

## ZASTOSOWANIE KAROTAŻU MAGNETYCZNEGO PRZY POSZUKIWANIU I ROZPOZNAWANIU ZŁOŻ RUD ŻELAZA

UKD 550.838.002.54:622.241:553.3(47:485:438)

Obecnie przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż rud żelaza stosowana jest z dużym powodzeniem nowa metoda geofizyczna — karotaż magnetyczny. Złoża rud żelaza zalegające pod nadkładem skał osadowych mogą być wykryte tylko za pomocą geofizycznych metod poszukiwawczych i wierceń. Najczęściej stosowanymi metodami geofizycznymi są: magnetyczna, grawimetryczna, metody geoelektryczne, a ostatnio karotaż magnetyczny.

Karotaż magnetyczny stosowany jest powszechnie w Związku Radzieckim, a na szeroką skalę w Szwecji przy eksploatacji i poszukiwaniach nowych złóż magnetytu. Zastosowanie karotażu magnetycznego pozwala na bardziej ekonomiczne i racjonalne prowadzenie prac wiertniczych, co w efekcie obniża koszty poszukiwań.

Podczas pobytu naszych geofizyków w ZSRR w 1964 r. zapoznano się tam z karotażem magnetycznym w terenie, przy pracach pomiarowych i kameralnych.

W Związku Radzieckim stosowane są dwa rodzaje magnetometrów otworowych do pomiarów w otworze wiertniczym. Pierwszy typ służy do pomiarów pobudliwości magnetycznej skały przewierconej i natężenia

pola magnetycznego wzdłuż otworu; drugi model, nowszy, służy do pomiaru trzech składowych pola magnetycznego i kąta nachylenia otworu wiertniczego. Pierwszy typ posiada rejestrację ciągłą, natomiast drugi zapis punktowy.

Jak zaobserwowano wyniki karotażu magnetycznego dają dużo dodatkowych informacji. Dla przykładu podano na ryc. 1 wyniki karotażu magnetycznego, dotyczącego sokołowskiego złoża magnetytu.

Przedstawione na ryc. 1 wyniki karotażu magnetycznego uzyskano z pomiarów wykonanych pierwszą z omawianych aparatów (pomiar  $H$  i  $\Delta Z$ ). Obok wyników pomiarowych zestawiono dwa przekroje geologiczne. Po lewej stronie przekrój uzyskany z rdzenia, po prawej przekrój wykreślony na podstawie wyników karotażu magnetycznego. Z zestawionych profili geologicznych widzimy, że miąższości stref rudnych nie pokrywają się. Wyniki karotażu magnetycznego wykazały, iż występują większe miąższości stref złożowych niż te, które otrzymano z rdzenia. Różnice te zostały spowodowane brakiem pełnego rdzenia, ponieważ w tym przypadku złożo było kruche i uległo częściowemu zmieleniu podczas wiercenia.

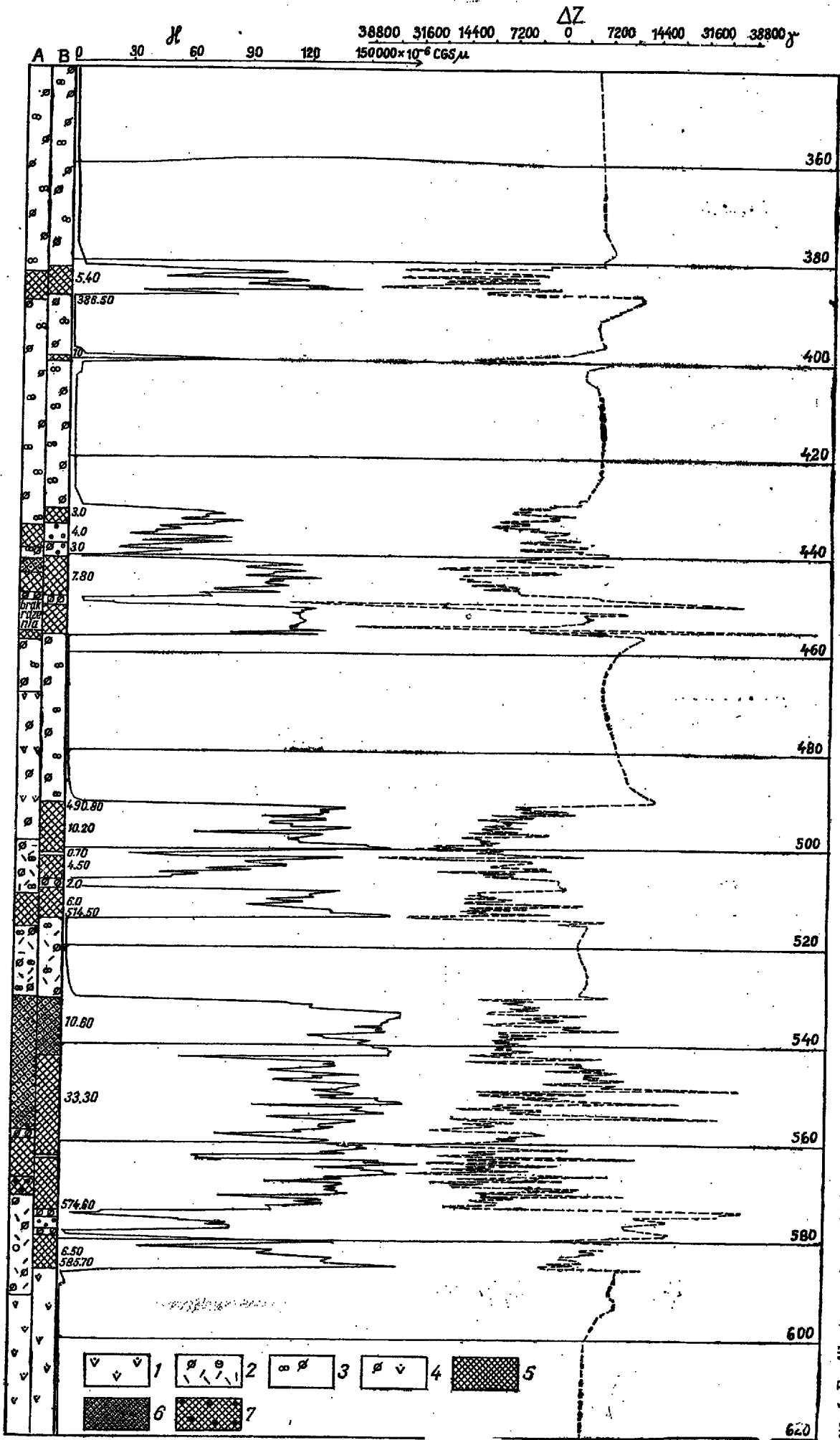


Fig. 1. Bore-hole section and results of magnetic logging from the Sokotów magnetite deposit

A — geological cross section (macroscopic), B — geological cross section considering geophysical measurements. 1 — tuff breccia of andesite porphyrite, 2 — ore-bearing pyroxene-epidote-albite metasomate, 3 — scapolite-pyroxene-albite metasomate, 4 — pyroxene-scapolite metasomate, 5 — mean magnetite ores (30–50% Fe), 6 — rich magnetite ores (above 50% Fe), 7 — poor magnetite ores (20–30% Fe). Scale 1:2000.

Ryc. 1. Profil otworu i wyniki karożu magnetycznego z sokotowskiego złoża magnetytu.

A — profil geologiczny (makroskopowo), B — profil geologiczny z uwzględnieniem pomiarów geofizycznych. 1 — tufobrekcja andezytowego porfirytu, 2 — okruszczony metasomatyt piroksenowo-epidotowo-albitowy, 3 — metasomatyt skapolitowo-piroksenowo-albitowy, 4 — metasomatyt piroksenowo-skapolitowy, 5 — rudy magnetytowe — średnie (30–50% Fe), 6 — rudy magnetytowe bogate (powyżej 50% Fe), 7 — rudy magnetytowe — ubogie (20–30% Fe). Skala 1:2000.

Z tego przykładu widzimy jak bardzo cenne są informacje z karotażu magnetycznego, szczególnie przy określaniu zasobów złóż rud żelaza.

W Polsce po raz pierwszy wykonano pomiary doświadczalne magnetometrem otworowym do pomiarów trzech składowych Hetona HBM III w październiku 1965 r. W związku z prowadzeniem w ostatnim czasie intensywnych prac w poszukiwaniu złóż rud żelaza, zaistniała konieczność wprowadzenia u nas tej nowej metody geofizycznej.

Po uzyskaniu ze szwedzkiej firmy produkującej magnetometri otworowe informacji odnośnie do możliwości zastosowania tej aparatury w naszych warunkach geologicznych, została ona w drugiej połowie 1965 r. sprowadzona przez przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych. Jest to magnetometr otworowy Hetona HBM III do pomiaru trzech składowych pola magnetycznego i kąta nachylenia otworu.

Aparatura ta na nasze żądanie została dodatkowo wyposażona i przystosowana do pomiarów na głębokości 1200 m. Przy standartowym wyposażeniu tej aparatury można prowadzić pomiary tylko do głębokości 700 m. Za pomocą tego magnetometru można określić:

- szerokość strefy czynnej magnetycznie, która przechodzi przez wiercenie lub występuje w pobliżu otworu;
- obecność możliwie odległego bieguna;
- odległość bieguna od otworu wiercenia;
- znak tego bieguna i jego właściwości (N czy S);
- lokalne zaburzenia podatności magnetycznej wewnątrz skał.

W Skandynawii pierwsze pomiary magnetyczne w otworze wykonano magnetometrem opracowanym przez kopalnię Otanamieki w Finlandii w 1955 r. Prototyp magnetometru Hetona HBM III został skonstruowany przez szwedzką firmę „Sveriges Geologiska Undersakning” w 1959 r. Magnetometr ten jest prosty i bardzo łatwy w obsłudze. W jednym dniu można nim zrobić pomiary w otworze na odcinku około 500 m; przy zaangażowaniu 2—3 ludzi. Pomiary w otworze wiertniczym wykonywane są w odstępach co 10, 5, 4, 2 lub 1 m, pomiary kontrolne w odstępach 30 m.

#### OPIS I ZASTOSOWANIE MAGNETOMETRU HETONA HBM III

Magnetometr otworowy Hetona HBM III jest najnowszym modelem wyprodukowanym w Szwecji. Konstrukcja jego oparta jest na tranzystorach i obwodach drukowanych. Składa się z dwóch podstawowych części: 1) sondy, 2) skrzynki kontrolnej oraz bębna z kablem i dwóch akumulatorów.

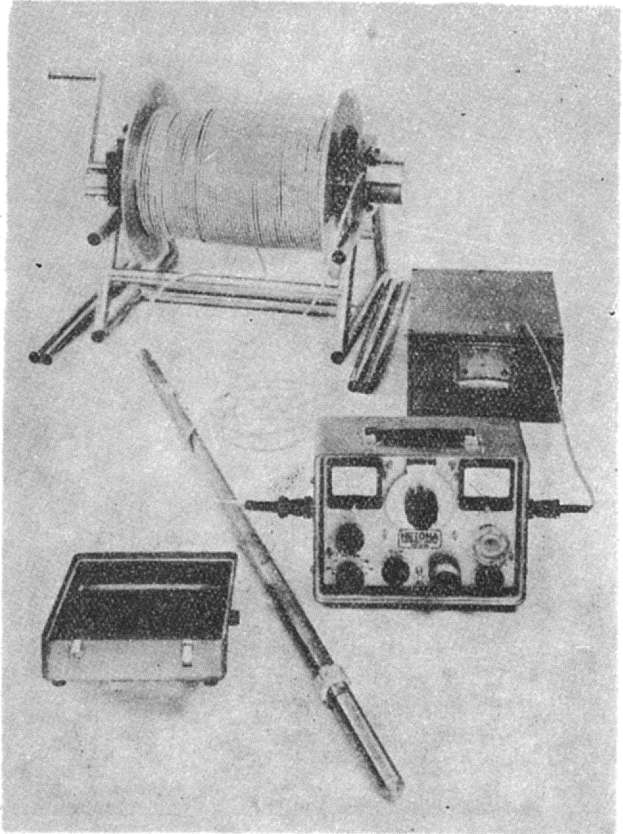
W sondzie, która zostaje wprowadzona do otworu wiertniczego umieszczone są trzy czułe elementy magnetyczne — zastawki strumienia magnetycznego (Flux Gates), zawierające część oscylatorową, wzmacniacz selektywny i przełącznik. Te trzy elementy zastawki strumienia magnetycznego tak są ułożone, iż można mierzyć (w każdym punkcie otworu) trzy składowe natężenia pola magnetycznego, niezależnie od kierunku nachylenia otworu. Długość sondy wynosi 127 cm, ciężar 3,13 kg, średnica 32 mm. Dla zabezpieczenia sondy przed zaciepleniem przy wprowadzaniu do nierównych otworów oraz utrzymania sondy w środku otworu nasadzone są na sondę dwa kołnierze. W przypadku zablokowania sonda zostaje wyciągnięta z zabezpieczających kołnierzy.

Skrzynka kontrolna zawiera: wzmacniacz selektywny, prostownik, transformator, stabilizujące źródło prądu kompensatora oraz instrument do wykonywania pomiarów magnetycznych i pomiaru kąta nachylenia otworu.

Mała średnica sondy pozwala na przeprowadzenie pomiarów w otworach o małej średnicy, począwszy od 36 mm.

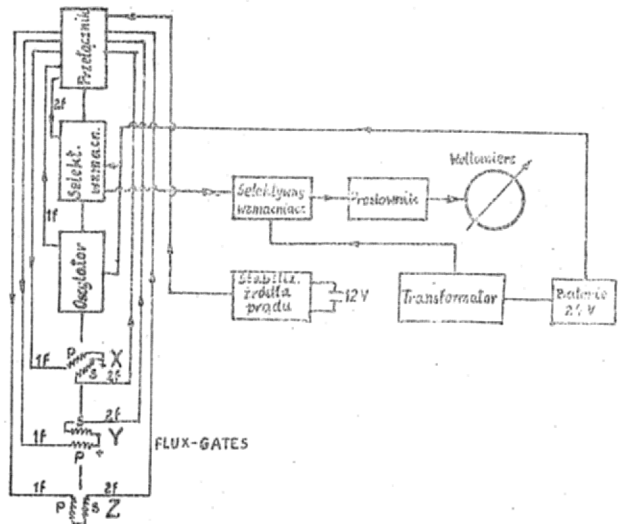
Magnetometrem Hetona HBM III można mierzyć kąt nachylenia otworu oraz następujące składowe natężenia pola magnetycznego:

- składową X wzdłuż kierunku linii wiercenia;
- składową Y zgodnie z kierunkiem prostopadłym do linii wiercenia (poziomo);
- składową Z wzdłuż kierunku prostopadłego do linii otworu, a jednocześnie do składowej Y.



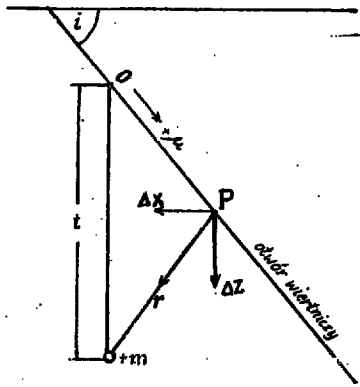
Ryc. 2. Wyposażenie magnetometru otworowego Hetona HBM III

Fig. 2. Equipment of bore-hole magnetometer Hetona HBM III



Ryc. 3. Schemat trójskładowego magnetometru otworowego

Fig. 3. Scheme of ternary bore-hole magnetometer



Ryc. 4. Biegun magnetyczny

Fig. 4. Magnetic pole

Znajomość kąta nachylenia otworu w punktach pomiaru pozwala na przeprowadzenie poprawnej interpretacji badań.

#### DOKŁADNOŚĆ POMIARU.

Dokładność pomiaru składowych pola magnetycznego:

w zakresie

od  $-100$  do  $+1000$  mGs wynosi do 50 gamma,

w zakresie

od  $-3000$  do  $+3000$  mGs wynosi do 150 gamma.

Dokładność pomiaru kąta nachylenia otworu w przedziale od  $+90^\circ$  do  $-40^\circ$  wynosi do  $0,5^\circ$ .

#### WYKORZYSTANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

Otrzymane przy pomiarze wartości natężenia magnetycznego X, Y i Z są składowymi całkowitego pola magnetycznego na odnośnym obszarze poszukiwań, a więc normalnego pola magnetycznego + pole zaburzeń (anomalne). Składowe pola anomalne uzyskuje się z wzorów:

$$X_s = X - H_0 \cos \delta$$

$$Y_s = Y + H_0 \sin \delta$$

$$Z_s = Z - Z_0$$

gdzie  $H_0$  i  $Z_0$  oznaczają normalne wartości pola dla magnetycznego natężenia poziomego i natężenia pionowego w odnośnym obszarze poszukiwań.

$\delta$  — oznacza kąt między magnetyczną północną a rzutem poziomym otworu wiertniczego.

Dla większej przejrzystości wartości anomalii przedstawiane są w sposób graficzny. Wektory składowych zaburzeń w wielu przypadkach korzystnie jest przedstawiać w płaszczyznach XZ i XY.

Dla pełnego przedstawienia wyników pomiarów z otworu wiertniczego przeprowadzane są dokładne obliczenia w celu określenia formy ciała zaburzającego, jego położenia w odniesieniu do otworu, jak również jego miąższości. W niektórych przypadkach ciało magnetycznie czynne można przyjąć za magnes sztabowy, którego drugi koniec jest dostatecznie daleko położony od miejsca obserwacji, tak że jego wpływ na pomiar może być pominięty. Wówczas obliczenia sprowadzają się do wyznaczenia położenia bieguna tego ciała.

Jeżeli siłę magnetyczną bieguna oznaczymy  $m$ , to potencjał magnetyczny w punkcie pomiaru, położonego w odległości  $r$  od bieguna wynosi:

$$V = - \int_{\infty}^r \frac{m}{r^2} \cdot dr = \frac{m}{r}$$

Składowe pola magnetycznego o współrzędnych X, Y, Z wynoszą:

$$\Delta X = - \frac{\partial V}{\partial Z} = \frac{m \cdot Z}{r^3}$$

$$\Delta Y = - \frac{\partial V}{\partial Z} = \frac{m \cdot Y}{r^3}$$

$$\Delta Z = - \frac{\partial V}{\partial Z} = \frac{m \cdot Z}{r^3}$$

Przyjmując  $Y = 0$  (ryc. 4) otrzymamy:

$$\Delta Z = \frac{m(t - \mu \cdot \sin i)}{(t^2 + \mu^2 - 2t \cdot \mu \sin i)^{3/2}}$$

$$\Delta H = \Delta Z = \frac{m \cdot \mu \cdot \cos i}{(t^2 + \mu^2 - 2t \cdot \mu \sin i)^{3/2}}$$

Obliczone wektory anomalii  $\Delta H$  i  $\Delta Z$  przecinają się w jednym punkcie, mianowicie w biegunie magnetycznym.

W przypadku, gdy otwór wiertniczy jest w położeniu poziomym  $i = 0$ , wówczas wektory anomalii wynoszą:

$$\Delta Z = \frac{m \cdot t}{(t^2 + \mu^2)^{3/2}}$$

$$H = \frac{m \cdot \mu}{(t^2 + \mu^2)^{3/2}}$$

#### WNIOSKI

Wprowadzenie nowej metody geofizycznej — karotażu magnetycznego znacznie obniża koszty poszukiwań złóż rud żelaza oraz przyspiesza prowadzenie prac poszukiwawczych.

Wyznaczanie magnetometrem otworowym parametrów magnetycznych skał przewierconych i skał występujących w najbliższym otoczeniu wiercenia pozwoli na ograniczenie, a nawet częściowe wyeliminowanie bardzo uciążliwego laboratoryjnego wyznaczania parametrów magnetycznych z próbek rdzeni.

Dla wykonania pełnego kompletu pomiarów magnetycznych w otworze wiertniczym (w celu przeprowadzenia pełnej interpretacji wyników magnetycznych) należałoby również sprowadzić magnetometr otworowy do pomiaru pobudliwości magnetycznej i natężenia pola magnetycznego wzdłuż otworu wiertniczego. Magnetometr taki można zakupić w ZSRR lub zamówić w Szwecji do posiadanej już szwedzkiej aparatury dodatkowej wyposażenie umożliwiające pomiar  $\alpha$  i  $\Delta Z$ .

Karotaż magnetyczny będzie miał szczególnie duże zastosowanie przy poszukiwaniu złóż rud żelaza występujących pod pokrywą skał osadowych.

#### LITERATURA

1. Kalwarskaja W. P. — Primienienije karotaża magnitnoj wospriimczivosti dla rieszenija niekotorich geologiczeskich zadacz. Geologiczeskije riezultaty prikladnoj geofizyki. Izd. „Niedra” 1965.

2. Lewanto A. E. — A three — component magnetometer for small drill-holes and its use in ore prospecting. Geophysical Prospecting Vol. VII, 1959, nr 2.
3. Lewanto A. E. — On magnetic measurements in drill-holes. Geoexploration 1963, nr 2.
4. Zuber J. A. — Magnetische Bohrlochmessungen

als Hilfsmittel bei der Erzprospektierung. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Stockholm 107, Jahrgang, 1962, H. 8.

5. Instrukcja magnetometru otworowego trzech składowych Hetona HBM 2. ABEM Geophysical Instrument Bulletin BM. 0862. Stockholm.

### SUMMARY

The article discusses the usefulness of magnetic logging in reconnaissance and in search for iron ore deposits. As an example a comparison is presented of the results of magnetic logging measurements. Moreover, the article contains a short characteristic of bore-hole magnetometer used in the USSR.

On the other hand, the usefulness of Swedish bore-hole magnetometer HBM-III in search for iron ore deposits is broadly discussed and its range and accuracy are presented. In addition, the construction of this magnetometer is illustrated and the way of using measurement results is given, as well. Furthermore, author's conclusions are quoted emphasizing all the advantages that result from application of magnetic logging in Poland.

### РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается пригодность магнитного каротажа для поисков и разведки железорудных месторождений. Для примера приведено одно сопоставление результатов магнитного каротажа. В статье дается также краткая характеристика скважинных магнитометров, применяющихся в СССР.

Более детально описывается пригодность для поисков железорудных месторождений шведского скважинного магнитометра HBM III. Указаны диапазон и чувствительность аппаратуры, конструкция и способы использования данных замеров. В заключение автор анализирует положительные стороны применения магнитного каротажа в Польше.