotar; III — Velebit); 8 — the most active seismic zone of Vinodol area; 9 — earthquake epicentres; 10 — rather important minimums and maximums of gravimetric residual; 11 — borderlines (possibly faults) of magnetic bodies at the depth of 15 km or deeper.





stiješnjениh i rasjednutih bora. Zbog dijagonalnog osnovnog tektonskog potiska dolazi do horizontalnog smicanja tektonskih blokova duž rasjeda pravca pružanja sjever-jug, što povećava seizmotektonsku aktivnost.

Pojedini rasjedi obično čine zone od nekoliko paralelnih. Osim uzdužnih na površini se jače odražavaju rasjedi pravca pružanja sjever-jug. U zoni rasjeda koji brazdi između Fužina i Crikvenice u flišolikim naslagama vinodolske doline znatno je povećana erozija uz neprestano klizanje i pomicanje rastresitog materijala kojeg u spomenutoj zoni ima u većim količinama nego drugdje. Za vrijeme potresa 1916. godine zabilježeno je odlamanje stijena na padinama i stvaranja pukotina u tlu. Ustanovljene amplitude kvartalnih vertikalnih tektonskih pokreta iznose oko 200 m, a horizontalni pomak tektonskih blokova između Grižana i Bribira oko 4 km. Privremena seizmološka postaja u Triblju zabilježila je u razdoblju od 1. travnja do 30 lipnja 1978. godine 27 lokalnih potresa. Seizmička aktivnost se pojačala 1. svibnja 1979. godine. U samo mjesec dana dogodilo se više od 50 slabiji potresa između Kraljevice i Klenovice (istočno od Vinodola).

Predano 13. 6. 1979.

#### LITERATURA

- Aljinović, B. (1979): Studija o dubinskim repnim horizontima SI Jadrana. Fond. struč. dok. »Geofizike«, Zagreb.
- Biondić, B., Cvijanović, D., Skoko, D. & Vulić, Z. (1975): Seizmotektonska karta područja Rijeke. *Jug. Simp. o seiz. mikrorajon.*, Plitvice, 16—17. X 1975. Ins. grad. SRH, 1—5, Zagreb.
- Bojanić, L., Ivičić, D., Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Skoko, D. & Marić, K. (1978): PHE Vinodol — geološka, neotektonska, hidrogeološka i seizmološka istraživanja. Arh. »Elektroprojekt«, Zagreb.
- Brdarević, N. (1976): Geomagnetska istraživanja područja Jadranskog mora. Magistarski rad. Arh. PMF fak., Zagreb.
- Cvijanović, D. (1976): Jači potresi ( $\geq VI^{\circ}$  MCS) u SR Hrvatskoj. *Geol. vjesnik*, 19, 139—167, Zagreb.
- Cvijanović, D., Prelogović, E. & Skoko, D. (1976): Seizmotektonska karta SR Hrvatske. *Acta Seismologica Iugoslavica*, 4, 19—23, Beograd.
- Cvijanović, D., Skoko, D., Marić, K., Bojanić, L., Ivičić, D., Fritz, F., Prelogović, E., Zagorac, Z., Kranjec, V. & Velić, J. (1977): Procjena seizmičkih sila i definiranje projektnih parametara učinka potresa na lokaciji nuklearne elektrane Vir. Arh. »Elektroprivrede — Dalmacije«, Split.
- Čubrilo, V. (1938): Geološki sastav Vinodola i okoline. *Vesn. geol. inst. kralj. Jug.*, VII, 115—33, Beograd.
- Kišpatić, M. (1891): Potresi u Hrvatskoj. *Rad. JAZU*, 122, Zagreb.
- Koch, F. (1924): Sitni prinosi poznavanju tercijarne faune u Hrvatskoj, 2. Pliocenske paludinske naslage Vinodola u Hrvatskom Primorju. *Glas. Hrv. prirod. društ.*, XXXIV, 2, Zagreb.
- Kranjec, V. & Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriji SR Hrvatske. *Geol. vjesnik*, 27, 95—112, Zagreb.
- Mašaš, N. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ, list Cres 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P. & Milan, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Rab, 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Mihajlović, J. (1940): Seizmička dinamika Kvarnera. *Srp. kralj. Akad. Glas.*, CXXXIII, I, 91, Beograd.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. *Geol. vjesnik*, 28, 97—108, Zagreb.

- Salopek, M. (1960): Prilog poznavanju geološke građe Vinodola. *Acta geologica*, 2, JAZU, 137—161, Zagreb.
- Šikić, D., Polšak, A. & Magaš, N. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, list Labin 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Šikić, D., Pleničar, M. & Šparica, M. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ, list Ilirska Bistrica 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Šikić, D. & Polšak, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Labin 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Šikić, D. & Pleničar, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Ilirska Bistrica 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Sušnjar, A., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan, A., Šikić, D., Grimani, I., Vulić, Z. & Blašković, I., (1970): Osnovna geološka karta SFRJ, list Crikvenica 1:100000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- UND/UNESCO (1974): Survey of the Seismicity of the Balkan Region. Catalogue of Earthquakes, Part I, 1901—1970., Part II, Prior to 1901. UNESCO, Skopje.
- Zagorac, Ž. (1975): Neki rezultati magnetometrije u sklopu kompleksne geofizičke interpretacije kodručja Dinarida. *Nafta*, 26, 64—71, Zagreb.

### Seismotectonic characteristics of the Vinodol area

*E. Prelogović, I. Blašković, D. Cvijanović, D. Skoko, B. Aljinović*

The area considered is, from the seismic point of view, one of the most active in Croatia. This was the reason for more detail study of structural-tectonic relationships and the latest tectonic movements. Various geological, geophysical and seismological investigations were used. In the neotectonic map (Fig. 1) the active faults and amplitudes of vertical Neotectonic and Quaternary movements are presented. In the area covered by the seismotectonic map (Fig. 3) Quaternary vertical and horizontal movements occur. Significant are closed, overturned and faulted folds. The youngest are the faults with north-south strike along which horizontal displacements of tectonic blocks occur. The division of tectonic blocks, deposits complex and faults system in the Vinodol epicentral area may be seen in Fig. 2. Knowing the surface and subsurface structure in Figs. 4 and 5 the seismotectonic model has been presented. The causes of earthquake occurrences are tectonic movements. The main force in the depth is in north, northeast direction. Major tectonic units belonging to Istria and island region are moved rotating in the same direction. In the indicated seismotectonic active zone compression and subduction of the moved rock masses occur. Folding, breaking and shearing of rocks which occur in the area between Klana, Senj and the island of Krk is followed by the increased seismic activity.