

Zbigniew FAJKLEWICZ, Tadeusz MIKOŚ, Janusz RADOMIŃSKI

Edward STEWARSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Przykłady zastosowania metod geofizycznych do lokalizacji historycznych wyrobisk podziemnych

Streszczenie

Pojawienie się zagadnień ochrony obiektów zabytkowych zarówno naziemnych jak i podziemnych w programach nauczania Wydziału Górniczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przyczynia się do inicjowania pogłębionych, interdyscyplinarnych prac teoretycznych i badawczych związanych z wieloletnimi doświadczeniami górnictwa, geofizyki i innych nauk pokrewnych. Studia w ramach specjalności „GEOTECHNIKA W REWALORYZACJI ZABYTKÓW” na kierunku Budownictwo zmierzają do przywrócenia zabytkowym obiektom podziemnym wartości archeologicznych, historycznych i użytkowych.

Dzieje górnictwa mają na naszych ziemiach często znacznie starsze tradycje aniżeli tysiącletnia historia państwowości polskiej. Z odległych czasów nie zachowało się niestety zbyt wiele, dlatego też coraz więcej pracowników AGH w Krakowie jest przekonanych, że nadszedł czas, aby na większą skalę ochronić dla przyszłych pokoleń nie tylko pomniki architektury, ale też stare, zabytkowe zarówno naziemne jak i podziemne obiekty techniki górniczej.

W artykule podano przykłady liczbowe zastosowań metod geofizycznych w tej interdyscyplinarnej ochronie zabytków podziemnych. Podano również rekapitulację dotychczasowych osiągnięć AGH w tej dziedzinie.

1. Wstęp

Brak wolnych terenów pod zabudowę i inne zagospodarowania przestrzenne wymusza zainteresowanie rejonami mało przydatnymi dotąd dla budownictwa. W wielu wypadkach tereny te są zagrożone wpływami dawnych, płytko usytuowanych pod powierzchnią terenu wyrobisk podziemnych.

Wyrobiska te określane niekiedy pustkami poeksploatacyjnymi wykonali niegdyś nasi przodkowie w formie komór, chodników, składów, dukli i szybów, sztolni i piwnic, lochów i grobowców itd. – dla celów komunikacyjnych, gospodarczych, obronnych lub religijnych.

Oprócz w/w obiektów istnieją w naszym kraju wyrobiska podziemne powstałe w sposób naturalny (jamy, kawerny, grotty, jaskinie). Wiele z nich, dotąd nie odkrytych stanowiąc może w przyszłości rezerwat lub pomniki przyrody nieożywionej.

Do obiektów związanych z naszą najnowszą historią należą podziemne obiekty strategiczno-militarne. W ich skład wchodzi kilkunastokondygnacyjne bunkry i łączące je podziemne tunele (loch) często niedostępne, posiadające nieznaną dzisiaj konfigurację przestrzenną.

Wiele płytkich wyrobisk historycznych posiadało niegdyś obudowę, która z czasem uległa

zniszczeniu. Zdarzają się również wyrobiska częściowo podsadzone lub zasypane.

Z upływem czasu w wyniku procesu osiadania górotworu, infiltracji wody w głąb wyrobisk, ruchów wody na skutek zcerpywania poziomów wodonośnych a także niestatycznych obciążeń powierzchni, powstają warunki do wytworzenia się zapadłisk (nieciągłych deformacji terenu).

W przypadku posadowienia na powierzchni takich terenów obiektów budowlanych, tras komunikacyjnych, czy ciągów instalacji przemysłowych może powstać nierównomierne osiadanie podłoża i fundamentów, pękanie ścian konstrukcyjnych, rozszczelnianie rur przesyłowych itp.

Wykrycie płytko zalegających wyrobisk podziemnych, a następnie stwierdzenie, czy są one puste, częściowo podsadzone lub całkowicie podsadzone (bezpieczne) poprzez wykonanie otworów wiertniczych jest nieekonomiczne i czasochłonne. Metodami efektywnymi, które mogą znacząco pomóc w rozwiązywaniu tych problemów są badania geofizyczne zaliczane do badań bezinwazyjnych.

W wielu przypadkach, szczególnie do tego celu predysponowana jest metoda mikrograwimetryczna, która w warunkach gęstej zabudowy wydaje się jedyną skuteczną.

2. Idea współpracy naukowej w zakresie lokalizacji wyrobisk podziemnych

Idea interdyscyplinarnej współpracy specjalistów z geomechaniki, budownictwa górnictwo-geofizyki, geodezji i dziedzin pokrewnych jest z dobrym skutkiem realizowana na AGH od dawna.

Prekursorami kompleksowej ochrony podziemnych obiektów zabytkowych byli profesorem-górnicy F. Zalewski i Z. Strzelecki. Z kolei poszukiwaniem i lokalizacją pustek i podziemnych wyrobisk od wielu lat zajmuje się zespół geofizyków pod kierunkiem prof. Z. Fajkiewicza. Inicjowane od pewnego czasu prace naukowo-pomiarowe pracowników Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki Wydziału Górniczego AGH i Zakładu Geofizyki Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH- ściśle związane są z wieloletnimi doświadczeniami geotechniki i geofizyki stosowanej.

Obiektem zainteresowania i studiów Zespołu górnictwo-geofizycznego są również historyczne zabytki troglodyczne, czyli każda przestrzeń podziemna stworzona dla różnych celów przez człowieka. Są to m.in. podziemne pomieszczenia mieszkalne zarówno gospodarcze jak i militarne, fortyfikacje, piwnice, komory, tunele i korytarze jak również podziemne obiekty kultu religijnego w postaci katakumb, krypt i grobowców. Są one małymi formami antropogenicznymi.

Celem działań Zespołu są badania naukowe przestrzeni podziemnych zmierzające do ujawnienia (lokalizacji) a następnie inwentaryzacji bogactwa podziemnego dziedzictwa kulturowego.

W niektórych przypadkach kompleksowe prace specjalistyczne mogą po spełnieniu wymaganych warunków zaowocować dopuszczeniem wykrytych najciekawszych obiektów do zagospodarowania turystycznego.

3. Lokalizacja wyrobisk podziemnych metodą mikrograwimetryczną

Analiza materiałów archiwalnych, map górniczych, opisów - choć dostarcza cennych informacji - nie zawsze prowadzi do rozpoznania zasłóści górniczych na rozpatrywanym terenie, zwłaszcza gdy dotyczy starych wyrobisk, niejednokrotnie przekraczających kilkaset lat istnie-

nia.

Podobnie wiele innych podziemnych wyrobisk o różnym przeznaczeniu, dawno opuszczonych i zapomnianych czeka na ponowne odkrycie i inwentaryzację.

Można je z dobrym skutkiem zlokalizować wspomnianą metodą mikrograwimetryczną. Każda bowiem przestrzeń podziemna w postaci wyrobisk górniczych, piwnic, lochów czy grobowców stanowi pustkę podziemną. Pustkę tę w stosowanej metodzie badań traktuje się jako pewien obszar ubytku masy ośrodka skalnego, co znajduje odzwierciedlenie w postaci ujemnych mikroanomalii siły ciężkości. Inaczej mówiąc, metoda mikrograwimetryczna opiera się na możliwości detekcji ujemnych anomalii grawimetrycznych generowanych w rejonach występowania wyrobisk podziemnych.

W trakcie wieloletnich prac badawczych i poszukiwawczych zauważono, że efektywność metody mikrograwimetrycznej jest znacznie wyższa, niż może to wynikać z jej podstaw teoretycznych. To znaczy z takich podstaw, w których zasięg głębokościowy metody wyznacza się na podstawie obliczania składowej pionowej przyciągania newtonowskiego, od samej pustki aproksymowanej regularną bryłą geometryczną (pustka kulista, walcowa). W rzeczywistości pustki leżące blisko powierzchni wywołują anomalie siły ciężkości o większej amplitudzie niż wynika to z takich obliczeń (Fajklewicz, Radomiński 1999).

Zjawisko to tłumaczy się skutkiem deformacji skał wokół pustki i powstającymi w ten sposób zmianami w rozkładzie ich gęstości w bezpośrednim sąsiedztwie omawianej pustki. Proces deformacji ma najbardziej intensywny przebieg w skałach stropowych. Inaczej mówiąc, na efekt anomalny wywołany przez pustkę istotny wpływ ma strefa rozluźnienia skał (Sachs 1978, Fajklewicz 1985).

Wg obliczeń J. Sachsa (1978) strefa rozluźnienia wokół pustki kulistej poprawia efekt jej wykrycia przeciętnie około pięciokrotnie. Wynika z tego, że pustka skalna generuje swoje pole grawitacyjne, które jest sumą działania samej pustki i spowodowanych przez nią zmian gęstości w skałach ją otaczających. Są one wynikiem spękań rozwijających się w skałach otaczających i odkształceń objętościowych.

3.1 Specyfika wyrobisk historycznych odróżniająca je od aktualnie eksploatowanych wyrobisk górniczych

Podziemne wyrobiska historyczne można podzielić na dwie kategorie.

Kategoria pierwsza obejmuje podziemne pustki niegdyś zaprojektowane w celu ich długotrwałej używalności. Wyrobiska takie posiadają na ogół niezniszczoną obudowę (konstrukcję) i zachowaną stateczność ośrodków skalnego lub gruntowego wokół tych wyrobisk.

Drugą kategorię wyrobisk historycznych stanowią obiekty uszkodzone, częściowo zawalone, podsadzone lub zasypane. Zachodzące w czasie procesy dezintegracji spowodowały wokół obiektów tej kategorii duże zmiany fizyczne ośrodka skalnego.

Obie kategorie posiadają wspólną cechę, a mianowicie iloraz miąższości skał nadkładowych do wysokości wyrobisk jest liczbą małą, gdyż wyrobiska historyczne są na ogół usytuowane płytko. Równocześnie w niekorzystnych warunkach oba rodzaje wyrobisk mogą spowodować procesy nieciągłego osiadania powierzchni terenu w postaci zapadlisk powierzchniowych i liniowych.

W analizowanej pracy przedmiotem zainteresowania są takie wyrobiska historyczne, do których dostęp jest aktualnie nieznan, bądź niemożliwy; stąd niezbędne jest wykonanie badań pomiarowych dla ich lokalizacji. Mając na uwadze zróżnicowane kategorie stanu wyrobisk i otaczającego je górotworu należy spodziewać się odmiennych wyników pomiarów geofi-

zycznych.

Dla wyrobisk posiadających dobrze zachowaną, solidną obudowę anomalie pomiarów mikrograwimetrycznych będą bardziej wyraźne; świadczy to równocześnie o zachowanej stateczności skał otaczających. W odróżnieniu od wyrobisk „młodych”, górotwór w otoczeniu wyrobisk historycznych znajduje się w stanie ostatecznie uformowanych zmian gęstościowych i ustalonego wtórnego stanu naprężeń. Badając zmiany gęstości skał można zlokalizować nieznane obiekty historyczne i ich zasięg.

3.2 Przykłady zastosowania metody mikrograwimetrycznej do lokalizacji historycznych wyrobisk podziemnych

Badania w zakresie lokalizacji i oceny stopnia podsadzenia wyrobisk zapoczątkowane zostały w Zakładzie Geofizyki AGH w latach sześćdziesiątych (Fajkiewicz 1973). Metoda mikrograwimetryczna została zastosowana z pozytywnym wynikiem w wielu regionach Polski. Metodami mikrograwimetrii określono m.in. współrzędne i zasięg starych piwnic i podziemnych składów kupieckich (Chełm Lubelski, Sandomierz, Kraków) zlokalizowano przebieg starych korytarzy w Neolitycznej Kopalni Krzemienia w Krzemionkach k/Ostrowca Świętokrzyskiego, zasięg grot (smocza jama) i podziemnych starych wyrobisk górniczych (Miedzianka k/Kielc).

W/w metodę stosowano również niezliczoną ilość razy do lokalizacji pustek poeksploatacyjnych po płytkach, starych podziemnych wyrobiskach górniczych, zasypanych szybów na terenie Górnego Śląska i Rejonu Olkuskiego. Nadto wykonywane były specjalistyczne badania poszukiwawcze na zlecenie Głównej Komisji Badań Zbrodni Hitlerowskich (Sandomierz, Katowice, Czeladź, Książ k/Wałbrzycha i inne miejscowości Dolnego Śląska). Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów wyników badań mikrograwimetrycznych.

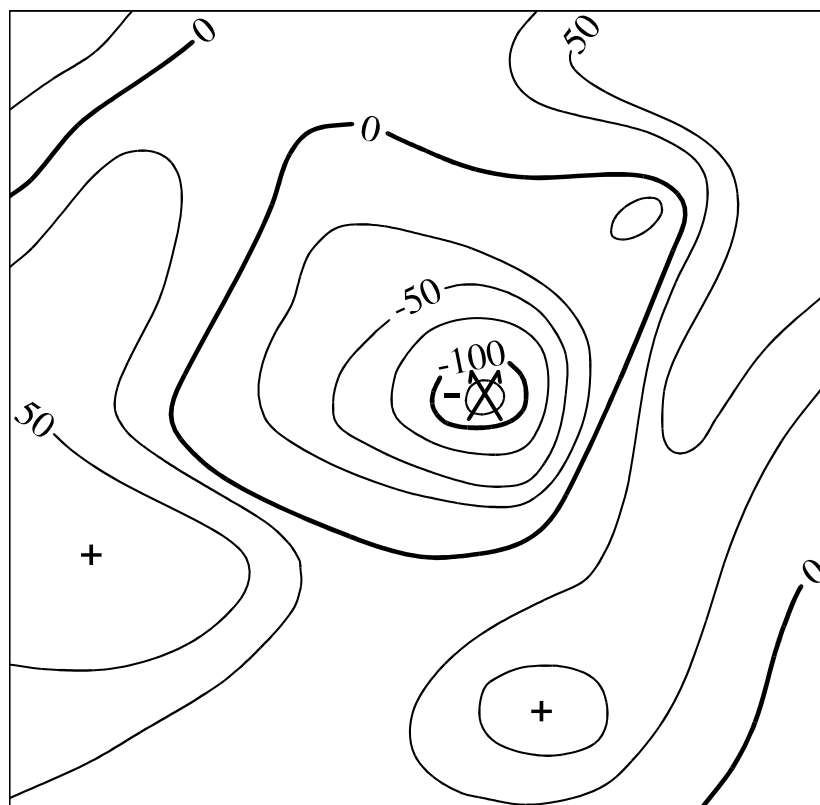
Krzemionki Opatowskie

W rejonie Krzemionek Opatowskich koło Ostrowca Świętokrzyskiego występuje unikalny prehistoryczny obszar górnictwa podziemnego krzemienia pasiastego. Powstał on w okresie neolitu i brązu około 4000-1500 lat p.n.e i obejmuje obszar 30 ha z 500 szybami górniczymi. Pierwsze odkrycie tego obszaru dokonał Jan Samsonowicz w okresie międzywojennym w trakcie badań geologicznych prowadzonych w Górach Świętokrzyskich.

Z inicjatywy Muzeum Archeologicznego w Warszawie do poszukiwań szybów górniczych zastosowane zostały pomiary gradientu pionowego siły ciężkości. Za ich pomocą dało się szybko lokalizować występowanie szybów górniczych. Na rysunku 3.1 przedstawiony jest rozkład mikroanomalii gradientu pionowego siły ciężkości w miejscu występowania takiego szybu. Badania mikrograwimetryczne prowadzone w tym ujęciu przyczyniły się do lepszego rozpoznania poszczególnych partii obszaru prehistorycznego górnictwa.

Wieliczka

Na rysunku 3.2 przedstawiono obliczone rozkłady mikroanomalii siły ciężkości w profilu na powierzchni terenu oraz w dwóch profilach podziemnych KS „Wieliczka” w chodniku Bąkle i poprzeczni Kotoń (poz. I) i w poprzeczni Rarańcza (poz. II_n). Rejon wysunięty najdalej na północ obejmuje strefę przypowierzchniowej eksploatacji. Natomiast w kierunku na południe profile przebiegają w strefie eksploatacji złoża pokładowego. Zwracają uwagę strefy anomalne związane z największymi historycznymi komorami złoża solnego Halszka, Michałowice, Drozdowice, Michał Saurau i częściowo podsadzoną komorą Mosty – XVII, XIX w (Madej, Jakiel 2000).



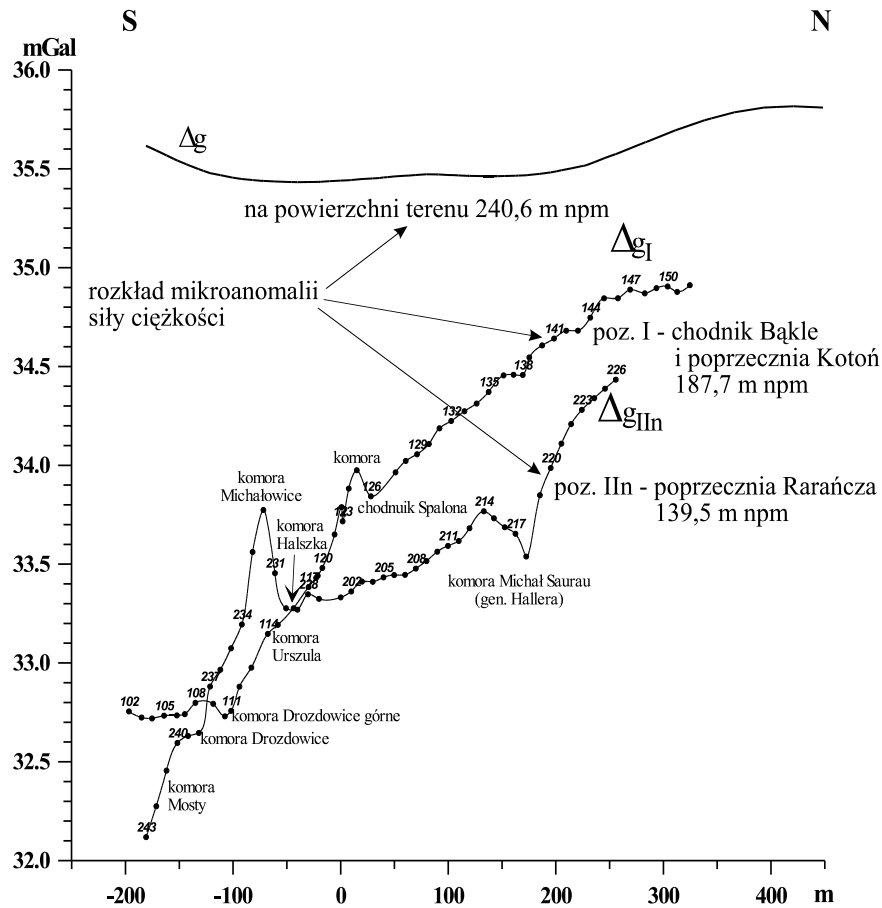
Rys. 3.1 Rozkład mikroanomali gradientu pionowego siły ciężkości nad prehistorycznym szybem kopalni krzemienia pasiastego w Krzemionkach Opatowskich (ze zbioru Z. Fajklewicza)

Fig. 3.1 The anomalies of vertical gravity gradient over detected prehistorical shaft (4000-1500) of flint underground Mine in Krzemionki Opatowskie

Chelm

Pomiary mikrogravimetryczne w miastach zapoczątkowane zostały na szeroką skalę badaniami przeprowadzonymi w centrum Chelma Lubelskiego. Celem tych prac było zlokalizowanie starych korytarzy podziemnych, występujących na głębokości 10 do 20 m, w okresie między wiekiem XII i VII stanowiły system obronny dla mieszkańców grodu przed najezdami tatarskimi.

Zagadnieniem ważniejszym było jednak wykrywanie wyrobisk występujących nad nimi, a będących pozostałością niekontrolowanej eksploatacji kredy. Wyrobiska te stanowią szczególnie duże zagrożenia dla istniejącej zabudowy miasta oraz utrudniają jego modernizację. Należy podkreślić dużą skuteczność przeprowadzonych badań. Na rys. 3.3 przykładowo przedstawiono pomierzony rozkład wartości wieżowego pionowego gradientu siły ciężkości, lokalizujący chodnik, którego zdjęcie umieszczono też na rys. 3.3.



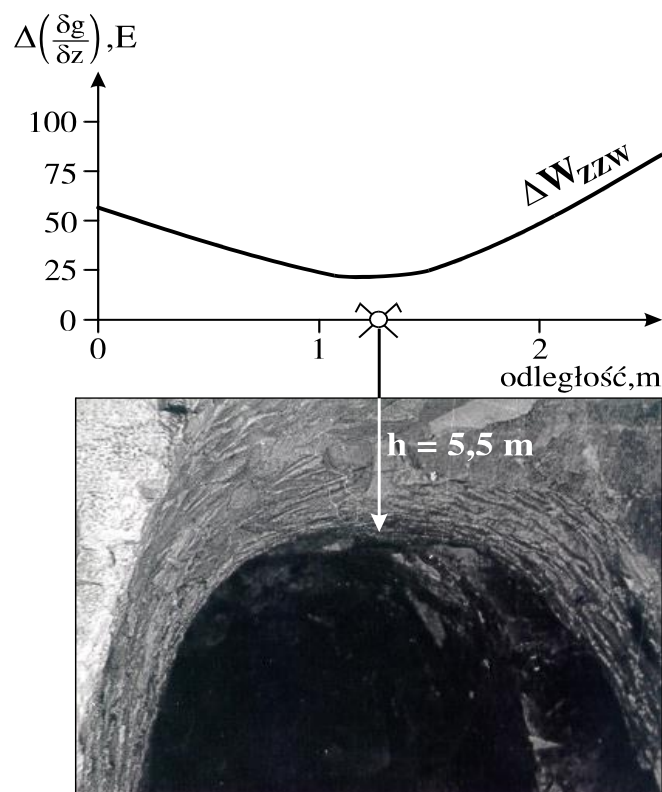
Δg - rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera na powierzchni terenu, 240,6 m n.p.m.

Δg_I - rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera w chodniku Bąkle i poprzeczni Kotoń, poz. I, 187,7 m n.p.m.

Δg_{II} - rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera w poprzeczni Rarańcza, poz. II, 139,5 m n.p.m.

Rys. 3.2 Mikronomalie siły ciężkości na powierzchni terenu i w wyrobiskach podziemnych Kopalni Soli „Wieliczka”. Lokalne anomalie siły ciężkości odpowiadają występowaniu XVII - XIX wiecznych form antropogenicznych w złożu

Fig. 3.2 Underground and ground gravity microanomalies combined within 700 years old antropogenic forms in Salt Mine of Wieliczka. Local microgravity anomalies correspond to antropogenic forms (XVII – XIX c.)



Rys. 3.3 Wykryte XIII wieczne podziemne wyrobisko w utworach kredy piszącej w Chełmie Lubelskim za pomocą pomiarów anomalii wieżowego pionowego gradientu siły ciężkości (Fajkiewicz 1976; Śliz 1978)

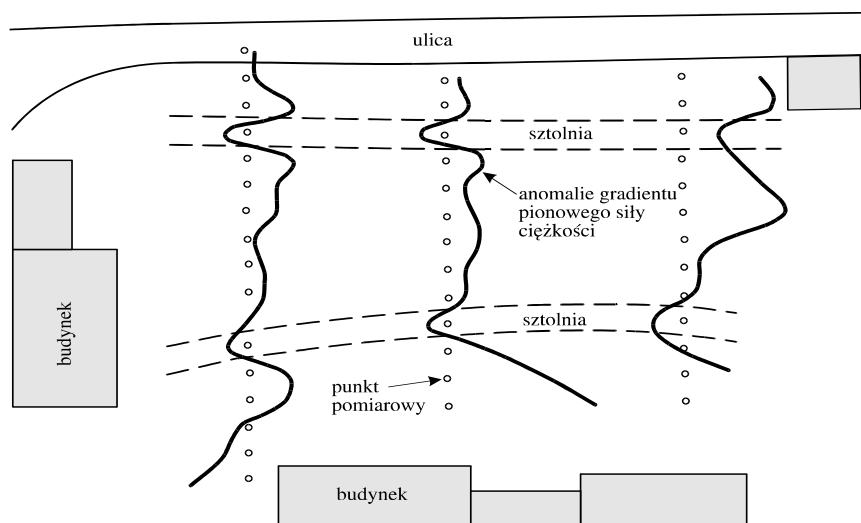
Fig. 3.3 Underground gallery from XIII c of chalk stone detected by tower vertical gradient of gravity in Chełm Lubelski (Fajkiewicz 1976; Śliz 1978)

Olkusz

Na rysunku 3.4 przedstawiona jest krzywa rozkładu gradientu pionowego siły ciężkości w profilu prostopadłym do rozciągłości dwóch znanych chodników górniczych, wydrążonych na głębokości około 12 metrów w rejonie Olkusza z początkiem naszego stulecia. Oba chodniki zaznaczają się ostrymi minimami krzywej gradientu pionowego siły ciężkości, precyzyjnie lokalizującymi jego położenie.

Pomiary wykonane w tym profilu były punktem wyjścia do poszukiwań wspomnianych chodników w tej części pola górniczego, w której ich bieg nie jest już znany, a stanowiącej przedmiot zainteresowania budownictwa.

W wyniku pomiarów mikrogravimetrycznych zlokalizowane zostały oba chodniki oraz szereg komór wydobywczych.



Rys. 3.4 Rozkład gradientu pionowego siły ciężkości lokalizujący bieg wykrytych dwóch sztolni górniczych występujących na głębokości 13,5 m pod powierzchnią terenu w Olkuszu (Fajklewicz 1973, 1976)

Fig. 3.4 Two mining drifts from XIX c detected on the depth 13,5 m under the ground surface of the town Olkusz by the measurement of tower vertical gradient of gravity (Fajklewicz 1973, 1976)

4. Zakończenie

Zachodzące w górotworze procesy deformacji wokół starych wyrobisk podziemnych powodują częściową lub całkowitą ich niedrożność. W przypadkach braku informacji o istnieniu i geometrycznej rozległości tych wyrobisk, praktyczną, sprawdzoną i tanią metodą ich lokalizacji jest bezinwazyjna metoda mikrograwimetryczna.

Ponieważ doświadczenia górnicze i budowlane wskazują niejednokrotnie na orientacyjny charakter wyników badań metodami jednego rodzaju stosowanie kilku metod geofizycznych umożliwia uzyskanie dokładniejszych informacji co do przestrzennego zasięgu pustek w górotworze. Każdy bowiem obiekt podziemny mimo pozornych podobieństw posiada na ogół różnorodny charakter, pochodzenie, zróżnicowane gabaryty i przestrzenne usytuowanie. Zlokalizowany jest przy tym w różnych skałach o odmiennych parametrach fizycznych i geotechnicznych.

Wiele zlokalizowanych, odkrytych, a następnie udostępnionych podziemi posiada charakter unikalny i niepowtarzalny jako integralną część dziedzictwa kulturowego i naturalnego. Wiele historycznych wyrobisk, dawno opuszczonych, zapomnianych i często nie figurujących już na żadnych planach czeka na podobne odkrycie i inwentaryzację. Po udostępnieniu będą świadectwem polskiej tradycji górniczej, dawnego budownictwa podziemnego czy historycznego systemu fortyfikacji.

Literatura

- [1] Fajklewicz Z. 1973: Mikrograwimetria Górnicza. Wybrane zagadnienia z zakresu geologii złóż węgla i nauk pomocniczych. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa, 94-120.
- [2] Fajklewicz Z. 1976: Zastosowania mikrograwimetrii w górnictwie węglowym. Publications of the

- Institute of Geophysics. M-1 (97). Wybrane zagadnienia geofizycznych badań w kopalniach (Some Geophysical Problems in Mines. Krościenko 21-24.10.1974. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976, 223-234.
- [3] Fajkiewicz Z. 1976: Gravity Vertical Gradient Measurements for the detection of Small Geologic and Antropogenic Forms. Geophysics.vol.41 No5,October 1976, 1016-1030.
 - [4] Fajkiewicz Z. 1985: Geneza anomalii siły ciężkości i jej pionowego gradientu nad pustkami występującymi w skałach kruchych. Ochrona Terenów Górniczych. Nr 73/3 - 74/4, rok XIX, 3-13.
 - [5] Fajkiewicz Z., Radomiński J. 1996: Nowe możliwości grawimetrycznego odwzorowania stanu naruszenia górotworu ekspansją pustek poeksploatacyjnych (New possibility of the gravimetric inversion of the state of the rockmass affected by expansion of the post-exploitation cavities). Archives of Mining sciences, Volume 41, Issue 3, 325-339.
 - [6] Fajkiewicz Z., Radomiński J. 1999: Mikrograwimetryczna ocena zagrożenia powierzchni terenu nie zlikwidowanymi szybami górniczymi. Archiwum Górnictwa AGH, s.293-305.
 - [7] Fajkiewicz Z., Mikoś T., Radomiński J., Stewarski J. 2001: Własności fizyczne górotworu w sąsiedztwie pustek i ich grawimetryczne rozpoznanie. XXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu "Geotechnika górnicza i budownictwo podziemne na początku XXI wieku. Łądek Zdrój, 12-16 marca 2001, 163-173.
 - [8] Lorenc M., Mikoś T. 2001: Interdyscyplinarne towarzystwo „HADES-Polska - mecenasem górniczych zabytków podziemnych. XXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu "Geotechnika górnicza i budownictwo podziemne na początku XXI wieku. Łądek Zdrój, 12-16 marca 2001, 337-342.
 - [9] Madej J, Jakiel K. 2000: Działalność statutowa. Powierzchniowe i podziemne badania grawimetryczne struktur geologicznych i antropogenicznych w rejonie najstarszej eksploatacji Kopalni Soli „Wieliczka”.
 - [10] Mikoś T. 1999: Perspektywy adaptacji podziemnych wyrobisk górniczych i militarnych oraz grot i jaskiń na podziemne trasy turystyczne, muzea i uzdrowiska. Konf. Nauk. – Techniczna Geotechnika w Górnictwie i Budownictwie Specjalnym. AGH Kraków 1999.
 - [11] Mikoś T., Stewarski E. 2000: Detecting and liquidation of emptinesses under the ground after shallow – mining exploitation. Inter. Conference: Mining and Geological Activites under the New Conditions – Demänovska Dolina – Slovak Republic – October 2000.
 - [12] Sachs J. 1978: Zastosowanie metod geofizycznych w prognozowaniu nieciągłych deformacji powierzchni ziemi na terenach górniczych (praca habilitacyjna nr 16) Z.N. Pol. Częstochowy, Częstochowa 1978.
 - [13] Śliz J. 1978: Wykrywanie pustek skalnych metodą gradientu pionowego siły ciężkości w rejonach zwartej zabudowy miejskiej. Prace Geologiczne nr 110, Kraków.

Application of geophysical methods for detection of underground historical mining galleries

Protection of the relic buildings contains also the ancient - the prehistorical or historical underground mining constructions. History of underground mining activity on the area of Poland reaches the prehistorical time. Those constructions should be treated as monuments of civilizing human activity. There is urgent necessity to restore these buildings, but before all indispensable is to detect this sort of objects. In the range of this kind of activity includes the geophysical methods which can help do detect underground building objects. The paper there are four examples detection of old mining objects. Department of Mining Sciences of Academy Mining and Metallurgy in Cracow started to lectured the subject; geotechnic in building restoration.

Przekazano: 17 marca 2001