

UDK 550.838(497.12+497.13)=861

## Zemljina kora na potezu Pula—Maribor u svetlu aeromagnetskih podataka

### Composition of Earth's crust along Pula—Maribor section as based on aeromagnetic data

Slobodan Vukašinić

Geoinstitut, 11000 Beograd, Rovinjska 12

#### Kratak izvod

Aeromagnetskim ispitivanjima duž profila Pula-Maribor dobijeni su podaci koji ukazuju da je magnetsko polje Zemlje relativno slabo poremećeno. S obzirom na formu dijagrama  $\Delta T$  intenziteta zaključuje se da su poremećaj geomagnetskog polja uslovile strukture kako gornjeg tako isto i donjeg dela Zemljine kore. Na bazi aeromagnetskih i drugih relevantnih geološko-geofizičkih podataka u domenu profila i šire, izdvojeni su dubinski razlomi i izvršeno je razgraničavanje osnovnih geotektonskih jedinica duž ispitivanog profila.

#### Abstract

According to data obtained by aeromagnetic survey, the geomagnetic field along the investigated section has been only slightly disturbed. The shape of diagrams of  $\Delta T$  intensity indicate the anomalous sources produced by structures located both in the upper and lower parts of the Earth's crust. Based on the character of detected variation of  $\Delta T$  intensity, as well as on the other structural, geological and geophysical features of the entire region, the deep lineaments were identified and the most important geotectonic units were delineated along the investigated section.

#### Uvod

Aeromagnetska ispitivanja duž profila Pula—Maribor izvedena su 1980. godine, u cilju izučavanja geološke građe Zemljine kore. U istom cilju duž ovog profila biće izvršeno i duboko seizmičko sondiranje. Investitori ispitivanja su Republički komitet za znanost, tehnologiju i informatiku — Zagreb i Raziskovalna skupnost SR Slovenije — Ljubljana.

Aeromagnetska merenja izvršena su iz aviona sa protonskim magnetometrom osetljivosti 0,1 nT, duž tri maršrute međusobno udaljene 4 km (sl. 1). Iznad Jadrana maršrute su se prostirale 20 km. Merenja su obavljena na dva visinska nivoa: viši nivo imao je istu apsolutnu visinu — 2500 m, dok je na nižem

nivou avion blago sledio osnovne morfostrukture terena na prosečnoj relativnoj visini leta od oko 500 m. U cilju povezivanja maršruta izvršena su i merenja duž poprečnih trasa, koje su išle po jedna na oba periferna dela uzdužnih — osnovnih maršruta. Radi kontrole rada aeromagnetometra i određivanja tačnosti merenja ponovljena su merenja na nekim kraćim delovima središnje maršrute, na delovima koji uključuju i terene sa relativno mirnim magnetskim poljem. Srednja kvadratna greška merenja iznosi  $\pm 0,8$  nT.

Rezultati aeromagnetskih merenja grafički su prikazani na sl. 1 u vidu dijagrama  $\Delta T$  intenziteta oba nivoa sve tri maršrute, od kojih su oni za bočne maršrute — 1 i 3, radi preglednosti, translaterani u odnosu na situacioni položaj dotičnih maršruta. Geotektonska interpretacija dijagrama — anomalnog polja  $\Delta T$  grafički je iskazana na sl. 2, uz dijagrame  $\Delta T$  središnje maršrute (maršrute 2).

### Karakteristike dijagrama — anomalnog polja $\Delta T$

Dobijeni dijagrami  $\Delta T$  intenziteta (sl. 1) pokazuju da je opšta slika anomalnog magnetskog polja približno ista, na sve tri maršrute i oba visinska nivoa. Dijagrami su međusobno u velikom stepenu korespondentni, na većem delu izražavaju iste anomalije — uzročnike. Postojeće razlike u detaljima forme i amplituda pojedinih anomalija potiču od različitog položaja odgovarajućeg dela maršrute — magnetometra u odnosu na uzročnike (različito horizontalno i vertikalno udaljenje).

Već na prvi pogled dijagrami  $\Delta T$  iskazuju relativno slabu poremećenost geomagnetskog polja duž ispitanog profila. Na većem delu profila anomalno polje karakterišu opšta (regionalna) povećanja — sniženja neznatna po intenzitetu. Izrazitije anomalije — anomalije lokalnog karaktera, registrovane su na SI i JZ delu profila, međusobno razdvojena skoro normalnim poljem. Grubo gledano po magnetskim karakteristikama na profilu se, dakle, razlikuju tri dela — JZ, središnji i SI. Po ovim delovima nešto ćemo detaljnije opisati konfiguraciju anomalnog polja i ukazati na neke manje promene  $\Delta T$  intenziteta na dužim segmentima profila, koje takođe iskazuju određene specifičnosti dotičnih delova profila.

JZ deo profila izdvaja jasno izražena anomalija na prostoru Pula—r. (zaliv) Raša. Maksimum intenziteta anomalije od nekoliko desetina nT registrovan je na maršruti 1, na nižem nivou — »500 m«. Prema pučini anomalija postupno prelazi u negativno polje, koje je izrazito ujednačeno na višem nivou — 2500 m, zadržavajući intenzitet od desetak nT.

Središnji deo profila gde praktično izostaju »lokalne« anomalije, a to znači između r. Raše i Gradišća, karakteriše opšte sniženje, odnosno povećanje anomalnog polja na dužim segmentima profila. Između r. Raše i Gorači naglašeno je sniženje polja koje je na većem delu negativnog znaka. Dalje u pravcu severoistoka a do r. Krke evidentan je skok fona anomalnog polja, uz delimično kolebanje intenziteta na nižem nivou. Manje povišenje fona sledi i na segmentu od r. Krke do Gradišća, ali uz ujednačen intenzitet na oba nivoa. Izrazitije lokalne promene  $\Delta T$  registrovane su samo na prostoru Opatija—Rijeka, na sve tri maršrute nižeg nivoa.

SI deo profila, preostali deo od Gradišća pa do kraja (r. Mure) ima po konfiguraciji najizrazitije anomalno polje. Odlikuju ga promene  $\Delta T$  intenziteta

i regionalnog i lokalnog karaktera. Izražena su relativno česta i oštra kolebanja intenziteta u odnosu na veoma jasno ispoljena opšta povećanja — sniženja anomalnog polja. Skokovita promena regionalnog karaktera je na području Maribora. Anomalije sa visokim horizontalnim gradijentom posebno su brojno ispoljene na maršruti 3. Promene  $\Delta T$  intenziteta na SI delu profila su do nekoliko desetina nT.

### Interpretacija dijagrama — anomalnog polja $\Delta T$

Interpretacija anomalnog magnetskog polja duž ispitivanog profila bazirana je na postojećim geološkim kartama, opštem poznavanju magnetskih karakteristika stena i na svim drugim raspoloživim geološko-geofizičkim podacima, uže i šire teritorije, koji doprinose osvetljavanju geostrukturnih odnosa po ustanovljenim promenama  $\Delta T$  intenziteta.

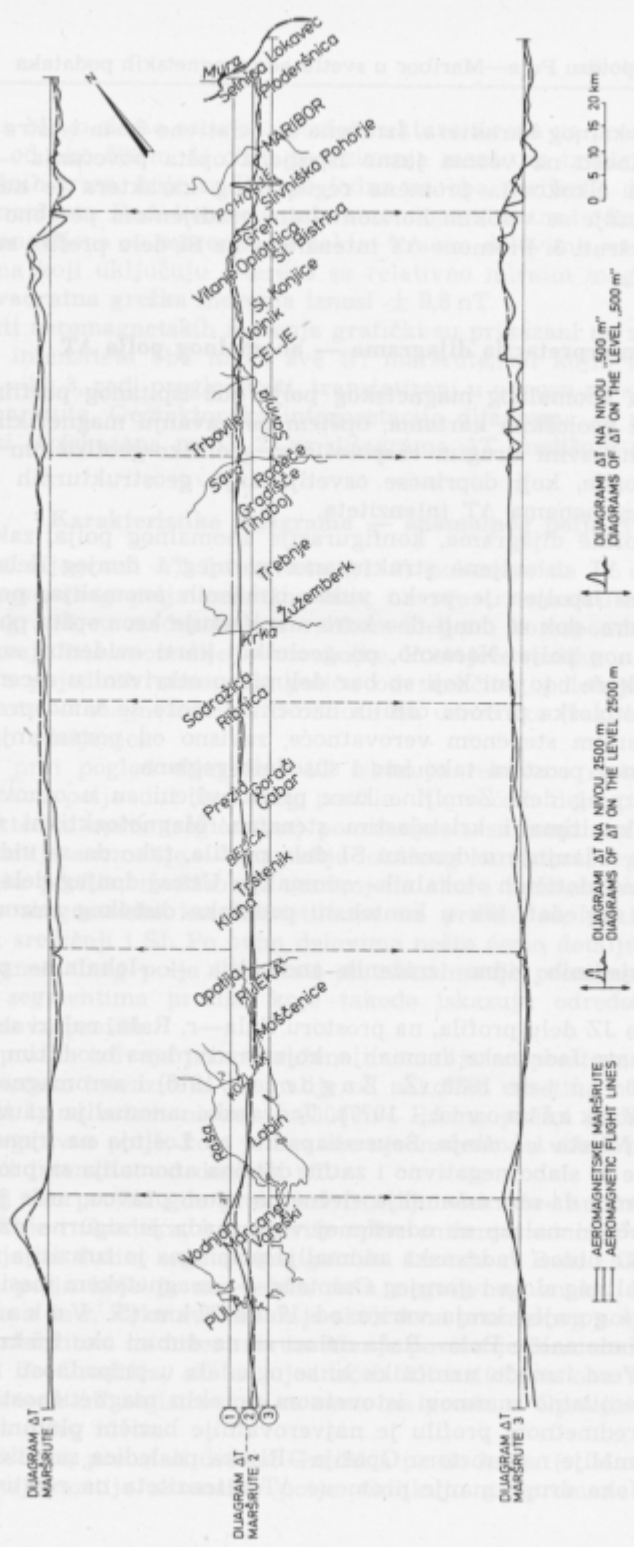
Na osnovu forme dijagrama, konfiguracije anomalnog polja, zaključuje se da su promene  $\Delta T$  uslovljene strukturama gornjeg i donjeg dela Zemljine kore. Gornji deo ispoljen je preko vidno izraženih anomalija, promena  $\Delta T$  lokalnog karaktera, dok se donji deo kore manifestuje kroz opšta povećanja — sniženja anomalnog polja. Naravno, po geološkoj karti evidentni su uzročnici iz gornjeg dela kore i to oni koji su bar delimično otkriveni u recentnom erozionom nivou. Litološka priroda ostalih uzročnika može se samo pretpostaviti, sa većim ili manjim stepenom verovatnoće, zavisno od poznavanja geološke građe kao dotičnog prostora tako isto i susednih regiona.

Uzročnici gornjeg dela Zemljine kore predstavljeni su u osnovi bazičnim plutonitom, vulkanitima i kristalastim stenama. Magnetoaktivni vulkaniti i kristalaste stene izdajuju u domenu SI dela profila, tako da se vidno ispoljavaju kao uzročnici dotičnih »lokalnih« anomalija. Uticaj donjeg dela kore moći će se potpunije sagledati tek u kontekstu podataka dubokog seizmičkog sondiranja.

Uzročnici pojedinih vidno izraženih anomalija — »lokalnih« predmet su daljeg izlaganja.

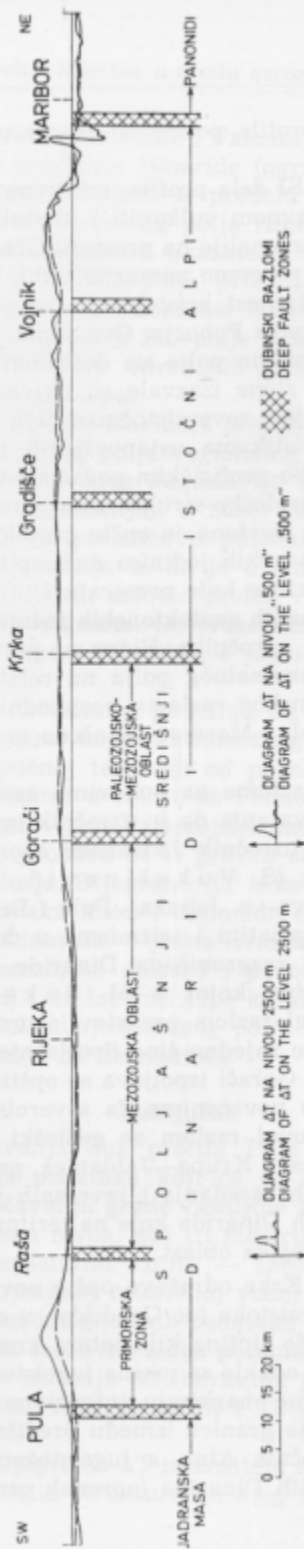
Anomalija na JZ delu profila, na prostoru Pula—r. Raša, nalazi se na pravcu prostiranja poznate Jadranske anomalije, koja je utvrđena brodskim merenjima (K. Damjanović i dr. 1968, Ž. Zagorac, 1975) i aeromagnetskim ispitivanjima (S. Vukašinić, 1977). Jadranska anomalija zauzima veliki prostor između Mljeta i Lošinja. Severozapadno od Lošinja na njeno pozitivno polje nadovezuje se slabo negativno i zatim dotična anomalija sa profila Pula—Maribor. S obzirom da obe anomalije »leže« na istom pravcu, naše je mišljenje da im se i uzročnici nalaze na određenoj vezi, mada je sigurno da zahvataju različite dubinske nivoe. Jadranska anomalija pripisana je izrazitije namagnetisanom delu bazalnog sloja i gornjeg Omotača — »magnetskom masivu«, uzročniku čija dubina gornjeg kraja varira od 17 do 32 km (S. Vukašinić, 1977). Uzročnik anomalije Pula—Raša nalazi se na dubini oko 2,5 km u odnosu na nivo mora. Veza između uzročnika bi se ogledala u pripadnosti istoj strukturnoj zoni i verovatno u osnovi istovetnom poreklu magnetičnosti. Uzročnik anomalije na predmetnom profilu je najverovatnije bazični plutonit.

Lokalne anomalije na prostoru Opatija—Rijeka posledica su uticaja veštačkih objekata. Neke druge manje promene  $\Delta T$  intenziteta na relativno kraćim



Sl. 1 Dijagrami  $\Delta T$  intenziteta na profilu Pula-Maribor

Fig. 1. Diagrams of  $\Delta T$  intensity on the Pula-Maribor flight lines



Sl. 2. Dijagrami  $\Delta T$  intenziteta (maršrute 2) i osnovne geotektonske jedinice na profilu Pula-Maribor

Fig. 2. Diagrams of  $\Delta T$  intensity (of flight line No 2) and principal geotectonical units of the Pula-Maribor cross section

segmentima središnjeg dela profila potiču od manje magnetske heterogenosti pripovršinskih formacija.

Anomalno magnetno polje SI dela profila, relativno brojne anomalije lokalnog karaktera uslovili su uglavnom vulkaniti i kristalaste stene. Vulkaniti — pretežno andeziti, izazvali su anomalije na prostoru Gradišće — Celje. Po svojoj prilici ovi vulkaniti su delom reversno namagnetisani, što bi ukazivalo na više fazni vulkanizam. Magnetoaktivnost kristalastih stena se odnosi poglavito na one iz omotača tonalitskog masiva Pohorja. Ove stene, predstavljene uglavnom amfibolitima, uslovile su anomalno polje na dotičnom prostoru, uz delimičnu »pomoć« tonalita. Kristalaste stene izazvale su najverovatnije i manja kolebanja  $\Delta T$  intenziteta na krajnjem severoistočnom delu profila.

Bazirajući se na karakteristikama ustanovljenih promena  $\Delta T$  intenziteta i na drugim relevantnim geološko-geofizičkim podacima u domenu profila Pula—Maribor, kao i na poznatim geološko-strukturnim odnosima šire teritorije, izdvojeni su dubinski razlomi i izvršeno je opšte geotektonsko rejoniranje, razgraničavanje osnovnih geotektonskih jedinica duž ispitanog profila (sl. 2).

Dubinski razlomi kao strukture koje presecaju čitavu Zemljinu koru, predstavljajući granice individualisanih geotektonskih jedinica višeg reda, magnetski se mogu manifestovati preko uzročnika čijem su postojanju doprineli ili po opštem porastu — sniženju anomalnog polja na relativno većim prostorima. Naravno, za utvrđivanje dubinskog razloma neophodni su i odgovarajući geološki ukazatelji. Na profilu Pula—Maribor označeno je nekoliko dubinskih razloma (sl. 2).

Postojanje dva dubinska razloma na bokovima anomalije — uzročnika na JZ delu profila proističe iz shvatanja da je uzročnik ove anomalije kontrolisan istovetnom strukturom kao i uzročnik Jadranske anomalije koga nesumnjivo ograničavaju dubinski razlomi (S. Vukašinić, 1977). Za aktivnost ovih razloma, na pravcima o. Lastovo—o. Jabuka—Pula i Drniš—Velebitski Kanal—r. Raša, vezuju se pojave magmatita i seizmizma u domenu njihovog rasprostranjenja. Razlom kod Pule razgraničava Dinaride od Jadranske mase — Zemljine kore platformskog tipa, kojoj je M. Rokсандić (1966) pripisao najveći dio Jadrana, dok drugi razlom predstavlja granicu između Primorske zone i Mezozojske oblasti, koje zajedno čine Spoljašnje Dinaride.

Dubinski razlom u predelu Gorači ispoljava se opštim sniženjem anomalnog polja ka jugozapadu, odnosno povećanjem ka severoistoku. Izvan profila, na ostaloj teritoriji Jugoslavije ovaj razlom se geološki manifestuje na pravcu Ajdovščina—Vrbovsko—Bosanska Krupa—Jablanica, preko mestimičnih pojava dijabaza i gabrova, intenzivnih rasedanja i reversnih navlačenja, čini granicu između Spoljašnjih i Središnjih Dinarida koje na teritoriji Slovenije i Hrvatske predstavlja Paleozojsko-mezozojska oblast.

Dubinski razlom u pojasu Krke odražava opšte povećanje anomalnog polja za nekoliko nT u pravcu severoistoka (do Gradišća), u odnosu na polje sa jugozapadne strane. Prostire se više stotina kilometara kroz Jugoslaviju na potezu Tolmin—Ljubljana—Tupusko, odakle se prema jugoistoku »račva« ka Zvorniku odnosno Zlatiboru, gde razlome markiraju intenzivne pojave bazita. Severozapadno od r. Kupe predstavlja granicu između Središnjih Dinarida (Paleozojsko-mezozojske oblasti) i Istočnih Alpa, a jugoistočno od Kupe čini granicu između Središnjih i Unutrašnjih Dinarida (ogranak prema Zvorniku), odnosno

granicu između Paleozojsko-mezozojske i Paleozojske oblasti, koje na dotičnom prostoru zajednički čine Središnje Dinaride (ogranak prema Zlatiboru).

Na postojanje dubinskih razloma u predelu Gradišća i Vojnika ukazuje osetna promena karaktera anomalnog polja između prostora koje razdvajaju, uz prisustvo odgovarajućih geoloških ukazatelja. Prema napred iskazanoj lito-loškoj prirodi uzročnika anomalnog polja, proizilazi da razgraničavaju područja sa različitim magmatogenim osobenostima. Nedostaju podaci za uvid u prostranstvo ovih razloma na teritoriji Slovenije i dalje, a stim u vezi i za njihovo integralno značenje kao granica određenih geotektonskih jedinica relativno nižeg reda, u okviru Istočnih Alpa.

Dubinski razlom na području Maribora proističe po posebno vidno izraženoj, skokovitoj promeni anomalnog polja regionalnog karaktera. I ovaj se razlom pruža više stotina kilometara kroz Jugoslaviju i dalje, na pravcu Maribor—Osijek—Melenci—Apuseni (Romunija). U našoj zemlji nema površinskih manifestacija. Njegovo postojanje proističe iz podataka magnetskih i drugih geofizičkih ispitivanja. Predpostavlja se da je u domenu svoga rasprostranjenja, za vreme dugotrajne aktivnosti, uslovio proboj različitih magmatita — bazita i terciarnih granitoida i vulkanita. Severozapadno od ušća Mure predstavlja granicu između Istočnih Alpa i Panonida, a jugoistočno razgraničava Panonide i Dinaride.

Dakle, prema napred navedenom proizilazi da profil Pula—Maribor preseca Jadransku masu — Zemljinu koru platformskog tipa, Dinaride, Istočne Alpe i Panonide (sl. 2). Na dotičnoj teritoriji od poznatih Dinarskih geotektonskih jedinica prisutni su Spoljašnji u celini, sa Primorskom zonom i Mezozojskom oblašću, i Središnji, predstavljeni Paleozojsko-mezozojskom oblašću, dok Unutrašnji Dinaridi nisu, ne prostiru se u pravcu severozapada dalje od masiva Medvednica—Kalničko Gorje. Dijagrami  $\Delta T$  intenziteta iskazuju da u domenu predmetnog profila Jadransku masu i Panonide odlikuje dosta ujednačeno negativno anomalno polje, Dinaride — jedna izrazita anomalija (Primorske zone), zatim opšte sniženo (Mezozojske oblasti) i povećano anomalno polje (Paleozojsko-mezozojske oblasti) i da Istočne Alpe karakteriše po intenzitetu najveće opšte povišenje  $\Delta T$ , sa delom ujednačenog polja i delom gde su izražena prilično česta i oštra kolebanja  $\Delta T$  intenziteta.

### Zaključak

Aeromagnetska ispitivanja duž profila Pula—Maribor izvršena su 1980. godine, u cilju dobijanja podataka koji će uz podatke dubokog seizmičkog sondiranja poslužiti proučavanju građe Zemljine kore. Aeromagnetska merenja su izvedena na dva visinska nivoa, duž tri maršrute međusobno udaljene 4 km. Viši nivo imao je istu apsolutnu visinu — 2500 m, dok je niži blago sledio morfologiju terena, na prosečnoj relativnoj visini od oko 500 m.

Na osnovu dobijenih aeromagnetskih podataka proizilazi da je geomagnetsko polje duž ispitivanog profila relativno slabo poremećeno. Veći deo profila karakteriše opšta povećanja — sniženja  $\Delta T$ , neznatna po intenzitetu. Izrazitije anomalije — »lokalne«, registrovane su na SI i JZ delu profila, između kojih je polje blisko normalnom.

S obzirom na formu dijagrama  $\Delta T$  intenziteta zaključuje se da su poremećaj geomagnetskog polja uslovile strukture gornjeg i donjeg dela Zemljine kore.

Magnetoaktivne članove gornjeg dela predstavljaju u osnovi bazični plutonit, vulkaniti i kristalaste stene, koji su izazvali anomalije lokalnog karaktera. Donji deo Zemljine kore odražen je preko opštih povišenja — sniženja anomalnog polja na dužim delovima maršruta.

Bazirajući se na karakteru ustanovljenih promena  $\Delta T$  intenziteta i na drugim relevantnim geološko-geofizičkim podacima u domenu profila, kao i na poznatim geološko-strukturnim odnosima šire teritorije, izdvojeni su dubinski razlomi i izvršena je opšta geotektonska rejonizacija, razgraničavanje osnovnih geotektonskih jedinica duž ispitnog profila.

### Composition of Earth's crust along Pula—Maribor section as based on aeromagnetic data

#### Summary

The airborne magnetometric investigations along the Pula—Maribor section were conducted in 1980. These investigations were directed, combined with the deep seismic soundings, to give more data on the composition of the Earth's crust. The total intensity of geomagnetic field was measured at two altitude levels, along the three flight lines, mutually separated by 4 km. The higher level was at the absolute altitude of 2500 m, and the lower at average relative altitude of about 500 m.

According to data obtained by aeromagnetic survey, the geomagnetic field along the investigated section has been only slightly disturbed (fig. 1). Most of the section is featured by the low intensity, general increases or decreases of  $\Delta T$  value. More conspicuous "local" anomalies were registered in the NE and SW parts of the section, with the field remaining close to normal between these anomalies.

The shape of diagrams of  $\Delta T$  intensity indicate the anomalous sources produced by structures located both in the upper and lower parts of the Earth's crust. The magnetically active members in the upper parts consist generally of the basic igneous, volcanic and crystalline rocks, which caused the anomalies of the local character. The anomalous sources in the lower parts of the crust are expressed by general increases or decreases of anomalous field along the longer parts of the flight lines.

Based on the character of detected variation of  $\Delta T$  intensity, as well as on the other structural, geological and geophysical features of the entire region, the deep lineaments were identified and the most important geotectonic units were delineated along the investigated section (fig. 2).

#### Literatura

Damjanović, K. i dr. 1968, Jadranska magnetska anomalija. Simpozijum o Mohorovičića diskontinuitetu, JAZU, Zagreb.

Roksandić, M. 1966, Dubinske i površinske strukture u Spoljašnjim Dinari-dima i Jadranskom moru. Vesnik ZGGI, knj. VII, serija C, Beograd.

Vukašinić, S. 1977, Zemljina kora i geotektonska rejonizacija Srednjeg Jadrana u svetlosti aeromagnetskih podataka. Radovi Geoinstituta, knj. XI, Beograd.

Vukašinić, S. 1981, Izveštaj o aeromagnetskim ispitivanjima duž profila Pula-Maribor. FSD Geoinstituta, Beograd.

Zagorac, Z. 1975, Neki rezultati magnetometrije u sklopu kompleksne geofizičke interpretacije područja Dinarida. Nafta br. 26.