

Geol. vjesnik	29	151—157	4 table	Zagreb, 1976
---------------	----	---------	---------	--------------

551.24:551.796:550.34(497.1)

EDUARD PRELOGOVIĆ i DRAGUTIN CVIJANOVIĆ

VERTIKALNI NEOTEKTONSKI POKRETI I POJAVE JAČIH POTRESA NA PODRUČJU SR HRVATSKE

Srednji gradijenti brzina vertikalnih gibanja dobri su pokazatelji tektonske aktivnosti i transformacija, koje se najčešće zbivaju uz rubove većih struktura i blokova, odnosno u zonama rasjeda ili na njihovim sjecištima. Obično se na tim mjestima javljaju potresi s maksimalnim magnitudama $M = 5,0$ i jači.

UVOD

Danas se u nas neotektonska, a posebno najmlađa recentna gibanja izučavaju sve detaljnije, pogotovo u okvirima praktičnih zadataka. Za njihovo proučavanje obično se koriste geološke, geomorfološke i geofizičke metode. Također se nastoji, za sada u manjim predjelima, pratiti recentne vertikalne pokrete pomoću ponovnih mjerenja preciznih nivelmana. Sa seizmotektonskog gledišta, o kojemu će ovdje biti govora, najmlađi tektonski pokreti su najvažniji. Za njihovo proučavanje potrebno je poznavanje geološkog razvitka, odnosno nasljednih odnosa, nastanka i preobrazbi struktura, te amplituda gibanja.

Rad na utvrđivanju uzajamne uzročne povezanosti geoloških i seizmoloških pojava je postupan. Do sada su izvršena regionalna seizmotektonska istraživanja (UNDP/UNESCO, 1974a; Prelogović & Cvijanović, 1975; Kranjec & Prelogović, 1975). Dobiveni rezultati nedvojbeno su pokazali da odgovarajuće tektonske procese prati pojačana seizmička aktivnost. Uvođenjem novih parametara i detaljnijom obradom izdvojene su seizmotektonski najaktivnije zone i lokaliteti na teritoriji SR Hrvatske (Prelogović & Cvijanović, 1974; Grupa autora, 1975). Korak naprijed u povezivanju neotektonskih kretanja i seizmoloških pojava

je odabiranje i kategorizacija najizrazitijih pokazatelja: amplituda neotektonskih pokreta, uzdužnih i poprečnih rasjeda, veličine vertikalnih i horizontalnih pokreta, smjera potisaka, vremena najveće aktivnosti, izdvajanje i određivanje presjecišta aktivnih rasjeda, dodirnih zona krupnih tektonskih jedinica, zona preobrazbi i maksimalnih magnituda potresa (Cvijanović i dr., 1975).

Ovom prilikom tretiraju se vertikalni neotektonski pokreti kao važna komponenta cjelokupnog kretanja i maksimalne magnitude potresa ($M \geq 5,0$). Za kvantitativnu ocjenu navedenih pokreta pogodni su pokazatelji njihovi gradijenti brzina. Oni izravno ukazuju na aktivnost pojedinih krupnih struktura, blokova i rasjeda i prostorno ih jasnije definiraju. Na mjestima javljanja većih iznosa tih gradijenata trebalo bi očekivati pojačanu seizmičku aktivnost.

KARTE GRADIJENTA BRZINE VERTIKALNIH TEKTONSKIH POKRETA I MAGNITUDA POTRESA

Vertikalni tektonski pokreti koji su utvrđeni na površini odraz su kretanja koja se zbivaju u većim dubinama. Kod toga je poznat samo današnji položaj deformacije, a put svake točke promatrane površine može biti složen. Osim toga, vertikalna gibanja su oscilirajuća, a brzina izdizanja i spuštanja promjenljiva. Uzroci vertikalnog tektonskog premiještanja mogu biti različiti. Stoga je jasno da nam je za njihovo poblize upoznavanje potrebno što kraće vremensko razdoblje. Srednje vrijednosti gradijenata brzina, koje su prikazane u kartama, također podliježu tome, tj. umanjuju se povećanjem vremena. U predjelima s postojećim pokretima istog znaka srednji gradijenti brzine povećavaju se u odnosu na zone s promjenljivim vertikalnim gibanjem. Isto tako, prilikom interpretacije karata moraju se izdvojiti mjesta s osobito naglašenim izmjenama znaka pokreta. Ovdje su dobivene vrijednosti gradijenata najmanje točne. Raspoloživi ishodišni podaci nisu svugdje jednaki, niti su upotrebljivi za određeno razdoblje (npr. podmorje Jadrana). Shodno tome, priložene su karte gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta za neogen i kvartar i posebno za pliocen i kvartar.

Prikazane srednje vrijednosti gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta za neogen i kvartar (tabla I) kreću se između $0,5 \cdot 10^{-8}$ m/m god. i $3,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god. (izuzetno $5,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god. u okolici Virovitice). Zapaža se da zatvorene konture najvećih iznosa gradijenata tvore uske, izdužene zone. U stvari, one se podudaraju i prate trase glavnih aktivnih rasjeda, koji obično brazde uz rubove većih i manjih blokova. Uočljiva je pojava najvećih vrijednosti gradijenata (iznad $2,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god.) u sjevernom dijelu

Hrvatske. Uzrok tome je postojano spuštanje Murske, Dravske, Savske i Slavonsko-sremske potoline. Uz to su amplitude spuštanja kroz neogen i kvartar veće od amplitude izdizanja, pa se njihove rubne zone uz aktivne rasjede jasno odjeljuju. Gradijenti s vrijednostima iznad $2,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god. (ponegdje $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god.) obilježavaju i dodirne zone većih tektonskih jedinica ili sjecišta regionalnih rasjeda (npr. oko Dubrovnika, Biokova, u Jadranu, na sučeljavanju Savske i Dravske potoline i struktura medvedničko-kalničkog pravca pružanja, jadranskih depresija i Dinarida i drugdje). Osim pružanja rasjeda i ocjene aktivnosti rasjeda i struktura, moguće je izdvajanje samostalnih odvojenih cjelina ili blokova. Na primjer, uz horstove i grabe u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske zabilježene su podjednake vrijednosti srednjih gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta, što ukazuje na njihovu međusobnu povezanost. Karakteristični su predjeli između rubnih rasjeda Savske i Dravske potoline. Tu se razlikuju tri veća bloka odvojena poprečnim rasjedima (uz zapadne obronke Papuka i Psunja i na potezu Osijek—Slavonski Brod). Južna granica Panonskog bazena nije oštro ocrтана, vjerojatno uslijed češće izmjene izdizanja i spuštanja. Između Rijeke i Dubrovnika pratimo nekoliko većih ili manjih struktura i blokova duž čijih se obodnih dijelova povećavaju gradijenti brzine iznad $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/m god. (najviše oko Biokova: $3,0 \cdot 1,0^{-8}$ m/m god.). Najstabilnijima mogu se vjerojatno smatrati Ravni Kotari, Istra i predjeli sjeverno od Ogulina i Bihaća.

Srednji gradijenti brzine vertikalnih tektonskih pokreta za pliocen (tabla II) kreću se između $0,1 \cdot 10^{-7}$ m/m god. i $3,0 \cdot 10^{-7}$ m/m god. Vrijednosti iznad $2,0 \cdot 10^{-7}$ m/m god. nalaze se samo u uskoj zoni južno od Zadra, čime je jasno određena važnost rasjeda na periferiji sjevernojadranske depresije. Osobito su naglašene pojave lokalnih zatvorenih kontura izoliniya, često s naglim povećanjem vrijednosti gradijenata. Vjerojatno su to mjesta presijecanja većih rasjeda. Njima su dovoljno zorno odvojene pojedine potoline, depresije, blokovi ili strukture. Od poprečnih poteza nekako najviše se ističe onaj od Bihaća do Splita.

Za kvartar (tabla III) ucrtane su izograde od $0,1 \cdot 10^{-6}$ m/m god. do $1,5 \cdot 10^{-6}$ m/m god. U odnosu na prethodnu kartu na više mjesta javljaju se novi maksimumi ili dolazi do promjene znaka pokreta, dok je većinom prisutna nasljednost vertikalnih gibanja. Za seizmotektonska razmatranja važne su najveće vrijednosti gradijenata brzine vertikalnih pokreta koji obilježavaju glavne rasjede, dodire blokova i novonastale izdignute i spuštene strukture. Ističu se slijedeći predjeli i lokaliteti: obodi Ivanščice, Bilogore, Papuka, Moslavačke gore, Psunja i Vukomeričkih gorica (zone uzdužnih potolinskih rasjeda) s iznosima srednjih gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta između $0,4 \cdot 10^{-6}$ m/m god. do $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/m

god. i više; potezi Rijeka—Vinodol—Lika, dolina Cetine—Mostar—Biokovo (sa zaleđem) i Pelješac—Dubrovnik (vrijednosti izograda iznad $0,5 \cdot 10^{-6}$ m/m god.); rubovi jadranskih depresija (gradijenti većinom s vrijednostima iznad $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/m god.); okolice Zagreba, Bihaća, Gospića, Hvara itd.

Predjeli pojačane seizmičke aktivnosti prikazani su izolinijama maksimalnih magnituda potresa. Za energetska klasifikaciju potresa po magnitudama korišteni su instrumentalni podaci o potresima, uglavnom iz ovog stoljeća (Karnik, 1968; Cvijanović, 1976; UNDP/UNESCO, 1974). Dugi niz instrumentalnih podataka seizmološke stanice Zagreb (1906. do 1970. god.) omogućio je točnije definiranje funkcije za magnitudu bliskih potresa (Cvijanović, 1976). Međutim, instrumentalni niz podataka o potresima je kratak. Da bi se proširio na razdoblje makroseizmičkih podataka (do 1900. godine), ustanovljen je, za područje Hrvatske, odnos između maksimalnog intenziteta I_0 i magnituda M potresa (Cvijanović, 1975). Na taj način bilo je moguće svakom potresu pridijeliti iznos za magnitudu. Sve je ovo doprinijelo da se bolje izdvoje epicentralna područja i ustanovi nivo njihove seizmičke aktivnosti. Za usporedbu uzeta su samo područja gdje su se dogodili najjači potresi, tj. ona koja su ograničena izolinijama najvećih iznosa magnituda ($M = 5,0$ i većim).

U tabli IV izdvojena su mjesta s najvećim vrijednostima srednjih gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta za čitavu neotektonsku etapu i za kvartar. Posebno su ucrtane izolinije magnituda potresa ($M \geq 5,0$) pomoću kojih su označeni recentni najaktivniji predjeli. To su u prvom redu granice osnovnih tektonskih jedinica (npr. medvedničko-kalničkih struktura i potolina sjeverne Hrvatske, Jadranskog bazena i Dinarida) odnosno zona rasjeda, njihovih konvergencija i presjecišta. Podudaranje zatvorenih kontura najvećih vrijednosti gradijenata i magnituda potresa ovisi o tipu tektonike i o dubinama hipocentara. U Panonskom bazenu primjećuje se uglavnom njihovo izravno poklapanje, dok se u priobalnom području očituju reversni odnosi.

Iz prikazanog rasporeda aktivnih predjela vertikalnog gibanja i maksimalnih magnituda potresa izvode se još neke važnije konstatacije. Tako je možda današnja južna granica Panonskog bazena markirana potezom: dolina Kupe—Sisak—Banja Luka. Najveća seizmička aktivnost je uz obalu Jadranskog mora i nigdje ne ide daleko u kopno. U svom protezanju nije kontinuirana, nego je vezana za ograničene predjele. Gotovo uvijek u njima su najveći iznosi gradijenata brzine vertikalnih tektonskih pokreta. Veći blokovi i strukture, na čijim rubovima su navedeni procesi pojačani, jesu: sjeverozapadna Hrvatska, Savska i Dravska potolina, predjeli između Rijeke i Senja, Splita i Dubrovnika, dalmatinski otoci, de-

presije u Jadranskom moru i dr. Također treba naglasiti poprečno narušavanje osnovnih pravaca pružanja struktura, i to između Varaždina i Zagreba, uz zapadne obode Psunja i oko Slavenskog Broda, između Senja i Raba, naročito kod Zadra i Šibenika, zatim oko Visa i Lastova, te između Dubrovnika i Boke Kotorske.

ZAKLJUČAK

Vertikalni tektonski pokreti, a posebno njihovi srednji gradijenti brzine, dobri su pokazatelji aktivnosti pojedinih krupnih struktura, blokova i rasjeda u neogenu i kvartaru. Najveće vrijednosti gradijenata koncentrirane su u uskim, izduženim zonama, koje su obično paralelne s aktivnim rasjedima. Intenzitet vertikalnih pokreta neprestano se mijenja, pa se srednje vrijednosti gradijenata odnose na rezultantno stanje u promatranom vremenu. Nagle promjene znaka pokreta, preobrazbe i pomaci najčešće se događaju na sjecištima rasjeda i u dodirnim zonama većih blokova. Osim vertikalnih, ovdje se vrše i horizontalni pokreti, koji se mogu uočiti iz međusobnog odnosa struktura i blokova. Tektonski uzroci seizmičke aktivnosti na tim su mjestima posebno naglašeni. Izdvojeni lokaliteti, u kojima su se dogodili potresi s maksimalnim magnitudama $M = 5,0$ i jači, ukazuju na pojačanu seizmičku aktivnost. To su uglavnom samostalne pojave, većinom vezane uz strukturno-tektonske jedinice koje su označene najvećim vrijednostima gradijenata.

Primljeno 16. 03. 1976.

Zavod za inženjersku geologiju, hidrogeologiju,
geologiju nafte i ugljena;
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Pierottijeva 6, 41000 Zagreb

Geofizički zavod,
Prirodoslovno-matematički fakultet,
Grič 3, 41000 Zagreb

LITERATURA

- Cvijanović, D. (1975): Seizmičnost Hrvatske. — Jug. simp. o seiz. mikro-
rajonizaciji, Plitvička jezera, 16. do 17. X 1975, 1—13, Zagreb. U tisku.
- Cvijanović, D. (1976): Funkcija σ (d) za magnitudu potresa za bliže
epicentralne distancije prema podacima seizmološke stanice Zagreb. —
Acta Seismologica Jugoslavica, 4, Beograd. U tisku.
- Cvijanović, D., Prelogović, E. & Skoko, D. (1975): Seismotectonic
Characteristics of the Croatian Region. — Seminar on Seismic Zoning
Maps, 27 Oct. to 6 Nov., Skopje. In Press.

- Grupa autora (1975): Seizmotektonska karta SR Hrvatske. — Arh. RGN fak. i Geofiz. zavoda, 1—107, Zagreb.
- Karnik, V. (1968): Seismicity of the European Area. Part I, Czech. Acad. Sc., 1—364, Praha.
- Kranjec, V. & Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriji SR Hrvatske. — Geol. vjesnik, 27, 95—112, Zagreb.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. — Geol. vjesnik, 28, Zagreb.
- Prelogović, E. & Cvijanović, D. (1974): Kvartarne tektonske deformacije i seizmogene ozne Hrvatske. — VII Jug. geol. kong., 1. do 5. X 1974, Bled. U tisku.
- Prelogović, E. & Cvijanović, D. (1975): Die jüngsten tektonischen Bewegungen und seismische Aktivität im Gebiete Kroatiens. — Bull. Sci. Cins. Acad. Yougosl., 20, 3—4, Zagreb.
- UNDP/UNESCO (1974): Survey of the Seismicity of the Balkan Region. — Catalogue of Earthquakes, Part I, 1901—1970; Part II, prior to 1901, 1—597, UNESCO, Skopje.
- UNDP/UNESCO (1974a): Survey of the Seismicity of the Balkan Region. — Proceedings of the Seminar on the Seismotectonic Map of Balkan Region, Dubrovnik, 17—26 April, 1973, 1—290, UNESCO, Skopje. Ibid, Maps, UNESCO, Skopje.

E. PRELOGOVIĆ und D. CVIJANOVIC

VERTIKALE NEOTEKTONISCHE BEWEGUNGEN UND ERSCHEINUNGEN STÄRKERER ERDBEBEN IM GEBIETE KROATIENS

Vertikale tektonische Bewegungen, besonders deren mittlere Geschwindigkeitsgradienten, sind gute Anzeiger der Aktivität einzelner massiver Strukturen, Blocks und Verwerfungen im Neogen und Quartär. Es werden hier Karten mittlerer Geschwindigkeitsgradienten vertikaler tektonischer Bewegungen beigelegt für Neogen und Quartär (Tafel 1), separat für Pliozän (Tafel 2) und Quartär (Tafel 3). Die grössten Gradientenwerte sind in den schmalen, verlängerten Zonen konzentriert, die gewöhnlich parallel zu den aktiven Verwerfungen verlaufen. Die vertikalen Bewegungen sind oszillierend und demnach beziehen sich die mittleren Gradientenwerte auf den resultierenden Stand im betrachteten Zeitraum. Rasche Änderungen des Bewegungszeichens, der Umwandlung, sowie der Verschiebungen, zeigen sich am häufigsten im Durchquerungspunkt der Verwerfungen und in den Berührungszonen grösserer Blocks. Auf Tafel 4 wurden Bereiche verstärkter seismischer Aktivität sowie die Stellen mit grössten Beträgen der Mittelgeschwindigkeitsgradienten der vertikalen tektonischen Bewegungen durch Isolinien dargestellt für die gesamte neotektonische Etappe und das Quartär. Die Übereinstimmung geschlossener Konturen grösster Gradientenbeträge und maximaler Erdbeben-Magnituden hängt vom tektonischen Typus und von der Tiefe der Hypozentren ab. Im pannonischen Becken besteht meistens ihre direkte Übereinstimmung während sich im Küstenbereiche reverse Verhältnisse äussern.

Seismotektonisch sind die Grenzen der tektonischen Einheiten am aktivsten (z. B. der Medvednica—Kalnik Struktur und der Depressionen in Nordkroatien, sowie des adriatischen Beckens und der Dinariden), weiter die Grenzen der Blocks bzw. der Verwerfungszonen, ihrer Konvergenzen und Durchschneidungen.

Angenommen am 16. März 1976.

*Institut für Ingenieurgeologie, Hydrogeologie,
Erdölgeologie und Kohle,
Fakultät für Bergbau, Geologie und Erdölwesen
Pierottijeva 6, 41000 Zagreb*

*Geophysisches Institut
Naturwissenschaftlich-mathematische Fakultät,
Grič 3, 41000 Zagreb*









