

Geol. vjesnik	28	87-96	2 sl. u tekstu; 2 table	Zagreb, 1975
---------------	----	-------	----------------------------	--------------

551.24(161.16.46)

MARINKO OLUIC

TEKTONSKA ANALIZA GRANICNOG PODRUČJA SR HRVATSKE I SR SLOVENIJE, IZVRŠENA NA SNIMCIMA NAPRAVLJENIM IZ SATELITA ERTS-1

Opisane su glavne karakteristike snimaka dobivenih posredstvom satelita ERTS-1 kao i mogućnosti njihove primjene u geološkim istraživanjima. Izvršena je tektonska analiza na jednom stereoparu ERTS-1 snimaka za navedeno područje. Identificirani su novi, ili dijelom novi rasjedi, koji su omogućili potpuniju interpretaciju regionalnih tektonskih odnosa.

UVOD

Stalnim napretkom tehničkih dostignuća i usavršavanjem tehnoloških postupaka (usavršavanje letjelica i njihova automatizacija, usavršavanje tehnike snimanja itd), sve više se otvaraju mogućnosti istraživanju i detekciji objekata na površini Zemlje iz zraka. Pored konvencionalnog snimanja Zemljine površine vrše se i druga, veoma komplicirana, snimanja i registriranja fizičko-kemijskih svojstava različitih objekata na Zemlji. Sva ta istraživanja nazivaju se zajedničkim imenom »daljinska istraživanja« ili »daljinska detekcija« (remote sensing). O postupcima tih istraživanja u nas je već opširnije pisano (Oluic, 1975).

Ovdje želimo iznijeti važnije karakteristike snimaka dobivenih posredstvom satelita ERTS-1, kao i mogućnosti njihove primjene u geološkim istraživanjima. Također dajemo prikaz rezultata do kojih se došlo analizom takvih snimaka u graničnom području između sjeverozapadne Hrvatske i istočne Slovenije.

Zahvaljujem direktoru OOUR-a za kompleksna geološka istraživanja poduzeća Industroprojekt, dipl. inž. S. Grandiću, što mi je omogućio korištenje satelitskih snimaka za ovu analizu.

GLAVNE KARAKTERISTIKE SNIMAKA NAPRAVLJENIH IZ SATELITA ERTS-1

Istraživanje Zemljine površine i atmosfere iz svemirskih letjelica, započelo je već sa startom prvog umjetnog Zemljinog satelita Sputnik-1, koji je bio lansiran 4. oktobra 1957. godine. Podaci dobiveni pomoću tog satelita nagovijestili su široku mogućnost primjene orbitalnih fotografija u različitim znanstvenim i tehničkim istraživanjima (meteorologiji, geologiji, kartografiji i dr.). Od tada pa do danas, lansiran je velik broj umjetnih Zemljanih satelita različitih osobina i namjena. Među njima najbrojniji su sateliti za meteorološka zapažanja i mjerenja.

Međutim, za geološka istraživanja i istraživanja drugih geo-znanosti od posebne važnosti su tzv. geo-sateliti, među kojima su najpoznatiji američki sateliti »Skylab« (nebeski laboratorij) i »ERTS« (Earth Resources Technology Satellite).

Prvi geo-satelit bio je ERTS-1, lansiran 23. jula 1972. iz NASA centra u Kaliforniji (SAD). Taj eksperimentalni satelit za istraživanje Zemljine površine bio je težak 821 kg, a razvio se iz NIMBUS-serije. Ciklus njegovog rada iznosio je 18 dana. Snimanje je vršio s visine od oko 900 km, a jedan obilazak po putanji trajao mu je 103 minute. Mogao je snimati gotovo svu površinu naše planete. Instrumenti koji su se nalazili u tom satelitu snimali su tjedno po 10.000 fotografija koje prekrivaju površinu Zemlje od 161 milion kvadratnih kilometara. Početkom 1975. godine promjenjen je naziv ERTS u LANDSAT, pa su već pod tim imenom lansirana dva satelita iz iste serije, LANDSAT-1 i LANDSAT-2.

Snimanje iz satelita ERTS-1, prema podacima u B a n n e r t & M ü h l f e l d (1973), sastojalo se iz snimanja televizijskim sistemom RBV (Return Beam Vidicon) s tri odvojene kamere u tri spektralna područja (od 0,475–0,830 μm).

Drugi sistem za snimanje bio je multispektralni skaner (MSS-Multi-Spectral Scanner) s četiri kanala u valnom području elektromagnetskog spektra od 0,5–1,1 μm . Na snimakarna načinjenim posredstvom tog satelita mogu se identificirati objekti minimalnih dimenzija od oko 80 m.

Iz satelita ERTS-1 snimana je i naša zemlja (Industroprojekt iz Zagreba posjeduje snimke načinjene iz ERTS-1 i drugih satelita za veći dio Jugoslavije). Linije leta satelita za snimke na kojima je, u ovom članku, vršena analiza imaju približan pravac u našoj zemlji: Rijeka-Mežice i Zadar-Murska Sobotica. To su dva snimka u mjerilu približno 1:1.000.000. Svaki snimak obuhvaća površinu od oko 34.000 km^2 . Snimak iz zapadne putanje (Rijeka-Mežice) snimljen je 6. februara 1973. s multispektralnim skanerom u sedmom kanalu, te ima oznaku: NASA ERTS E-1198-09221. Geografske koordinate njegovog središta iznose $\varphi = 46^{\circ} 04'$, $\lambda = 14^{\circ} 45'$. Snimak iz istočne putanje (Zadar-Murska Sobotica) snimljen je 29. juna 1973., s multispektralnim skanerom u petom kanalu, te ima oznaku: NASA ERTS E-1341-09160. Geografske koordinate

središta su mu $\varphi = 46^{\circ} 01'$ i $\lambda = 15^{\circ} 58'$. S obzirom da ovi snimci imaju poprečni preklap od oko 50%, čine stereopar na kojem je moguće prostorno promatranje terena.

Pojedini istraživani predjeli su u vrijeme snimanja bili prekriveni oblacima (oko 15% fotograma) što je otežalo identificiranje željenih podataka. Snimak iz zapadne putanje snimljen u sedmom kanalu kvalitetniji je i na njemu se zapaža više detalja potrebnih za geološku analizu, nego li na snimku iz istočne putanje, snimljenom u petom kanalu.

GEOLOŠKA ANALIZA ERTS-1 SNIMAKA

Kod primjene fotografskih postupaka snimanja iz satelita javljaju se principijelno, isti geometrijski uvjeti kao kod konvencionalnog aeronsnimanja iz aviona. Mjerilo snimke i područje prekrivanja ovisni su o visini leta satelita i žarišnoj daljini objektiva, kojim se vrši snimanje. Pri snimanju iz satelita visinske razlike reljefa nemaju znatniji utjecaj na deformaciju snimke (radijalne deformacije), pa kod vertikalnih snimanja snimci imaju karakter karte, te im gotovo i nije potrebna restitucija. Stereo-paralaksa je veoma mala zbog ekstremnih razlika između visine snimanja i visine reljefa.

Geološka analiza satelitskih snimaka u bitnom se ne razlikuje od analize aerosnimaka načinjenih iz aviona. Većina kriterija koji se koriste pri fotogeološkoj analizi aviosnimaka, koriste se i u analizi satelitskih snimaka. To su: ton ili boja tla, geomorfološke karakteristike, tekstura terena, vegetacija, hidrografska mreža i strukturne osobine terena. Pri tom su važni parametri: veličina, boja, kontrast s okolicom, oblik i položaj objekta.

Primjenom navedenih kriterija mogu se na ERTS-1 snimcima zapaziti i identificirati različiti geološki podaci.

Litološki sastav

Na analiziranim ERTS-1 snimcima razlikovanje litološkog sastava ograničeno je na prepoznavanje većih litoloških cjelina, stijenskih kompleksa i njihovog pružanja. Tako se npr. mogu razlikovati čvrste karbonatne stijene od klastičnih naslaga (tab. I). Zatim se mogu izdvojiti mlađi kvartarni sedimenti, osobito riječni nanosi.

Rasjedi

Elementi koji su na snimcima izraženi linearno (rasjedi, pukotine, litološke granice, segmenti riječne i dolinske mreže, granice vegetacije i sl.), općenito se dobro zapažaju na satelitskim snimcima, ako su im dimenzije takvog reda veličine da se manifestiraju u datom mjerilu. Navedeni elementi direktno ili indirektno ukazuju na rasjednu tektoni-

ku i upućuju na strukturnu građu i tektonski razvoj. Rasjedi se u prvom redu identificiraju na osnovi topografskog izraza terena. To su najčešće negativni oblici brazde, koji u vidu dužih ili kraćih linija ocrtavaju trase rasjeda (tab. I). Takve trase često se pružaju u ravnim linijama preko desetinu, pa i preko stotinu kilometara, presijecajući različite oblike reljefa (udoline i uzvišenja). Rasjedi većih dimenzija (nekoliko desetaka kilometara) mogu se ponekad prepoznati i na pojedinačnim satelitskim snimcima (tab. I), međutim, za potpuniju geološku analizu potrebno je posjedovati stereopar, te analizu vršiti na stereomodelu.

Hidrografska mreža

Na analiziranim satelitskim snimcima ističu se veći vodeni tokovi (Sava, Drava, Kupa i dr.). Usporedbom tokova tih rijeka na satelitskim snimcima s odgovarajućim geografskim kartama, vidljivo je značajno odstupanje trasa toka rijeka. Tok rijeka na snimcima izražen je onakvim kakav je u prirodi, dok su u karti vidljiva značajna odstupanja, kako u položaju trase, tako i u njenom obliku. Razlog tome je što rijeka s vremenom mijenja pravac i oblik svoga toka, a vjerojatno djelomično i u netočnom grafičkom prikazu. Zbog toga satelitski snimci mogu korisno poslužiti i za korekciju postojećih karata sitnog mjerila.

REZULTATI DOBIVENI ANALIZOM ERTS-1 SNIMAKA

Kao što je već rečeno, geološka analiza u graničnom području između sjeverozapadne Hrvatske i istočne Slovenije, izvršena je na snimcima dobivenim posredstvom satelita ERTS-1, načinjenim u području elektromagnetskog spektra od 0,6–0,7 μm i 0,8–1,1 μm (kanal 5 i 7). S obzirom na posjedovanje stereopara iz različitih kanala, snimljenog u različito vrijeme, te zbog toga neujednačene kvalitete snimaka i djelomične prekrivenosti terena oblacima izvršeno je na njima identificiranje samo tektonskih dislokacija (Tab. II).

Na razmatranom području u prošlosti su obavljena različita geološka ispitivanja. Odgovarajući podaci sadržani su u brojnim izvještajima i publiciranim radovima, od kojih navodimo neke: Gorjanović-Kramberger (1894, 1908), Heritsch & Seidl (1919), Pleničar & Ramovš (1954), Herak (1956), Rakovec (1956), Šikić (1964), Prelogović (1970) i drugi. Navedeni radovi tretiraju parcijalno tektonske odnose u pojedinim dijelovima obrađivanog područja. Zbog toga je za komparaciju podataka dobivenih analizom ERTS-1 snimaka s podacima dobivenim klasičnim metodama istraživanja uzeta Geološka karta SFR Jugoslavije, mjerila 1:500.000, (1970). Prema toj karti, razmatrano područje izgrađeno je od stijena različitog litološkog sastava, od paleozojske do kvartarne starosti. Linijom koja približno

povezuje mjesta Maribor-Celje-Zagreb-Karlovac područje je grubo podijeljeno na istočni i zapadni dio. U istočnom prevladavaju mlađi terciarni sedimenti, u okviru kojih se mjestimično nalaze izolirana planinska uzvišenja izgrađena pretežno od starijih stijena (Medvednica, Ivanščica i dr.). Zapadno od spomenute linije prevladavaju paleozojsko-mezozojske stijene i to u sjevernom dijelu paleozojske, u južnom mlađe-mezozojske, dok su u srednjem najbolje razvijene trijasko-jurske stijene.

U tektonskom pogledu, razmatrano područje izlomljeno je rasjedima generalnog pravca pružanja sjeveroistok-jugozapad. Neki od njih poznati su od ranije i označeni su (kao pretpostavljeni) na spomenutoj geološkoj karti.

Analizom ERTS-1 snimaka potvrđen je spomenuti generalni pravac pružanja rasjeda na citiranoj karti. No, pored već poznatih rasjeda identificirani su i mnogi novi, na osnovi kojih je moguća potpunija tektonska interpretacija tog područja.

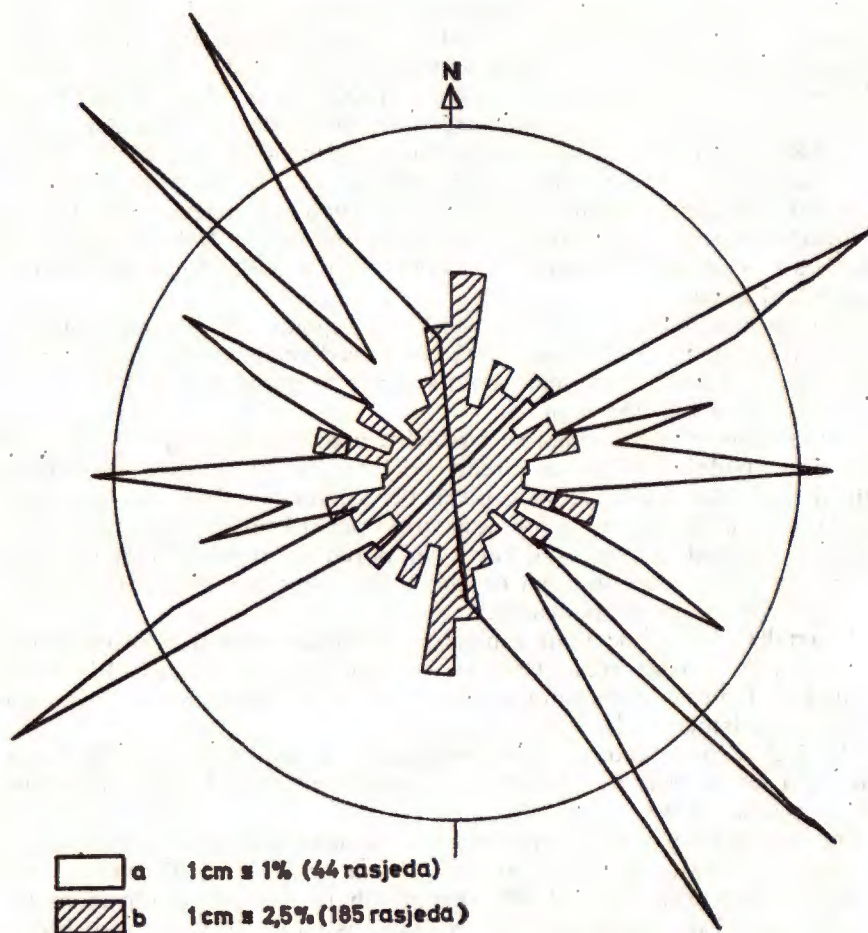
Registrirani rasjedi mogu se podijeliti u dvije kategorije. U prvu kategoriju spadaju oni prvoga reda veličine. To su rasjedi čija dužina iznosi nekoliko desetaka, pa i preko 100 kilometara. Duž njih su se odvijala najjača kretanja, pa oni određuju opći stil tektonskoj građi ovoga pružanja rasjeda na citiranoj karti. No, pored već poznatih rasjeda, identificirani su i mnogi novi, na osnovi kojih je moguća potpunija tektonska interpretacija tog područja.

U analiziranom području zapaža se nekoliko glavnih pravaca pružanja rasjeda prvoga reda. Osobito se ističu na rozetnom dijagramu pravci koji imaju generalno pružanje sjeveroistok-jugozapad i sjeverozapad-jugoistok (sl. 1).

Rasjedi drugog reda veličine prikazuju se na rozetnom dijagramu, tako da im je pružanje u različitim pravcima, među kojima se najviše ističe pravac sjever-jug (sl. 1b).

Od Dolenjskog i južnih padina Zumberačke gore prema Ivanščici i Kalniku, pružaju se gotovo u paralelnom snopu rasjedi prvoga reda veličine pod azimutom od 60°. Dužina tih rasjeda u obrađivanom području iznosi do 100 kilometara. Na tim rasjedima ili u njihovoj blizini nalaze se poznati termalni izvori (Čateške, Stubičke, Rimske toplice i dr.). Između rasjeda prvog reda veličine brojni su rasjedi drugoga reda veličine, koji su stijenske komplekse u tom području izlomili u veće ili manje blokove. Njihov pravac pružanja je najčešće dijagonalan ili okomit na pružanje rasjeda prvoga reda.

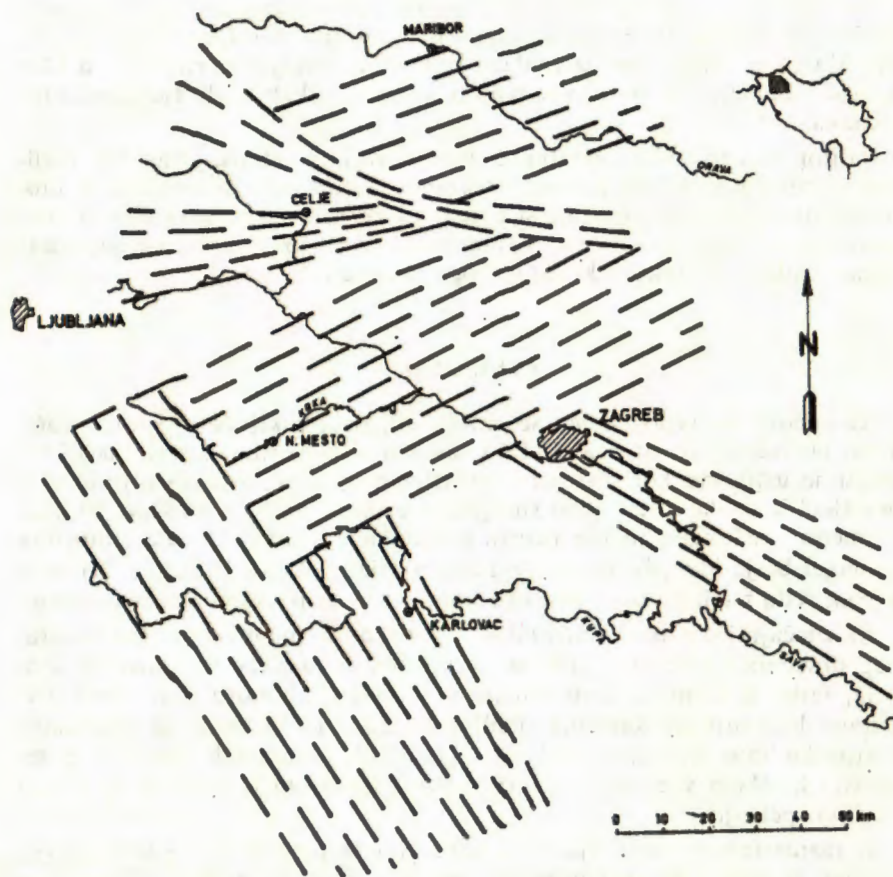
Sjeverno od Celja veoma se dobro ističe markantna rasjedna zona duga preko 100 kilometara (označena kao pretpostavljeni rasjed na Geološkoj karti SFR Jugoslavije, 1970), koja se pruža generalno u pravcu zapad-sjeverozapad-istokjugoistok, zatvarajući oštar kut s ranije spomenutim pravcem pružanja rasjeda prvoga reda veličine. Rasjedi drugog reda veličine, koji prate tu zonu, najčešće su dijagonalni na njeno pružanje.



Sl. — Text-fig. 1 Rozeta orijentacije rasjeda. Rasjedi prvog reda veličine (a), rasjedi drugog reda veličine (b).

Faults orientation rosette. Faults of the Ist order (a), faults of the IInd order (b).

U južnom dijelu terena (južno od Žumberačke gore i Dolenjskog) prevladavaju rasjedi »dinarskog« pravca pružanja. Na rozetnom dijagramu ističu se dva maksimuma azimuta 135° i 150° (sl. 1a). Rasjedi koji imaju druge pravce pružanja manjeg su intenziteta, a najčešće su na prve okomiti ili dijagonalni.



Sl. — Text-fig. 2 Skica pravaca pružanja glavnih rasjeda i njihovog sučeljavanja.

Main faults strike lines and faults bordering lines.

U području jugoistočno od Zagreba (za to područje ne posjedujemo stereopar) prevladavaju rasjedi koji se pružaju općenito pravcem zapad-sjeverozapad-istokjugoistok (azimut 120°).

U obrađivanom području nalazi se nekoliko mjesta gdje se presjecaju ili sučeljavaju važniji tektonski lomovi (sl. 2). Ta mjesta su najintenzivnije tektonski poremećena, pa se na njima ili u njihovoj neposrednoj blizini, mogu očekivati potencijalni epicentri seizmičke aktivnosti.

Vjerojatno da neki od identificiranih rasjeda imaju karakter osnovnih dubinskih razloma ili možda razloma planetarnih razmjera (linearnenti), čija aktivnost datira već iz ranijeg razdoblja Zemljinog razvoja, a više puta se obnavlja sve do danas, bilo u formi vertikalnih ili horizontalnih pomaka.

Daljim, raznovrsnim, detaljnim istraživanjima odnosa rasjeda različite starosti i različitih pravaca pružanja, zatim odnosa rasjeda s litostratigrafskim sastavom (litološki različiti elementi u međusobnom kontaktu), kao i hidrološkim pojavama, moći će se još potpunije sagledati njihov utjecaj na tektonski sklop toga područja.

ZAKLJUČAK

Na osnovi iznesenog mogu se izvući slijedeći zaključci: Snimci načinjeni posredstvom satelita ERTS-1, iako u sitnom mjerilu (1:1.000.000), mogu se uspješno koristiti pri različitim geološkim istraživanjima. Napravljeni iz velike visine daju sinoptički pregled velike površine, ali istovremeno i redukciju manje važnih podataka. Na taj način na snimcima se mogu bolje identificirati veće i značajnije geološke jedinice. Tu se u prvom redu misli na one elemente koji imaju na površini linearne crte.

Najznačajnija pomoć satelitskih snimaka je mogućnost kontinuiranog praćenja i vjernijeg prikaza već poznatih rasjeda regionalnog značaja, zatim u identificiranju ranije neotkrivenih lomova i njihovu preciznom lociranju na kartama sitnijeg mjerila. To omogućuje potpuniju tektonsku interpretaciju, osobito regionalnih tektonskih odnosa, u relativno kratkom vremenu i s minimalnim naporom u odnosu na terensku prospekciju.

U razmatranom području na satelitskim snimcima potvrđeni su već poznati rasjedi, a identificirani su i mnogi koji do sada nisu bili registrirani na postojećim kartama. Mogu se istaći tri osnovna pravca pružanja važnijih rasjeda (rasjedi prvoga reda veličine), koji se sučeljavaju u analiziranom području. Dominantni rasjedi su oni što se pružaju, generalno, u pravcu sjeveroistok-jugozapad. S rasjedima tog pravca pružanja sučeljava se na sjeverozapadu (istočno od Celja) markantna rasjedna zona koja ima pružanje zapadsjeverozapad-istokjugoistok. U južnom dijelu terena (južno od Zumberačke gore i Dolenjskog) sučeljavaju se rasjedi pravca pružanja sjeveroistok-jugozapad s rasjedima »dinarskog« pravca, dok se u okolici Zagreba sučeljavaju rasjedi, generalnog pravca pružanja zapadsjeverozapad-istokjugoistok s rasjedima što se pružaju u pravcu sjeveroistok-jugozapad. Između rasjeda prvog reda veličine brojni su rasjedi drugog reda veličine, čije je pružanje najčešće dijagonalno ili okomito na pružanje rasjeda prvoga reda.

Konstatirana je još jača tektonska poremećenost analiziranog područja, (osobito na mjestima sučeljavanja rasjeda i njihovim presjecištima) nego što je to prikazano na postojećim geološkim kartama. Obzirom na taj podatak jasniji su i uzroci pojačane seizmičnosti tog područja.

Primljeno 6. 3. 1975.

*Industroprojekt,
OOUR za kompleksna geol. istraživanja
Savska 88a, 41000 Zagreb*

LITERATURA

- Bannert, D. & Mühlfeld, R. (1973): ERTS und SKYLAB — zwei erdumkreisende Erdforschungs-Systeme. — Bildmessung und Luftbildwesen, 4, 113—122, Karlsruhe.
- Geološka karta SFR Jugoslavije, mjerila 1:500.000 (1970); Savezni geološki zavod, Beograd
- Gorjanović-Kramberger, D. (1894): Geologija gore Samoborske i Zumberačke s prijeglednom geološkom kartom. — Rad Jugosl. akad., 120, 1—82, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1908): Geologijska prijegledna karta kraljevine Hrvatske-Slavonije. Tumač geologijskoj karti Zagreb. — Geol. povjer., 1—75, Zagreb.
- Grandić, S. & Hanich, M. (1974): Neke karakteristike satelitskih ERTS-1 snimaka i primjer njihovog korištenja u tektonskoj analizi jednog dijela SFR Jugoslavije. — 8. jugoslavenski geološki kongres, Bled 1974. (rad u štampi).
- Herak, M. (1956): Geologija Samoborskog gorja. — Acta geologica JAZU, 1, 49—66, Zagreb.
- Heritsch, F. & Seidl, F. (1919): Das Erdbeben von Rann an der Save von 29. Jänner 1917 nebst Bemerkungen über Erdbeben gerausche. — Mitt. Erdbebenkommiss., N. F. 55, Wien.
- Oluić, M. (1975): Daljinska istraživanja (remote sensing) u geologiji s posebnim osvrtom na snimanja iz satelita. — Tehnika — RGM 15, 913—916b Beograd.
- Pleničar, M. & Ramovš, A. (1954): Geološko kartiranje severovzhodno od Brežic. — Geologija 2, 242—253, Ljubljana.
- Prelogović, E. (1970): Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. — Geol. vjesnik, 23, 151—160, Zagreb.
- Rakovec, I. (1956): Pregled tektonske zgradbe Slovenije. — Prvi Jug. geol. kongres na Bledu 1954, 73—83, Ljubljana.
- Šikić, D. (1964): Horizontalna kretanja u Dinaridima. — Zbornik radova 26-god. Rud. odjela 1939—1964, 129—143, Zagreb.

M. OLUIC

TECTONIC ANALYSIS OF THE BORDER AREA OF THE SOCIALIST
REPUBLICS OF CROATIA AND SLOVENIA, BASED ON
ERTS-1 IMAGERY

Next to conventional surveying of the Earth's surface from different aircrafts, the physical-chemical characteristics of various objects on the earth surface are determined by making complex images and recordings. All such work has been commonly named remote sensing.

This article deals with the tectonic analysis of the above mentioned area, on the basis of images produced by the American satellite ERTS-1. Such images, though on a very small scale (1:1.000.000), may be successfully used in different geological explorations. The images, being taken from a great altitude (about 700 km) give a good view over large areas, and moreover less important details are not recorded on the images, whereby they are reduced. Thus, those important and great geological units (faults, lithological boundaries etc) may be much better identified on the images. A particularly good identification may be made of the units displaying linear shapes on the surface. (Plate I). The most important contribution of ERTS images to geological exploration is the possibility of following the already known faults of regional extension and precise determination of their location (position), as well as the identification of still unknown and unidentified faults, and their plotting on small-scale maps. Thus, a more complete interpretation of tectonics, and of that regional tectonic complex in particular, may be made.

The ERTS images, representing the studied area display many faults so far unknown, and testify to the existence of those already known. Three basic directions may indicate which main faults extend in the area in question (Plate II). In general, the faults extending NE-SW are the dominating ones. on the northwest, these faults border on to a significant fault zone extending WNW-ESE (Text-fig. 2). In the southern part of the area, the faults extending NE-SW strike against faults extending in the dinaric direction. In the surroundings of Zagreb, the faults generally extending WNW-ESE strike against faults extending NE-SW. The zones where they meet each other are most intensively disturbed, whereby they may be deemed to be potential centres of seismic activity.

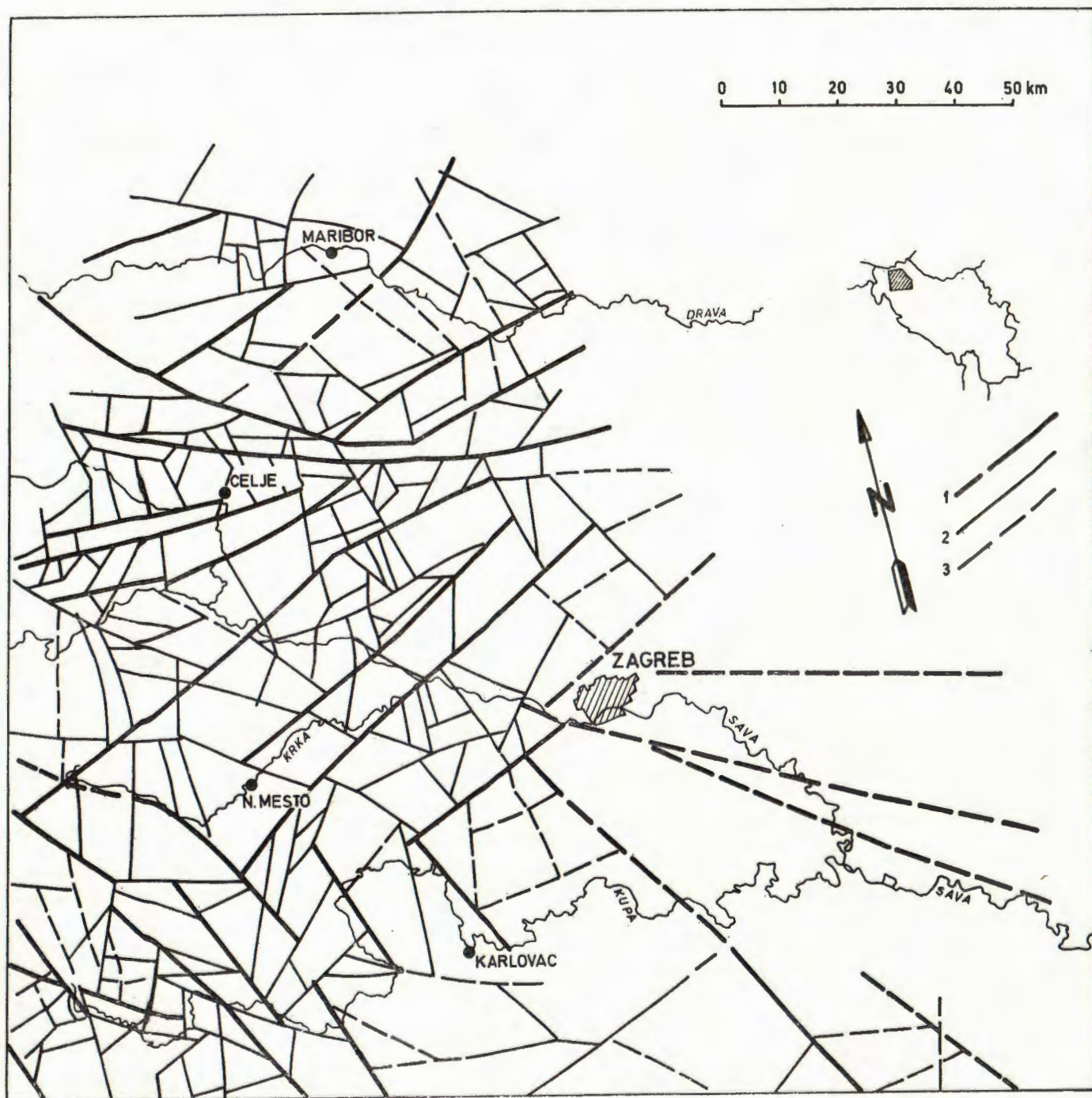
Received 6 March 1975.

*Industroprojekt
Savska c. 88a, 41000 Zagreb*



Tabla—Plate I Snimak napravljen 6. februara 1973. s multispektralnim skanerom iz američkog satelita ERTS-1. Oznake na snimku znače: LJ—Ljubljana, Z—Zagreb, M—Maribor; R—rasjedi; R—rasjedi, K—karbonatne stijene, Kl—klastične naslage.

Image made from the American satellite ERTS-1 on Feb. 6, 1973, using a multispectral scanner. Meaning of image designations: Lj—Ljubljana, Z—Zagreb, M—Maribor; R—faults, K—carbonate rocks, Kl—clastics.



Tabla—Plate II Karta rasjeda izrađena na osnovi ERTS-1 snimaka. Rasjedi prvog reda veličine (1), rasjedi drugog reda veličine (2), pretpostavljeni rasjedi (3).

Faults map based on ERTS-1 imagery. Faults of the Ist order (1), faults of the IInd order (2), supposed faults (3).