

## GEOMAGNETSKA ISTRAŽIVANJA LEŽIŠTA GRADEVINSKIH MATERIJALA

Željko ZAGORAC i Franjo ŠUMANOVAC

Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU – 41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Geomagnetska istraživanja, Građevinski materijali, Eruptivne stijene, Geomagnetski profili

Prikazani su karakteristični primjeri magnetskih istraživanja stijena koje se koriste kao građevinski materijali. Izvedeni su i zaključci o mogućnostima primjene magnetske metode. Istraživanja ovom metodom su vrlo brza i jeftina, a mogu se dobiti značajne informacije o protezanju, položaju i dubini magnetične stijene. Karakteristika stijene može se bolje odrediti drugim geofizičkim metodama.

### Uvod

Sirovine za građevinske materijale, kao što su šljunak, pijesak, eruptivne stijene, redovito se po geofizičkim svojstvima razlikuju od okolnih materijala, te se mogu istraživati geofizičkim metodama. Interpretacijom geofizičkih mjerenja može se utvrditi prisutnost takvih materijala pod zemljom i odrediti im dubinu zalijeganja pod pokrovom, debljinu, prostiranje, pa i kvalitetu. Neki od tih materijala su magnetični, uglavnom zbog sadržaja magnetita pa se mogu istraživati geomagnetskom geofizičkom metodom. Ova metoda se najčešće primjenjuje u istraživanju eruptivnih stijena.

S današnjim vrlo praktičnim i preciznim magnetometrima, mjerenja se mogu provesti brzo i jednostavno i prema tome jeftino, a često puta je moguća brza i pouzdana interpretacija zahvaljujući modernim grafičkim i kompjuterskim metodama. Nalazišta eruptivnih stijena najčešće se isplati eksploatirati ako su velikih dimenzija, a nalaze se na malim dubinama.

Ovdje su obrađeni neki karakteristični primjeri geomagnetskih istraživanja konkretnih terena na kojima se mogu vidjeti mogućnosti provođenja uspješne geofizičke interpretacije.

### Interpretacija geomagnetskih mjerenja

Geomagnetska metoda je najstarija geofizička metoda te postoji cijeli niz različitih metoda interpretacije i njihovih modifikacija. Odabir načina interpretacije ovisi, prije svega, o uvjetima na konkretnom terenu, a ponekad je potrebno izvršiti i određeno doradivanje i prilagođavanje načina interpretacije obrađivanom terenu. U interpretaciji geomagnetskih mjerenja istraživane mase se najčešće aproksimiraju vertikalnim dvo- i trodimenzionalnim prizmama.

Na terenima obrađenim u ovom radu za određivanje dubine magnetične mase korištene su grafičke

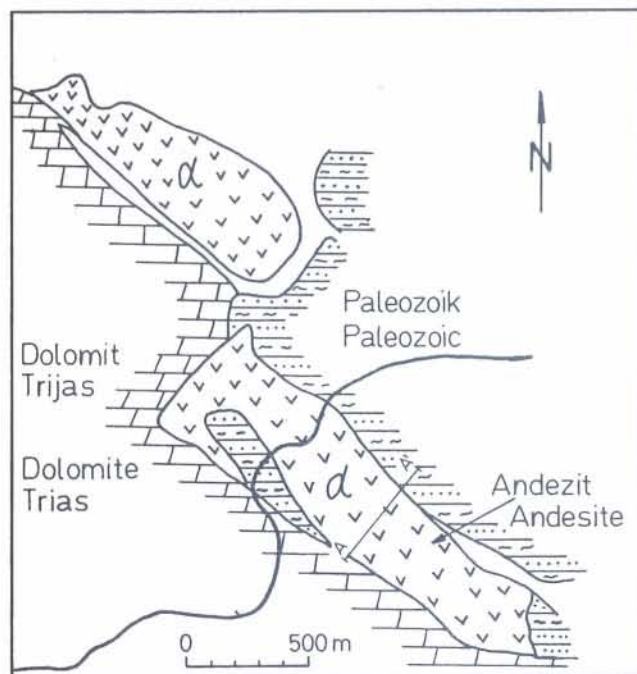
**Key-words:** Geomagnetic Exploration, Building Materials, Eruptive Rocks, Geomagnetic Profiles

Some characteristic examples are given of the magnetic prospecting for the rocks used as building materials. Conclusions are drawn about the applicability of the magnetic method for this purpose. Method proved to be very speedy and inexpensive, it gives important informations on the extension, position and depth of the magnetic rock. The quality of the rock is better determined by other methods.

metode prema radovima: Peters (1949), Gery i Nandy (1957). Određivanje odnosa širine i dubine magnetične prizme napravljeno je prema članku Zagorca (1981). Naime kod interpretacije geomagnetskih mjerenja često je potrebno primijeniti više metoda kako bi se dobila što preciznija slika istraživanih struktura.

### Karakteristični primjeri geomagnetskih istraživanja

Cilj istraživanja andezita na području Benkovca kod Fužina (Gorski Kotar) bio je provođenje detaljnijih kartiranja u dijelu terena predviđenom za otko-



Slika 1 Geološka karta – Benkovac kod Fužina (prema Vragović i Golub, 1969)

Figure 1 Geological map – Benkovac near Fužine (after Vragović and Golub, 1969)

pavanje u neposrednoj budućnosti. Kod toga je bilo potrebno utvrditi da li postoje umeci sedimentata unutar mase eruptiva, budući da je jedan takav umetak uočljiv na slici 1. Bilo je potrebno i preciznije odrediti granice andezita zbog proračuna rezervi, te zbog eventualnog premještanja prilazne ceste i instalacija izvan andezita.

Geomagnetski profili jasno pokazuju prostiranje tijela andezita, koje se dobro podudara s geološkom kartom (slika 1) na zapadnom rubu. U tom dijelu, usprkos debelom nanosu zemlje (1 do 7 m), točno geološko kartiranje bilo je moguće zbog pojava karstifikacije u vapnencu, koje prestaju na granici andezitskog tijela. Na istočnom rubu podudaranje je slabije. Određivanje rubova magnetične mase najčešće se vrši uspoređivanjem mjenjenih krivulja s teoretskim krivuljama. Teoretske krivulje za masu velike širine u odnosu na dubinu gornje površine (1:40), a beskonačne dužine i dubine prostiranja prikazane su na slici 2.

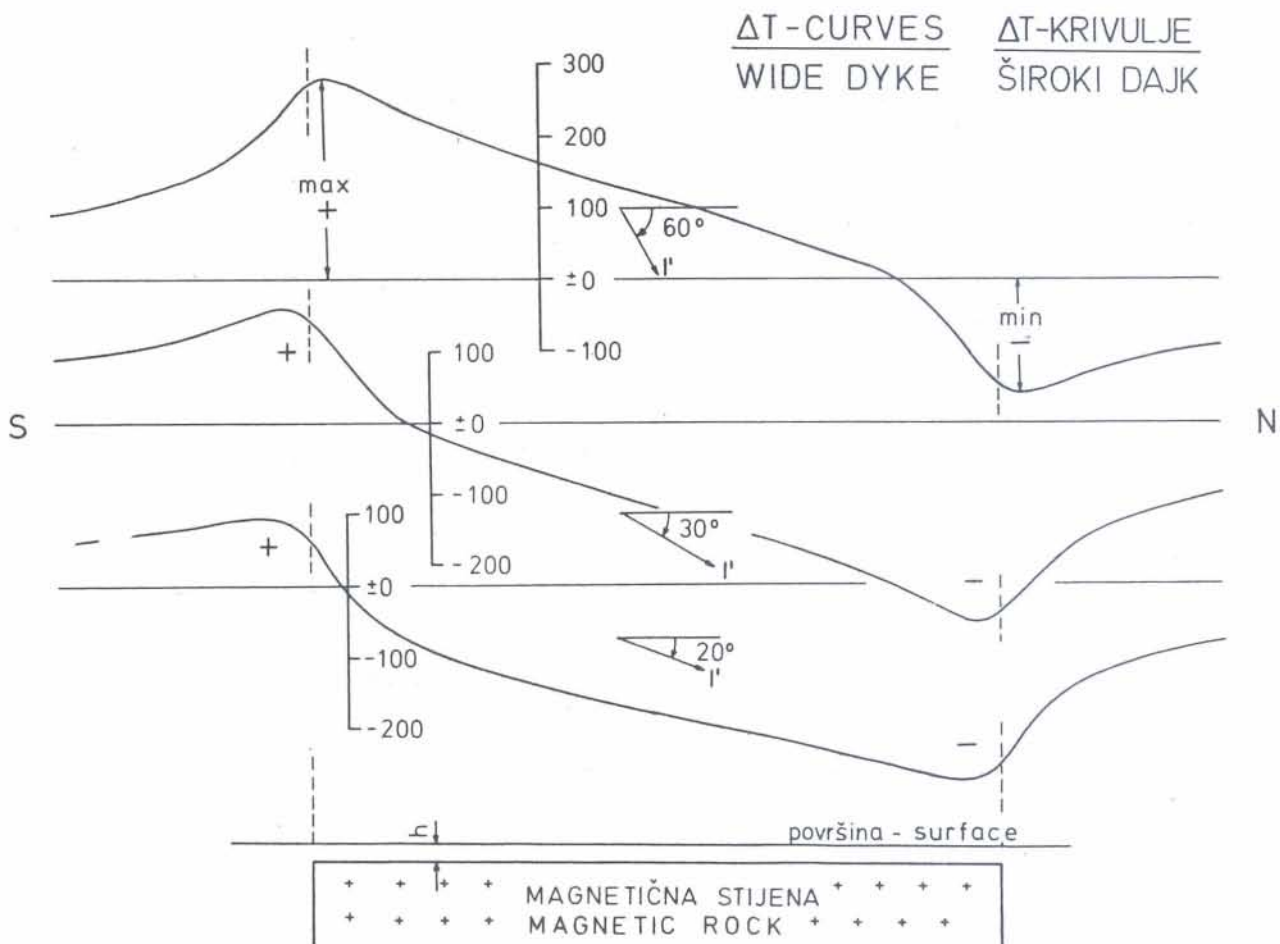
Usporedbom teoretskih krivulja s izmjerenom krivuljom (slika 3) može se zaključiti da se mjerena krivulja bolje podudara s teoretskom krivuljom za inklinaciju  $30^\circ$ , nego sa sadašnjim smjerom magnetizacije od  $60^\circ$ . Mjerenjem na jezgrama dobivena je magnetizacija također pod cca  $60^\circ$  od vertikale. To je u skladu s gornjim zaključkom, iako iz mjerenja na jezgrama ne možemo zaključiti da li je magne-

tizacija u smjeru sjevera. Kod usporedbe je uzet odnos najvećeg nagiba krivulje s jedne i druge strane maksimuma i minimuma. Zbog preciznog određivanja smjera magnetizacije razrađen je novi način njegovog određivanja prikazan na slici 4. Ovaj dijagram daje ovisnost odnosa najvećeg nagiba s jedne i druge strane ekstrema i smjera magnetizacije.

Zanimljivo je da bušotina, koja bi se prema interpretaciji trebala nalaziti izvan magnetičnog tijela, ipak je bila unutar andezita, ali je kalcitizacija ukazivala na vjerojatnu blizinu ruba. Objašnjenje je dalo određivanje magnetičnosti jezgara. U toj bušotini magnetičnost je bila nekoliko puta manja, nego u bušotinama smještenim, prema interpretaciji, na jače magnetično tijelo. Prema tome interpretacijom nije dobiven rub andezitskog tijela nego granica između jače i slabije magnetičnih dijelova tijela.

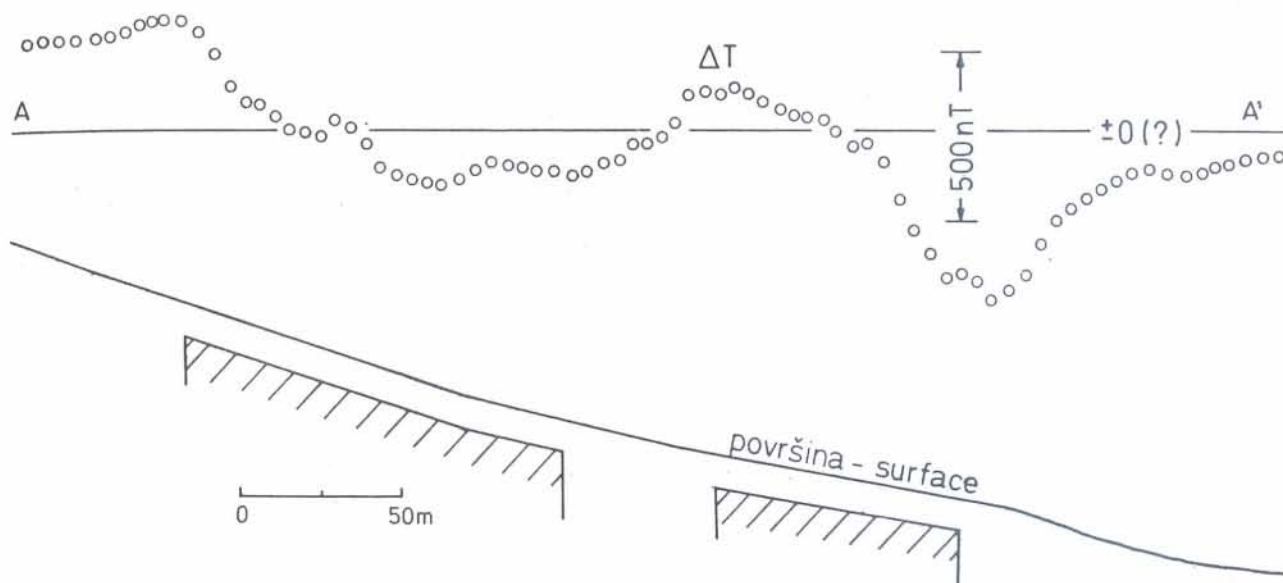
Razmatranjem teoretskih krivulja, zaključili smo da se iz mjerene geomagnetske anomalije ne može interpretacijom dobiti da li se između dva izrazito magnetična materijala nalazi uložak nemagnetičnog (eventualno sedimenti) ili samo slabije magnetičnog materijala (što može biti i eruptiv). Bušotina postavljena na slabije magnetičnom dijelu ukazala je da se ipak radi o andezitu normalne komercijalne kvalitete.

U području interpretiranom kao magnetična stijena nije bilo razloga sumnjati o vrsti stijene, ali je



Slika 2 Teoretske krivulje totalnog magnetskog polja za razne inklinacije  
Figure 2 Theoretical curves of total magnetic field for different inclinations





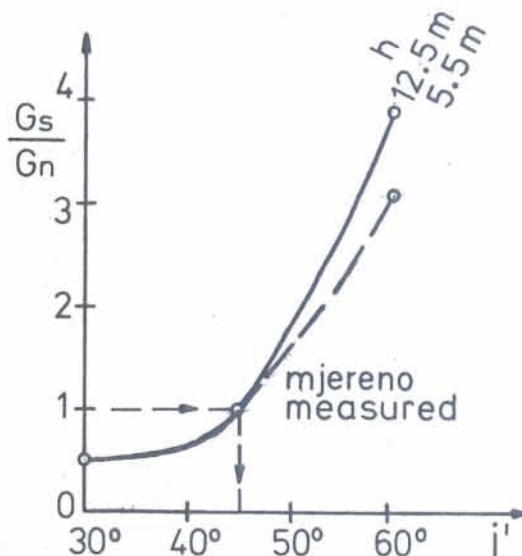
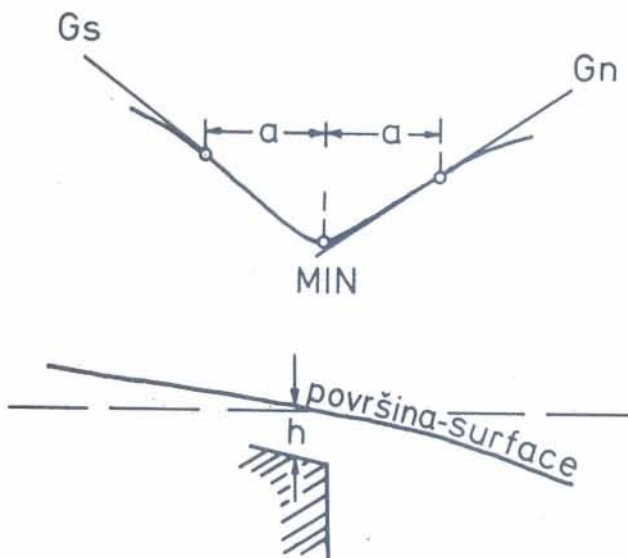
Slika 3 Geomagnetski profil A, Benkovac kod Fužina  
Figure 3 Geomagnetic profile A, Benkovac near Fužine

ipak zbog cjelovitijeg ispitivanja izbušena jedna bušotina. Potvrđeno je prisustvo materijala, koji je jače magnetičan od ostalih dijelova, ali je djelomično smrvljen. Ovo je osobito zanimljivo jer se često smatralo da kompaktni eruptiv treba biti jače magnetičan od zdrobljenih i rastrošenih dijelova. U ovom slučaju je sasvim obrnuto, te je zaključeno o potrebi bušenja i na najjače magnetičnim dijelovima profila.

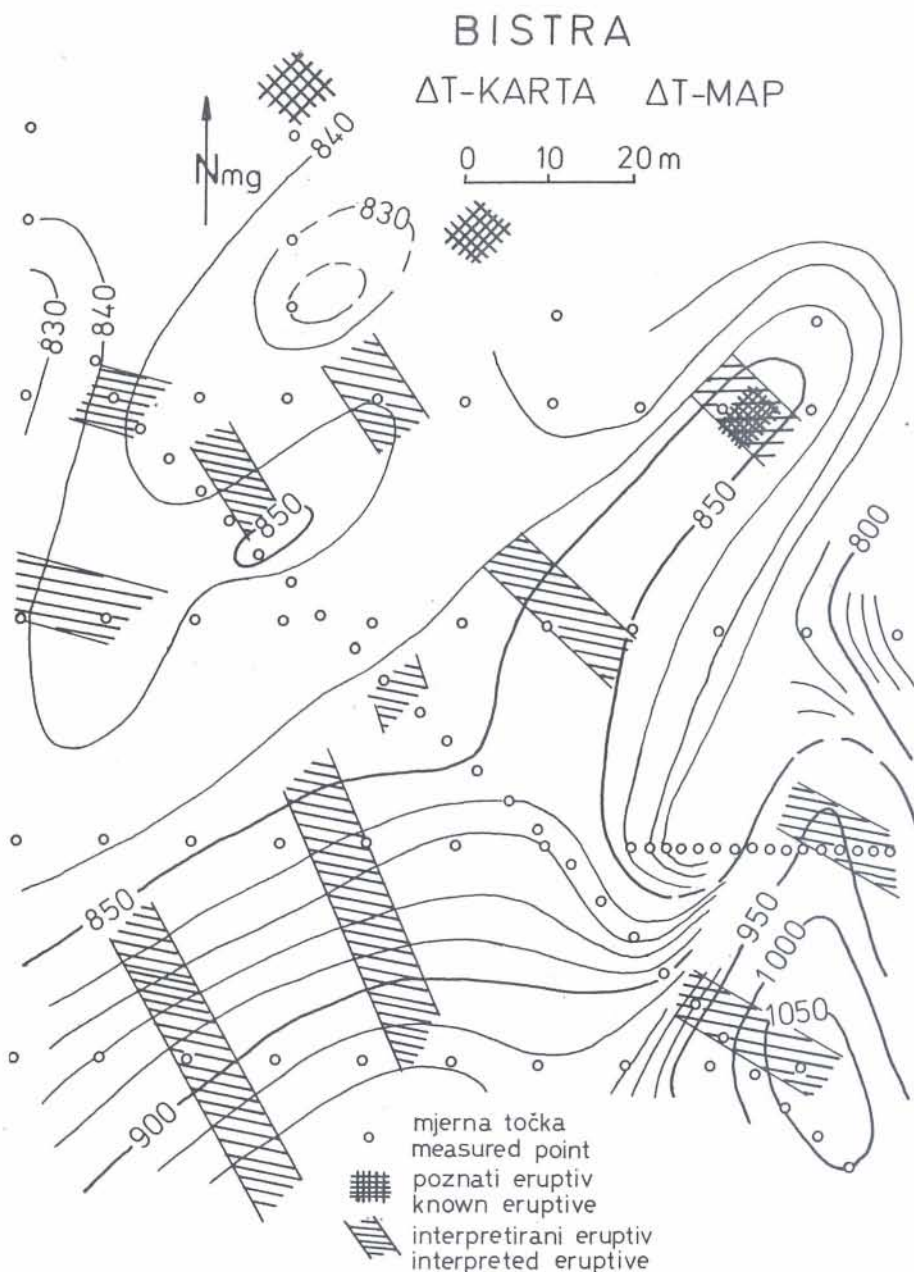
Na području Bistre nedaleko od Zagreba nakon više desetaka godina otkopavanja došlo je do stanjivanja i nestanka dijabaznih žica. Na terenu pred otkopnom frontom geološkim kartiranjem nisu se mogle otkriti pojave eruptiva. Geomagnetskim premjerom dobivene anomalije interpretirane su kao izdužene prizme i šrafiranjem ucrtane na kartu (slika 5).

Iako je većina anomalija niske amplitude, te prema tome i slabije magnetičnosti, interpretirani položaji magnetičnih stijena padaju na pravce koji izlaze na izdanke ili nabušene eruptive. Budući da se radi o relativno uskim tijelima, postoji određena vižeznačnost interpretacije iz čega proizlaze izvjesne nesigurnosti u određivanju položaja, dubine i debljine tijela. Ostaje otvoreno pitanje opravdanosti aproksimacije tijela pravokutnim prizmama u ovakvim primjerima. Kamenolom nije dobio odobrenje širenja zbog ekoloških razloga, te se ove nedoumice nisu mogle provjeriti bušenjem.

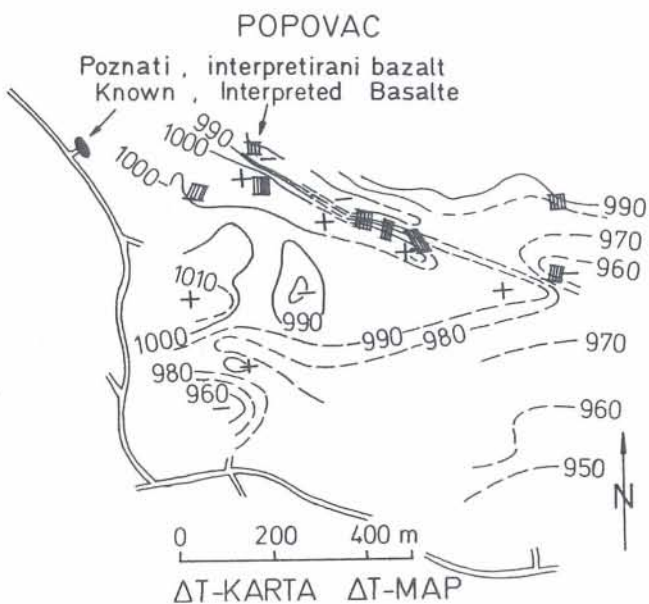
No problem djelovanja oblika eruptiva ispitan je na istraživanju terena Krepoljin. Istraživanja su izvedena zbog gradnje brane na rijeci Mlavi, dakle inženjersko-geoloških razloga. Naime na kontaktima izdanaka eruptiva pojavljuju se gline, što zbog loših mehaničkih osobina predstavlja opasnost za projektiranu branu. Magnetskim istraživanjima bilo je potrebno otkriti eventualne pojave eruptiva pod zemljom. Interpretacijom je dobiveno oko 20 indikacija eruptiva, a računanjem dubine prizmatičnog tijela 15–20 metara. Međutim takve dubine su dobivene i na nekoliko mjesta, na kojima je bilo poznato iz ranijih istraživanja da se eruptiv nalazi neposre-



Slika 4 Određivanje inklinacije  
Figure 4 Determination of inclination



Slika 5 Karta totalnog magnetskog polja (ΔT) Bistra  
Figure 6 Total magnetic field map (ΔT) Bistra



dno ispod površine (1–2 m). Ova razlika dolazi zbog blago zaobljene gornje površine eruptiva, dok u interpretaciji tijelo aproksimiramo vertikalnim prizmama. Stoga je u interpretaciji zaključeno da je sličan oblik eruptiva i na drugim anomalijama, pa prema tome i dubine. Zbog toga je na temelju geofizičkih rezultata preporučeno da se kopanjem 2–3 metra dubine utvrdi prisutnost eruptiva. Na većini anomalija, kopanjem do 3 m dubine utvrđena je prisutnost eruptiva, te se može zaključiti o uspješnoj geološkoj interpretaciji.

Kamen za gradnju cesta u područje Belog Manastira dovozi se s daljine od 200 km, a u tom području nalazi se izdanak bazalta, pa je geomagnetskim istraživanjima trebalo detaljnije kartirati tijelo bazalta. Prospekcijska istraživanja ukazala su na mogućnost praćenja magnetske anomalije 2 km od izdanka (sl.

Slika 6 Karta totalnog magnetskog polja (ΔT) Popovac  
Figure 6 Total magnetic field map (ΔT) Popovac



6). Međutim na tom potezu nije bilo indikacija o povećanju širine tijela (na izdanku 15–20 m), a osim toga nisu utvrđene ni nove pojave većeg magnetskog tijela. Zato bi u obzir došla samo ograničena eksploatacija i to podzemnim radovima.

Na području Kalnika, kod Ljubešćice, geomagnetika je korištena samo za određivanje nagiba i granica dijabaza. Nagib je računat usporedbom mjerenih krivulja i teoretskih krivulja za dajkove, pri čemu je uzeto da je smjer magnetizacije u smjeru sadašnjeg magnetskog polja. Kvaliteta stijene nije se mogla određivati iz geomagnetskih mjerenja. Pokušaji određivanja kvalitete stijene refrakcijskom seizmikom također nisu dali zadovoljavajuće rezultate. Osnovni problem je u tome što se refrakcijom može odrediti dubina najpliće sredine veće brzine, koja može biti vrlo tanka te se rastrošeni eruptiv ispod toga više ne može registrirati.

Međutim za određivanje debljine rastrošene zone iznad kompaktne stijene refrakcija je uspješno primijenjena. Geoelektričkim metodama, osobito kombinacijom DC sondiranja, profiliranja i VLFR-om elektromagnetske metode, uspješnije su se mogle odrediti zone kompaktne i sasvim rastrošene i glinizirane eruptivne stijene. Za stijene srednjih otpornost bilo je potrebno bušenjem utvrditi komercijalnu vrijednost stijene.

### Zaključak

Budući da se magnetska mjerenja i interpretacija rezultata mogu izvanredno brzo i jeftino provesti pomoću modernih elektronskih magnetometara i brzih metoda interpretacije, primjena magnetometrije je najčešće opravdana. Određivanje položaja i dubine magnetske stijene moguće je uspješno provesti, osobito kod širih tijela koja se mogu s pravom aproksimirati vertikalnim prizmama.

Kod istraživanja uskih magnetskih tijela, čiji oblik može znatno odstupati od oblika vertikalne prizme, zbog smanjenja višeznačnosti interpretacije, potrebno je imati neki neovisan podatak o dubini ili nagibu tijela dobiven bušenjem ili drugim metodama.

O kvaliteti stijene (raspucalosti ili kompaktnosti) teško je pouzdano zaključiti samo na temelju magnetskih istraživanja, ali kombinacijom različitih geofizičkih metoda moguće je i taj problem uspješno riješiti.

Magnetskim istraživanjima, i u najnepovoljnijim okolnostima, dobit ćemo niz korisnih informacija, a u krajnjem slučaju mogu se uspješnije planirati daljnji istražni radovi i određivati najpovoljnije lokacije istražnih bušotina. Osobito veliku brzinu terenskog rada omogućuju najnoviji magnetometri s registriranjem u magnetskoj memoriji, a poboljšanje preciznosti mjerenja omogućuje korištenje dvaju sinhroniziranih magnetometara (jedan za registraciju dnevnog hoda a drugi za premjer terena).

Primljeno: 12. I. 1990.

Prihvaćeno: 4. VI. 1990.

### LITERATURA

- Gery I. Ch., Nandy H. (1957): *Sur l'interprétation des anomalies gravimétriques et magnétiques*, *Geophysical Prospecting*, 5, 421–448.
- Peters L. I. (1949): *The direct Approach to Magnetic Interpretation and its Practical Application*, *Geophysics*, 14, 290–320.
- Vragović M., Golub Lj. (1969): Hornblenda andezit (porfirit) Gornjeg Benkovca kod Fužina (Gorski Kotar), *Acta geologica VI*, 55–56, Zagreb.
- Zagorac Ž. (1981): Prilog interpretaciji geomagnetskih mjerenja, Zbornik radova savjetovanja u Stubičkim toplicama 1980, Jugoslavenski komitet za geofiziku, 109–121.

## Geomagnetic Prospecting for Deposits of Building Materials

Ž. Zagorac & F. Šumanovac

Some of the magmatic rocks, intrusives and eruptives, are often used as building materials. Many of them are magnetic and can be explored by geomagnetic methods. In this article some characteristic examples of geomagnetic prospecting are shown and some conclusions about the possibilities of the magnetic method are drawn.

At Benkovac in Gorski Kotar two andesite bodies were explored by the magnetic method. Drilling was performed on several parts of the interpreted magnetic rock. The measurements made on the cores revealed very strong variations of the susceptibility. The sometimes expressed opinion that the strongly magnetic parts should be fresh rock and of better quality than the other, did not hold, on the contrary in such parts the rock was found to be completely crushed and of limited use. Measurements made by a proton magnetometer on cores indicated strong remanent magnetism. It was possible to determine its direction only relative to the core axis, since the core orientation was not known. Diagram in the fig. 4 was constructed and used to determine the direction of the magnetization from the measurements of the total magnetic field.

In the Bistra area near Zagreb in the extension of the existing quarry the magnetic anomalies were mostly quite low. However

the interpreted magnetic bodies were situated in the extension of the already known eruptive, so they were interpreted as eruptive also.

In the area of Beli Manastir short magnetic prospecting determined the extension of the known basalt occurrence, but did not find any basalt bodies suitable for open cast quarry. Here the rock for building purposes is transported from 200 kilometers distance.

In the Krepoljin area of east Serbia the combination of known data and theoretical interpretation enabled finding of eruptive rock by shallow digging instead of drilling.

In the Ljubešćica area in northern Croatia magnetic measurements were used to determine the edge of the eruptive and its dip, while the resistivity method was more successful in determining the quality.

Magnetic measurements in five different areas led to the conclusion that the method is very quick and inexpensive and gives without much computations very useful information on existence, extension and depth of the magmatic rocks. To determine its commercial quality as building material, resistivity method, and in certain grade the seismicity is preferable.