KONSTANTY CZEPULIS, JERZY STEIN, ADAM SZYNKIEWICZ
Uniwersytet Warszawski

LOKALIZACJA FORM KRASOWYCH METODAMI GEOFIZYCZNYMI W REZERWACIE „WĘŻE" (WYŻYNA WIELUŃSKA)

UKD 551.435.84(438—191.2 Góra Zelce—197.2):550.831+550.837.312(084.3)

Rezerwat przyrodniczy „Węże", skąd znane są najdalej na północ występujące jaskinie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, położony jest na Górze Zelce stanowiącej ostaniec wapienny wznoszący się na wysokość 228,5 m npm i około 45 m ponad przyległe od północy dno doliny Warty (10, 11). Wzgórze to stanowi bardzo ważny punkt odniesienia w pracach dotyczących stratygrafii oraz paleogeografii trzeciorzędu i czwartorzędu, ze względu na liczne stanowiska kopalnych kręgowców występujących tu w formach krasowych (7).

Góra Zelce zbudowana jest głównie z wapieni skalistych środkowego oksfordu (o gęstości 2,64 g/cm³). W środkowej części, przy stoku północnym występują też białe, cienkoławicowe wapienie mikrytowe (o gęstości 2,58 g/cm³), leżące na wapieniach skalistych i przechodzące w nie obocznie. Wymienione typy wapieni charakteryzują się wysokimi oporami od 3500 do 7000 omm. Wapienie pocięte są systemem spękań i drobnych uskoków o kierunkach: 25—35° i 105—125°, a rzadziej 60° i 145—160° Większe uskoki obcinają wzgórze od wschodu, a także zapewne od północy i zachodu, powodując jego zrębowy charakter, znacznie przemodelowany w trzeciorzędzie i czwartorzędzie.

W obrębie wapieni na Górze Zelce istnieje system krasowy rozwinięty wzdłuż wymienionych kierunków spękań na kilku poziomach, połączonych szczelinami i studniami krasowymi. System ten sięga do głębokości ponad 40 m i do poziomu wód w Warcie (tj. do wysokości 175,0 m npm) jest osuszony.

Kanały krasowe są w większości wypełnione osadami ilasto-piaszczystymi, kalcytem oraz gruzem i blokami wapiennymi, co powoduje, że obecnie dostępnych jest tylko siedem małych jaskiń, które zgodnie z Inwentarzem jaskiń polskich oznaczono numerami: 507 A — Jaskinia Stalagmitowa, 507 B — Jaskinia Zanokcica, 523 (W-1) — Jaskinia Samsonowicza (stanowisko paleontologiczne Węże-1), 524 — Jaskinia Za Kratą, 525 — Jaskinia Draba, 526 — Jaskinia Mała, 527 — Jaskinia Niespodzianka (ryc. 1). Korytarze tych jaskiń mają długość od kilku do 90 m, osiągają wysokość do 3 m i szerokość 0,5—4 m.

Przed kolejnym etapem prac ziemnych w jaskiniach, zmierzających do rozpoznania systemu krasowego i osadów wypełniających, część wzgórza zbadano metodami geofizycznymi, których zadaniem było zlokalizowanie pustych i wypełnionych form krasowych, a także określenie możliwości ich połączenia w jeden ciąg z już znanymi jaskiniami, który po zakończeniu prac wykopaliskowych mógłby być udostępniony do zwiedzania turystom. Badania geofizyczne zrealizowano dzięki pomocy wojewódzkiego konserwatora przyrody w Sieradzu.

BADANIA GEOFIZYCZNE

Na obszarach krasowych metody geofizyczne są często stosowane do lokalizacji pustych oraz wypełnionych kanałów i lejów krasowych w celu wyznaczenia stref zagrożeń w budownictwie i do rozpoznania podziemnych przepływów wód krasowych (1, 9). Zagadnieniom tym była także poświęcona część konferencji Międzynarodowej Asocjacji Geologii Inżynierskiej (IAEG) w Hanowerze w 1973 r. na której podkreślono dobre efekty uzyskiwane przy stosowaniu metod sejsmicznych, grawimetrycznych i geoelektrycznych (2, 8).

W Polsce, na możliwość wykorzystania mikrograwimetrii do wykrywania pustek w masywach skalnych wskazał Z. Fajklewicz, który także podkreślał wysoką dokładność prac pomiarowych i obliczeniowych tej metody (4, 5, 6). Natomiast zastosowanie metody profilowania elektrooporowego do lokalizacji podziemnych kanałów krasowych pozwoliło na odkrycie nowych korytarzy w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie (3).

Biorąc pod uwagę zakresy stosowalności poszczególnych metod geofizycznych i zadania postawione do rozwiązania na Górze Zelce, wybrano dwie uzupełniające się metody badań powierzchniowych:

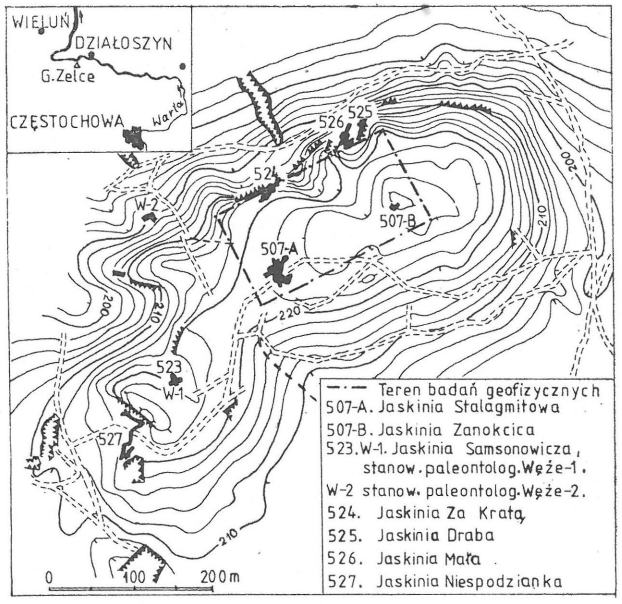
— mikrograwimetryczną umożliwiającą wykrycie w masywie skalnym szczelin, stref rozluźnień, pustek i kanałów krasowych, oraz

— profilowania elektrooporowego pozwalającą na uzyskanie dodatkowych danych o przebiegu form krasowych i ich wypełnieniu.

Dla szczegółowych badań geofizycznych wyznaczono obszar o wymiarach 210 × 120 m, w obrębie którego znalazło się pięć znanych już jaskiń. Do wyznaczenia sieci stanowisk pomiarowych przyjęto jako bazę linię prostą łączącą wylot jskini 507 A z wylotem jaskini 507 B i od niej wzdłuż prostopadłych oznakowano stanowiska pomiarowe, nanosząc je na mapę Góry Zelce w skali 1:1000.

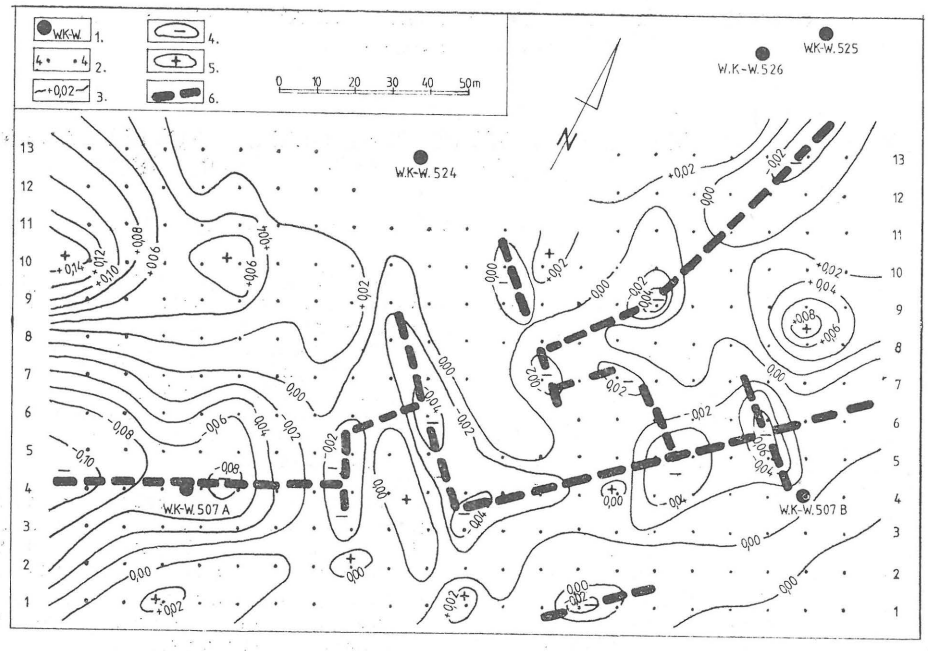
Badania mikrograwimetryczne

Terenowe obserwacje zmian przyspieszenia siły ciężkości wykonano precyzyjnym grawimetrem typu



Ryc. 1. Góra Zelce — położenie jaskiń i obszaru badań geofizycznych (numery jaskiń wg Inwentarza Jaskiń Polskich dla Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej).

Fig. 1. Mt. Zelce — location of caves and the area covered by geophysical survey (cave numbers after the List of Polish Caves for the Cracow-Wieluń Upland).

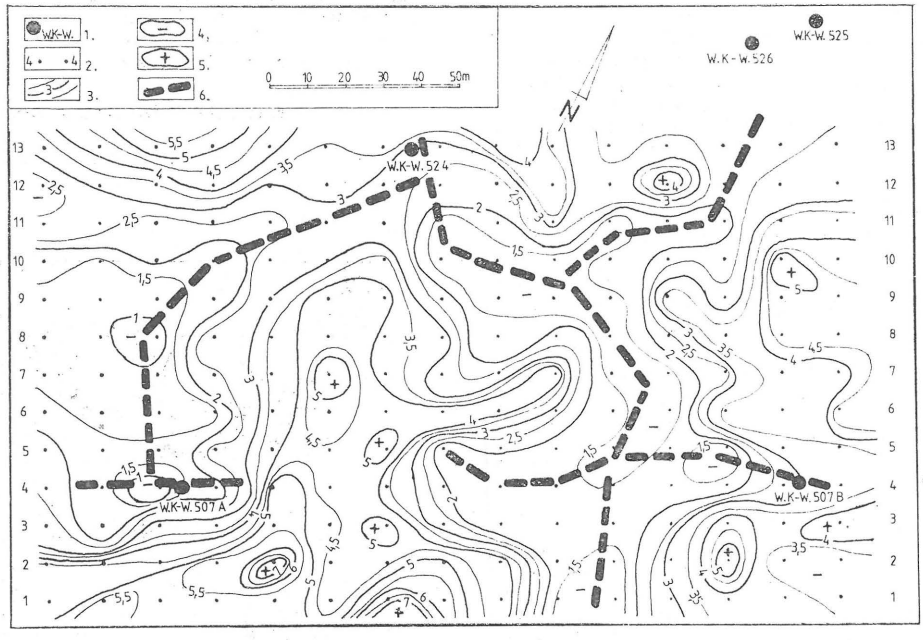


Ryc. 2. Mapa mikroanomalii siły ciężkości.

1 — wejście do jaskiń (numery jak na ryc. 1), 2 — numer profilu i położenie stanowiska pomiaru grawimetrycznego, 3 — izolinie wartości Δg w 10^{-5} m/s² (m/Gal), 4 — anomalie ujemne, 5 — anomalie dodatnie, 6 — osie anomalii ujemnych.

Fig. 2. Map of gravity microanomalies.

1 — outlet of cave (cave numbers as given in Fig. 1), 2 — number of profile and location of gravity measurement points, 3 — isolines of Δg values in 10^{-5} m/s² (m/Gal), 4 — negative anomalies, 5 — positive anomalies, 6 — axes of negative anomalies.



Ryc. 3. Mapa izoomów dla AB = 30 m, MN = 5 m.

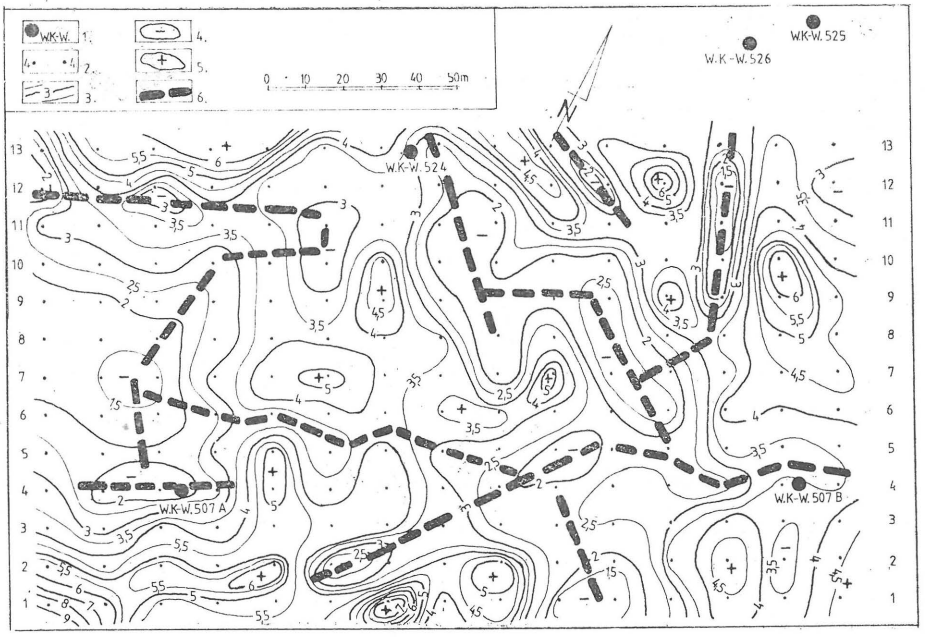
1 — wejścia do jaskiń (numery jak na ryc. 1), 2 — numer profilu i położenie stanowisk pomiaru geoelektrycznego, 3 — izolinie wartości oporu pozornego w 1000 omm, 4 — anomalie ujemne, 5 — anomalie dodatnie, 6 — osie anomalii ujemnych.

Fig. 3. Maps of isoohms for AB equal 30 m and MN — 5 m.

1 — outlet of cave (cave numbers as given in Fig. 1), 2 — number of profile and location of geoelectric measurement points, 3 — isolines of apparent resistance values in 1000 ohms, 4 — negative anomalies, 5 — positive anomalies, 6 — axes of negative anomalies.

Worden, na stanowiskach rozmieszczonych w odległości co 10 m (ryc. 2 i 5). W celu uzyskania wysokiej dokładności prac terenowych i wyeliminowania błędów instrumentalnych, osobowych i innych niekorzystnych czynników rzutujących na jakość badań powtórzono pomiary na około 60% stanowiskach. Na podstawie tych prac obliczono średni kwadratowy błąd pojedynczego pomiaru, który dla wykonanych badań wyniósł $\pm 0{,}018 \cdot 10^{-5}$ m/s².

Pomierzone wartości przyspieszenia siły ciężkości zredukowano do poziomu odniesienia, stosując redukcję Bouguera. Przyrosty anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera obliczono na podstawie wzoru Helmerta z 1901—1908 r., przyjmując poziom odniesienia w stosunku do punktu o najmniejszej wysokości w rejonie badań. Przyjęcie takiego poziomu odniesienia uwarunkowane było bardzo płytkim występowaniem wapieni jurajskich (zdenudowany la-



Ryc. 4. Mapa izoomów dla AB = 50 m, MN = 5 m. Objaśnienia jak na ryc. 3.

Fig. 4. Isoohm map for AB equal 50 m and MN — 5 m. Explanations as given in Fig. 3.

piaz). W redukcji Bouguera uwzględniono także wpływy grawitacyjne szeregu wkopów, łomików występujących na terenie badań oraz poprawkę topograficzną dla wyeliminowania wpływu stromego zbocza w północnej części terenu badań.

Uzyskane wartości anomalii Bouguera zostały następnie uwolnione z wpływu anomalii regionalnych, związanych ze strukturami dużymi i głęboko występującymi. W rezultacie otrzymano mikroanomalie resztkowe siły ciężkości, które były podstawą interpretacji wyników badań mikrograwimetrycznych (ryc. 2).

Przeprowadzona interpretacja ma głównie charakter jakościowy. Wynika to przede wszystkim z bardzo zmiennego pod względem strukturalnym i tektonicznym obrazu budowy geologicznej badanego rejonu.

Mapa mikroanomalii resztkowych siły ciężkości charakteryzuje się stosunkowo dużym (od $+0{,}14 \cdot 10^{-5}$ m/s² do $-0{,}10 \cdot 10^{-5}$ m/s²) zakresem zmian wartości Δg. Na mapie tej wydzielić można szereg anomalii względnie dodatnich i względnie ujemnych. Względnie dodatnie anomalie Δg wskazują na występowanie skał o wyższych gęstościach w stosunku do otoczenia, a ujemne — o mniejszych gęstościach. Niedobór gęstości może być spowodowany silnym spękaniem, występowaniem licznych szczelin, fug międzyławicowych lub kanałów krasowych, przy czym wymienione formy będą tym większe im wyższe są wartości mikroanomalii ujemnych.

Wyznaczone osie mikroanomalii względnie ujemnych mają azymuty zbliżone do kierunków: 20° i 47—60° oraz 130—155° (ryc. 2), co jest zgodne z kierunkami tektonicznymi zarejestrowanymi na wzgórzu.

Badania elektrooporowe

W badaniach terenowych zastosowano metodę profilowania elektrycznego, którą prowadzono układem symetrycznym, dwupoziomowym przy zastosowaniu potencjometru typu PKE-7 (pracującego w zakresach ΔV = 3—1000 mV, I = 10—300 mA). Układ dwupoziomowy daje możliwość rozpoznania w zakresie zmian opornościowych nie tylko w poziomie, lecz również w pionie na dwóch głębokościach. Przy ustalaniu wielkości rozstawów elektrod kierowano się przede wszystkim przewidywaną głębokością występowania form krasowych, dlatego przyjęto za najbardziej korzystne rozstawy AB = 30 m i AB = 50 m oraz krok profilowania równy 15 m.

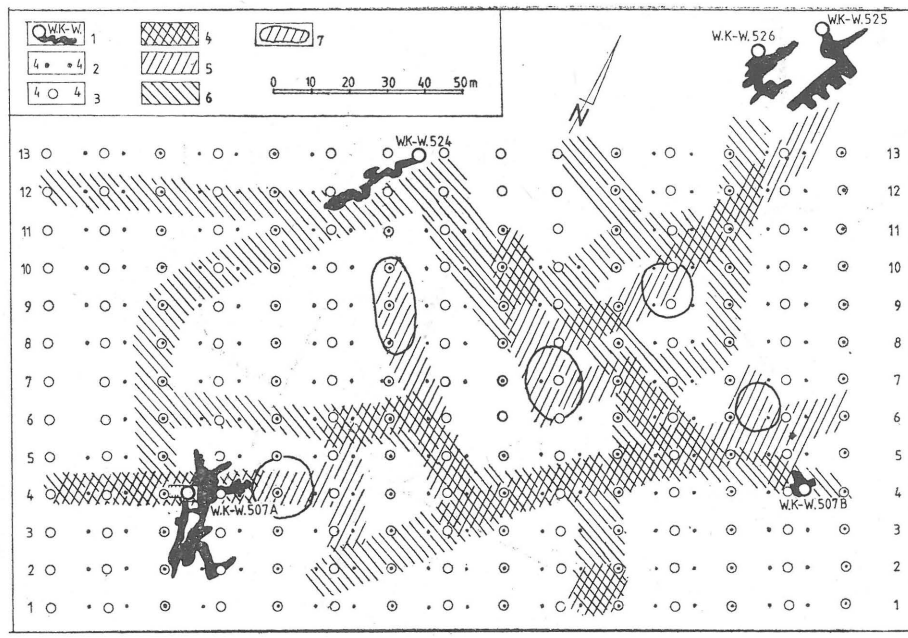
W rezultacie wykonanych badań elektrooporowych uzyskano wartości oporności pozornej, na podstawie których wykreślono mapy izoomów (ryc. 3 i 4), charakteryzujące rozkład oporności w wapieniach jurajskich na dwóch płaszczyznach głębokościowych (około 15 i 25 m).

Analizując otrzymane mapy izoomów można zauważyć generalne podobieństwo w rozkładzie oporności na obu poziomach głębokościowych. Mapa obejmująca poziom płytszy (AB = 30 m) odzwierciedla w swoim obrazie częściowo wpływy warunków zewnętrznych. Stąd też wyniki badań, uzyskane dla tej płaszczyzny odniesienia, są częściowo zniekształcone i dlatego z punktu widzenia delimitacji form krasowych, za bardziej wiarygodne należy uznać informację uzyskane z analizy mapy izoomów dla poziomu AB = 50 m.

Analizę wyników badań elektrooporowych w aspekcie rozwiązywanego tu zagadnienia oparto na dwóch założeniach. Po pierwsze przyjęto, że względne minima wartości ϱp będą odnosiły się do form krasowych wypełnionych całkowicie lub częściowo materiałem ilastym, charakteryzującym się niskimi oporami. Po drugie uznano, że niektóre wyraźne maksima wartości oporu pozornego można traktować również jako formy krasowe (puste szczeliny lub korytarze jaskiniowe, albo formy krasowe wypełnione piaskiem). Przedstawione założenia stwarzają dowolność interpretacji wyników badań elektrooporowych, dlatego dowolność ta została w dużym stopniu ograniczona przez korekcję badań elektrooporowych — wynikami badań mikrograwimetrycznych.

INTERPRETACJA WYNIKÓW

Wykreślone na mapach analitycznych osie anomalii ujemnych przeniesiono na mapę zbiorczą zaznaczając ich kierunki w formie stref (ryc. 5). Porównanie przebiegu tych anomalii wskazuje na dużą zbieżność wyników badań mikrograwimetrycznych z wynikami badań elektrooporowych. Na mapie można wyznaczyć miejsca, gdzie osie ujemnych mikroanomalii grawimetrycznych pokrywają się z osiami minimów wartości oporu pozornego. Można przyjąć w dużym przybliżeniu, że miejsca te wskazują na występowanie w masywie większych szczelin lub kanałów krasowych całkowicie lub częściowo wypełnionych materiałem ilastym, ewentualnie gliniastym.



Ryc. 5. Mapa zbiorcza wyników badań geofizycznych na Górze Zelce.

Fig. 5. Summative map of geophysical surveys covering Mt. Zelce.

1 — wejście do jaskiń ze schematycznym zarysem układu korytarzy (numery jak na ryc. 1), 2 — numer profilu i położenie stanowisk pomiaru grawimetrycznego, 3 — numer profilu i położenie stanowisk pomiaru elektrycznego, 4 — strefa przypuszczalnego występowania wypełnionych kanałów krasowych wyznaczona na podstawie badań grawimetrycznych i elektrooporowych, 5 — strefa przypuszczalnego występowania form krasowych wyznaczona na podstawie badań grawimetrycznych, 6 — strefa przypuszczalnego występowania form krasowych wyznaczona na podstawie badań elektrooporowych, 7 — strefa występowania większych pustek wyznaczona na podstawie badań grawimetrycznych i dodatnich anomalii elektrooporowych.

1 — outlet of cave and sketch outline of system of chambers (cave numbers as given in Fig. 1), 2 — number of profile and location of gravity measurement points, 3 — number of profile and location of geoelectric measurement points, 4 — zone of inferred occurrence of infilled karst chambers, traced on the basis of gravity and electric resistance surveys, 5 — zone of inferred occurrence of karst forms, traced on the basis of gravity surveys, 6 — zone of inferred occurrence of karst forms, traced on the basis of electric resistance surveys, 7 — zone of occurrence of large karst chambers, traced on the basis of gravity surveys and positive electric resistance anomalies.

Kanały takie występują prawdopodobnie na południe od jaskiń 525 i 526 (azymut około 20°), między jaskiniami 507 B i 524 oraz 507 A i 507 B, a także na SW od jaskini 507 A.

Wyznaczono także miejsca pokrywania się osi ujemnych anomalii grawimetrycznych z maksimami wartości oporu pozornego, przyjmując, że wskazują one na większe niewypełnione kanały krasowe. Kanały takie występują prawdopodobnie na północny wschód od jaskini 507 A, na SE od jaskini 524, na NW od jaskini 507 B oraz na południe od jaskiń 525 i 526. W tym ostatnim przypadku można sądzić, że na wymienionym kierunku występuje ciąg większych pustych i wypełnionych osadami kanałów.

Minima wartości oporu pozornego położone na południowy zachód i południe od jaskini 524, wskazujące na połączenie kanałami tej jaskini z jaskinią 507 A, nie zostały potwierdzone przez badania mikrograwimetryczne. Nie jest wykluczone, że na wyniki tych pomiarów miało wpływ blisko położone bardzo strome zbocze Góry Zelce. Wykonanie kilku wierceń sprawdzających pozwoli wyjaśnić niektóre problemy.

Badania geofizyczne przeprowadzone na Górze Zelce w rezerwacie „Węże" za pomocą dwóch uzupełniających się metod geofizycznych wskazują z dużym prawdopodobieństwem, że w obrębie wzgórza między znanymi jaskiniami istnieje system pustych oraz wypełnionych kanałów krasowych obecnie niedostępnych. Badania potwierdzają łączność całego systemu krasowego wzgórza i zbieżność kierunków przebiegu prawdopodobnych kanałów z kierunkami tektonicznymi, wyznaczonymi na podstawie badań jaskiń i powierzchniowego kartowania geologicznego.

LITERATURA

1. Arandelović D. — Geofizika na karstu. Zavod za Geološka, Hidrogeološka, Geofizička i Geotehnička Istraživanja — Geofizički Institut. Knjiga 17. Posebna izdanja. Beograd 1976.

2. Baule H., Dresen L. — Methoden der Abgrenzung von Erdfallbereichen und der Lokalisierung unterirdischer Hohlräume. IAEG Symp. „Sink-holes and subsidence ...". Proceedings. Hannover 1973.

3. Bieroński J. — Zastosowanie metody elektrooporowej do badań krasowych na wybranych przykładach z masywu Śnieżnika Kłodzkiego. Acta Univ. Wratislav. No 311. Studia Geograph. XXIV. Wrocław 1978.

4. Fajklewicz Z., Duda W. — Próba zastosowania pomiarów mikrograwimetrycznych dla potrzeb górnictwa węglowego. Techn. Poszuk. 1964 z. 9.

5. Fajklewicz Z. — Efektywność mikrograwimetrii powierzchniowej w wykrywaniu uskoków w obrębie pola górniczego kopalni węgla kamiennego „Z". Ibidem 1970 z. 34.

6. Fajklewicz Z. — Über die Lokalisierung von Hohlräumen im Gestein mit der Methode des vertikalen Schweregradienten. Neue Bergbautechnik 1976 H. 3.

7. Głazek J., Sulimski A., Szynkiewicz A., Wierzbowski A. — Górnojurajskie wapienie i kras w rejonie Działoszyna. Przew. 52 Zjazdu Pol. Tow. Geol. Bełchatów Wyd. Geol. Warszawa 1980 (w druku).

8. Neumann R. — Prospection gravimétrique appliqée à la location des cavités souterraines. IAEG Symp. „Sink-holes and subsidence ...". Proceedings. Hannover 1973.
9. Ogiliwi A. A. — Gieoelektriczeskije mietody izuczenija karsta. Izd. Moskow. uniwiersitieta, Moskwa 1956.
10. Szynkiewicz A. — Rozmieszczenie jaskiń na Górze Zelce koło Działoszyna. Speleologia 1971 nr 1—2.
11. Szynkiewicz A. — Rezerwat przyrodniczo-geologiczny „Węże" na Górze Zelce koło Działoszyna nad Wartą. Acta Univ. Lodz. Folia Geograph. 1977, ser. II z. 5.

SUMMARY

Limestone butte with numerous buried caves and evened top surface of the denuded lapiaz type, situated in the area of the Wieluń Upland, was selected as practice range for model studies on locating karst forms with the use of geophysical methods. In order to trace underground karst forms, two geophysical methods supplementing one another were used: microgravimetry and electric resistance profiling.

Measurements taken in 10 m intervals at points arranged in rectangular network, made it possible to compile maps of gravity microanomalies and isoohms for AB = 30 m and AB = 50 m (with MN equal 5 m). The maps show axes of negative gravity microanomalies and those of relatively negative anomalies of apparent resistance.

The results of the surveys were plotted in a summative map. It was assumed that points of convergence of axes of negative gravity microanomalies and relatively negative apparent resistance anomalies may indicate the presence of large channels and other karst forms infilled with clay or loamy deposits under surface of the hill. In turn, convergence of axes of negative gravity microanomalies and marked, relatively positive anomalies of apparent resistance may indicate the presence of large caverns and empty karst channels of karst channels infilled with sand.

The surveys confirmed the continuity of the whole karst system of the hill. Moreover, a convergence of orientation of the inferred karst channels and tectonic directions found on the basis of cave studies and surface geological mapping was found.

РЕЗЮМЕ

Известковой останец с многими засыпанными пещерами и выровненной хребтовой поверхностью, имеющей характер денудированного карры, находящийся на Велюньской возвышенности, был избран в качестве территории для модельных исследований для локализации карстовых форм при помощи поверхностных геофизических методов. Для обнаружения подземных карстовых форм применялись два геофизических метода: микрогравиметрический и электроопорного профилирования.

Измерения проведенные на пунктах расположенных в прямоугольной системе в расстоянии 10 м друг от друга, сделали возможным составление карты микроаномалий силы тяжести, а также карт изоомов для AB = 30 м и AB = 50 м (при MN = 5 м). На этих картах соответственно отмечены оси отрицательных аномалий силы тяжести, а также оси относительно отрицательных аномалий кажущегося сопротивления.

Результаты исследований были составлены на сводной карте. Принято, что места совмещения осей отрицательных микроаномалий силы тяжести и осей относительно отрицательных аномалий кажущегося сопротивления могут указывать на нахождение под поверхностью возвышенности каналов и карстовых форм заполненных глинистыми осадками. Совмещение осей отрицательных аномалий силы тяжести с относительно положительными аномалиями кажущегося сопротивления может указывать на нахождение под поверхностью больших пустот или не заполненных карстовых каналов, или карстовых форм заполненных песком.

Проведенные исследования подтвердили связь всей карстовой системы возвышенности и сходство направлений хода карстовых каналов с тектоническими направлениями определёнными на основании исследования пещер, а также на основании поверхностного геологического картирования.