

Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline

Eduard PRELOGOVIĆ i Josipa VELIĆ

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

Iznose se podaci o pretežno kvartarnim tektonskim pokretima. Izdvojeni su vertikalni i horizontalni pomaci uz pojedine rasjede. U kvartaru su najaktivnije zone Žumberačko-medvedničkog rasjeda, Kalničkog rasjeda, Južnog rubnog rasjeda Dravske potoline i Legradsko-koprivničkog rasjeda. Ustanovljene su debljine kvartarnih naslaga i aktivne strukture. Posebno se opisuju naslage iz Würma i navode se veličine pomaka duž rasjeda za razdoblje pliocen-kvartar, te odijeljeno kvartar i Würm.

Data about predominantly Quaternary tectonic movements are presented. Vertical and horizontal movements along separate faults have been established and differentiated. In the Quaternary, the most active zones are those of the Žumberak—Medvednica fault, the Kalnik fault, the southern border fault of the Drava depression, and the Legrad—Koprivnica fault. The thickness of the Quaternary deposits and the active structures have been established. The Würm deposits are separately described and the amplitudes of movements along the faults for the Pliocene-Quaternary periods and for the Quaternary-Würm periods, respectively, are presented.

UVOD

Područje Dravske potoline predstavlja jedno od neotektonski najaktivnijih dijelova Panonskog bazena. Najzanimljiviji je zapadni dio potoline koji predstavlja prostor veće seizmičke aktivnosti. S tim u vezi nastojalo se detaljnije razraditi kvartarne tektonske pokrete.

U ovom radu uzeto je u obzir područje između Ludbrega, Đurđevca i Ždala. Ono se intenzivnije istražuje zadnjih 25 godina. Iz brojnih dubokih bušotina i guste mreže seizmičkih profila prethodno je izvršena stratigrafska raščlamba i korelacija neogenskih naslaga (Pletikapić i dr., 1964). U nekoliko navrata izrađene su strukturne, paleostrukturne i litofacijelne karte (na pr. Kranjec i dr., 1971; Najdenovski, 1976; Simon, 1980; Barišić, 1984). Pojedini autori detaljnije raspravljaju o neotektonskim pokretima, aktivnim zonama i nastanku struktura (Gorjanović-Kramberger, 1894; Kranjec, 1971; Kranjec i dr., 1976; Šikić, 1976; Prelogović, 1974; Prelogović i dr., 1977; Šimunić i Šimunić, 1987).

O sastavu kvartarnih naslaga, debljinama i odnosima sa starijim naslagama u potolini zna se iz dubokih i plitkih bušotina i to manje o sta-

rijem i znato više o mlađem dijelu taložina. Pojedini su ustanovljene proučavanjem vodonosnih horizonata (npr. Urumović, 1971; Miletić i dr., 1971). Korelacija podataka u bušotinama omogućila je razradu kvartarnih naslaga na donjo, srednjo i gornjopleistocenske (Babić i dr., 1978; Sokáč, 1971). Na temelju geološkog kartiranja na površini istraživanog područja nalaze se kvartarne naslage, osim u Bilogori gdje su to sedimenti iz gornjeg ponta. Velike površine prekriva les. Uz obod Bilogore prema Dravi izdvajaju se riječne terase gornjopleistocenske i holocenske starosti, te oko Molva i Đurđevca eolski pijesci koji prekrivaju terase. Zapazilo se da su kvartarne naslage presječene rasjedima i inače deformirane tektonskim pokretima. Pojedini, već spomenuti autori jedinstveni su u ocjeni da su kvartarne deformacije najuočljivije duž zone Južnog rubnog rasjeda Dravske potoline. Daljinskim i geomorfološkim kartiranjem (Prelogović i dr., 1969; Oluić, 1979) registrirane su pojedini odražavanja struktura i rasjeda na površini.

Potica za detaljnije proučavanje neotektonskih i posebno kvartarnih pokreta bila su relativno obimna nova geofizička mjerenja i plitka bušenja, te seizmotektonska istraživanja epicentralnog područja Bilogore (Prelogović i dr., 1987). Prikupljeni su podaci o neotektonskim strukturama i amplitudama pokreta i posebno o najmlađem kvartarnom razdoblju geološkog razvitka.

NEOTEKTONSKI ODNOSI

Strukture razmatranog područja nastale su u neotektonskom razdoblju koje obuhvaća neogen i kvartar. Radi se o području smještenom u Panonskom bazenu i to u dodirnoj zoni sustava struktura Žumberačko-medvedničko-kalničkog pravca pružanja SI-JZ i struktura Dravske potoline pravca pružanja SZ-JI. U seizmotektonskom smislu to je granično područje dviju provincija: centralnog dijela i zapadne rubne zone Panonskog bazena. Kvartarni tektonski pokreti nastavljaju se na neogenske. Stoga se najprije prikazuju neotektonski odnosi, a zatim amplitude kvartarnih pokreta, aktivne strukture i rasjedi.

Strukture istraživanog područja u osnovi su tipa horstova i graba. Obilježavaju ih uzdužni, normalni rasjedi po kojima su one uzdignute ili spuštene. Na više poteza zapaženi su i uzdužni reverzni rasjedi npr. južno od Ludbrega i Koprivnice. U neotektonskoj karti (slika 1) imenovane su pojedine strukturne jedinice, te relativno veći horstovi, strukturni nosovi i grabe. Označene su osi struktura, a izolinije amplituda vertikalnih neotektonskih pokreta pokazuju njihove konture.

Za detaljnije upoznavanje dubinske geološke građe (prvi kilometri dubine uključujući stijene ispod neogenskih naslaga) poslužili su podaci geofizičkih istraživanja. Djelomično su poznate i deformacije Mohorovičićevog diskontinuiteta na dubinama 25—30 km (Aljinović i dr., 1987.). Na slici 1 označeni su samo minimumi i maksimumi rezidualnih anomalija koji pokazuju strukturne odnose neogenskih naslaga i neposredne podine, te zone najvećih gravimetrijskih gradijenata koji markiraju najaktivnije rasjede. Usporedbom podataka o dubinsko geološkoj građi sa seizmostratigrafskim i površinskim podacima uočene su značajke strukturnih odnosa i neotektonske aktivnosti.

Rasjedi se prema pružanju svrstavaju u četiri grupe:

- uzdužni rasjedi paralelni strukturama Žumberačko-medvedničko-kalničkog sustava, generalno pravca pružanja SI-JZ (lokalno duž rotiranih struktura I-Z);
- uzdužni rasjedi paralelni strukturama Dravske potoline, pravca pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI);
- dijagonalni rasjedi na Žumberačko-medvedničko-kalnički sustav struktura, pravca pružanja ZSZ-IJI;
- dijagonalni rasjedi na strukture Dravske potoline, pravca pružanja SSZ-JJI i ISI-ZJZ.

Uzdužni rasjedi su normalni i mjestimice reverzni. Nagib paraklaza najčešće je strm: 75—80°. Dijagonalni do poprečni rasjedi također su strmog nagiba ili vertikalni. Iz odnosa krila kod rasjeda s horizontalnom komponentom kretanja zapaža se da su rasjedi strmog nagiba normalni, mjestimice i reverzni. Najvažniji rasjedi uvijek su predstavljeni zonom od dva ili više paralelnih rasjeda i ogranaka.

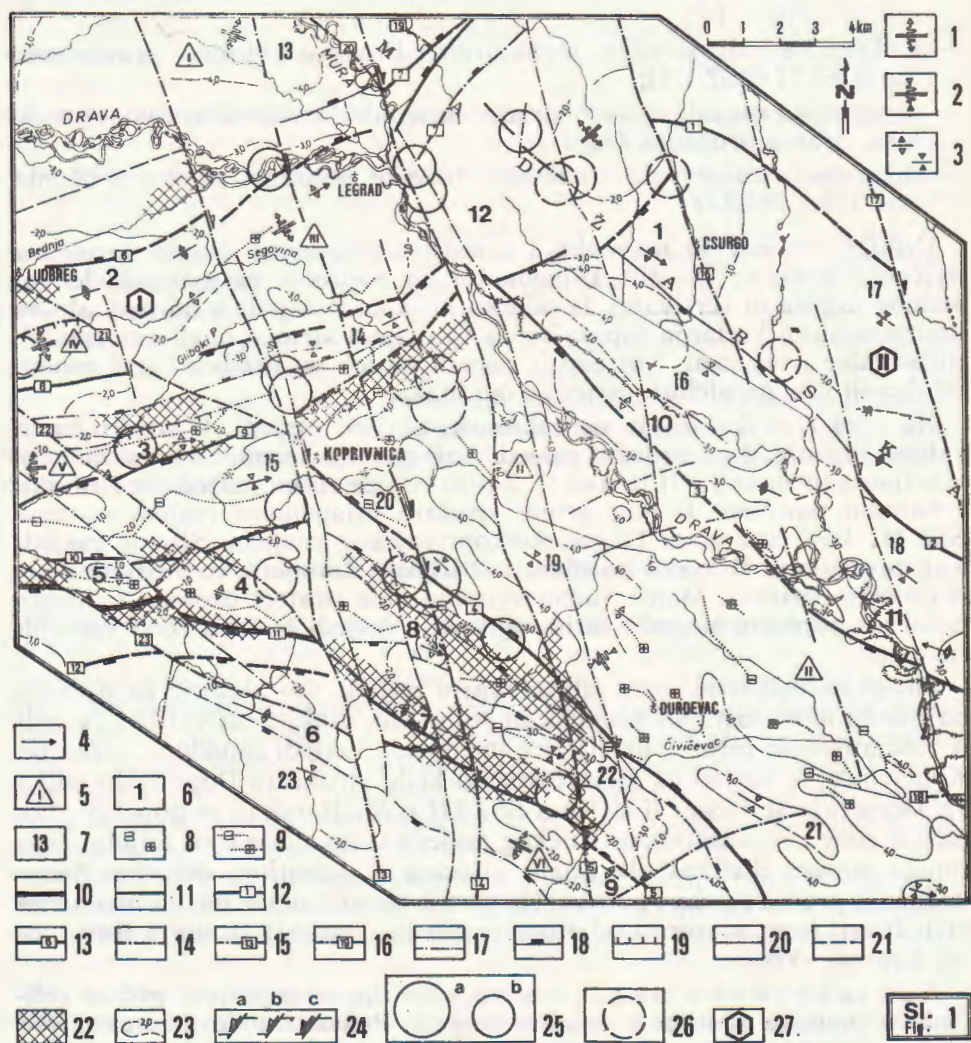
Na slici 1. prikazani su neotektonski aktivni rasjedi. U strukturnom sklopu najvažniji su uzdužni rasjedi koji graniče seizmotektonskim provincijama (oznake I i II u slici 1). Zatim slijede rubni rasjedi uz Dravsku i Mursku potolinu. U istu grupu spadaju dijagonalni rasjedi sistema SSZ-JJI koji čine zonu Legradsko-koprivničkog rasjeda. Slijede rasjedi koji presijecaju Dravsku potolinu i strukture Žumberačko-medvedničko-kalničkog sustava. Manje važnu skupinu čine prateći uzdužni i dijagonalni do poprečni rasjedi, zatim ogranci i rasjedi iz širih zona važnijih rasjeda.

Mnogi rasjedi izravno se odražavaju u reljefu, što ukazuje na njihovu najmlađu aktivnost. Na satelitskim snimcima osobito su vidljivi rasjedi u raščlanjenom reljefu, primjerice imenovani rasjedi zapadno i južno od Koprivnice, te rasjed uz sjeveroistočno krilo strukture Dugo brdo (slika 1). Ocrtavaju se i rasjedi sistema SSZ-JJI u Mađarskoj, te pojedine dionice iz zone Legradsko-koprivničkog rasjeda u ravničarskom reljefu. Tektonski pomaci duž rasjeda imaju utjecaja u recentnim deformacijama uzdužnih profila rijeka i potoka. Na slici 2. to su dionice naglih promjena vrijednosti (npr. sjeverno od Koprivnice) ili pružanja izolinja (npr. potez Legrad—Virje).

Neotektonska aktivnost najbolje se ocjenjuje prema veličinama pomaka naslaga u zonama rasjeda. Promatranjem neotektonske karte (slika 1) uočava se prisutnost vertikalnih i horizontalnih pomaka. Za utvrđivanje skoka mogu poslužiti sumarne amplitude neotektonskih pokreta. Veličine hoda uočavaju se iz pomaka rasjeda, struktura ili većih jedinica, te iz promjene pravca pružanja struktura.

Prema veličini vertikalnih neotektonskih pokreta izdvajaju se ove najaktivnije zone rasjeda:

- Žumberačko-medvednički rasjed: vertikalni pomak 1000 m (jugozapadno od Koprivnice) do 2500 m (Medvednica) za razdoblje neogen—kvartar; samo za kvartar 150 do 300 m; širina zone 2 do 5 km;



Sl. 1. Neotektonska karta

Fig. 1. Neotectonic map

Legenda uz sliku 1

Strukture. 1 — os antiklinorija (horst-antiklinorija); 2 — os sinklinorija (grabe-sinklinorija); 3 — os antiklinale i sinklinale (horst-antiklinale i grabe-sinklinale); 4 — tonjenje osi antiklinale i sinklinale; 5 — potoline (grabe-sinklinoriji) i veliki horstovi (horst-antiklinoriji): Murska potolina (I), Dravska potolina (II), horst-antiklinorij Legrada (III), Varaždinsko gorje (IV), Kalnik (V), Zakany—Iharosbereny (VI), Bilogora (VII); 6 — relativno veći horstovi (horst-antiklinale) i strukturni nosovi: Csurgo (1), Ludbreg (2), Dugo brdo (3), Jagnjedovac (4), Lepavina (5), Topolovac (6), Mosti (7), Novigrad (8), Bilo (9), Gola (10), Ferdinandovac (11), Zakany (12); 7 — relativno veće grabe (grabe-sinklinale): Nagykanizska (13), Goričani—Kotoriba (14), Đelekovečka (15), Berzence (16), glavna graba sjeverne rubne zone Dravske potoline (17), Belavarska (18), Komarnička (19), Bregi (20), glavna graba južne rubne zone Dravske potoline (21), Šemovci (22), Zrinski Topolovac—Kapela (23); 8 — važniji minimumi i maksimumi gravimetrijskih anomalija; 9 — osi najvećih minimuma i maksimuma gravimetrijskog reziduala.

Rasjedi. Uzdužni rasjedi: 10 — regionalni rasjedi granični seizmotektonskim provincijama; 11 — rubni potolinski rasjedi i važni aktivni rasjedi; 12 — važniji rasjedi paralelni Dravskoj potolini, pravca pružanja SZ—JI: Sjeverni rubni rasjed Dravske potoline (1), rasjed Berzence—Somogyudvarheli (2), rasjed Gola—Ferdinandovac (3), Virjanski rasjed (4), Južni rubni rasjed Dravske potoline (5); 13 — važniji rasjedi Žumberačko-medvedničko-kalničkog pravca pružanja SI—JZ: Ludbreški rasjed (6), Nagykanizski rasjed (7), Đelekovečki rasjed (8), Kalnički rasjed (9), Jagnjedovački rasjed (10), Žumberačko-medvednički rasjed (11), Carevdarski rasjed (12). Dijagonalni rasjedi: 14 — rasjedi koji presijecaju Dravsku potolinu ili sustav struktura Žumberačko-medvedničko-kalničkog pravca pružanja; 15 — važniji dijagonalni rasjedi na Dravsku potolinu, pravca pružanja SSZ—JJI do S—J i IS1—ZJZ: glavni rasjedi iz zone Legradsko-koprivničkog rasjeda — Draškovec—Koprivnica—Mosti (13), Letenje—Bregi (14), Legrad—Virje (15); rasjed Nagykanizsa—Csurgo (16), rasjed Somogyszobb—Tarany (17), Kloštarski rasjed (18); 16 — važniji dijagonalni rasjedi na Žumberačko-medvedničko-kalnički sustav struktura pravca pružanja ZSZ—IJI: Murski rasjed (19), Letenjski rasjed (20), Bolfanski rasjed (21), Sokolovački rasjed (22), Apatovački rasjed (23); 17 — prateći uzdužni, dijagonalni i poprečni rasjedi, ogranci i rasjedi iz širih zona važnijih rasjeda; 18 — normalni rasjedi; 19 — reversni rasjedi; 20 — rasjedi bez oznake karaktera, vjerojatno subvertikalni i vertikalni; 21 — pretpostavljene dionice rasjeda; 22 — zone najvećih gravimetrijskih gradijenata.

Amplitude neotektonskih pokreta. 23 — sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta (u km); 24 — sumarne amplitude horizontalnih neotektonskih pokreta: a) do 1 km, b) 1 do 2 km, c) oko 5 km u zoni Legradsko-koprivničkog rasjeda.

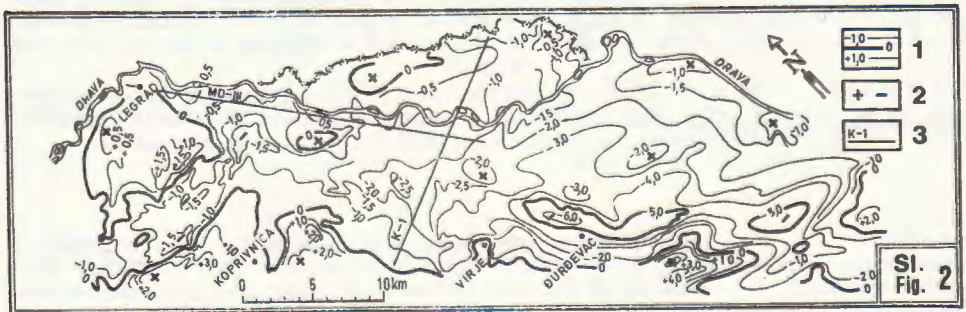
Epicentri potresa. 25 — magnitude: a) 3,8—5,0, b) 5,1—5,6; 26 — potresi koji su se dogodili prije 1900. godine; 27 — seizmotektonske provincije: Zapadna rubna zona Panonskog bazena (I), Centralni dio Panonskog bazena (II).

Structures. 1 — anticlinorium axis (horst-anticlinorium); 2 — synclinorium axis (graben-synclinorium); 3 — anticline and syncline axis (horst-anticline and graben-syncline); 4 — sinking of the anticline and syncline axis; 5 — depression (graben-synclinorium) and big horsts (horst-anticlinorium): Mura river depression (I), Drava river depression (II), horst-anticlinorium Legrad (III), Varaždin Mt. (IV), Kalnik Mt. (V), Zakany-Iharosbereny Mt. (VI), Bilogora Mt. (VII); 6 — relatively bigger horsts (horst-anticline) and structural noses: Csurgo (1), Ludbreg (2), Dugo brdo (3), Jagnjedovac (4), Lepavina (5), Topolovac (6), Mosti (7), Novigrad (8), Bilo (9), Gola (10), Ferdinandovac (11), Zakany (12); 7 — relatively bigger grabens (graben-syncline): Nagykanizsa (13), Goričani—Kotoriba (14), Đelekovec (15), Berzence (16), main graben of the Northern marginal zones of the Drava river depression (17), Belavar (18), Komarnica (19), Bregi (20), main graben of the Southern marginal zones of the Drava river depression (21), Šemovci (22), Zrinski Topolovac—Kapela (23); 8 — more important minimums and maximums of gravimetric anomalies; 9 — axis of minimum and maximum of gravimetric residuals.

Faults. Longitudinal faults: 10 — regional faults delimiting seismotectonic provinces; 11 — marginal depression faults and more important active faults; 12 — more important faults parallel with the Drava river depression (with NW—SE strike): Northern marginal fault of the Drava river depression (1), Berzence—Samogyudvarheli fault (2), Gola—Ferdinandovac fault (3), Virje fault (4), Southern marginal fault of the Drava river depression (5); 13 — more important faults of the Zumberak—Medvednica—Kalnik structures with NE—SW strike: Ludbreg fault (6), Nagykanizsa fault (7), Đelekovec fault (8), Kalnik fault (9), Jagnjedovac fault (10), Zumberak—Medvednica fault (11), Carevdar fault (12). Diagonal faults: 14 — faults that cut across the Drava river depression or the system of structures striking in the Zumberak—Medvednica—Kalnik direction; 15 — more important diagonal faults cutting the Drava river depression with NNW—SSE to N—S and ESE—WSW strike: faults singled out from zone of Legrad—Koprivnica fault — Draškovci—Koprivnica fault (13), Letenje—Bregi fault (14), Legrad—Virje fault (15), Nagykanizsa—Csurgo fault (16), Somogyzobb—Tarany fault (17), Kloštar fault (18); 16 — more important diagonal faults cutting the Zumberak—Medvednica—Kalnik structures with WNW—ESE strike: Mura fault (19), Letenje fault (20), Bolfan fault (21), Sokolovac fault (22), Apatovac fault (23); 17 — secondary, accompanying longitudinal, diagonal and transversal faults, branches and faults singled out from broader zones of more important faults; 18 — normal faults; 19 — reverse faults; 20 — faults without characteristics designation, probably vertical or subvertical faults; 21 — faults supposed; 22 — zones of maximum gravimetric gradients.

Amplitudes of neotectonic movements. 23 — summary amplitudes of vertical neotectonic movements (in km); 24 — summary amplitudes of horizontal neotectonic movements: a) to 1 km, b) 1 to 2 km, c) about 5 km in the zone of Legrad—Koprivnica fault.

Earthquake epicenters. 25 — magnitudes: a) 3,8—5,0, b) 5,1—5,6; 26 — earthquakes that occurred before 1900 A. D.; 27 — seismotectonic provinces: Western marginal zone of the Pannonian Basin (I), Central part of the Pannonian Basin (II).

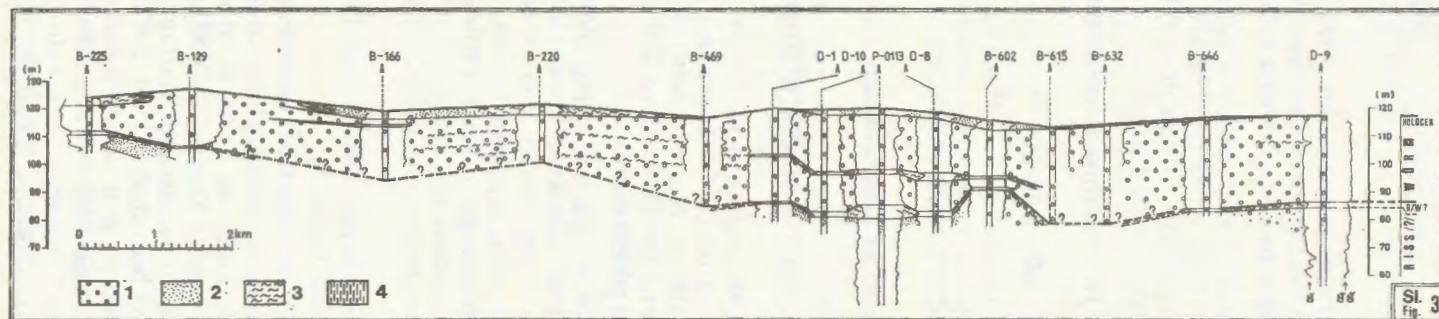


Sl. 2. Karta deformacija uzdužnih profila rijeka i potoka

1 — izolnije deformacija u metrima; 2 — pozitivne i negativne deformacije uzdužnih profila u predjelu uzdignutih i spuštenih struktura; 3 — seizmički, refleksivni profili.

Fig. 2. Longitudinal deformation map of the rivers and streams

1 — isolines of deformations (in meters); 2 — positive and negative deformations of longitudinal profiles in the areas of uplifted and sunken structures; 3 — seismic, reflexion profiles.



Sl. 3. Shematski korelacijski profil
 1 — prah; 2 — glina; 3 — pijesak; 4 — šljunak.

Fig. 3. Schematic correlation profile
 1 — silt; 2 — clay; 3 — sand; 4 — gravel.

- Južni rubni rasjed Dravske potoline: vertikalni pomak 1000 do 2000 m (u obuhvaćenom području) i 3000 m kod Virovitice za razdoblje neogen-kvartar; samo za kvartar 100 do 350 m; širina zone 4 do 6 km;
- Kalnički rasjed: vertikalni pomak oko 1000 m (u obuhvaćenom području) do 2000 m (Kalnik) za razdoblje neogen-kvartar; samo za kvartar do 150 m (do 200 m u Kalniku); širina zone 1 do 1,5 km.

Horizontalna komponenta neotektonskih pokreta prisutna je osobito kod dijagonalnih do poprečnih rasjeda sistema SSZ-JJI i SZ-JI. Duž tih rasjeda zapravo se radi o dijagonalnom rezultatnom tektonskom kretanju s obzirom na horizontalnu ravninu. Izdvajaju se:

- rasjed Legrad — Virje zajedno s njegovim ogranakom Komatničkim rasjedom: 2,5 km;
- rasjed Letenje-Bregi: oko 1,5 km;
- rasjed Draškovec-Koprivnica-Mosti: oko 1,5 km (sva tri navedena rasjeda pripadaju zoni Legradsko-koprivničkog rasjeda, pa je ukupni horizontalni pomak struktura u toj zoni uz rub Bilogore oko 5,5 km);
- Apatovački rasjed zajedno s ogranakom: oko 3,5 km.

AMPLITUDE KVARTARNIH TEKTONSKIH POKRETA

Kvartarne naslage u istraživanom području različitih su debljina. Najmanje su ustanovljene duž horst-antiklinorija Legrada i to u bušotinama kod Botova 12 m i Legrada 14 i 100 m. Najveće debljine poznate su kod Pitomače 375 m, te Hlebina 140 m i Ferdinandovca 250 m (u oba slučaja bušenje je zaustavljeno u donjem pleistocenu).

Odijeljene su naslage donjeg, srednjeg i gornjeg pleistocena te holocena (Babić i dr., 1979). Najveći dio kvartarnih naslaga sačinjavaju pretežno šljunci, pijesci i gline donjeg pleistocena. Srednji dio naslaga značajan je po čestoj izmjeni šljunaka, pijesaka i glina. Najmlađe naslage su najtanje, ali zato najbolje proučene. Podaci o njima prikupljeni su iz brojnih plitkih bušotina, geofizičkih mjerenja u bušotinama (radioaktivna karotaža) i relativno guste mreže geoelektričnih profila (Prelgović i dr., 1987).

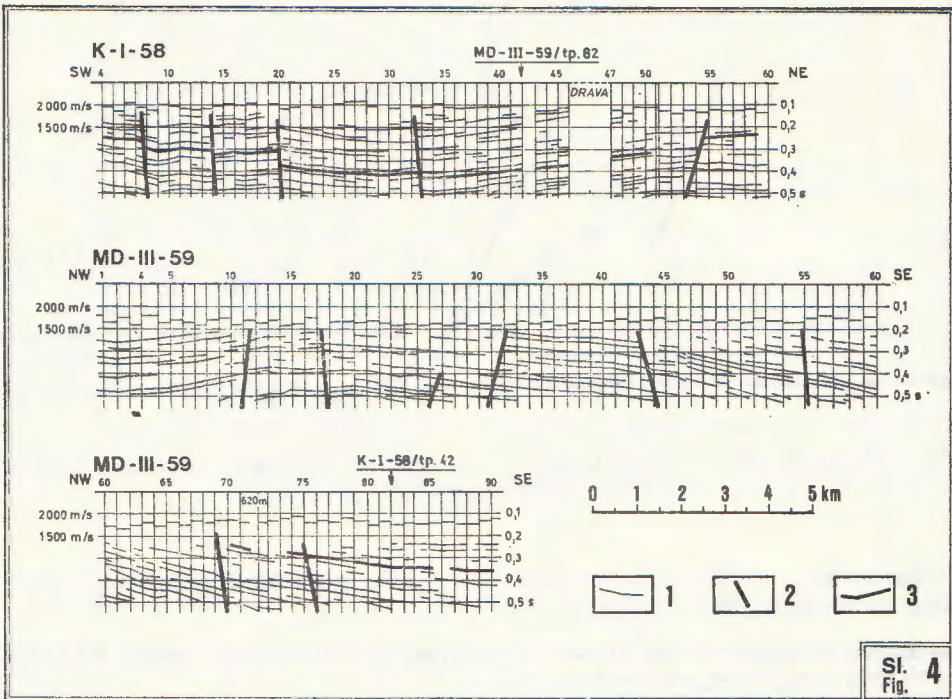
Najdetaljnije je proučeno područje oko toka rijeke Drave, gdje je načinjen shematski korelacijski profil (slika 3).

Kao würmski procijenjeni su krupnoklastični sedimenti, mahom šljunci koji leže neposredno ispod relativno tankog glinovito-prašinstog holocenskog pokrivača. Debljina im se kreće od 10 do 40 m s tim da se generalno povećava od zapada prema istoku. Unutar ovih šljunaka lokalno se rasprostiru proslojci i leće glinovito-pjeskovitih naslaga debljine od nekoliko metara. U dijelu profila od bušotine D-1 do B-602 bilo je moguće jasno pratiti takav jedan proslojak, pa je u skladu s tim i izdvojen. Ispod šljunaka würmske starosti slijedi nekoliko metara debeli glinovito-prašinsti sloj, a zatim ponovo šljunci i pijesci u intervalu od više desetaka metara. I oni imaju više ili manje izražene proslojke sitnozrnastijih ta-

ložina — silta i glina. Pretpostavlja se (Prelogović, 1974) da je starost prvog kontinuiranog glinovitog sloja riss-würm, a šljunaka i pijesaka ispod njega riss.

Strukturni odnosi u kvartarnim naslagama otkriveni su pomoću geofizičkih profila relativno gusto raspoređenih u prostoru prikazanom na slici 5. To su geoelektrični profili do dubine 100 m i reinterpretirani reflektivni profili do dubine 500 m. Zapaženo je da se strukture u kvartarnim naslagama podudaraju sa strukturama u pliocenskim naslagama. Za ilustraciju priložena su dva reflektivna profila na slici 4. (K-I, duž kojeg su najdeblje kvartarne naslage i MD-III s prikazom zatanjenja kvartarnih naslaga i strukturne građe horst-antiklinorija Legrada).

Na slici 5. prikazane su sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta za pliocen i kvartar (nivo EK-repera D' koji je najbliži podinskoj plohi pliocena) i posebno za kvartar. Podinska ploha kvartarnih naslaga približno je ustanovljena. Zatvorene konture prikazanih izolinja ocrtavaju veće i lokalne strukture i tektonske blokove.

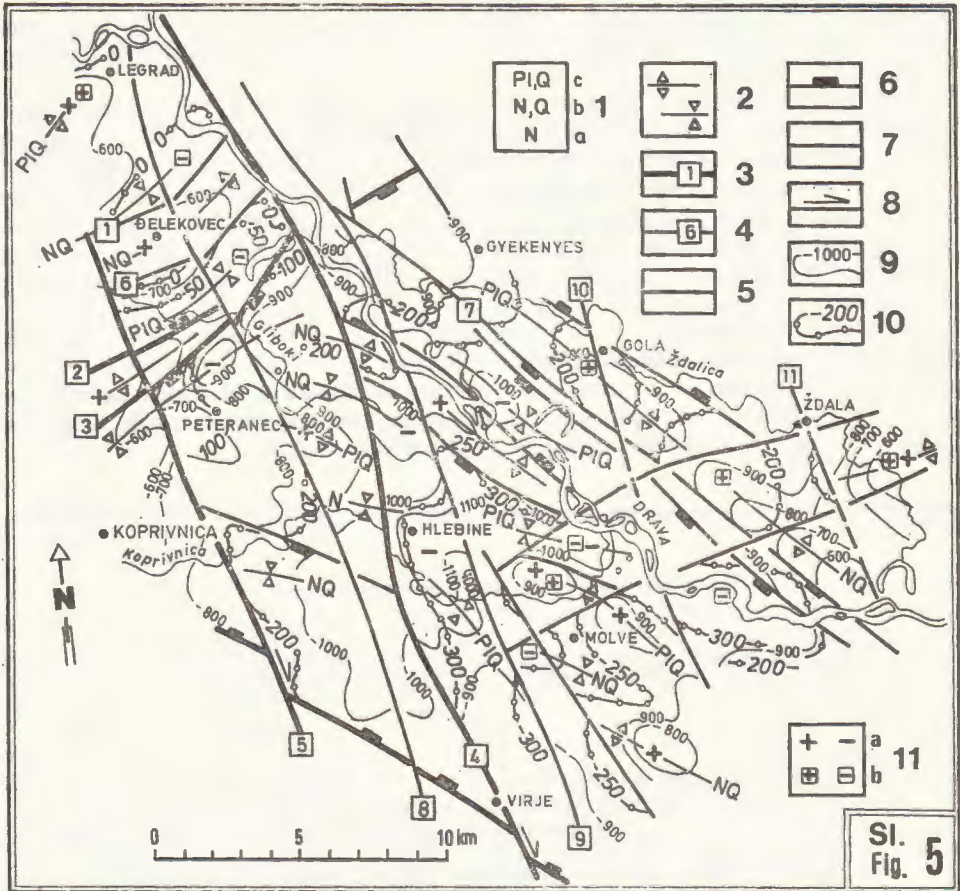


Sl. 4. Seizmički, reflektivni profili (prema Aljinoviću iz Prelogović i dr., 1987)

1 — refleksi slojeva; 2 — rasjedi; 3 — reporni horizont, moguća podinska ploha kvartarnih naslaga.

Fig. 4. Seismic, reflection profiles (after Aljinović from Prelogović et al., 1987)

1 — reflexions of beds; 2 — faults; 3 — marker plane; possibly of lower bedding plane of the Quaternary deposits.



Sl. 5. Karta amplituda neotektonskih pokreta za razdoblje pliocen—kvartar i kvartar
 Fig. 5. Map showing of amplitudes of neotectonic movements for the Pliocene-Quaternary and Quaternary periods

Na temelju dobivenih vrijednosti o deformacijama podinske plohe kvartarnih naslaga proizlazi:

- najveće spuštanje do nivoa 300 m prati se u predjelu između Hlebina i Komatnice prema Ferdinandovcu;
- duž struktura Molve i Gola podinska ploha kvartarnih naslaga nalazi se na dubini 200 i 250 m;
- najpliće se spomenuta ploha nalazi duž horst-antiklinorija Legrad na dubinama +50 m (ili još pliće) do 0 m.

Strukture su klasificirane po vremenu najveće aktivnosti. One aktivne samo u neogenu, u obuhvaćenom području, izdvojene su na četiri mjesta. Zanimljive su horst-antiklinale Drnje i Gola, jer pružanje osi donekle ukazuje na njihovu povezanost u prvim fazama neotektonskog razdoblja.

Važne su strukture koje su aktivne u neogenu i kvartaru. One daju osnovno obilježje strukturnih odnosa promatranog područja: isticanje horst-antiklinorija Legrada, strukturnih nosova kod Ferdinandovca i Ždala i ocrtavanje graba-sinklinala kod Komarnice, Ledine i Gliboki potoka. Kroz pliocen i kvartar aktivni su horstovi: Gola, Stara Drava i Molve i grabe: Otočka i Komarnica.

Posebno su zanimljive strukture aktivne u najmlađem dijelu kvartara. U predjelu prikazanom na slici 6 bilo je moguće nakon provedene korelacije niza dijagrama radioaktivne karotaže, prirodne i pobuđene (γ , $\gamma\gamma$) izdvojiti za reporni nivo podinu würmskih šljunaka koji su markantno odijeljeni od starijih sedimenata i na geoelektričnim profilima. Interpolacijom podataka o apsolutnim visinama (kotama) spomenute podinske plohe na nizu lokacija, nastala je priložena strukturna karta. Značajke položaja promatranog repera posljedica su i tektonskih i facijalnih prilika, relativno kompliciranih, jer je poznato da su jezersko-močvarno-riječne naslage građene od »prstastih« čestih bočnih izmjena različitih klasita.

Legenda uz sliku 5

Vrijeme najveće aktivnosti struktura. 1 — a) neogen, b) neogen, kvartar, c) pliocen, kvartar; 2 — os antiklinale i sinklinale (horst-antiklinale i grabe-sinklinale).

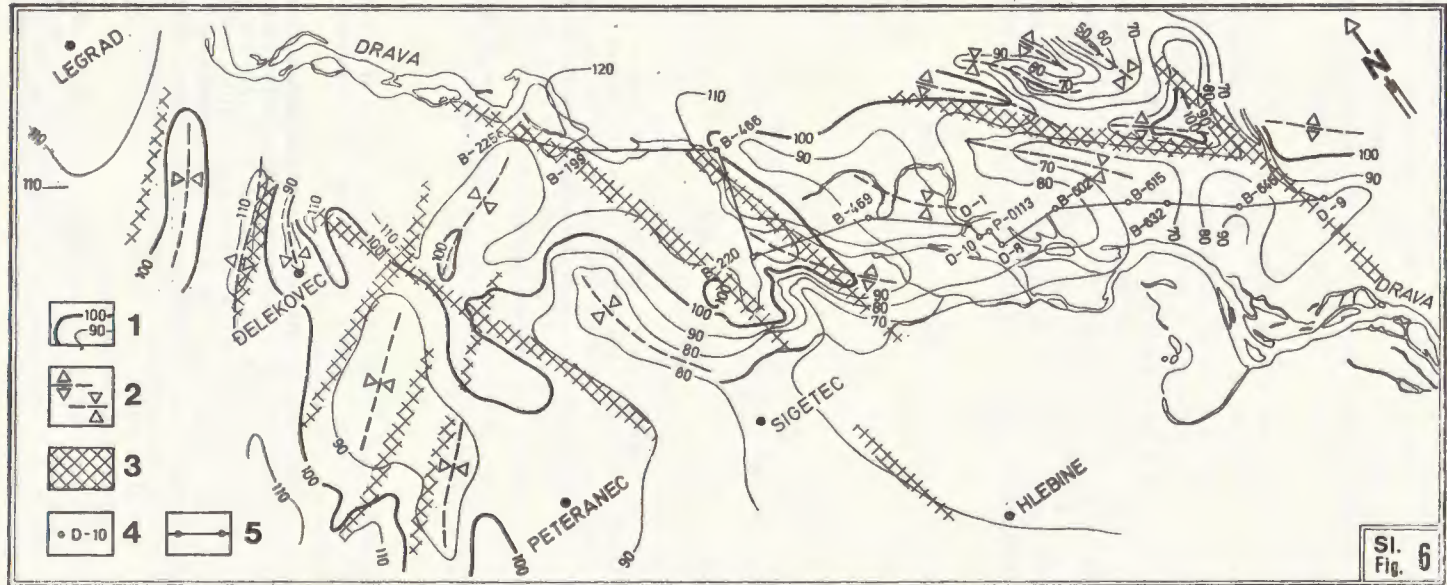
Rasjedi (klasificirani prema zadnjem utvrđenom vertikalnom i horizontalnom pomaku naslaga u pliocenu i kvartaru). 3 — umjereno aktivni rasjedi (tektonski pokreti 0,01—0,1 cm/god.): Imbrijovečki rasjed (1), Ivanečki rasjed (2), Kalnički rasjed (3), rasjed Legrad—Virje (4), rasjed Letenje—Bregi (5); 4 — malo aktivni rasjedi (tektonski pokreti 0,001—0,01 cm/god.): Đelekovečki rasjed (6), rasjed Gola—Ferdinandovac (7), rasjed Legrad—Drnje (8), Komarnički rasjed (9), Golski rasjed (10), Ždalski rasjed (11); 5 — vrlo malo aktivni rasjedi (tektonski pokreti do 0,001 cm/god.): 6 — normalni rasjedi; 7 — vjerojatno subvertikalni i vertikalni rasjedi; 8 — rasjedi s naznakom horizontalnog pomaka.

Amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta. 9 — približno za pliocen i kvartar; 10 — za kvartar; 11 — najuzdignutiji i najspušteniji dijelovi struktura: a) u pliocenu i b) u kvartaru.

Time of maximum activity of the structures. 1 — a) Neogene, b) Neogene, Quaternary, c) Pliocene, Quaternary; 2 — anticline and syncline axis (horst-anticline and graben-syncline).

Faults (categorized according to the most recent period vertical and horizontal movements in the Pliocene and Quaternary). 3 — moderate active faults (tectonic movements 0,01—0,1 cm/year): Imbriovec fault (1), Ivanec fault (2), Kalnik fault (3), Legrad—Virje fault (4), Letenje—Bregi fault (5); 4 — low active faults (tectonic movements 0,001—0,01 cm/year): Đelekovec fault (6), Gola—Ferdinandovac fault (7), Legrad—Drnje fault (8), Komarnica fault (9), Gola fault (10), Zdala fault (11); 5 — faults with low rates of activity (tectonic movements to 0,001 cm/year); 6 — normal faults; 7 — probably vertical or subvertical faults; 8 — faults with direction of horizontal displacement.

Amplitudes of vertical neotectonic movements. 9 — approximately for the Pliocene and Quaternary; 10 — for the Quaternary; 11 — most uplifted and most subsided parts of the structures: a) in the Pliocene, b) in the Quaternary.



Sl. 6. Strukturna karta po podinskoj plohi naslaga Würma

1 — stratoizohipse podinske plohe naslaga würma; 2 — os antiklinale i sinklinale;
3 — aktivne dionice rasjeda; 4 — bušotina; 5 — trasa shematskog korelacijskog
profila.

Fig. 6. Structural map on the lower bedding plane of the Würm deposits

1 — stratum contour lines of the lower bedding plane of the Würm deposits; 2 —
anticline and syncline axis; 3 — active segments of faults; 4 — borehole; 5 — trace
of the schematic correlation profile.

Tablica — Table 1.

Klasifikacija rasjeda prema utvrđenom vertikalnom i horizontalnom pomaku naslaga u pliocenu i kvartaru

Faults categorized according to the period of vertical and horizontal movements in the Pliocene and Quaternary

Rasjedi	Vertikalni pokreti			Horizontalni pokreti
	Pl, Q cm/god.	Q cm/god.	Würm cm/god.	Pl, Q cm/god.
Faults	Vertical movements			Horizontal movements
	Pl, Q cm/year	Q cm/year	Würm cm/year	Pl, Q cm/year
1. Uzdužni rasjedi SI—JZ				
— Imbrijovečki rasjed (1)	—	—	0,015 (a)	
— Đelekovečki rasjed (6)	—	—	0,007 (b)	
— Ivanečki rasjed (2)	0,002 (b)	—	0,011 (a)	
— Kalnički rasjed (3)	0,003 (b)	0,007 (b)	0,019 (a)	
— Žumberačko-medvednički rasjed	—	0,015 (b)	—	
2. Uzdužni rasjedi SZ—JI				
— rasjed Gola—Ferdinandovac (7)	—	0,004 (b)	0,003 (b)	
— Južni rubni rasjed Dravske potoline		0,015 (a) (0,017)		
3. Dijagonalni do poprečni rasjedi SSZ—JJI				
— rasjed Legrad—Virje (4)	—	0,002 (b)	—	0,03 (a)
— rasjed Letenje—Bregi (5)	—	—	—	0,02 (a)
— rasjed Legrad—Drnje (8)	—	0,002 (b)	—	0,002 (b)
— Komatnički rasjed (9)	—	0,002 (b)	—	0,005 (b)
— Golski rasjed (10)	—	—	—	0,002 (b)
— Ždalski rasjed (11)	—	0,002 (b)	—	0,002 (b)
— zona Legradsko—Koprivničkog rasjeda	—	—	—	0,078 (a)

a) moderate active faults (tectonic movements 0,01—0,1 cm/year)

b) low active faults (tectonic movements 0,001—0,01 cm/year)

Sadržaj karte upućuje na nove, ili dijelom nove zanimljive činjenice i i zaključke. Jedan od njih je da su tektonski pokreti izraženi i za vrijeme trajanja gornjeg pleistocena i holocena, pri čemu su točno definirane trase rasjeda duž kojih se paraklaza odvijala aktivnost. Od uzdužnih, došli su do izražaja Imbrijovečki rasjed (dionica Đelekovec), Đelekovečki rasjed (dionica Zorje-Keter), Ivanečki i Kalnički rasjed (dionice Koprivnički Ivanec-Torčec) te rasjed Gola-Ferdinandovac (dionica Gola—Donje Polje).

U drugoj skupini, dijagonalnih do poprečnih, izdvojeni su rasjedi *Letenje—Bregi* (dionica *Đelekovec—Petranec*), *Legrad—Virje* (dionica *Legrad—Sigetec—Hlebine*), *Komatnički* (dionica *Stara Drava—Gliboki potok*) i *Golski* (dionica *Gola—Drava*).

Kao posljedica sinsedimentacijske aktivnosti rasjeda, ali i prilika vezanih za okoliš, na priloženoj karti su iskazane i određene strukture. To su manje lokalne sinklinale (grabe) i antiklinale (horstovi) obilježene povećanim odnosno smanjenim debljinama šljunkovitih würmskih taložina. Označene strukture su korelatne s pliocensko-kvartarnim strukturama.

Na temelju zadnjeg utvrđenog vertikalnog i horizontalnog pomaka naslaga duž rasjeda određena je njihova aktivnost. Vertikalni pomaci odnose se na razdoblja pliocen-kvartar i würm. Potencijalni recentno aktivni rasjedi sijeku naslage würma. Horizontalni pomaci duž sistema rasjeda SSZ-JJI obuhvaćaju razdoblje pliocen-kvartar.

Prema aktivnosti, rasjedi su svrstani u tri grupe (u tablici su prikazani rasjedi prve dvije grupe):

- a) umjereno aktivni rasjedi (tektonski pokreti 0,01—0,1 cm/god);
- b) malo aktivni rasjedi (tektonski pokreti 0,001—0,01 cm/god);
- c) vrlo malo aktivni rasjedi (tektonski pokreti do 0,001 cm/god);

ZAKLJUČAK

Područje zapadnog dijela Dravske potoline odlikuje se relativno većom neotektonskom aktivnošću. To je i razumljivo s obzirom da se ono nalazi u dodirnoj zoni dvaju različitih sustava struktura, gdje su tektonski pritisci najveći. Recentna prisutnost tektonskih pokreta uzrokuje nastajanje potresa. Koncentracija epicentara potresa obilježava prostor mogućih recentnih strukturnih promjena. Novi podaci o neotektonskim i osobito kvartarnim pokretima unose više detalja u mehanizam tektonskih kretanja.

U prostoru obuhvaćenog područja, *Kalnika* i *Medvednice*, primarna su tektonska kretanja u dubini koja su generalno usmjerena prema sjeverozapadu, sjeveru. Posljedica je boranje i izdizanje struktura (pravca pružanja SI—JZ). Vjerojatno je da se taj smjer tijekom neotektonskog razdoblja mijenjao. Tome u prilog svjedoči geološki razvitak: najprije izdizanje struktura u pravcu SI—JZ, potom stvaranje Dravske potoline i aktiviranje struktura i rasjeda pravca SZ—JI, te na kraju obnavljanje izdizanja pravcem SI—JZ, razgradnje tih struktura uz nastajanje i aktivnost rasjeda sistema SSZ—JJI, te izdizanje *Bilogore*, *Kalnika* i predjela *Zakany-Iharosbereny*.

Pojava dijagonalnih do poprečnih rasjeda ukazuje da su tektonska kretanja u pliocenu i kvartaru dijagonalna na pružanje struktura. Zamjećuje se da se pojedine strukturne jedinice pomiču i rotiraju što dovodi do njihove daljnje razgradnje. Rotacija se odražava u horizontalnim pomacima duž desnih transkurentnih rasjeda (sistema SSZ—JJI i SZ—JI). To ukazuje da je u dubini pomak u suprotnom smjeru. Na rotaciju upućuju i reversni rasjedi najviše izraženi južno i zapadno od *Koprivnice*.

Mehanizam pokreta u žarištu potresa iz 1938. godine (jugoistočno od *Koprivnice*) potvrđuje opisana tektonska kretanja. Dobiveni su slijedeći

rezultati: potres se dogodio na rasjedu pravca pružanja 257° — 77° (odgovara rotiranoj dionici Žumberačko-medvedničkog rasjeda) s nagibom 86° uz lijevi pomak (drugo rješenje daje pravac pružanja 350° — 170° što odgovara zoni Legradsko-koprivničkog rasjeda); os najvećeg tlaka ima smjer 23° (nagib 29°) i najvećeg vlaka smjer 135° (nagib 33°).

U kvartaru su najaktivnije zone Kalničkog rasjeda, Žumberačko-medvedničkog rasjeda, Južnog rubnog rasjeda Dravske potoline i Legradsko-koprivničkog rasjeda. Veličine skoka u području istraživanja duž tih rasjeda u kvartaru iznose 100 do 300 m. Sumarne amplitude spuštanja dostižu 350 m. Protezanje izolimija podinske plohe kvartarnih naslaga u zoni Legradsko-koprivničkog rasjeda indicira na horizontalne pomake. Samo u Würmu duž Kalničkog rasjeda utvrđeni su skokovi od 25 m. Na temelju deformacija uzdužnih profila rijeka i potoka procjenjuju se veličine holocenskih vertikalnih pokreta, primjerice: uzdizanje oboda Bilogore oko Koprivnice 2—3 m i spuštanje istočno od Virja oko 6 m. Prema nivelmanima visoke točnosti predjeli oko Đurđevca spuštaju se brzinom oko 2 mm/god., a okolica Koprivnice se izdiže brzinom oko 1 mm/god. Granica uzdizanja i spuštanja prati Južni rubni rasjed Dravske potoline i zonu Legradsko-koprivničkog rasjeda.

Primljeno: 8. 1. 1988.

LITERATURA

- Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama Jugoslavije. *Geol. vjesnik*, 40, 255—263, Zagreb.
- Babić, Z., Čakarun, I., Sokač, A. & Mráz, V. (1978): O geologiji kvartarnih naslaga porječja rijeke Drave. *Geol. vjesnik*, 30/1, 43—61, Zagreb.
- Baršić, M. (1984): Prilog poznavanju strukturnih odnosa plinskog polja Kalinovac u Dravskoj depresiji. *Nafta*, 35/3, 123—133, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1894): Geologija gore Samoborske i Žumberačke. *Rad Jugosl. akad. znan. umjetn.*, 120, 1—82, Zagreb.
- Kranjec, V. (1972): O utvrđivanju najnovijih tektonskih pokreta i njihovu naftno-geološkom značenju u savsko-dravskom području. *Nafta*, 23/10, 463—474, Zagreb.
- Kranjec, V., Prelogović, E., Hernitz, Z. & Blašković, I. (1971): O litofacijelnim odnosima mlađih neogenskih i kvartarnih sedimenata u širem području Bilogore (sjeverna Hrvatska). *Geol. vjesnik*, 24, 47—56, Zagreb.
- Kranjec, V., Hernitz, Z., Reščec, T. & Velić, J. (1976): Neki rezultati dubinskog kartiranja u Dravskoj potolini. *Nafta*, 27/3, 123—141, Zagreb.
- Miletić, P., Urumović, K. & Capar, A. (1971): Geologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. *Geol. vjesnik*, 24, 149—153, Zagreb.
- Najdenovski, J. (1976): Strukturni odnosi tercijarnih naslaga zapadnog dijela Dravske potoline I, II. *Nafta*, 27/6, 305—316 i 27/9, 467—475, Zagreb.
- Olujić, M. (1979): Digitalna obrada Landsat podataka za geološku analizu područja Dravske potoline. 4. god. znanstv. skup., Znanstv. savjeta za naftu JAZU, 219—228, Zagreb.
- Pletikapić, Z., Gjetvaj, J., Jurković, M., Urbiha, H. & Hrnčić, Lj. (1964): Geologija i naftoplinonosnost Dravske potoline. *Geol. vjesnik*, 17, 49—78, Zagreb.
- Prelogović, E. (1974): Neotektonski i strukturni odnosi u dravskom području. Disertacija. Rud.-geol.-naftni fakultet, 1—150, Zagreb.
- Prelogović, E., Hernitz, Z. & Blašković, I. (1969): Primjena morfolometrijskih metoda u rješavanju strukturno-tektonskih odnosa na području Bilogore (sjeverna Hrvatska). *Geol. vjesnik*, 22, 525—531, Zagreb.

- Prelogović, E., Cvijanović, D. & Skoko, D. (1977): O uzročnoj vezi neotektonskih gibanja i seizmičke aktivnosti u SR Hrvatskoj. *Geol. vjesnik*, 30/2, 745—755, Zagreb.
- Prelogović, E., Velić, J., Marić, K., Kuk, V., Skoko, D., Allegretti, I., Herak, M., Herak, D., Milošević, A., Sović, I., Živčić, M., Aljinović, B., Mujagić, S., Sviben, D., Kovačević, S., Szavits-Nossan, A., Grubić, N., Cvijanović, D., Ivšić, T., Szavits-Nossan, V. & Cubrilo, V. (1987): Vodna stepenica Đurđevac, seizmološka, neotektonska, geofizička, seizmotektonska i inženjersko-geološka istraživanja. Arh. RGNF, PMF, i FGZ, Zagreb.
- Sokač, A. (1971): Pleistocenska fauna ostrakoda porječja donje Drave. *Geol. vjesnik*, 24, 65—76, Zagreb.
- Šikić, D. (1976): Dubinski rasjed i sekundarne strukture zapadnog dijela Dinarida. *Geol. vjesnik*, 29, 181—190, Zagreb.
- Simon, J. (1980): Prilog stratigrafiji i taložnom sustavu pješćanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. Disertacija. Rud.-geol.-naftni fakultet, 1—66, Zagreb.
- Šimunić, An. & Šimunić, Al. (1987): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize pontskih sedimenata. *Rad Jugosl. akad. znan. umjetn.*, 43/1, 155—177, Zagreb.
- Urumović, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu u području Varaždina. *Geol. vjesnik*, 24, 183—188, Zagreb.
- Zagorac, Ž. (1975): Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline. Disertacija. Rud.-geol. fakultet, 1—86, Beograd.

Quaternary tectonic activity in the western part of the Drava depression

E. Prelogović and J. Velić

The area under research comprises the adjoining zone of the structures belonging to the Zumberak—Medvednica—Kalmik fault system striking NE—SW and those belonging to the Drava depression and striking NW—SE. This is a seismically active zone. The geological structures have been formed in the Neogene and the Quaternary. In the neotectonic map (Fig. 1) the structures and faults are categorized according to the type, direction of strike, their significance in the structural-tectonic pattern, and activity. The subsurface geological structure is indicated by the minimums and maximums of the gravimetric residuals. The amplitudes of the neotectonic movements are indicated separately. The most recent, mostly Holocene amplitudes, calculated from the deformation data of the longitudinal profiles of rivers and streams, are shown in Fig. 2.

The approximate thickness of the Quaternary deposits has been determined using both bore-holes and geophysical measurement data. The Lower Pleistocene is represented by gravel with intercalations of sand and clay. The middle part is characterized by frequent alternations of gravel sand, and clay. In the Upper Pleistocene gravel predominates. The area around the river Drava has been most thoroughly studied (Fig. 3). Several faults cut across the Quaternary deposits and are reflected in the relief. This is shown, for example, in the two reflection profiles (Fig. 4). The structures in the Quaternary deposits are the continuation of those in Pliocene ones. In Fig. 5 the structures are categorized according to the time of maximum activity. The spatial arrangement of structures (horsts—anticlines and grabens—synclines) marks the amplitudes of the vertical Neogene and Quaternary movements. Several structures and faults are reflected also in the Upper Pleistocene deposits (Fig. 6).

Data about the tectonically active Quaternary zones have the greatest significance. The most active zones are those of the Zumberak—Medvednica fault, the Kalmik fault, the southern border fault of the Drava depression, and the Legrad—Koprivnica fault. Table 1 summarizes the data on vertical and horizontal movements along the faults for the Pliocene, Quaternary, and Würm epochs.

The faults have been categorized into moderately active (with the amount of tectonic movements of 0.01—0.1 cm/year) and slightly active (movements of 0.001—0.01 cm/year).

The new data on the neotectonic and, particularly, Quaternary movements have shed more light upon the mechanism of the tectonic movements. The main direction of these deep movements has generally been to the northwest—north. During the neotectonic period, it changed. This is indicated by the geologic history: the structures were first uplifted in the direction of NE—SW, then the Drava depression has been formed and the structures and faults were activated along the NW—SE direction, and, finally, the uplift along the NE—SW direction was reactivated, followed by the destruction of these structures due to fault activity along the NNW—SSE direction. It can be noticed that some structural units were moving and rotating, which promoted their further destruction. The rotation is reflected in horizontal movements along the right-hand transcurrent faults (the NNW—SSE and the NW—SE systems). The mechanism of movements in the epicenter of the 1938 earthquake confirms the succession of tectonic movements as outlined above. The 1938 earthquake occurred on a fault striking in the direction of 257° — 77° (the Zumberak—Medvednica fault), dipping under 86° , and with the left-hand direction of movement (another solution gives a 350° — 170° direction which corresponds to the zone of the Legrad—Koprivnica fault). The highest pressure axis has a direction of 230° inclination angle 20°) and the carrying tension axis has the azimuth of 135° and the inclination of 33° .