

Prądnik. Prace Muz. Szafera	23	177–182	2013
-----------------------------	----	---------	------

JERZY KARCZEWSKI, TOMASZ OSTROWSKI

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
karcz@agh.edu.pl, tomasz\_tom@o2.pl

## BADANIA NAMULISKA JASKINI CIEMNEJ W OJCOWIE METODĄ GEORADAROWĄ

### Study of cave deposits in the Ciemna Cave in Ojców with the georadar method

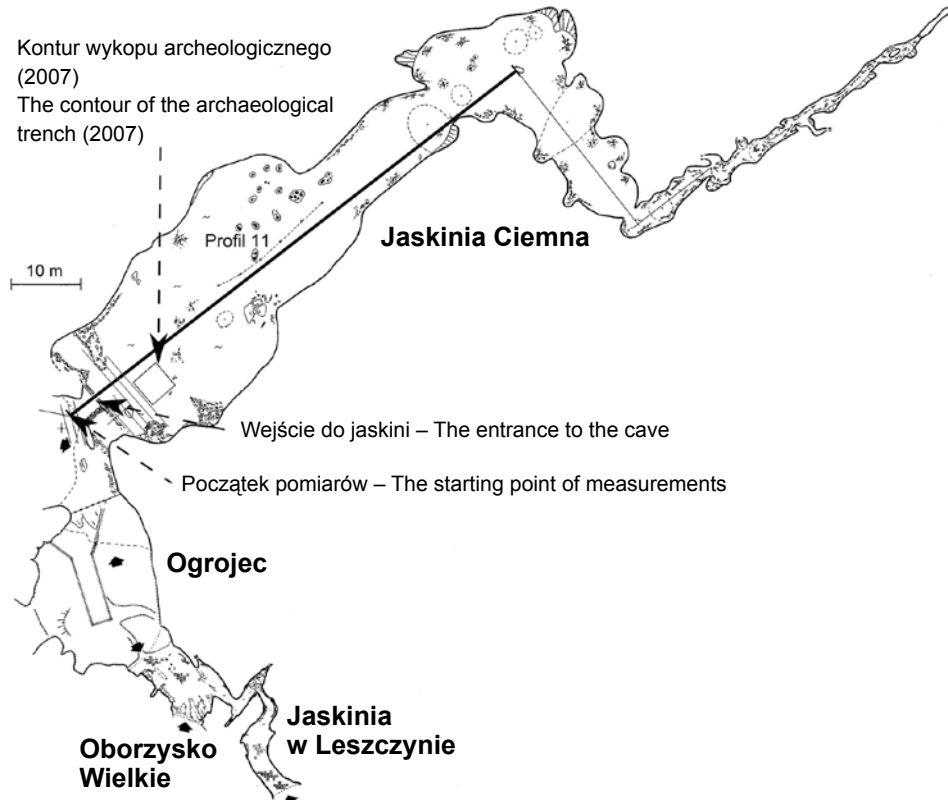
**Abstract.** The paper presents the results of the georadar survey of cave deposits in the Ciemna Cave in Ojców carried out in 2013 in the area of ongoing archaeological fieldworks. The used non-invasive GPR method allows the determination of the thickness and stratification of the cave-earth. The findings of the present study can be useful in planning archaeological excavations and can contribute to the recognition of the cave genesis in the Kraków-Częstochowa Upland.

**Słowa kluczowe:** Ciemna Cave, cave deposits, GPR method, archaeological fieldwork

### WSTĘP

Namuliska jaskiniowe są unikatowym tworem środowiska przyrodniczego-kulturowego i stanowią potencjalne obiekty paleontologiczne i archeologiczne. Ich warstwy kryją kości zwierząt oraz ślady obecności człowieka. Szczątki drobnych ssaków pozwalają na przykład na rekonstrukcję paleoklimatu i innych elementów środowiska jaskiniowego (Madeyska, Cyrek 2002). Wiele jaskiń z dobrze zachowanymi namuliskami jest przedmiotem eksploracji archeologicznych. W badaniach wykopaliskowych duże znaczenie mają informacje na temat miąższości namuliska, ułatwiają bowiem zakładanie wykopów w konkretnym miejscu jaskini. Dużą pomoc w tym zakresie przynoszą geofizyczne metody poszukiwawcze. Do badania jaskiń można stosować m.in. metodę elektrooporową, metody termiczne, metody magnetyczne (Jędrzyś 2007), metodę grawimetryczną. Najlepiej predysponowaną metodą do badania jaskiń jest metoda georadarowa. Za jej pomocą można lokalizować nieznane partie jaskiń (Karczewski 2011b), określać budowę ośrodka skalnego budującego jaskinię (Nierobisz i in. 2009), badać osady namuliskowe. Badania georadarowe prowadzone na powierzchni spągu jaskini nie niszczą osadów, ani nie powodują ich przemieszania. Metoda georadarowa jest metodą bezinwazyjną i dzięki temu nadaje się do badań środowiskowych w obszarach chronionych, takich jak parki narodowe, rezerваты przyrody, obszary „Natura 2000”.

Do badań georadarowych wybrano Jaskinię Ciemną leżącą na południowym zboczu Góry Koronnej w Ojcowskim Parku Narodowym (OPN). Obiekt ten wyróżnia się największą salą spośród jaskiń znajdujących się na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. Łączna długość jaskini wynosi 209 m (ryc. 1; Gradziński i in. 2007). Jaskinia jest jednym z najcenniejszych stanowisk archeologicznych, o czym świadczą wyniki dotychczasowych badań (Kowalski 2006).



Ryc. 1. Plan jaskini Ciemnej (wg M. Gradzińskiego i in. 2007) z naniesioną linią pomiarową

Fig. 1. Plan of the Ciemna Cave (acc. to M. Gradziński et al. 2007) with a marked measurement line

Miejsce pomiarów charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem materiału znajdującego się w namulisku. Występują tam kości zwierząt, wyroby krzemienne oraz duża ilość materiału skalnego (inf. ustna K. Sobczyk 2013). Stanowi to utrudnienie w interpretacji wyników badań georadarowych, zwłaszcza gdy poszukuje się granicy spągu namuliska zbudowanego z wapienia o przenikalności elektrycznej takiej samej jak gruz skalny występujący ponad granicą namuliska. W jaskini panuje duża wilgotność – od 80% do 98% i stała roczna temperatura – kilka stopni powyżej zera. Uławienie wapieni z wyraźnymi i nagłymi przejściami stanowi utrudnienie podczas interpretacji.

## CEL, ZAKRES BADAŃ

Celem badań georadarowych przeprowadzonych w lipcu 2013 r. było wyznaczenie granicy zalegania spągu namuliska jaskini Ciemnej. Wykonane pomiary towarzyszyły badaniom wykopaliskowym prowadzonym od 2007 r. przez pracowników Instytutu Archeologii UJ w głównej komorze jaskini pod kierunkiem prof. Krzysztofa Sobczyka (Sobczyk, Valde-Nowak 2012). Badania archeologiczne miały pozwolić na poznanie kontekstu historycznego i kulturowego komory głównej jaskini oraz partii przyotworowych. Namulisko Jaskini Ciemnej było obiektem zainteresowań wielu wcześniejszych prac archeologicznych (Gradziński i in. 2007; Kowalski 2006). Dzięki tym pracom znane jest usytuowanie warstw kulturowych w różnych wkopach archeologicznych. Badania georadarowe mogą być pomocne w określeniu głębokości na jakiej występuje dno jaskini, mogą również pozwolić na oszacowanie miąższości namuliska. Na podstawie korelacji wyników prac georadarowych z informacjami uzyskanymi podczas wcześniejszych prac archeologicznych zostanie wytypowane najbardziej prawdopodobne miejsce występowania kontynuacji warstw kulturowo-historycznych. W 2007 r. w jaskini Ciemnej, przed rozpoczęciem badań archeologicznych, wykonywano już pomiary georadarowe (Szykiewicz 2007). Na podstawie tych pomiarów określono, że największa miąższość namulisk znajduje się po prawej stronie od wejścia do jaskini. Następnie wytypowano miejsce wkopu archeologicznego prowadzonego w latach 2007–2012. W 2013 r. rozszerzono powierzchnię wykopu archeologicznego w stosunku do wykopalisk z lat poprzednich kierując się w stronę wejścia do jaskini.

## METODA GEORADAROWA

Metoda GPR należy do grupy elektromagnetycznych metod geofizycznych. Antena nadawcza georadaru wysyła falę elektromagnetyczną, która odbija się od granic różniących się przenikalnością elektryczną. Fala odbita jest rejestrowana przez antenę odbiorczą georadaru. Podczas pomiaru obie anteny są przesuwane wzdłuż linii pomiarowej. Zarejestrowany obraz jest odzwierciedleniem budowy geologicznej ośrodka. Za pomocą metody georadarowej można określić budowę geologiczną ośrodka do głębokości kilkudziesięciu metrów. Obszerne wprowadzenie do metody georadarowej można znaleźć np. w pracy (Karczewski 2011a). Pomiary przedstawione w niniejszej pracy wykonano georadarem ProEx System produkcji szwedzkiej firmy Mala GeoScience przy użyciu anteny ekranowanej o częstotliwości 250MHz. Radar ten współpracuje ze wszystkimi antenami firmy Mala GeoScience. Mogą to być anteny o częstotliwości od 25 MHz do 2.3 GHz, o różnej konstrukcji (ekranowane i nieekranowane).

## METODYKA POMIAROWA

Bezpośrednio przed pracami archeologicznymi w jaskini wykonano pomiary georadarowe. Łącznie przed jaskinią i w jej komorze głównej wykonano 19 profili pomiarowych. W pracy przedstawiono interpretację profilu pomiarowego nr 11. Profil ten rozpoczyna się przed wejściem do jaskini i prowadzi przez całą komorę główną jaskini Ciemnej. Jest to profil najlepiej obrazujący zmienność miąższości namuliska spośród wszystkich 19 profili. Jak już wspomniano, badania wykonano przy użyciu georadaru ProEx System i ekranowanej anteny o częstotliwości 250 MHz. Pomiary prospekcyjne poprzedzono pomiarami testowymi, podczas których dobrano parametry pomiarowe zapewniające rejestrację

sygnału użytecznego z głębokości około 12 m ppt. Podczas pomiaru testowego obliczono również prędkość fali elektromagnetycznej w jaskini Ciemnej. Wynosi ona  $v=0.1\text{m/sec}$ . W oparciu o tą wartość utworzono skalę głębokościową na profilu. Zarejestrowane dane przetworzono przy zastosowaniu programu Reflex niemieckiej firmy Sandmeier. Następnie dokonano analizy i interpretacji materiału pomiarowego, korelując wyniki z informacjami pochodzącymi z wykopów archeologicznych z lat 2007–2012. Dodatkowe informacje o głębokości dna skalnego zostały odczytane z rysunku wykopu archeologicznego Stefana Krukowskiego z lat 1918–1919 (Krukowski 1924; Kowalski 2006). Na przetworzonym echogramie zaznaczono spąg namuliska.

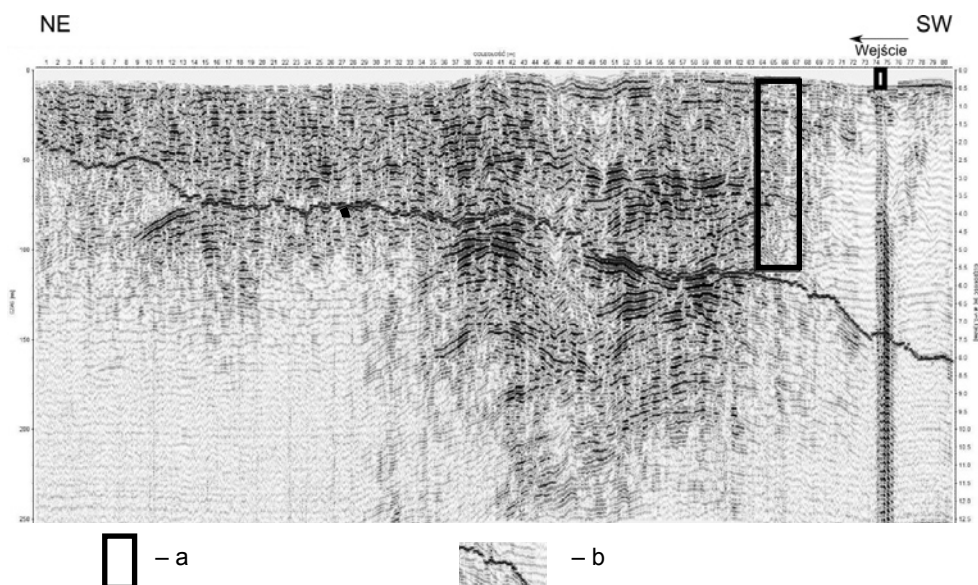
## PRZETWARZANIE I INTERPRETACJA WYNIKÓW POMIARÓW

Przetwarzanie danych georadarowych ma na celu poprawę korelacji refleksów użytecznych i poprawę stosunku S/N (sygnał/szum) rejestrowanego sygnału. Fala elektromagnetyczna emitowana przez georadar słabnie, zanika wraz z głębokością. Zrekompensowanie tych strat pozwala na odtworzenie prawdziwych amplitud sygnału georadarowego. W tym celu stosowane są różne procedury wzmocnienia sygnału.

Przetwarzaniu poddano cały materiał pomiarowy zarejestrowany na 19 profilach. Zastosowano następujące procedury: usuwanie stałej składowej, usuwanie średniej ruchomej, korekcja czasu pierwszego wstąpienia, poprawka na rozwieranie sferyczne, filtracja w dziedzinie częstotliwości, odejmowanie średniej trasy z całego profilu, poprawka topograficzna i inne. Spośród całego materiału pomiarowego wybrano profil nr 11. Profil ten jest najdłuższy, dzięki temu najlepiej obrazuje zmienność miąższości namuliska w komorze głównej, trudno zauważalną na krótszych profilach. Pomiar rozpoczyna się przed wejściem do jaskini i kończy wewnątrz jaskini przy kolumnie w miejscu, gdzie jaskinia zmienia swój bieg w kierunku południowym (ryc. 1).

Zastosowanie procedur wymienionych powyżej pozwoliło na odczytanie z profilu nr 11 właściwego obrazu namuliska jaskini (ryc. 2). Dla lepszego zobrazowania anomalii zastosowano niestandardową paletę barwną. Dokonano empirycznie wyznaczenia linii określającej spąg namuliska na podstawie lokalizacji wykopu Krukowskiego (Kowalski 2006). Głębokość wykopu sięgała 7,5 m pod powierzchnią terenu (ppt) osiągając dno skalne.

Analizując echogram z SW na NE nawiązujemy do kierunku wykonania pomiaru. Anomalie znajdujące się na SW echogramu przedstawiają wkop. Najprawdopodobniej jest to wkop wykonany przez S. Krukowskiego w latach 1918–1919. W tym wkopie dno skalne występowało na głębokości 7,5 m ppt. Od tej głębokości rozpoczęto wyznaczenie przebiegu spągu namuliska. Zakłócenie na 74 mb profilu jest spowodowane obecnością żelaznej ościeżnicy zamocowanej w otworze wejściowym do jaskini. Dalszy przebieg spągu namuliska wyznaczono na podstawie wyraźnych korelujących się refleksów. Występowanie anomalii w głównej części echogramu może wiązać się z facjalnym wykształceniem wapieni górnourajskich. Analizując cały echogram nr 11 obserwujemy stopniowe zmniejszanie się miąższości namuliska. W partii przyotworowej (72 mb profilu) dno jaskini występuje na głębokości 7,5 m, natomiast w końcowej części (2 mb profilu) osiąga głębokość 2 m. Na profilu zaznaczono wkop archeologiczny wykonany w latach 2007–2012 (ramka 63–67 mb profilu). Głębokość występowania dna skalnego wkopu archeologicznego w linii NE-SW została pokazana jako linia prosta. Jest to uproszczenie, ponieważ nie dysponujemy tak szczegółowymi danymi, a wkop w brzegowej części nie odślania dna skalnego. Odległość pomiędzy wkopem archeologicznym a profilem pomiarowym wynosi około 2 m.



Ryc. 2. Przetworzony echogram profilu nr 11. Linia pogrubiona oznacza najbardziej prawdopodobny przebieg spągu namuliska i zarazem dna jaskini; a – zarys wkopu archeologicznego (2007–2012); b – granica spągu namuliska

Fig. 2. Processed echograph of profile 11. The thickened line indicates the most probable location of the floor of cave deposits and the floor of the cave at the same time; a – outline of the archaeological trench (2007–2012); b – range of the floor of cave deposits

Mając na uwadze facjalne wykształcenie wapieni górn jurajskich oraz schodkowe przejścia pomiędzy kolejnymi płaszczyznami, dno jaskini zaznaczone na pojedynczym profilu nr 11 może odbiegać od dna jaskini występującego wewnątrz wkopu archeologicznego.

## PODSUMOWANIE

Profil nr 11 wraz z innymi wykonanymi podczas pomiarów umożliwia ilustrację przebiegu spągu w części namuliska objętym badaniami archeologicznymi. Wartość informacyjna tych pomiarów może ułatwić planowanie dalszych prac archeologicznych. Przedstawienie zarysu dna jaskini oraz miąższości namuliska stanowi wskazówkę do poznania genezy jaskiń w OPN lub szerzej na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej.

Zastosowanie metod geofizycznych w jaskini Ciemnej potwierdza prawidłowy wybór miejsca do eksploracji archeologicznych podjętych w 2007 r. Bezinwazyjne badanie georadarowe pozwoliło na uzyskanie informacji o miąższości i przebiegu granicy namuliska bez zaburzania jego warstwowania. Zastosowanie nowoczesnych sposobów przetwarzania danych georadarowych potwierdza słuszność wykonywania takich pomiarów w miejscach uprzednio przebadanych. Wraz z udoskonaleniem metod badawczych można będzie liczyć na dokładniejsze i bardziej kompleksowe poznanie paleośrodowiska jaskiniowego. Duże znaczenie mają tu badania nieinwazyjne nie powodujące naruszenia poszczególnych warstw namuliska.

Niniejszy artykuł został opublikowany w ramach prac statutowych Katedry Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.

## PIŚMIENICTWO

Gradziński M., Michalska B., Wawryka M., Szelerewicz M. 2007. *Jaskinie Ojcowskiego Parku Narodowego, Dolina Prądnika, Góra Koronna, Góra Okopy*. Ojcowski Park Narodowy, Muzeum im. Prof. Władysława Szafera. Ojców, s. 15–34.

Jędrzyński J. 2007. *Zastosowanie wybranych metod geofizycznych do rozpoznania facjalnego utworów górnourajskich na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej*. Rozprawa doktorska, WGGiOŚ AGH, ss. 93.

Karczewski J., Ortyl Ł., Pasternak M. 2011a. *Zarys Metody Georadarowej*. Wyd. 2. Kraków.

Karczewski J. 2011b. *Application of GPR method to investigate in protected areas*. „Polish Journal of Environmental Studies”, **20**, 4A: 115–119.

Kowalski S. 2006. *Uwagi o osadnictwie paleolitycznym w jaskiniach Ciemnej i mamutowej w świetle badań z lat 1957–1974*, [w:] *Jura Ojcowska w pradziejach i w początkach państwa polskiego*, red. J. Lech, J. Partyka, Wyd. Ojcowski Park Narodowy. Ojców, s. 335–354.

Krukowski S. 1924. *Dolina Prądnika i Sąsępki jako teren przedhistoryczny*. „Ochrona Przyrody”, **4**: 84–92.

Madeyska T., Cyrek K. 2002. *Cave fillings – a chronicle of the past. An outline of the Younger Pleistocene cave sediment study in Poland*. „Acta Geologica Polonica”, **52**: 75–95.

Nierobisz A., Kotyrba A., Merta G. 2009. *Ocena stateczności stropów Jaskini Szachownica*, „Górnictwo i Geoinżynieria”, **33**, 1: 453–465.

Sobczyk K., Valde-Nowak P. 2012. *Badania Jaskini Ciemnej w latach 2007–2012*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **22**: 45–54.

Szynkiewicz A. 2007. *Badania georadarowe (GPR) w Jaskini Ciemnej (Ojców)*, [w:] *Materiały 41. Sympozjum Speleologicznego*, Kletno, 18–21.10.2007 r., red. K. Stefaniak, M. Szelerewicz, J. Urban. Sekcja Speleologiczna PTP, Kraków, s. 81.

## SUMMARY

The paper presents the results of the georadar survey of cave deposits in the Ciemna Cave in Ojców (Ojców National Park) carried out in 2013. The aim of the survey was to determine the range of the cave-earth floor in the Ciemna Cave and to recognize the historical and cultural context of the cave's main chamber, especially its adjacent to the entrance parts. The Ciemna Cave is a well-known archaeological site. The discussed georadar measurements accompanied the archaeological excavations conducted by the Jagiellonian University Institute of Archaeology in the main chamber of the cave since 2007.

The measurements were performed on 19 profiles, of which profile 11 was chosen as best illustrating the variability of cave deposits. This profile was laid out along the main chamber of the Ciemna Cave. It enables the observation of the gradual lessening of the cave deposit thickness from 7.5 m in the part adjacent to the entrance to 2 m in the end part of the layer of cave deposits. The used research method is non-invasive and belongs to the group of electromagnetic geophysical methods. It is based on the transmission of electromagnetic waves and the reception of response waves reflected from interfaces differing in parameters of the centre. In the discussed case this method allowed the determination of the cave deposit thickness. The results of the survey can be useful in planning archaeological excavations and can also contribute to the recognition of the cave genesis in the Kraków-Częstochowa Upland.