

ZVONIMIR KRULC

PRIMJENA GEOMAGNETSKE METODE NA ŽELJEZnim RUDIŠTIMA MALOG MAGNETSKOG SUSCEPTIBILITETA U BEŠLINCU

UVOD

Rudno područje Bešlinac, u literaturi više poznato pod nazivom Trgovska Gora, leži oko 75 km zračne linije jugoistočno od Zagreba u kotaru Dvor na Uni, na granici sa NR Bosnom i Hercegovinom.

Godine 1951. započela su sistematska geološka i montangeološka istraživanja čitavog rudnog područja Trgovske Gore, a godine 1952. počeli su sistematski rudarski istražni radovi (zajedno sa pročišćavanjem i otvaranjem zarušenih starih radova) kao i istražna bušenja. Radi toga, da se dobije što više podataka o rudnim pojавama za što sigurnije lokacije rudarskih istraga i istražnih bušotina, primjenjena je i geomagnetska metoda geofizičkog istraživanja. Rezultati montangeoloških istraživanja bili su od velike koristi za usmjerivanje i izvođenje geomagnetskih istraživanja, pošto su ograničili i tako smanjili na najmanju potrebnu mjeru površine, koje je trebalo istražiti geofizički.

PREGLED GEOLOGIJE PODRUČJA

Željezne rudne pojave područja Trgovske Gore vezane su za naslage gornjeg paleozoika, koje sačinjavaju glineni škriljevci i pješčenjaci. Glavni smjer pružanja slojeva paleozoika je NW—SE. Slojevi su naklonjeni prosječno pod 50° — 60° .

Sire područje Bešlinca je tektonski jako poremećeno. Glavno tektonsko obilježe daju danas rasjedi. Većina rudnih pojave vezana je vjerojatno na poremećenje unutar paleozoika (DEVIDÉ-NEDELA, 1953.).

Rudne pojave područja Bešlinac su više ili manje simetrične, deblje ili tanje lećaste žice i leće, te gnijezda u glineno-pješčanim naslagama. Rudne pojave imaju glavni pravac pružanja NNW—SSE, a pad u sjevernom dijelu prema WSW a u istočnom dijelu prema ENE (PAPP, 1919).

Paragenetski razlikujemo tri tipa rudnih pojave, od kojih je obzirom na pojave željeznih ruda važan samo onaj, koji je vezan na uzak pojaz ankeritiziranih vapnenaca u škriljavcima. Prvobitno orudnjenje bio je ankerit s prelazima u siderit lećastih ili gnjezdastih oblika. Ankeriti i

* Preraden i dopunjjen referat održan na I. Savjetovanju geofizičara FNRJ u Beogradu ožujka 1955.

sideriti su do izvjesne mjere oksidirani u limonit, koji se javlja dijelom kao takozvani »brand« — okerasti, zemljasti limonit — dijelom kao caklovica. Neka od tih limonitnih tijela izbijaju na površinu, pri čemu su im gornji dijelovi erozijom razorenji, neka se pak nalaze još pod površinom (JURKOVIĆ, 1953, 1956 — usmene informacije).

GEOMAGNETSKA ISTRAŽIVANJA

Geološka priroda rudnih pojava Trgовske Gore ne dozvoljava, da se mogu vršiti pronalaženja novih rudnih tijela samo sa geološkog stanovišta. To napose iz razloga, što se dosadašnje iskorištavanje rudnih nalažišta ograničilo na rudne pojave u oksidacionoj zoni na ili blizu površine. Stoga je sada istraživanje novih rudnih pojava vezano na proučavanje sa većim dubinskim zahvatom.

Kod istraživanja dublje ležećih rudnih ležišta imaju prednost geofizičke metode uslijed uštede na vremenu i novcu. Kao najprikladnija dolazi u ovom slučaju u obzir geomagnetska metoda.

Geomagnetska metoda već se odavna primjenjuje kod istraživanja rudišta magnetita. U XVI. stoljeću se upotrebljava u Švedskoj kao prvi mjerni instrument praktične geofizike obični rudarski kompas. Magnetit je naime tako jako magnetičan, da otklanja običnu magnetsku iglu. To se je prirodno svojstvo brzo upoznalo i odmah iskoristilo u praktične svrhe. Za vrijeme XVII. i XVIII. stoljeća je na taj način magnetski ispitana pretežni dio Srednje Švedske, gdje je bilo tada bezbroj većih i manjih rudišta magnetita. Pronađeno je više od hiljadu većih i manjih rudnih tijela magnetita (KOLBERT, 1949). Tek nakon što je ADOLF SCHMIDT 1918. godine napravio svoju magnetsku vagu (variometar), počinje svestrana i sistematska primjena geomagnetske metode. Sada ona počiva na točnim mjerjenjima i naučnoj obradi mjernih podataka.

Veliki napredak mjerne tehnike između oba svjetska rata uvjetovao je povećanje točnosti i kod magnetometrijskih instrumenata. To je dalo povoda za istraživanja geomagnetskom metodom i slabo magnetičnih željeznih ruda, u kojima nema magnetita, koji normalno uvjetuje mogućnost istraživanja ruda i stijena magnetskim putem. U literaturi nema o takvim istraživanjima mnogo podataka, a mnoga nam djela nisu dostupna ili su nam čak i nepoznata. Radi toga predstavlja gémagnetsko istraživanje željeznih rudišta malog magnetskog susceptibiliteta u Bešlincu pionirski rad na tom području praktične geofizike u našoj zemlji, pa ga treba kao takvog prosuđivati kod donošenja suda o njegovom uspjehu.

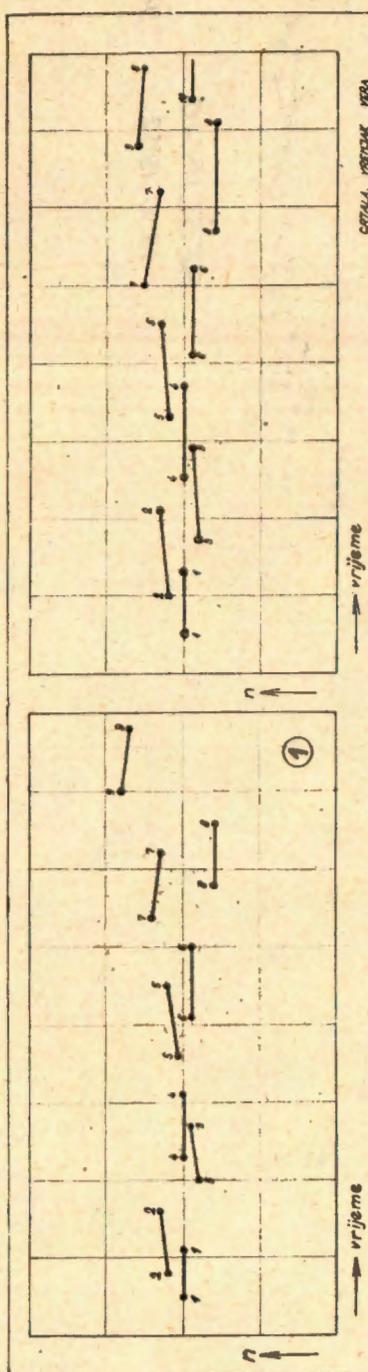
Geomagnetsko istraživanje u Bešlincu izvršeno je sa temperaturno kompenziranim vertikalnim variometrima (magnetskim vagama) tvrtke »ASKANIA«. Vrijednost skale instrumenta (recipročna vrijednost osjetljivosti) iznosila je oko 20 γ po razdjelku skale. Mjerenje je učinjeno step metodom, koja je shematski prikazana na sl. 1. U slici je lijevo prikazan način mjerjenja u Bešlincu, a desno poboljšani način mjerjenja kod kasnijih detaljnijih istraživanja na drugim pojavama željeznih ruda malog magnetskog susceptibiliteta.

Na sl. 2 gore prikazan je jedan primjeran — školski poučan i zoran, mjerni dijagram u koordinatnom sustavu: očitanje magnetske vase

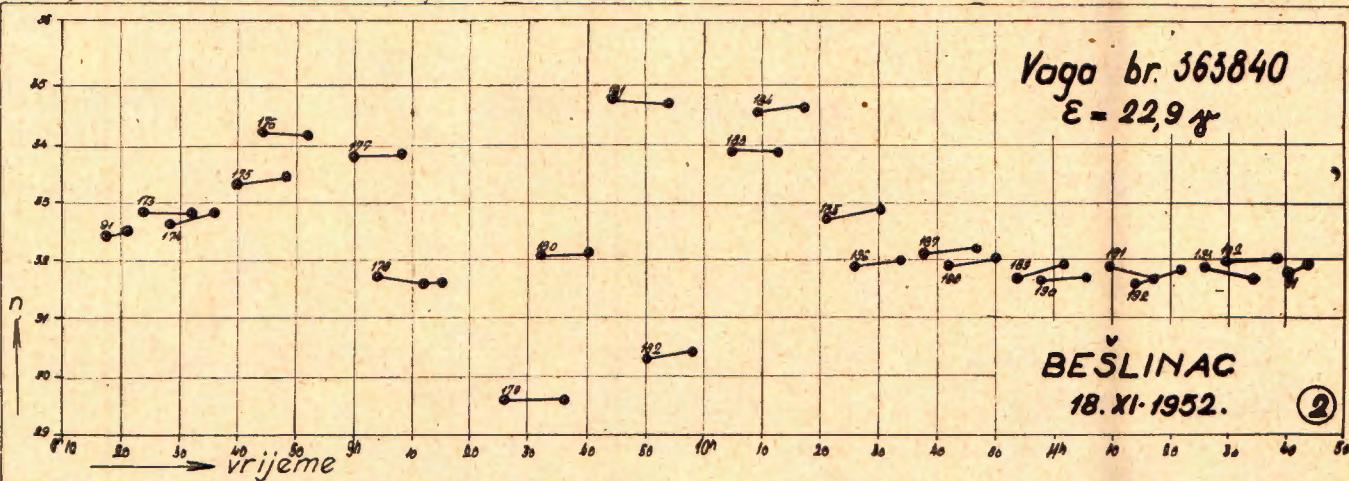
(uspravni smjer) — vrijeme (vodoravni smjer) sa jednog terena na području Bešlinac.

U lijevom dijagramu jasno se vide maksimumi i minimumi magnetskog mjerjenja, dok je desni dio »miran« — bez nekog poremećenja. Na sl. 2 dolje prikazan je jedan mjerni dijagram sa područja Likarevac (Bešlinac). O tom području će biti još govora. Mjerjenjem pomoću step metode vrlo se lako opaze i ponovnim mjerjenjem eliminiraju grube pogreške i takozvani skokovi magnetske vase, čime se osjetno povećava točnost mjerjenja.

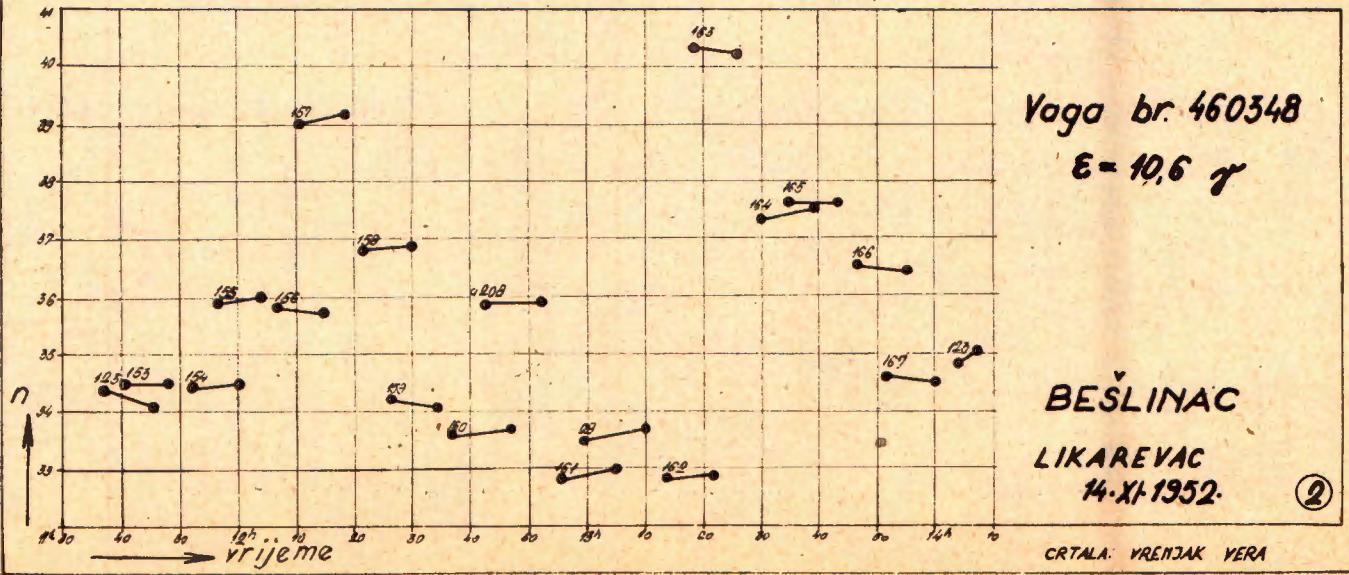
Svakodnevnim mjerjenjem određenih kontrolnih točaka i ponavljanjem daljnjih mjernih točaka vršena je stalna kontrola instrumenta (osim kontinuirane kontrole samim postupkom opažanja pojedinih točaka). Eliminacija utjecaja dnevne promjene zemaljskog magnetskog polja i obračun mjernih podataka vršeni su prema slijedećem postupku BATURICA. Mjerena svakog dana zatvarala su se magnetski (vraćanjem na početnu točku i ponovnim mjerjenjem). Mjerjenjem u stepu dobivena je krivulja dnevne promjene i prema položaju veznih i kontrolnih točaka povučena je linija korekcije. Popravljene veličine očitanja magnetske vase množene su sada sa vrijednošću skale instrumenta. Potonja se odredivala svakih sedam dana na uobičajeni način pomoću galvanskog uređaja. Sastavljena je mreža svih magnetskih poligona na odnosnom području i određena su odstupanja. Po postupku približnog izjednačenja mreža izvršila se podjela popravaka na pojedine odsječke magnetskih



Slika 1. Shema mjerjenja po step metodi
Bild 1. Vermessungsschema nach der Step-Methode



Slika 2. Dva mjerena diagrama po step-metodi mjerjenja
Bild 2. Zwei Messdiagramme nach der Step-Methode



poligona od čvorišta do čvorišta. Tako su dobivene konačne vrijednosti magnetskih anomalija, koje su se zatim unosile na uobičajeni način na magnetske karte. Postigla se točnost mjerena od oko $\pm 3 \gamma$.

Razmak mjernih stajališta iznosio je pretežno od 6 do 10 m, da bi se moglo uočiti sve pojedinosti poremećenja zemaljskog magnetskog polja. Položaj stajališta određivao se mjerjenjem magnetskog azimuta i dužine (pomoću žice). Kompasni poligoni magnetske mreže vezani su na geodetske točke prethodnog geodetskog snimanja i izjednačeni grafički. Geodetske karte mjerila 1:1.000 poslužile su kao topografska osnova za magnetske karte.

Grubim orientacionim određivanjem magnetskog susceptibiliteta na uzorcima ruda i stijena neposredno na terenu (primicanjem uzoraka magnetskoj vazi) utvrđene su veoma male relativne veličine tog parametra. Kod uzoraka stijena nisu primjećeni nikakvi otkloni. Točna laboratorijska ispitivanja magnetskog susceptibiliteta nisu izvršena. To će biti bezuvjetno potrebno kod jedne detaljnije analize rezultata geomagnetskog istraživanja željeznih rudišta malog magnetskog susceptibiliteta područja Bešlinac kao i Petrove Gore, Samoborske Gore, Donjeg Pazarišta, Debeljaka i Zagrebačke Gore. Upravo radi slabe magnetičnosti željeznih ruda na području Bešlinac odabrana je step metoda i mali razmak mjernih stajališta.

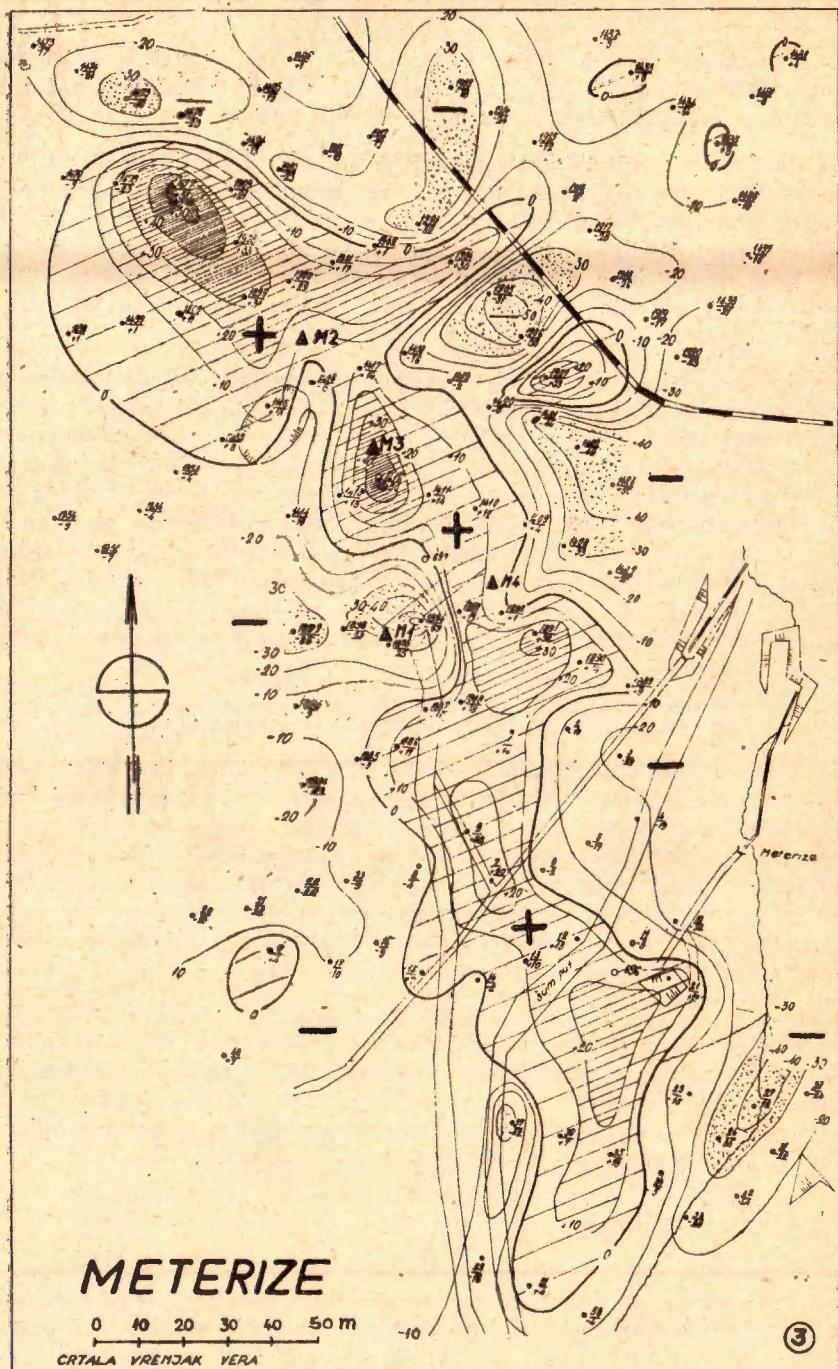
REZULTATI GEOMAGNETSKIH MJERENJA

Tok izodinama vertikalnog magnetskog intenziteta na magnetskim kartama daje u geografskoj širini Jugoslavije prilično točnu projekciju uzročnika magnetskih anomalija na površinu. Time se dobiva polazna točka za prosudjivanje oblika rudnih pojava i njihovog horizontalnog i vertikalnog prostiranja. U tu je svrhu izabrana na magnetskim kartama nulta izodinama tako, da ona predstavlja približne konture uzročnika magnetskih anomalija, koji je karakteriziran sa pozitivnim anomalijama. Ove su na kartama označene šrafurom i to rijede i gušće, već prema intenzitetu anomalije.

Izvršena su samo mjerena vertikalnog magnetskog intenziteta. Kako je prava vrijednost magnetskog susceptibiliteta uzročnika magnetskih anomalija bila nepoznata, a same rudne pojave nisu homogene i imaju nepravilan oblik, izvršena je samo kvalitativna interpretacija mjernih podataka. To je bilo i dovoljno za tadašnju fazu istražnih radova.

U slijedećem su prikazani rezultati samo za tri zanimljivije rudne pojave: Meterize, Likarevac i Jokin Potok.

Najnovijim istraživanjima utvrđeno je, da su rudne pojave u te tri pozicije sekundarna limonitna ležišta nastala u tercijaru (pliocenu) raspadanjem primarnih limonitno-sideritnih (ankeritnih) pojava na bazičnoj podlozi vapnenjaka (odносно dolomitnih vapnenjaka) već prije spomenutog ankeritiziranog pojasa duž Žirovca (JURKOVIĆ-NÖTH, 1956., usmena informacija). To je takozvani tip »Željeznih rudišta kontinentalnog raspadanja« prema klasifikaciji H. SCHNEIDERHÖHN-a, 1955.



Slika 3. Magnetska karta područja Meterize
Bild 3. Die geomagnetische Karte des Vermessungsgebietes Meterize

1. Meterize

Na tom je području trebalo istražiti prostiranje rudne pojave, koja je bila utvrđena mehaničkim bušenjem (bušotine M 1, M 2, M 3 i M 4) već prije, no što se pristupilo geomagnetskom istraživanju. Lokacija bušotina izvršena je na osnovu geoloških i montangeoloških istraživanja. Magnetska mjerena učinjena su prema sjeverozapadu i jugoistoku od mehaničkih bušotina M 1 i M 4.

Na dotičnom terenu je utvrđena pozitivna magnetska anomalija srazmjerne velike površine i intenziteta. Anomalijska amplituda iznosi 95 γ. Anomalija ima oblik i pravac pružanja NW—SE i pad prema SW, što je sasvim u skladu sa generalnim pružanjem i padom pojasa vapnenjaka, na kojima je došlo do stvaranja sekundarnog ležišta.

Veoma su zanimljivi rezultati mehaničkog bušenja. Ti su prikazani na Sl. 4 — radi boljeg pregleda i mogućnosti uspoređivanja zajedno sa onima na području Jokinog Potoka. U svim gore navedenim i na karti predočenim buštinama se je naišlo na rudu. To je isključivo »brand«.

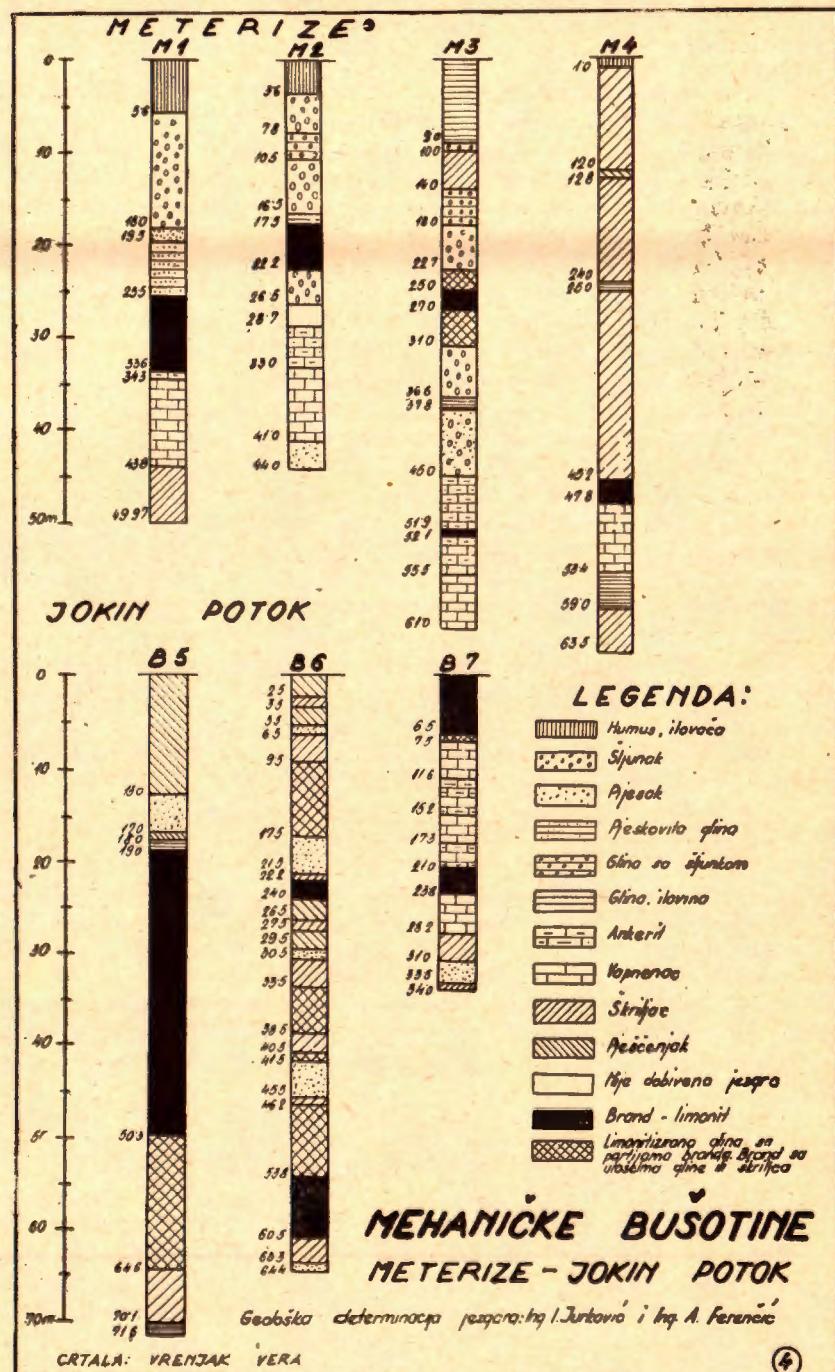
Odmah upada u oči činjenica, da se rudne pojave nalaze dosta duboko ispod površine. I u buštinama, koje se nalaze blizu jedna drugoj, nije sastav krovine isti. Ruda je nabušena u različitim dubinama. To potvrđuje nepravilan oblik i jako promjenljiv sastav rudne pojave. U krovini dolaze uglavnom glina, šljunak, ilovina i fragmenti škriljavaca. Prema geološkom profilu bušotina, naslage u krovini rudne pojave nisu limonitizirane ili hidrotermalno izmjenjene — barem ne u većoj mjeri, što je i razumljivo obzirom na tip rudne pojave. Zbog toga se jače magnetske anomalije na tom području mogu tumačiti isključivo većim magnetskim susceptibilitetom rudne pojave u dubini.

2. Likarevac

Prikazana je najznačajnija magnetska anomalija tog područja. Njezin oblik upućuje na lečasti oblik uzročnika te anomalije. Pravac pružanja anomalije NW—SE kao i pad njezinog uzročnika prema SW podudaraju se sa generalnim pružanjem i padom pojasa vapnenaca područja Bešlinac. Anomalijska amplituda iznosi 79 γ. Na jugoistočnom rubu maksimuma magnetske indikacije nalazi se ulaz u zarušeni stari rov. Izgleda da se ovdje radi o manjem lečastom rudnom tijelu, koje je tek djelomice iskorишteno.

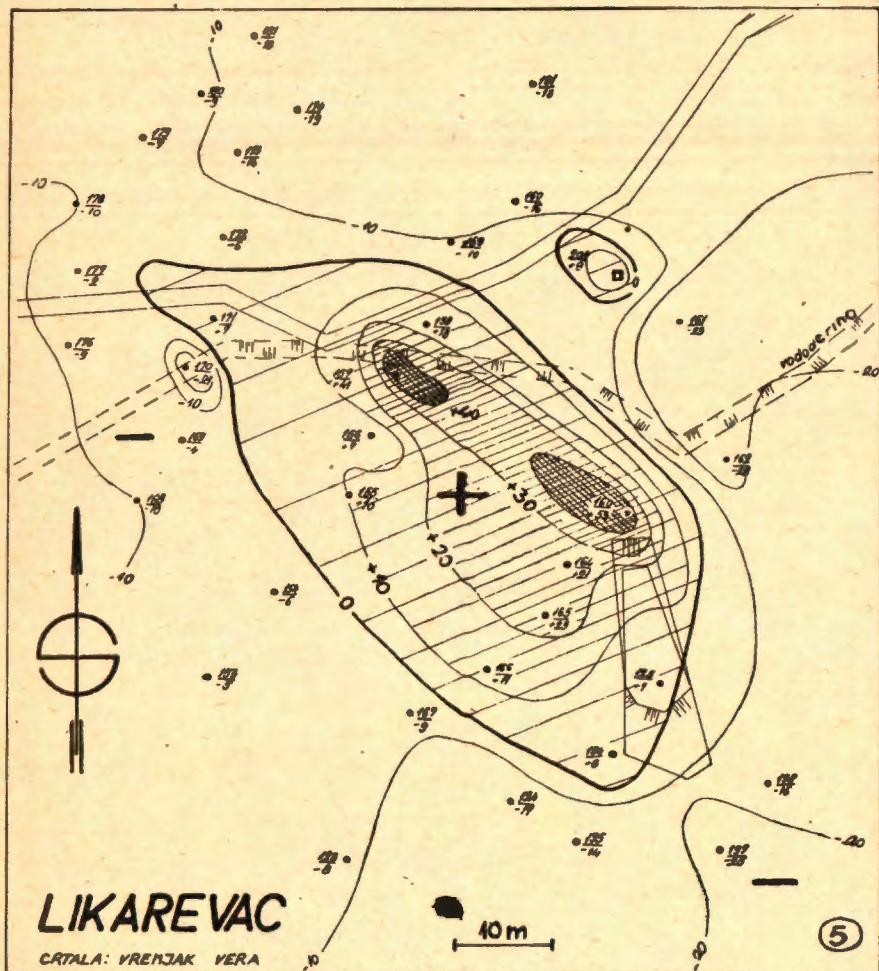
3. Jokin potok

Na magnetskoj karti tog područja vidimo više manjih i većih pozitivnih magnetskih anomalija, koje su poredane u jednom pravcu. Taj pravac ima pružanje istovjetno pružanju rudne zone i to NW—SE. Magnetske anomalije očito upućuju na lečasti oblik uzročnika. Anomalijska amplituda je relativno mala — iznosi samo 62 γ. Dosta nepravilan oblik pozitivnih izodinama, koje se sve zatvaraju, uvjetovan je promjenljivim sastavom rudne pojave. Rudna masa, koju sačinjava pretežno »brand«, nije homogena i kontinuirana. To nam lijepo pokazuju rezultati mehaničkog bušenja (vidi sl. 4).



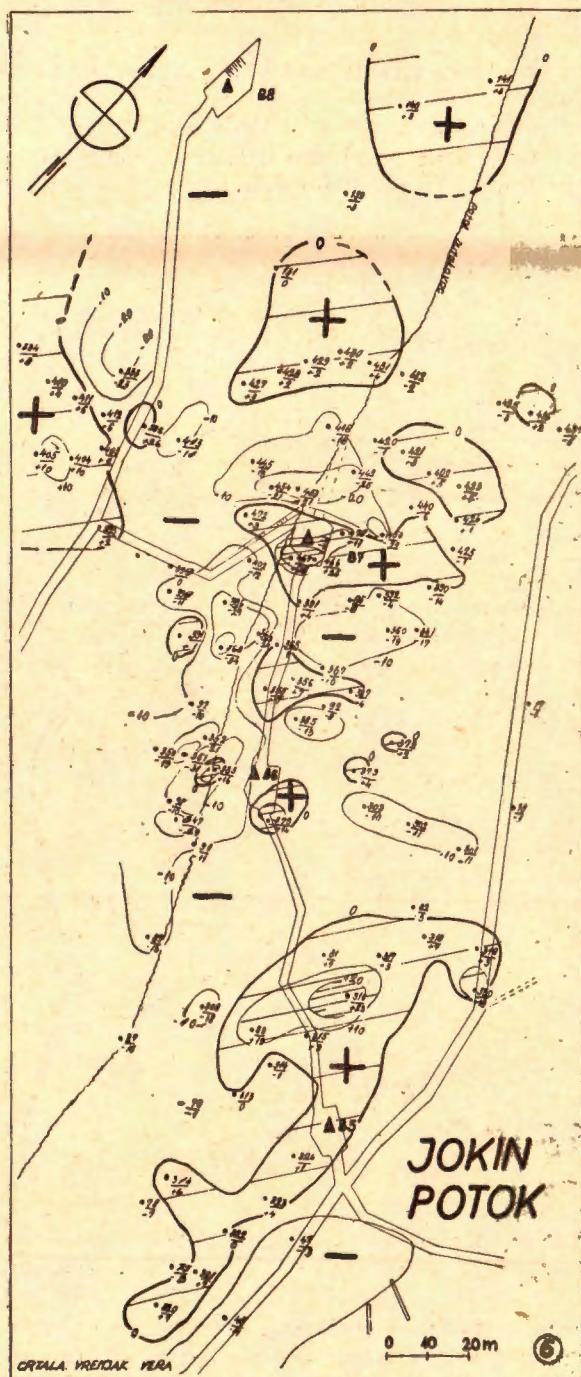
Slika 4. Mehaničke bušotine Meterize-Jokin potok
Bild 4. Die mechanischen Bohrlöcher Meterize — Jokin potok

Istraživanja na tom području nisu bila izvršena godine 1952. po uobičajenom redoslijedu: Geološka — geofizička — rudarska istraživanja i istražno bušenje. Geofizička, a i geološka i montangeološka istraživanja započela su tek tada, kada je već bio izbušen niz bušotina. Ta se praksa pokazala nepravilnom. To pokazuju zorno bušotine B 7 i B 8. Prva je



Slika 5. Magnetska karta dijela područja Likarevac
Bild 5. Die geomagnetsche Karte eines Teiles vom Vermessungsgebiet Likarevac

locirana na osnovu detaljnog geološkog istraživanja i preliminarne interpretacije geomagnetskog mjerjenja neposredno nakon terenskog snimanja i dala je pozitivni rezultat. Rudna je pojava uz samu površinu i ne seže u veliku dubinu (rudna pojava loše kvalitete ispod 17,3 odnosno 21,0 m sigurno nema više nikakvog utjecaja). Stoga se maksimum magnetske



Slika 6. Magnetska karta područja Jokin potok
Bild 6. Die geomagnetische Karte des Vermessungsgebietes Jokin potok

indikacije nalazi na mjestu mehaničke bušotine; izodiname imaju zatvoreni oblik. Izgleda, da je bio na ovom mjestu veći dio rudnog tijela erodiran, na što upućuje i montangeološko istraživanje.

Bušotina B 8 locirana je međutim po sistemu praćenja rudne pojave po generalnom pravcu pružanja zone orudnjenja, odnosno zone stvaranja sekundarnih rudnih ležišta i dala je negativni rezultat: Do 19,5 m nalaze se glineni škriljavci, djelomice metamorfozirani, a dalje slabo ankeritizirani dolomitni vapnenac. Iz magnetske karte se vidi, da se ova bušotina nalazi u negativnom magnetskom anomaliskom području, u kojem se ne mogu očekivati rudne pojave.

ZAKLJUČAK.

Opisani rezultati detaljnog geomagnetskog istraživanja na području Bešlinac pokazuju, da se primjenom step metode uz mali razmak mjernih stajališta mogu sa uspjehom vršiti i magnetska kartiranja željeznih rudnih pojava malog magnetskog susceptibiliteta. Prethodna detaljna geološka istraživanja bezuvjetno su potrebna radi usmjerivanja geofizičkih mjerjenja na određene zone, čime se smanjuje površina istraživanja na najmanju mjeru. Direktna suradnja geologa i geofizičara u toku terenskih radova pokazala se ne samo korisnom, već i potrebnom. Tek nakon završenih geoloških i geofizičkih istraživanja može se istražno bušenje ili rudarsko istraživanje smatrati ekonomski opravdanim.

»Geofizika« Zagreb.

LITERATURA

- R. KOLLERT »Einiges über moderne geophysikalische Bodenforschung. — Berg — und Hüttenmänische Monatshefte — Jg 94, H. 8/9, 1949
K. v. PAPP »Die Eisenerz — und Kohlevorräte des ungarischen Reiches«. Budapest 1919.
HANS SCHNEIDERHÖHN »Erzlagerstätten. Kurzvorlesungen«. Stuttgart 1955.
Uz navedenu literaturu upotrebljeni su i slijedeći izvještaji:
Prof. D. DEVIDE-NEDELA »Tumač geološke karte Trgovske Gore«. Zagreb 1953. Arhiv Zavoda za geološka istraživanja NRH Zagreb.
Ing. I. JURKOVIĆ »Rudno područje Bešlinac«. Zagreb 1953. Arhiv Zavoda za geološka istraživanja NRH Zagreb.
Prof. L. MARIĆ, Ing. I. JURKOVIĆ, Ing. A. ZAMBELLI, Prof. D. DEVIDE-NEDELA »Stručno mišljenje o rudnim pojavama željeznih ruda na području Bešlinca«. Zagreb 1951. Arhiv rudnika Bešlinac.
Ing. Z. KRULC »Geofizička istraživanja metodom geomagnetskom i vlastitog potencijala u Bešlincu 1952. godine«. Zagreb 1953. Arhiv »Geofizike« Po- duzeća za primjenjenu geofiziku u Zagrebu.

ZVONIMIR KRULC

DIE ANWENDUNG DER GEOMAGNETISCHEN METHODE BEI ERZVORKOMMEN KLEINER MAGNETISCHER SUSZEPTIBILITÄT IN BEŠLINAC

Zusammenfassung

Die geographische Lage des Erzreviers Bešlinac, in der Literatur bekannter unter dem Namen Trgovska gora, wird angegeben und danach eine kurze historische Darstellung des Reviers skizziert. Es werden auch kurz die geologischen Erforschungen des Geländes dargelegt. Im Abschnitt »Geomagnetska

ispitivanja« wird zuerst ein geschichtlicher Ueberblick der magnetischen Erforschungsmethode gegeben, dann auch ihre Ausführung und Berechnung. Wegen der kleinen Suszeptibilität des Limonits, welcher im erforschten Gebiete als Eisenglanz bzw. vorwiegend als »Brand« vorkommt, wie auch wegen des Kleinlinsenvorkommens, wurde hier die Step-Methode der Messung mit kleiner Distanz gewählter geomagnetischer Punkte angewandt. Da grosse Genauigkeit notwendig war, wurde durch tägliche Messung einiger Kontrollpunkte wie auch durch Wiederholung weiterer Messpunkte eine häufige Kontrolle der Instrumente durchgeführt. Ausserdem bediente man sich einer kontinuierlichen Kontrolle durch die Betrachtungsweise einzelner Messtandpunkte. Die Messungen wurden taeglich magnetisch geschlossen. Die Kurve der täglichen Variation wurde aus Step-Messung gewonnen, und die Korrektionslinie nach der Lage der Verbindungs- und Kontrollpunkte gezogen. Die Grössen der magnetischen Anomalien sind dann auf übliche Weise bestimmt worden. Es wurde ein Netz aller magnetischen Polygone des betreffenden Gebietes zusammengestellt und dann wurden die Abweichungen festgestellt. Nach der Annäherungsausgleichsmethode der Netze wurde die Verteilung der Verbesserungen auf einzelne Abschnitte der magnetischen Polygone, von einem Knotenpunkte zum anderen, ausgeführt. So wurden die Endwerte der magnetischen Anomalien gewonnen und dann auf die Karten eingetragen. Dadurch wurde eine Genauigkeit von cca 3 γ gewonnen. Es wurden nur die Messungen der vertikalen Intensität ausgeführt und nur die qualitative Interpretation der Messresultate gegeben.

Auf Grund dieser Arbeit werden die Resultate detaillierter magnetischen Messungen von drei interessanten Gebieten, Meterize, Likarevac und Jokin Potok, betrachtet.

Im Gebiete von Meterize sollte die Erstreckung des schon vor dem Anfang der geomagnetischen Messungen durch das Bohren bewiesenen Erzkörpers erforscht werden. Die Amplitude der Störung beträgt 95 γ. Die Richtung der Erstreckung und die Form der magnetischen Anomalie stimmen mit dem Streichen, mit dem Fallen und auch mit der Form des Erzkörpers überein.

Die Form der bedeutendsten magnetischen Anomalie im Gebiete Likarevac weist auf eine die Anomalie verursachende Linsenform des Erzkörpers hin. Am SE-Rande des Anomaliemaximums befindet sich ein alter verschütteter Stollen. Es scheint, dass es sich hier um eine kleine Erzlinsen handelt, die nur teilweise ausgebaut wurde.

Die magnetischen Anomalien im Gebiete von Jokin Potok weisen auch auf eine Linsenform des Erzkörpers. Die Anomalieamplitude ist relativ klein — nur 65 γ. Die unregelmässige Form der geschlossenen positiven Isodynamen wird durch die veränderliche Zusammensetzung des grössten Teils aus »Brand« bestehenden Erzkörpers erklärt. Die Bohrung B 7 wurde auf Grund genauer geologischer Erforschung und vorheriger Interpretation der geomagnetischen Messungen gleich danach loziert und ergab sich als positiv. Die Bohrung B 8 wurde aber nach dem System der Verfolgung der Hauptrichtung des Streichens der Erzerscheinung loziert und zeigte sich als negativ. Aus der magnetischen Karte sieht man, dass Bohrung im Gebiete der negativen magnetischen Anomalie steht, und da konnte keine Erzerscheinung erwartet werden.

Abschliessend kann man sagen, dass sich die Step-Methode mit kleiner Entfernung der Messpunkte bei der Erforschung von Eisenerzvorkommen mit kleiner magnetischer Suszeptibilität erfolgreich zeigte. Systematische Erzerforschungen müssen folgende Reihenordnung haben: Geologisch-geophysikalische und danach montanistische Erforschungen oder Bohren. Es muss die Mitarbeit der Geologen mit den Geophysikern am Gelände als notwendig betrachtet werden.