

# VERTIKALNA POMERANJA ZEMLJINE KORE NA LINIJI TITOV VELES—SKOPLJE—UROŠEVAC

Miloš Ž. ĐORĐEVIĆ — Beograd

## 1. Uvod

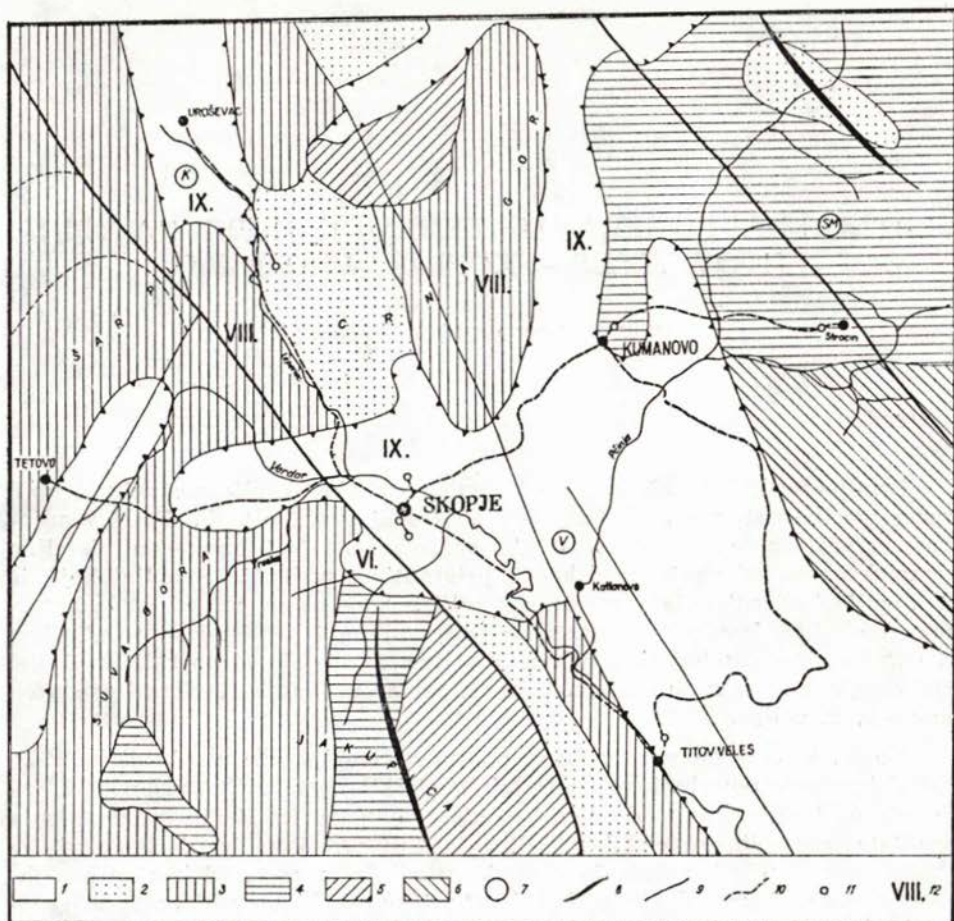
Zemljotres koji je 26. jula 1963. godine zadesio Skoplje postavio je pred razne specijalnosti niz problema, koji su tražili svoja rešenja. Posle zemljotresa, u vezi obnove razorenog grada, organizovano je i sprovedeno detaljno kompleksno proučavanje gradskog i prigradskog područja Skoplja, koje je obuhvatilo i određivanje pomeranja Zemljine kore na ovom, seizmički aktivnom, području. Izveštaj o izvršenim ispitivanjima i postignutim rezultatima sa odgovarajućom tehničkom dokumentacijom dali su M. Arsovski, N. Grujić i D. Gojgić u svom radu »Seizmološka istraživanja Skopske kotline i gradskog područja Skoplja«.

Kompleksno proučavanje šireg područja Skoplja obuhvatilo je u 1963. godini izvršenje potrebnih seizmoloških, geoloških i geofizičkih radova i istraživanja na terenu, kao i određivanja deformacija tla, izvedenih iz upoređenja rezultata ponovnih geodetskih određivanja. Cilj ovih istraživanja bio je da se objasne uzroci teških razaranja u gradu, predlože mere za adekvatno projektovanje, nove konstrukcije prilagode tlu i seizmičkim osobinama područja i najzad, da se izrade odgovarajuće seizmogeološke osnove kao prilog rešenju »Generalnog plana izgradnje Novog Skoplja« (1).

U vezi kompleksnih proučavanja savremenih tektonskih pomeranja, obrazovan je 1964. godine stalni ogledni poligon za praćenje horizontalnih i vertikalnih pomeranja Zemljine kore na širem području Skoplja.

Da bi se što pre uspostavila potrebna nivelmanska osnova i što potpunije iskoristila postojeća mreža nivelmana visoke tačnosti, na ovom području, izvođeni su odgovarajući vlaci i obrazovane dve osnovne nivelmanske linije: 1) Titov Veles—Skoplje—Uroševac i 2) Stracin—Kumanovo—Skoplje—Tetovo, svaka dužine oko 110 km. Ove dve linije presecaju najvažniji i najinteresantniji deo Skopske kotline, tj. glavne pravce pružanja najvažnijih raseda, nabiiranja i deformacija ili na određeni način međusobno povezuju određene geološko-tektonske celine (Sl. 1).

Navedena dva osnovna profila i izabrani vlaci gradske nivelmanske mreže obrazuju sadašnju nivelmansku osnovu za proučavanje šireg područja Skoplja.



SI. 1 — NIVELMANSKA MREŽA ŠIREG PODRUČJA SKOPLJA PRILAGODENA GEOLOŠKO-TEKTONSKIM USLOVIMA (prema »Tektonskoj karti Jugoslavije« — K. V. Petković, Beograd, 1960. god.) — OBJASNJENJE: 1) eugeosinklinala — gornja strukturalna etaža i međuplaninska depresija; 2) eugeosinklinala — srednja strukturalna etaža; 3) varicijско jezgro ponovo obuhvaćeno alpskim ubiranjem; 4) prekambrijska i kaledonska jezgra ponovo obuhvaćena alpskim ubiranjem; 5) granitnske intruzije (prekambrijske, kaledonske i varicijске); 6) tercijarni vulkanizam; 7) K — tektonska depresija Kosova, V — Vardarska zona, SM — Srpsko-makedonska masa; 8) rasedi; 10) nivelewske linije; 11) fundamentalni i geološko kontrolni reperi; 12) intenzitet seizmičke aktivnosti (prema »Seizmološkoj karti Jugoslavije« — R. L. Nedeljkić, Beograd, 1950. god.)

Svojim krajevima ova se mreža oslanja na specijalno izrađene fundamentalne reperi, čija je lokacija određena na osnovu geodetsko-geološke ocene zemljišta. Imajući u vidu, da se poligon nalazi na, seizmički vrlo aktivnom području, mreža je oslonjena na geološki stabilniji teren, tj. na masiv Osogovskih planina, koje spadaju u vulkanske tvorevine tercijera (2).

Nivelewska merenja na oglednom poligonu širog područja Skoplja izvršena su tokom 1964. i 1967. godine, čime je stvorena solidna osnova za buduće praćenje vertikalnih pomeranja na ovom području. Rezultati ovih merenja

objavljeni su na Trećem međunarodnom simpozijumu o problemima savremenih pomeranja Zemljine kore, koji je održan u Lenjingradu 1968. godine (2).

U okviru radova na novoj mreži nivelmana visoke tačnosti SFR Jugoslavije izvršeno je nivelanje vlaka popunjavajuće mreže Titov Veles—Skoplje—Uroševac u jesen 1972. godine. Posle kancelarijske obrade terenskih podataka izvršeno je računanje relativnih brzina vertikalnih pomeranja za period 1972.—1967. god.

## 2. *Kvalitet stabilizacije i klasifikacija repera na liniji Titov Veles—Skoplje—Uroševac*

Nivelmanska linija TitovVeles—Skoplje—Uroševac pruža se celom svojom dužinom duž železničke pruge. Od Titovog Velesa do sela Zelenikovo nivelmanska linija pruža se dolinom Vardara, gde ulazi u Skopsku kotlinu, da bi je u selu Orman napustila i ušla u Kačaničku klisuru.

Za postavljanje repera korišćene su stene i postojeći objekti, koji se nalaze pored pruge ili su njen sastavni deo. U nedostatku ovih objekata stabilizovane su kamene belege, na betonskoj podlozi, sa vertikalno usađenim reperom. Za izradu grafikona vertikalnih brzina na ovoj liniji, za period 1972.—1967. godine, korišćeni su podaci za 132 repera, koji se nalaze na prosečnom odstojanju od oko 800 metara. Maksimalno odstojanje između identičnih repera iznosi 3,6 km.

Ponovno nivelanje zauzima važno mesto u grupi kvantitativnih metoda za izučavanje vertikalnih pomeranja Zemljine kore, jer se iz rezultata ponovnih nivelanja mogu dobiti relativne brzine pojedinih tačaka ili reona. Međutim, pre korišćenja rezultata nivelanja, radi izvođenja zaključka o karakteru tektonskih pomeranja Zemljine kore, isti se podvrgavaju pažljivoj analizi. Pored ocene tačnosti, koja pokazuje kvalitet izvršenih merenja, kao i kvalitet metode nivelanja, potrebno je utvrditi i pouzdanost svakog repera u odnosu na sastav zemljišta i objekta u koji je reper postavljen.

Poznato je, da vertikalno pomeranje repera, za vremenski period između dva nivelanja, nije samo posledica tektonskih pomeranja, već pomeranje može biti izazvano i drugim silama, koje deluju u površinskim slojevima tla i čiji su uticaji uglavnom lokalnog karaktera. Lokalna pomeranja mogu biti izazvana: usled klizanja koso položenih slojeva, kao posledica raskvašenosti podloge; osobine izvesnih geoloških tvorevina da u prisustvu vode bitno menjaju zapreminu; zamrzavanja tla; promene nivoa podzemnih voda; vibracije tla prouzrokovane saobraćajnim sredstvima; zemljajnih radova većeg obima u neposrednoj blizini repera; nesolidno izgrađenih objekata u koje su postavljani reperi, itd. Pri korišćenju rezultata ponovnih nivelanja, za izučavanje vertikalnih pomeranja, pojavljuju se i reperi, na čije su pomeranje bitno uticali lokalni faktori. Na grafikonu brzina takvi reperi pojavljuju se u »špicovima« i njih treba isključiti iz dalje obrade.

U cilju određivanja kvaliteta repera, na liniji Titov Veles—Skoplje—Uroševac, pre početka nivelmanskih merenja izvršen je terenski pregled svih repera i njihova klasifikacija. U opisima položaja repera, pored uobičajenih podataka, data je geološka i geodetska ocena za svaki reper, takođe i opšta ocena kvaliteta repera kao rezultat prethodne dve.

Postojeći reperi podeljeni su u tri kategorije. U prvoj (I.) kategoriji nalaze se reperi, koji su postavljeni na stabilnim stenama ili imaju kao geološku podlogu moćniji sloj šljunka, bez obzira da li su reperi direktno postavljeni u ove materijale ili u objektima fundiranim na njima. U drugu (II.) kategoriju svrstani su reperi, koji za geološku podlogu imaju formacije peska ili peska sa šljunkom, kao i druge mešovite geološke tvorevine, koje nisu izložene dejstvu podzemnih voda. Tečoj (III.) kategoriji pripadaju reperi, koji se nalaze na terenima sa visokim nivoem podzemnih voda, kao i oni koji su izloženi stalnim potresima od saobraćaja i drugih sila. Pri klasifikaciji repera bitno je uticalo u kakvom je stanju i na koji je način građen objekat u koji je reper postavljen.

Pri izučavanju vertikalnih pomeranja Zemljine kore repere prve kategorije sa sigurnošću možemo koristiti, jer njihova pomeranja s obzirom na mesta gde su postavljeni karakterišu tektonska kretanja, dizanja ili spuštanja većih delova Zemljine kore. Repere druge kategorije možemo koristiti samo u slučaju, kada su na promenu njihovih visina uticala isključivo tektonska kretanja, dok treću kategoriju treba isključiti iz obrade.

Klasifikacija repera prikazana je na grafikonu brzina za period 1972.—1967. god.

Imajući u vidu, da nivelmanska linija Titov Veles—Skoplje—Uroševac, većim delom, prati tokove reka Vardara i Lepenca nivelmanska merenja vršena su u isto doba godine.

### 3. Postojeći podaci nivelmanskih merenja

Nivelmanska merenja na relaciji Titov Veles—Skoplje izvršena su prvi put 1921. godine, a na relaciji Skoplje—Uroševac 1922. godine. Za nivelanje su korišćeni instrumenti firme »Zeiss« sa tri konca i pokretnim durbinom. Karakteristike ovog instrumenta su sledeće: dužina durbina 340 mm, prečnik objektiva 45 mm, uvećanje 36 puta, osjetljivost libele 10" za jedan pars od 2 mm. Korišćene su letve iste firme sa polu santimentarskom podelom, a očitovanja odsečaka na letvama vršena su za sva tri konca u prvom i drugom položaju durbina.

Nivelmanska merenja u ovom periodu izvođena su u okviru mreže preciznog nivelmana, a u cilju dobijanja nadmorskih visina za potrebe državnog premera. Srednja slučajna greška za obe relacije karakteriše se istom vrednošću  $\pm 0,6$  mm/km.

U okviru radova na obnovi nivelmanske mreže izvršena je tokom 1956.—1959. godine reambulacija repera i novo nivelanje na liniji Uroševac—Skoplje—Titov Veles. Radovi su izvođeni u duhu preporuka Međunarodne geodetske i geofizičke unije, a po »Uputstvu za izvršenje radova na mreži nivelmana visoke tačnosti« — Savezna geodetska uprava — 1955. god. Kao karakteristično za merenja vršena u ovom periodu treba navesti, da su izvođena nivelirom firme »Wild« — tip N-3 sa plan paralelnom pločom i libelom osjetljivošću 10" za pars od 2 mm. Korišćene su letve iste firme sa dvostrukom santimetarskom podelom na invarskoj pantliici. Dovođenje letava u vertikalnost vršeno je pomoću specijalnih podupirača. Letve su komparisane pre i posle terenskih radova, a popravka za metar letve sračunata je kao srednja vrednost ovih dveju komparacija.

Nivelanija su vrešena u dva smera. Svaka nivelmanska strana nivelana je dva puta od dva različita opažača, u različito doba dana i pod različitim vremenskim uslovima. Maksimalna dužina vizure iznosila je 40 metara, a minimalna visina vizure iznad terena 0,60 m. Vezne tačke, u toku nivelanija, stabilizovane su teškim nivelmanskim papučama.

Maksimalna dozvoljena odstupanja iz nivelanija napred-nazad računata su po formuli  $\Delta = \pm 3 \sqrt{R}$ , gde je R dužina nivelmanske strane u km.

Verovatna slučajna greška po Lalemandovim formulama iznosi  $\pm 0,3$  mm/km, a sistematska  $\pm 0,1$  mm/km.

Posle zemljotresa od 26. jula 1963. godine, čija je jačina iznosila IX stepeni i koji po svojoj snazi predstavlja najjači zemljotres u Evropi za zadnjih 50 godina, obrazovan je ogledni poligon za sistematsko praćenje vertikalnih pomeranja Zemljine kore na širem području Skoplja (2). U okviru ovog poligona izvršena su tokom 1964. i 1967. godine nivelmanska merenja na liniji Titov Veles—Skoplje—Uroševac. Kao što je ranije rečeno, poslednje merenje izvršeno je 1972. godine u okviru popunjavajuće mreže nivelmana visoke tačnosti.

Metoda merenja zadnja tri nivelanija razlikuje se od predhodnih (1956. i 1959.) u sledećem: maksimalna dužina vizure 35 m, za vezne tačke u toku nivelanija upotrebljavani su čelični klinovi dužine 300 mm i prečnika 30 mm, maksimalna dozvoljena odstupanja iz nivelanija napred-nazad računata su po formuli  $\Delta = \pm 2 \sqrt{R_{\text{km}}}$ .

Nivelmanska merenja iz 1964. i 1967. godine karakterišu se istom tačnošću (po Lalemandu sračunata verovatna slučajna greška iznosi  $\pm 0,3$  mm/km a sistematska  $\pm 0,1$  mm/km).

#### 4. *Određivanje vertikalnih pomeranja Zemljine kore po profilu nivelmanske linije Titov Veles—Skoplje—Uroševac*

Na osnovu raspoloživih podataka ponovnih nivelmanskih merenja, za ovu nivelmansku liniju, sračunate su brzine vertikalnih pomeranja Zemljine kore po formuli:

$$V = \frac{h_2 - h_1}{t} \text{ mm/god.}$$

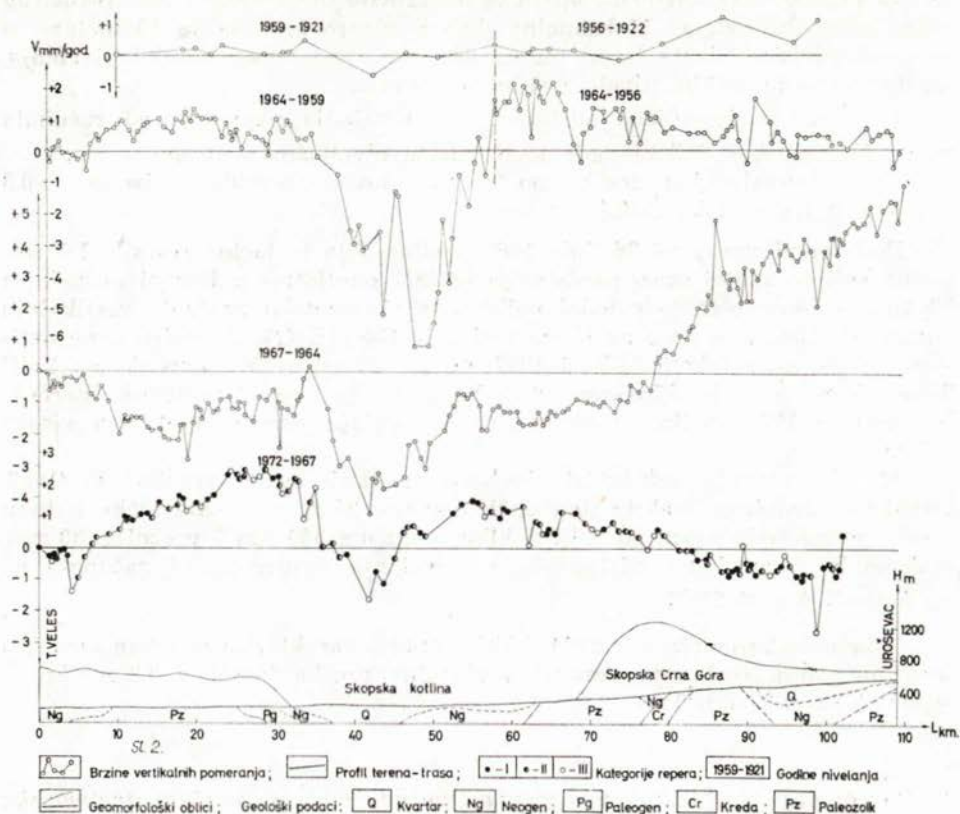
gde je:

h = merena visinska razlika nivelmanske strane,

t = vremenski interval između drugog i prvog nivelanija.

Za njihovo računanje korišćene su merene visinske razlike, popravljene samo za metar letve. Ovako dobijene vrednosti brzina za navedenu nivelmansku liniju prikazane su na sl. 2. Ovim grafičkim prikazom obuhvaćena su četiri interesantna vremenska perioda vertikalnih pomeranja zemljine kore na liniji Titov Veles—Skoplje—Uroševac i to:

GRAFIKONI VERTIKALNIH POMERANJA ZEMLJINE KORE NA LINIJI  
TITOV VELES - SKOPLJE - UROŠEVAC



- 1) period relativnog seizmičkog mirovanja (profil 1956/59—1921/22. god.),
- 2) period intenzivne seizmičke aktivnosti sa zemljotresom u 1963. god. (profil 1964—1956/59. god.),
- 3) period slabije seizmičke aktivnosti (profil 1967—1964. god.) i
- 4) period konsolidacije (profil 1972—1967. god.).

Grafički prikaz upotpunjen je sa odgovarajućim geološkim, geomorfološkim i drugim podacima, koje je dao D. A. Lilienberg (3). Kumulativne vrednosti relativnih brzina za periode 1967.—1964. i 1972.—1967. god. sračunate su na istu referencnu tačku, tj. Fundamentalni reper Titov Veles ( $V = 0$ ).

Sračunate brzine pomeranja, na osnovu raspoloživih podataka nivelmanških merenja, omogućuju da se sagledaju pokreti pre, za vreme i posle zemljotresa i da se utvrdi njihova veličina duž ispitivanog profila, čime se dopunjuju podaci za kompleksno izučavanje zakonomernosti tektonskih procesa i pojava u ovom regionu. Na osnovu ovih podataka je očigledno da je

najveće sleganje Skopske kotline, bilo za vreme zemljotresa i da se ono nastavilo i posle zemljotresa. Na osnovu podataka poslednjeg određivanja brzina, može se zaključiti da i 10 godina posle skopskog zemljotresa delovi Skopske kotline, kroz koje prolazi ispitivana nivelmanska linija, i dalje imaju tendenciju sleganja, ali sa znatno manjim intenzitetom.

#### Literatura

1. N. Arsovski, N. Grujić i D. Gojgić: »Seizmogeološka istraživanja Skopske kotline i gradskog područja Skoplja« — Geozavodi Beograd — Skoplje, 1964. god.
2. A. Marić i M. Dorđević: »Organizacija stalnog oglednog poligona za kompleksno proučavanje savremenih pomeranja zemljine kore na području Skoplja« — Savezna geodetska uprava Beograd — 1968. god.
3. D. A. Lilienberg: »O savremenih dviženijah zemnoj kori v Makedonii« — Dokladi Akad. nauk SSSR, Tom 165, No. 1, 1965. god.
4. D. Vučićević: »Izbor mesta i stabilizacija nivelmanskih tačaka« — Geodetski list, broj 1—3, 1965. god. — Zagreb.
5. »Osnovni geodetski radovi u FNR Jugoslaviji« — Savezna geodetska uprava, Beograd, 1953. god.
6. »Uputstvo za rekognosciranje i stabilizaciju radnih repera u mreži NVT« — Savezna geodetska uprava, Beograd, 1970. god.
7. »Savremenije dviženija zemnoj kori« No. 1, — Akademija nauk SSSR, Moskva, 1963. god.
8. »Savremenije dviženija zemnoj kori« No. 2 — Akademija nauk Estonskoj SSR, Tartu, 1965. god.
9. R. L. Nedeljković: »Seizmološka karta Jugoslavije« — Seizmološki zavod Jugoslavije, Beograd, 1950. god.
10. K. V. Petković: »Tektonska karta Jugoslavije« — Beograd, 1960. god.