

## ZASTOSOWANIE METODY MAGNETYCZNEJ W BADANIACH ARCHEOLOGICZNYCH

Rozpoczęte w 1955 r. systematyczne badania zespołowe nad śladami starożytnego hutnictwa żelaza w Górach Świętokrzyskich dostarczyły do tej pory wiele interesujących materiałów, dotyczących ustalenia zasięgu terytorialnego tego przemysłu, poznania techniki i technologii procesu metalurgicznego. Zebrano również wiele informacji o starożytnym osadnictwie na tym obszarze.

Obok badań wykopaliskowych prowadzone są także badania powierzchniowe mające na celu rejestrację stanowisk żużla, który łączy się z obecnością pieców ziemnych — miejsc wytopu rud żelaza. Badania wykopaliskowe mają na celu poznanie charakteru stanowisk piecowych, poznanie ich chronologii i związanych z nimi śladów prac i osadnictwa.

Badaniom archeologicznym starożytnej metalurgii świętokrzyskiej poświęcona jest już spora literatura, a dalsze prace terenowe i laboratoryjne (6, 9) coraz bardziej rozwiązują zagadki dawnego hutnictwa polskiego. Znaczne ilości znajdujących piecowisk z setkami tzw. kłoców żużlowych świadczą o masowości przeprowadzanych ówczesnie procesów hutniczych.

Obszar występowania stanowisk dawnej metalurgii, ograniczony w swej znakomitej części pasmami Gór Świętokrzyskich na południu i rzeką Kamienną na północy, jest terenem szerokich prac naukowych, a odnajdowanie stanowisk wytopu rud żelaza dla ich dalszego opracowania naukowego jest tu ciągle aktualne.

Z początkiem br. wysunęliśmy myśl zastosowania magnetycznej metody geofizycznej do lokalizacji obiektów archeologicznych — piecowisk metalurgicznych na obszarze starożytnego hutnictwa świętokrzyskiego.

Stosowanie metod geofizycznych w problematyce archeologicznej ma swój precedens przede wszystkim w użyciu badań elektrooporowych, które z dużym powodzeniem zostały przeprowadzone na szeregu stanowisk obiektów archeologicznych także i na terenach Polski (5).

Dzięki przychylnemu stanowisku prof. M. Radwana oraz mgr K. Bielenina powstała możliwość oryginalnego zastosowania metody geofizycznej — badań magnetycznych przy lokalizacji piecowiska wytopu rud żelaza w rejonie Nowej Słupii i z dużą precyzją określono zarys piecowiska, które stało się następnie przedmiotem szczegółowych badań archeologicznych.

Wykonane pomiary geofizyczne dostarczyły wiele niezmiernie interesujących materiałów, a całkowite ich opracowanie pozwala na ustalenie metodyki prac połowych właściwej przy tego rodzaju badaniach naukowych. Ostateczny wynik umożliwił pewne i ekonomiczne rozpoznawanie stanowisk archeologicznych pracami wykopaliskowymi na tym obszarze prac badawczych.

Należy podkreślić oryginalność tego rodzaju prac badawczych na terenie Polski a pewnie i Europy. Zachęcające wyniki przedstawione poniżej zapewniają pracom geofizycznym szerokie zastosowanie dla archeologii w obszarze świętokrzyskim.

W związku z naszą sugestią — do zastosowania geofizycznej metody magnetycznej przy lokalizacji dawnych piecowisk wytopu rud żelaza w rejonie świętokrzyskim został wybrany obszar Nowej Słupii. Przedmiotem badań miały być miejsca dawnych stanowisk hutniczych, które w postaci piecowisk metalurgicznych — zespołów kłoców żużla — za-

chowały się do naszych czasów, przykryte warstwą ziemi ornej. Piecowiska te są przedmiotem interesujących badań archeologicznych.

Przydatność geofizycznej metody magnetycznej do eksploracji tego typu ciał została uwarunkowana pobudliwością magnetyczną żużla, zapewniającą wytworzenie dostatecznie silnego pola anomalnego, które mogłoby być przedmiotem badań magnetycznych. Ustalenie parametrów magnetycznych dla żużla i określenie ich wielkości w jednostkach CGS będzie przeprowadzone w laboratoriach geofizycznych, obecnie jednak z całkowitą pewnością stwierdzić można, że już ogólne oddziaływanie próbek żużla na instrumenty magnetyczne zapewniało uzyskanie pozytywnych rezultatów zamierzonej prospekcji geofizycznej. Decydującym momentem dla stosowania magnetometrii przy lokalizacji piecowisk jest duża zawartość metalicznego żelaza w poszczególnych kłocach żużla, dochodząca niekiedy do kilkudziesięciu procent. Powoduje ona, że mimo stosunkowo niedużych rozmiarów poszczególnych kłoców hutniczych skupienie ich znacznej ilości na powierzchni kilkudziesięciu metrów<sup>2</sup> powoduje istnienie prawdziwych pól anomalnych o znacznym gradientcie.

Właściwe badania magnetyczne dla lokalizacji piecowiska przeprowadzono w miejscu wyznaczonym przez prof. M. Radwana i mgr K. Bielenina, które następnie otrzymało nazwę „Stanowisko Nowa Słupia 4”. Zlokalizowane jest ono w zachodniej części wsi Nowa Słupia na granicy z polami wsi Baszowice.

Przyjęta metodyka magnetycznych prac badawczych na stanowisku „Nowa Słupia 4” została uwarunkowana przede wszystkim spodziewanymi poziomymi wymiarami piecowiska metalurgicznego. Ustalono, że tytułem próby odległości między punktami pomiarowymi nie powinny być większe niż 2—4 m. Wykonane pomiary na tak rozmieszczonych stanowiskach miały w przybliżony sposób określić obszar anomalnych wskazań przyrządu, zaś szczegółowa lokalizacja piecowiska hutniczego miała nastąpić w drugim etapie przez zagęszczenie stanowisk pomiarowych do minimalnej odległości 1 m. Sieć stanowisk pomiarowych założono na powierzchni ok. 500 m<sup>2</sup>.

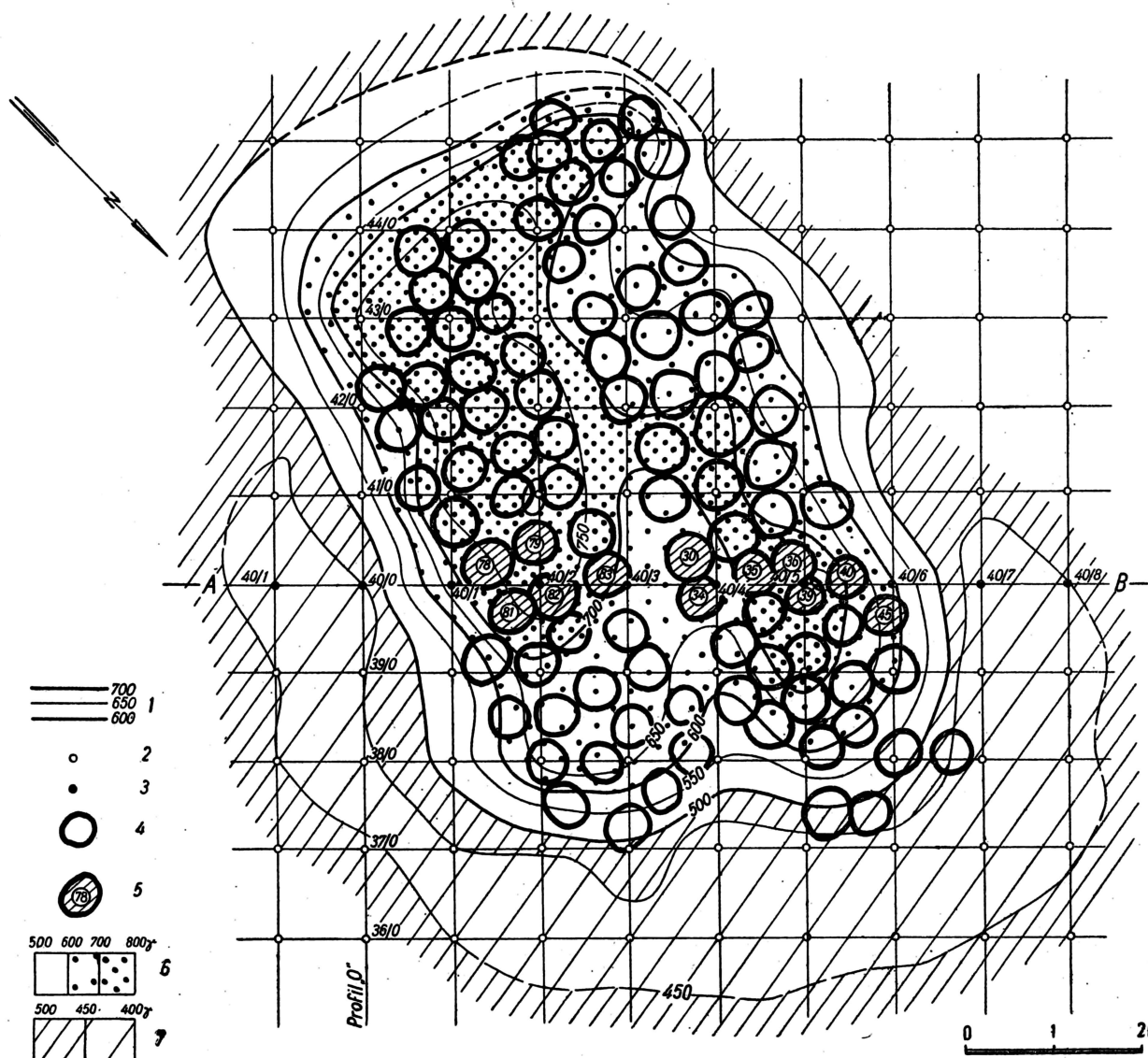
W przeprowadzonych badaniach magnetycznych posługiwano się magnetometrami — wagami magnetycznymi dwu rodzajów: wagą przyradową  $\Delta Z$  typu A. Schmidta — fmy Askania nr 117009 oraz wagą uniwersalną  $\Delta Z/\Delta H$  typu G. Fanselau — fmy VEB GRW Teltow — nr 094 z systemem zawieszonym na nici. Wyznaczone czułości przyrządów (metodą elektryczną) wynosiły: dla magnetometru  $\Delta Z$  Askania nr 117009 — 16,7  $\gamma/1$  dz., zaś dla systemu  $\Delta Z$  wagi nr 094 — 12,7  $\gamma/1$  dz., a dla systemu  $\Delta H$  — 18,4  $\gamma/1$  dz. Kontrola wskazań przyrządów, którymi wykonywano niezależne pomiary, była wykonywana na punkcie bazowym oraz na niektórych punktach pomiarowych. Ogólnie na stanowisku „Nowa Słupia 4” wykonano 220 obserwacji zmian składowej Z oraz 20 obserwacji zmian składowej H (wzdłuż profilu „40 m”). Jednocześnie przeprowadzono pomiary względne składowej  $\Delta Z$  w okolicach obiektu „Nowa Słupia 4”, które stwierdziły występowanie innych piecowisk archeologicznych. Prace te wykonano po wschodniej i zachodniej stronie stanowiska „Słupia 4” wzdłuż profilów, na których

odległości między punktami pomiarowymi wynosiły 10 m.

W celu odniesienia wskazań obu używanych instrumentów do jednego poziomu porównawczego przyjęto wartość względną  $+500\gamma$  dla punktu bazowego. Na podstawie obliczeń została wykreślona mapa izoanomali składowej pionowej  $\Delta Z$  magnetyzmu ziemskiego dla obiektu „Nowa Słupia 4”.

Interpretacja jakościowa obrazu magnetycznego wykazuje, że na tle „obojętnego poziomu magnetycznego” równego  $+500\gamma \pm 10\gamma$  rysują się wyraźne (względem  $500\gamma$ ) dodatnie anomalie magnetyczne przekraczające w niektórych punktach wartości  $800\gamma$ . Wykreślone izoanomalie (kreślone w odstępach co  $50\gamma$ ) wyraźnie ujmują eliptycznego kształtu obszar o powierzchni ok.  $60\text{ m}^2$ , z którym w dalszym ciągu wiążemy obecność piecowiska hutniczego. Obok względnych anomali dodatnich „na zewnątrz” izoanomali  $500\gamma$  obserwuje się obniżenie wartości natężenia  $\Delta Z$ , które nawet na pewnym obszarze dochodzi do ok.  $400\gamma$ .

Przedstawiony obraz magnetyczny jest typowy dla ciał zaburzających o ograniczonej miąższości a znacznie większych wymiarach poziomych, np. dla płyty poziomo zalegającej. Znane dotychczas kształty piecowisk metalurgicznych na obszarze świętokrzyskim (1, 2, 4), składających się z szeregu skupionych kłoców ułożonych na powierzchni kilkudziesięciu metrów kwadratowych przy wysokości kłoców ok. kilkudziesięciu centymetrów, w przybliżeniu można porównywać z płytami, które są jakościowo i ilościowo interpretowane w magnetometrii prospekcyjnej. Analizując mapę izoanomali składowej poziomej  $\Delta Z$  można określić granice piecowiska hutniczego. Należy je wiązać z dodatnimi (względem  $500\gamma$ ) wartościami natężenia  $\Delta Z$ . Dokładność określenia tych granic jest funkcją gęstości siatki pomiarowych stanowisk i w tym przypadku nie będzie większa niż  $\pm 1\text{ m}$ . Jednak ta odległość zupełnie wystarcza do ekonomicznego zaplanowania prac wykopalskowych i ograniczenia ich do minimum.



Ryc. 1. Mapa izoanomali składowej pionowej  $\Delta Z$  pola geomagnetycznego na tle piecowiska, obiekt „Stupia 4”. Plan piecowiska wg mgr K. Bielenina, I.V.1961 r.

1 — izoanomalie  $\Delta Z$  w gammach ( $\Delta Z \gamma$ ), 2 — stanowiska pomiarów magnetycznych  $\Delta Z$ , 3 — stanowisko pom. mag.  $\Delta Z$  i  $\Delta H$ , 4 — kłoc, 5 — kłoc (78 nr kłoca) z profilu „40 m” A—B profil „40 m”, orientacja rysunku wg punktów na profilu „0” i „40 m”, 6 — anomalie dodatnie (względem  $500\gamma$ ), 7 — anomalie ujemne (względem  $500\gamma$ ).

Fig. 1. Isoanomaly map of vertical component  $\Delta Z$  of geomagnetic field in the background of the fire-plate: object „Stupia 4”. Plan of the fire-plate after K. Bielenin; May 1, 1961

1 — isoanomalies  $\Delta Z$  in gammas ( $\Delta Z \gamma$ ), 2 — sites of magnetic measurements  $\Delta Z$ , 3 — site of magnetic measurements  $\Delta Z$  and  $\Delta H$ , 4 — log, 5 — logs (nr 78 of a log) of the „40 m” profile. A—B — profile „40 m”; design orientation after numbers of points on the „0” and „40 m” profiles, 6 — positive anomalies (with reference to  $500\gamma$ ), 7 — negative anomalies (with reference to  $500\gamma$ ).

Późniejsze zresztą porównanie odkrytego zarysu piecowiska z obrazem izoanomali nasuwa przypuszczenie, że prowadzenie granicy wykopu po izolinii 525 — 575  $\gamma$  (przy przyjęciu wartości 500  $\gamma$  dla punktu bazowego) będzie najwłaściwszym sposobem wykonywania prac wykopaliskowych.

Prace wykopaliskowe na obiekcie „Nowa Słupia 4” prowadzone były po wykonaniu zdjęcia magnetycznego w ten sposób, że została zachowana w wykopie stabilizacja stanowisk obserwacji magnetycznych. Umożliwia to więc ostateczne porównanie planu piecowiska określonego pracami archeologicznymi z zarysem ciała wywołującego anomalie magnetyczną.

Porównanie obrazu magnetycznego z użyczonym nam przez mgr K. Bielenina planem piecowiska metalurgicznego przedstawione jest na ryc. 1. Zgodność obu obrazów jest nadzwyczajna. W przeważającej większości kształt dodatnich izoanomali odpowiada ściśle zewnętrznemu zarysowi piecowiska.

Według informacji uzyskanych od mgr K. Bielenina, piecowisko „Nowa Słupia 4” (foto.) jest typowe dla rejonu świętokrzyskiego. Przykryte jednak niezbyt grubą warstwą ziemi ornej, z biegiem lat ulegało stopniowemu niszczeniu w czasie uprawy ziemi. Niektóre kłocę w dużym stopniu są uszkodzone, inne uległy już prawie zupełnemu zniszczeniu, a o ich położeniu można już tylko sądzić z zarysu podstawy i wypalanej wyprawy kłocia bądź z zachowanych jeszcze resztek żużla. Takie części piecowiska nie są dostatecznym obiektem dla wywołania silnych anomalii, takich jakiej powodują całe kłocę lub zniszczone tylko częściowo.

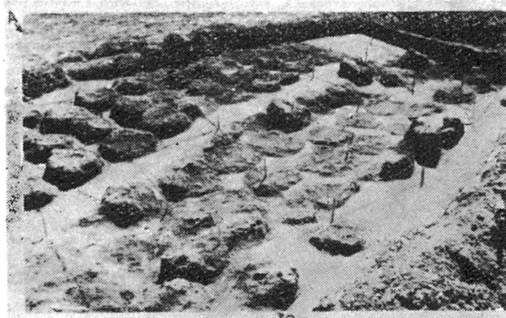
Tym też należy tłumaczyć, że niektóre części zdjętego zarysu piecowiska odbiegają od wyznaczonego dodatnimi (względem 500  $\gamma$ ) izoanomali magnetycznymi. W tym jednak przypadku odchylenie rzeczywistych granic od wyznaczonych metodą magnetyczną nie przekracza założonej dokładności zdjęcia.

Tytułem ilustracji na ryc. 2 przedstawia się profil magnetyczny wykonany na linii AB zgodnej z linią profilową odpowiadającą przekrojowi „40 m”, na której oprócz pomiarów składowej  $\Delta Z$  przeprowadzono także obserwacje poziomej składowej  $\Delta H$ . Celem obserwacji  $\Delta H$  było wyrobienie sobie zdania o przydatności pomiarów składowej poziomej przy eksploracji tego typu ciał zaburzających.

W dolnej części ryc. 2 przedstawia się rozmieszczenie kłoców wzdłuż przekroju AB = „40 m”, które na tej linii są źródłem zaznaczających się anomalii. Interpretacja profilu magnetycznego w powiązaniu z rozmieszczonymi tam ciałami zaburzającymi była następująca:

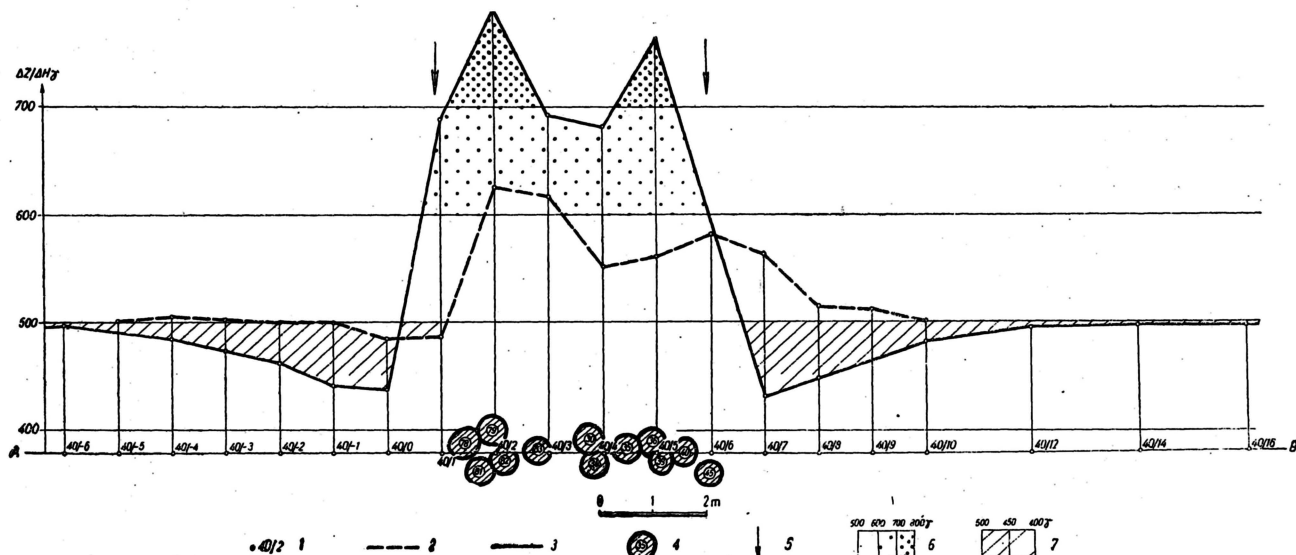
a) przekrój magnetyczny  $\Delta Z$  od wartości charakterystycznych dla tła bazowego w odległości ok. 6 m od granic piecowiska osiąga stopniowo wartości ujemne dochodzące do ok. 440  $\gamma$ , zgodnie z poprzednio opisaną formą anomalii dla tego typu ciał.

b) między punktami „40/0” a „40/1” i „40/6” a „40/7” następuje wzrost anomalii do wartości ok. 600  $\gamma$ . Są to miejsca, w których odzwierciedlają



Ogólny widok starożytnego piecowiska hutniczego (stanowisko „Nowa Słupia IV”). Wykop archeologiczny po wykonaniu prospekcji magnetycznej. A—B = linia profilu magnetycznego  $\Delta Z/\Delta H$  (por. ryc. 2). W środkowej części fotografii widoczna wyraźna „ścieżka” dzieląca piecowisko na części: lewą i prawą. Fot. K. Bielenin.

General view of an antique metallurgical fire-place (site „Nowa Słupia IV”). Archaeological diggings after magnetic prospecting. A—B — line of magnetic profile  $\Delta Z/\Delta H$  (comp. fig. 2). In the central portion of photograph a „footpath” is distinctly visible; it divides the fire-place into two parts — the left and the right one



Ryc. 2. Profile magnetyczne, obiekt „Słupia 4” (wzdłuż profilu A—B = „40 m”).

1 — stanowiska pomiarów magnetycznych, 2 — wykres składowej poziomej  $\Delta H$  ( $\gamma$ ), 3 — wykres składowej pionowej  $\Delta Z$  ( $\gamma$ ), 4 — kłoc (nr 78 kłocia) z profilu „40 m” AB, ułożenie kłoców na profilu AB = 40 m wg mgr K. Bielenina. Wartości anomalii  $\Delta Z$  i  $\Delta H$  obliczone w stosunku do punktu B(80)0, dla którego przyjęto  $\Delta Z = \Delta H = 500 \gamma$ , 5 — granice piecowiska (na prof. AB = 40 m) wg pomiarów składowej pionowej  $\Delta Z$ , 6 — anomalie dodatnie (wzgl. 500  $\gamma$ ), 7 — anomalie ujemne (wzgl. 500  $\gamma$ )

Fig. 2. Magnetic profiles; object — „Słupia 4” (alongside of A—B profile = „40 m”).

1 — points of magnetic measurements, 2 — diagram of horizontal component  $\Delta H$  ( $\gamma$ ), 3 — diagram of vertical component  $\Delta Z$  ( $\gamma$ ), 4 — log (nr 78 of log) of the „40 m” AB — profile; arrangement of logs on the profile after K. Bielenin. Values of both the  $\Delta Z$  and  $\Delta H$  anomalies calculated in relation to the point B(80)0, for which  $\Delta Z = \Delta H = 500 \gamma$  are taken, 5 — boundaries of fire-place (on the profile AB = 40 m) after measurements of the vertical component  $\Delta Z$ , 6 — positive anomalies (with reference to 500  $\gamma$ ), 7 — negative anomalies (with reference to 500  $\gamma$ )

się wpływy kłoców i tu stawiamy granice piecowiska. Zaznaczono je na ryc. 2.

Konfrontacja tych miejsc z przedstawioną u dołu sytuacją ułożenia kłoców na profilu „40 m” nie wymaga dalszych komentarzy ze względu na doskonałą zgodność. Zarys piecowiska na tym profilu ograniczony kłocami nr 78 i 45 odpowiada wartości izoanomalii 700 i 600  $\gamma$ .

c) nad stanowiskami pomiarowymi „40/2” i „40/5” anomalia  $\Delta Z$  osiąga swe maksimum, odpowiednio 792 i 765  $\gamma$ . Miejsca te wiążemy z centralnymi punktami „lewej” i „prawej” części piecowiska (na profilu AB zespołowi kłoców nr 78—83 i 30—45).

d) oba maksima wartości  $\Delta Z$  są na profilu AB oddzielone wyraźnym obniżeniem natężenia. Porównanie położenia kłoców na tym profilu z wartościami izoanomalii daje dostateczny dowód, że ten spadek anomalii należy wiązać ze „ścieżką” dzielącą obie części piecowiska (kłoce nr 78—83 od kłoców nr 30—45 na profilu AB).

e) wykonany wzdłuż linii AB profil poziomej składowej  $\Delta H$  wykazuje prawidłowy układ anomalii  $\Delta H$  względem profilu  $\Delta Z$ . Rejestrowane anomalie nie przekraczają wartości 630  $\gamma$  w części dodatniej (względem 500  $\gamma$  dla tła bazowego) oraz nie są niższe niż 485  $\gamma$  w części ujemnej. Przesunięcie ekstremów wartości  $\Delta H$  względem  $\Delta Z$  jest typowe dla anomalii obserwowanych nad płytą poziomo zalegającą.

\*

Przydatność metody magnetycznej do rozpoznawania archeologicznych stanowisk wytopu rud żelaza na obszarze świętokrzyskim została powyżej dostatecznie udokumentowana.

Rozpoznawanie stanowisk archeologicznych powinno się odbywać w dwu etapach:

a) zdjęcie profilowe wykonanie wzdłuż przyjętego kierunku eksploracji jest pierwszym etapem w ustaleniu pozycji piecowiska metalurgicznego. Pomiar na profilu powinny się odbywać na stanowiskach usytuowanych co 5 m, gdyż odległość ta zależy od poziomych wymiarów obiektu i jest maksymalna dla pozytywnego rozwiązania zadania.

b) pomiary szczegółowe przeprowadzone w drugim etapie powinny być wykonane na sieci stanowisk pomiarowych, których wzajemne odległości będą z kolei zależały od żądanej dokładności określenia zarysów piecowiska. Zdobyte doświadczenia przy rekonesansie obiektu „Nowa Słupia 4” wykazują, że odległość w sieci stanowisk nie musi być mniejsza niż 1 m. Osiąga się przy tym dokładność określenia zarysu piecowiska, przy której wykopy mogą być prowadzone z maksymalną ekonomią. Dalsze zagęszczenie sieci stanowisk pomiarowych prowadzić już będzie do szczegółowej detalizacji samego piecowiska, a zejście do odległości 40 cm  $\pm$  10 cm pozwoli na ustalenie położenia poszczególnych kłoców przy założeniu, że zachowane są one dostatecznie dobrze. Taka sama detalizacja pomiarów pozwoli na uzyskanie informacji o innych szczegółach ułożenia obiektu archeologicznego, jak np. zakreszenie typowej ścieżki między skupieniami kłoców, undulacji zarysu piecowiska i in.

Rozpoznanie anomalii związanych z piecowiskiem metalurgicznym na tle ogólnego magnetycznego obrazu anomalnego nie jest trudne, bowiem obserwowane wartości natężenia  $\Delta Z$  i  $\Delta H$  znacznie przewyższają przeciętne wartości będące przedmiotem eksploracji magnetycznej w prospekcyj geologicznej.

Istnieją dostateczne podstawy do stwierdzenia, że obszary anomalii wiążące się z piecowiskami wytopu rud żelaza mogą być poddane matematycznej interpretacji ilościowej np. dla określenia grubości nadkładu.

Badanie parametrów magnetycznych dla próbek żużla z różnych stanowisk archeologicznych powinno być przeprowadzone za pomocą metod laboratoryjnych. Jest to konieczne uzupełnienie badań związanych z magnetycznym rozpoznawaniem metalurgicznych obiektów archeologicznych i łącznie z dalszym precyzowaniem metodyki prac polowych

pozwoili na ostateczne naukowe ujęcie zagadnień łączących się z oryginalnym zastosowaniem prospekcyj magnetycznej w archeologii.

## LITERATURA

1. Bielenin K. — Badania nad starożytnym hutnictwem świętokrzyskim w 1958 r. Materiały Archeologiczne. T. II — Muzeum Archeologiczne w Krakowie. Kraków 1960.
2. Bielenin K. — Stanowisko 4 w Jeleniowie, powiat Opatów. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1960, nr 4.
3. Bielenin K., Holewiński S. — Rudki — starożytny ośrodek górniczy w Górach Świętokrzyskich. „Przegląd Geologiczny”, 1961, nr 3.
4. Bielenin K., Radwan M. — Badania nad starożytnym hutnictwem żelaza w rejonie Gór Świętokrzyskich w latach 1956 i 1957. Materiały Archeologiczne. T. I — Muzeum Archeologiczne w Krakowie. Kraków 1959.
5. Dąbrowski K., Stopiński W. — Zastosowanie metody elektryczno-oporowej w badaniach archeologicznych. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1961, nr 1.
6. Holewiński S. — Uwagi o procesie redukcji żelaza z rud w kotlinie świętokrzyskiej. „Kwartalnik H. K. M.” 1960, nr 4.
7. Pazdur J. — Rzut oka na problematykę i metody badań w łysogórskim okręgu starożytnego hutnictwa. Ibidem.
8. Radwan M. — Ważne odkrycia. Ibidem.
9. Różański W. — Badania metaloznawcze fragmentów żelaznych pochodzących ze stanowiska 4 w Jeleniowie. Ibidem.

## SUMMARY

The paper deals with use of the geophysical magnetic method for location of the archaeological sites in the antique metallurgy area in the region of the Holy Cross Mountains. The geophysical surveys performed there, have yielded numerous interesting materials allowing to establish the right field work methods specific for such a kind of scientific researches. Magnetic surveys in the area of occurrence of the fire-places for iron ore smelting, were made in the Nowa Słupia region. During these investigations the magnetic magnetometers of A. Schmidt type (prism balance) and of G. Fanselau type (universal balance) were used.

A decisive factor for using the magnetometry during location of the fire-places is a very high content of metallic iron to be found within the several slag blocks.

The method described above, diminishes to the minimum the digging works and gives simultaneously the maximum research effects.

## РЕЗЮМЕ

Статья посвящена применению магнитного геофизического метода для локализации археологических объектов на территории древних металлургических работ Свентокжиского района. Проведенные геофизические измерения доставили много интересного материала, позволяющего определить правильную методику полевых работ для научных исследований этого типа. Магнитные исследования на территории, где располагались печи для плавки железной руды, проводились в окрестностях Новой Слупи. Измерения производились магнитометрами типа А. Шмидта (призматические весы) и типа Г. Фанзелая (универсальные весы).

Решающим критерием применения магнитометрии для определения расположения печей является большее содержание металлического железа в отвалах шлака.

Вышеописанный метод уменьшает до минимума раскопные работы, одновременно принося максимальные исследовательские эффекты.