

ANDRZEJ PYDYN, BENEDYKT HAC, MATEUSZ POPEK

## Zastosowanie metod akustycznych i magnetycznych w poszukiwaniu obiektów archeologicznych na przykładzie jeziora Lednica

**ABSTRAKT:** Artykuł przedstawia wyniki nieinwazyjnych badań jeziora Lednica w ramach projektu *Kolebka Piastów — archeologiczne prospekcje podwodne w rejonie jeziora Lednickiego* przeprowadzonego w 2017 roku przez Zakład Archeologii Podwodnej IA UMK w Toruniu przy współpracy z Instytutem Morskim w Gdańsku, Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy oraz Stowarzyszeniem Naukowym Archeologów Polskich oddział w Warszawie. Projekt ten był finansowany przez Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego w ramach programu Dziedzictwo kulturowe, priorytet: ochrona zabytków archeologicznych. Przeprowadzono nieinwazyjne prospekcje przy pomocy sondy wielowiązkowej, profilografa osadów dennych oraz magnetometru. Dane pozyskane z prospekcji zostały przeanalizowane, a tam, gdzie warunki i założenia projektu na to pozwalały, zweryfikowane za pomocą bezpośredniej prospekcji podwodnej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** archeologia podwodna, geofizyka, magnetometr, hydroakustyka, profilograf osadów dennych, sonda wielowiązkowa, średniowiecze, most, wyspa Ledniczka, jezioro Lednica

**ABSTRACT:** The article presents the results of noninvasive surveys of Lednica lake in the project *Kolebka Piastów — archeologiczne prospekcje podwodne w rejonie jeziora Lednickiego* conducted by the Department of Underwater Archaeology in the Institute of Archaeology, Nicolaus Copernicus University in Toruń, in cooperation with the Maritime Institute in Gdańsk, the Museum of the First Piasts at Lednica and the Scientific Association of Polish Archaeologists (Warsaw branch) in 2017. The project was financed by the Ministry of Culture and National Heritage within the following programme: Cultural heritage, priority: protection of archaeological monuments. Non-invasive prospections with the use of multibeam probes, sub-bottom seabed sediment profilers and a magnetometer were conducted. Data obtained in the prospections were analysed, and where the conditions and the assumption of the project allowed, they were verified by a direct underwater prospection.

**KEYWORDS:** underwater archaeology, geophysics, magnetometer, hydroacoustics, sub-bottom profilers, multibeam probe, Middle Ages, a bridge, Ledniczka island, Lednica lake

## Wstęp

Badania i prospekcje o charakterze nieinwazyjnym stanowią dynamicznie rozwijający się kierunek we współczesnej archeologii. Reprezentują one trend wielodyscyplinarnych analiz nad dziedzictwem kulturowym. Ze względu na ograniczony dostęp do technologii metody te w archeologii podwodnej, zwłaszcza akwenów śródlądowych, nie mają jeszcze szerokiego zastosowania. Dlatego też zespół Zakładu Archeologii Podwodnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, przy współpracy z Instytutem Morskim w Gdańsku, Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy oraz Stowarzyszeniem Naukowym Archeologów Polskich odział w Warszawie, w 2017 roku zaplanował i przeprowadził projekt *Kolebka Piastów — archeologiczne prospekcje podwodne w rejonie jeziora Lednickiego*<sup>1</sup>. Ważną częścią składową tego projektu było wykonanie prospekcji przy pomocy urządzeń hydroakustycznych i magnetycznych.

Pierwszym zadaniem wykonanym w ramach projektu była kwerenda archiwalna bazująca głównie na informacjach pozyskanych z urzędów konserwatorskich i wcześniejszych publikacji. W wyniku przeprowadzonej analizy wytypowano listę 60 stanowisk lądowych znajdujących się w najbliższym sąsiedztwie brzegów jeziora i na jego wyspach, co pozwoliło na wyznaczenie obszarów prospekcji podwodnych [MACIEJEWSKI, RADKA 2017]. Kolejne trzy zadania projektu realizowane były przez zespół specjalistów z Instytutu Morskiego w Gdańsku. W pierwszej kolejności przeprowadzono pomiary sondą wielowiązkową, co umożliwiło dokładne odwzorowanie dna z uwzględnieniem zmian głębokości oraz wytypowanie potencjalnych obiektów pochodzenia antropogenicznego znajdujących się na dnie. Drugą fazą badań Instytutu Morskiego były analizy sejsmiczne prowadzone z wykorzystaniem profilera osadów dennych. Pomiary te pozwoliły na wytypowanie anomalii, które mogły wskazywać na występowanie obiektów interesujących z perspektywy archeologicznej, a zlokalizowanych na dnie lub pod jego powierzchnią. Ostatnim etapem badań nieinwazyjnych były pomiary magnetometrem, dzięki którym wytypowano obszary z występowaniem anomalii magnetycznych. Wszystkie zrealizowane prace objęły obszar ponad 53 ha. Informacje dotyczące anomalii przekazywane były na bieżąco zespołowi archeologów podwodnych. Dostępne one były w postaci map i współrzędnych geograficznych. Uzyskane dane sprawdzano w czasie realizacji kolejnego zadania. Dysponując dokładnymi mapami oraz współrzędnymi geograficznymi anomalii, zespół archeologów z wykorzystaniem urządzenia GPS RTK wyznaczał miejsca występowania obiektów potencjalnego pochodzenia antropogenicznego. Sprawdzono w ten sposób ponad 300 punktów [PYDYN 2017].

---

<sup>1</sup> Projekt ten finansowany był przez Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego w ramach programu: Dziedzictwo kulturowe, priorytet: Ochrona zabytków archeologicznych.

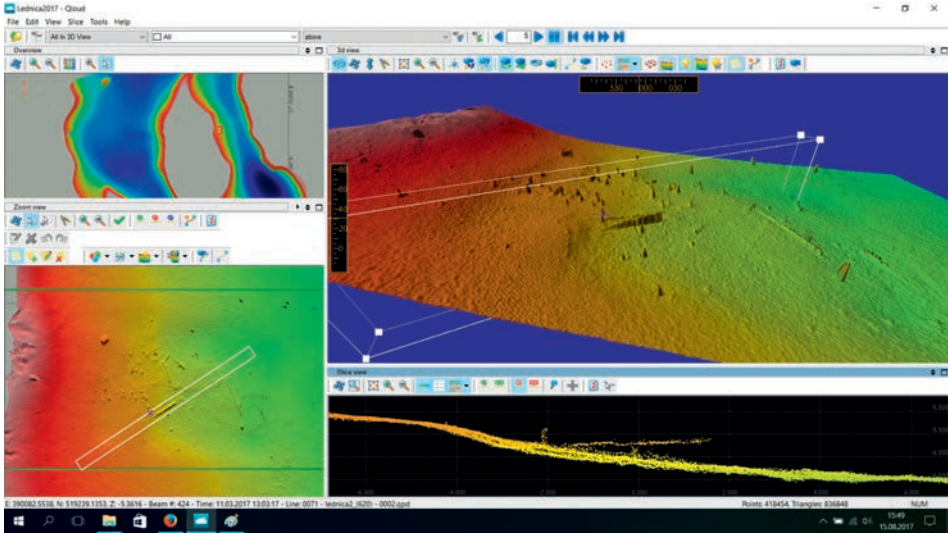
## Sonda wielowiązkowa

Pomiary batymetryczne obejmowały wyznaczony obszar jeziora wyznaczonego do badań. Prowadzono je po granicy zasięgu echosondy wielowiązkowej SeaBat 7125 pracującej na częstotliwości 400 kHz, co gwarantowało wykrycie lokalnych różnic w głębokościach powyżej 6 mm. Profile pomiarowe zaprojektowano tak, aby zapewnić pełne pokrycie całej powierzchni dna obszaru badań. Pomiary pobierano równoległe do osi długiej jeziora na kierunkach północ-południe. W miejscach, gdzie było to konieczne, uzupełniono pomiary metodą wypełnienia, wykonane w wysokiej rozdzielczości (50 do 100 pkt/m<sup>2</sup>). Zgodnie z metodyką pomiary rozkładów głębokości posłużyły do wytypowania obiektów zalegających na powierzchni dna jeziora. Batymetryczny system pomiarowy oparty był na sprawdzonej w innych pomiarach konfiguracji: echosonda wielowiązkowa (SeaBat 7125), laserowy korektor przechyłów (iXsea Hydrins), podwójny system pozycjonowania satelitarnego (RTK GPS–BX 982) wraz z systemem odbioru poprawek satelitarnych RTCM RTK (EUPOS/SAPOS) transmitowanych za pomocą łącza internetowego. Wszystkie urządzenia pracowały w ramach systemu pomiarowego Qinsy (Quality Integrated Navigation System) 8.5 [HAC 2017: 34]



Ryc. 1. Jednostka pomiarowa wyposażona w systemy pomiarowe; fot. Instytut Morski w Gdańsku  
 FIG. 1. Measuring unit equipped with measuring systems; photo by the Maritime Institute in Gdańsk

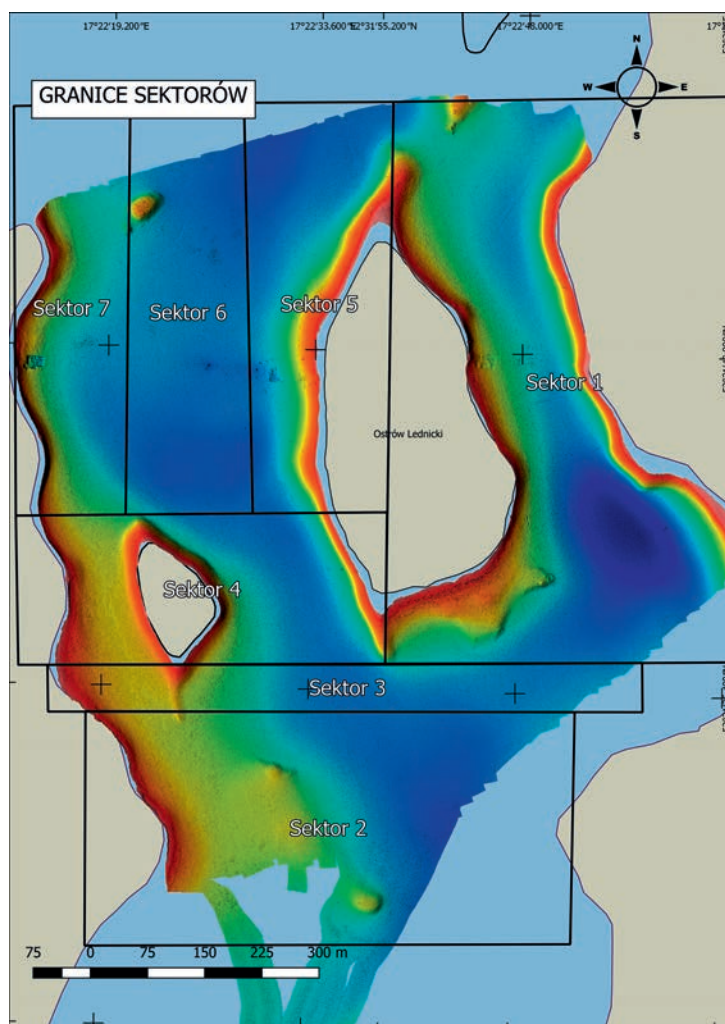
Poza obiektami wyznaczonymi przez specjalistów Instytutu Morskiego zespół archeologów analizował mapę batymetryczną w poszukiwaniu anomalii (obiektów wystających i zagłębień) mogących być potencjalnymi obiektami archeologicznymi. W pierwszej kolejności analizowano strefę brzegową wyspy Ostrów Lednicki, jako obszar o największym potencjale wystąpienia obiektów archeologicznych. Następnie resztę jeziora podzielono na siedem sektorów, w ramach których analizowano wyniki pomiarów hydroakustycznych [PYDYN I IN. 2017: 97].



Ryc. 2. Most Gnieźniński, zachodni brzeg — belki i pozostałości pali; oprac. Mateusz Popiek

FIG. 2. Gnieźniński Bridge, west shore — the balks and the remnants of the stakes; edited by Mateusz Popiek

W strefie brzegowej wyspy Ostrów Lednicki specjaliści z Instytutu Morskiego zlokalizowali 19 anomalii (punkty M1–M19). W sektorze 1. obejmującym obszar od osi wyspy Ostrów Lednicki po wschodni brzeg jeziora zlokalizowano 52 anomalie (punkty M20–M71). W sektorze 2. obejmującym południową część obszaru poddanego skanowaniu sondą wielowiązkową zlokalizowano 36 anomalii (punkty M72–M107). W sektorze 3. obejmującym wąski pas na południe od wysp Ostrów Lednicki i Ledniczka zlokalizowano sześć anomalii (punkty M108–M113). W sektorze 4., obejmującym obszar od południowo-zachodniej części wyspy Ostrów Lednicki, przez wody wokół wyspy Ledniczka, po zachodni brzeg jeziora na wysokości wyspy Ledniczka, zlokalizowano 42 anomalie batymetryczne (punkty M114–M155). W sektorze 5. obejmującym obszar od zachodniego brzegu wyspy Ostrów Lednicki po początek najgłębszej strefy jeziora na zachód od wyspy zlokalizowano 11 anomalii batymetrycznych (punkty M156–M166). W sektorze 6. obejmującym najgłębszą część jeziora pomiędzy wyspą Ostrów Lednicki a zachodnim jego brzegiem zlokalizowano trzy anomalie batymetryczne (punkty M167–M169). W sektorze 7., obejmującym obszar od zachodniego brzegu jeziora po początek najgłębszej jego części, rozszerzonym o hipotetyczną oś mostu poznańskiego badanego w latach poprzednich, zlokalizowano 17 anomalii batymetrycznych (punkty M170–M186). Łącznie wyznaczono, a następnie sprawdzono przy pomocy zespołu nurków 204 anomalie batymetryczne [PYDYN I IN. 2017: 99–136].

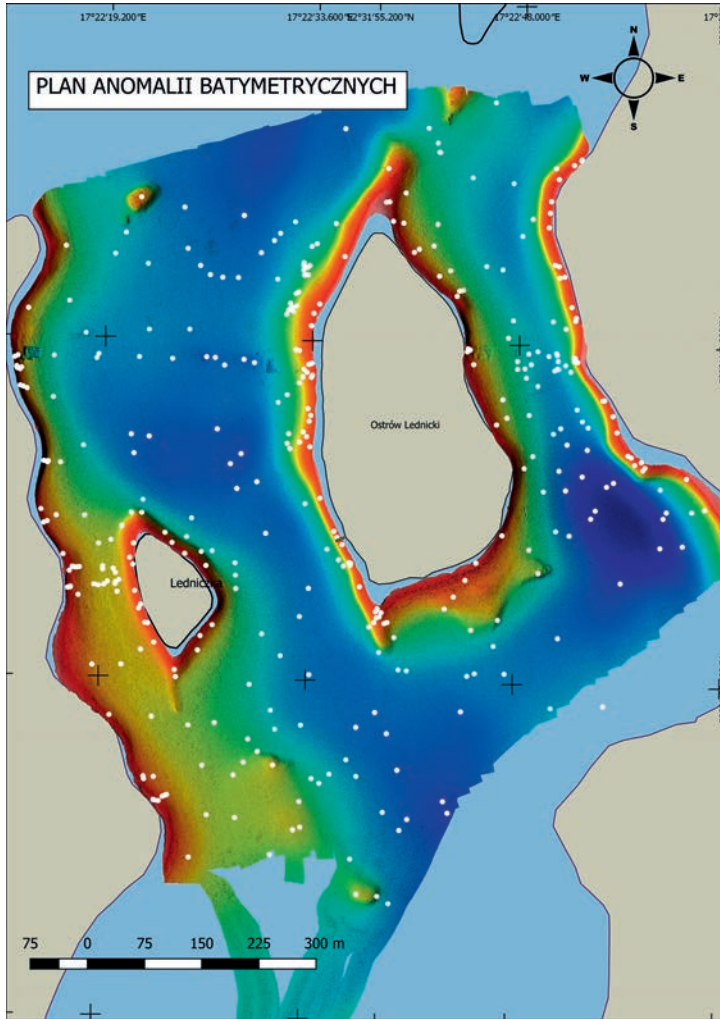


Ryc. 3. Granice sektorów; oprac. Mateusz Popek

FIG. 3. Sectors' borders; edited by Mateusz Popek

Współrzędne wybranych obiektów zostały wprowadzone do urządzenia GPS-RTK Leica 1200. Następnie z jednostki typu rib opuszczano bojkę w wybrany punkt. Nurek-archeolog sprawdzał obszar wokół punktu, zataczając kręgi o promieniu co pół metra od 0,5 do 5 m i penetrując lotną warstwę mułu. Po zlokalizowaniu obiektu wydobywał go lub, jeśli obiekt był za duży, podawał obsłudze powierzchniowej jego opis [PYDYN I IN. 2017: 99–136].

Większość obiektów wystających z dna jeziora Lednica okazała się współczesnymi pozostałościami działalności ludzkiej. Ponadto dużą grupę punktów stanowiły obiekty znane archeologom — relikty mostów poznańskiego i gnieźnieńskiego,



RYC. 4. Mapa anomalii batymetrycznych; oprac. Mateusz Popek  
 FIG. 4. A map of bathymetric anomalies; edited by Mateusz Popek

a także łodzie jednopienne znane z poprzednich sezonów badań. Jednak w trakcie przeglądu anomalii batymetrycznych MP117, MP122, MP124, MP125 zlokalizowano nowe obiekty o charakterze archeologicznym. Po wstępnych oględzinach stwierdzono, że są to najprawdopodobniej elementy mostu. W związku z tym postanowiono dokładnie przeszukać teren pomiędzy wyspą Ledniczką a lądem. Efektem tych działań było zlokalizowanie nowego mostu średniowiecznego prowadzącego z lądu na wyspę Ledniczkę.

Wykorzystanie sondy wielowiązkowej lub innych urządzeń hydroakustycznych nie jest nowością w archeologii podwodnej. Jednak w przeszłości były one

stosowane głównie do poszukiwań wraków i innych dużych obiektów na morzach [BOWENS 2009: 105–106]. Na ten stan rzeczy miały wpływ zarówno koszty, jak i możliwości identyfikacji obiektów, które w przypadku wraków wystawały znacznie ponad dno morskie. Obecnie technologie pozwalają na znacznie precyzyjniejsze odwzorowanie dna, dlatego wykorzystanie metod akustycznych w archeologii podwodnej do szczegółowego mapowania dna, zwłaszcza przy użyciu echosond wielowiązkowych, jest wysoce uzasadnione. Możliwość szybkiego uzyskania rzetelnego obrazu przestrzennego dna o wysokiej rozdzielczości, np. 100 i więcej punktów pomiarowych na każdy m<sup>2</sup> dna, pozwala na dokonanie szczegółowego przeglądu powierzchni badanego obszaru i obiektów na nim leżących. Niezależnie od wielkości badanego obszaru można zachować odpowiednią szczegółowość danych. Łatwość tworzenia wycinkowych obrazów dna (obektów) umożliwia poszukiwanie cech szczególnych i ułatwia identyfikacje oraz klasyfikacje obiektów. Dużą zaletą metody jest możliwość prowadzenia badań w wodach o niskiej przejrzystości, niezależnie od ilości światła słonecznego, oraz pracy w systemie 24/7 (24 godziny na dobę przez siedem dni w tygodniu). Wadą metody jest niemożność lub bardzo ograniczona możliwość penetrowania osadów dennych oraz podatność na zniekształcenia, których powodem może być roślinność pokrywająca dno, co w wypadku wielu jezior stanowi znaczącą przeszkodę (pomiaru można prowadzić tylko przed sezonem wegetacyjnym, czyli zimą lub wczesną wiosną). W Lednicy potencjalnie mało znaczące anomalie wykryte tą metodą okazały się pozostałościami przepław mostowych na wyspę Ledniczkę.

### Profilograf osadów dennych

Aby pozyskać informacje, czy w dnie jeziora Lednica występują konstrukcje lub artefakty pokryte namulcem i innymi osadami, przeprowadzono badania sejsmoakustyczne dna, wykorzystując do tego urządzenie do płytkiej sejsmiki. Jednostką pomiarową była ta sama jednostka, której użyto do pomiarów batymetrycznych. Na podstawie systemu przetwarzania, obróbki i wizualizacji danych hydrograficznych zwanego Qinsy i tych samych systemów pozycjonowania i stabilizacji przechyłów działał system profilomierza osadów — Innomar SES 2000 Medium. Rejestracje geologicznych cech gruntów powierzchniowych prowadzono do głębokości kilkunastu metrów pod powierzchnią dna. Potencjalnych anomalii, których źródłem była aktywność ludzka, szukano w pasmie od 4 do 10 kHz. Przy zastosowaniu technologii CHIRP (Compressed High-Intensity Radiated Pulse) uzyskano rozróżnialność warstw na poziomie od 1 do 5 cm, co zdecydowanie ułatwiało wyszukiwanie anomalii, jakie stanowią artefakty lub inne obiekty naturalne np. kamienie. Urządzenie akustyczne CHIRP nie wysyła pojedynczego sygnału o określonej częstotliwości a serię sygnałów o różnych częstotliwościach.

Dzięki technologii CHIRP każda zwrócona częstotliwość jest indywidualnie interpretowana [HAC 2017: 37].

Rejestrację wykonano na 161 profilach. Tak jak w wypadku pomiarów echosondą wielowiązkową pomiar wykonano na osiach północ-południe co pięć metrów i profilach kontrolnych prostopadłych do profili podstawowych co 25 metrów. Na podstawie posiadanej wiedzy archeologicznej oraz wyników skanowań hydroakustycznych wytypowano obiekty, nad którymi wykonano dodatkowe zagęszczone profile, co dwa metry [HAC 2017: 37].

Współrzędne wyznaczonych przez specjalistów Instytutu Morskiego obiektów zostały wprowadzone do urządzenia GPS-RTK Leica 1200. Następnie przy pomocy łodzi typu rib opuszczano bojki w wybrane punkty. Nurek sprawdzał obszar wokół punktów, zataczając co pół metra kręgi o promieniu od 0,5 do 5 m. Niestety ze względu na nieinwazyjny charakter projektu nie można było zagłębiać się w nawarstwienia denne, co w znacznym stopniu ograniczyło możliwości oględzin anomalii. W ten sposób zbadano 27 punktów: MP191–MP196, MP205–MP210, MP219–MP220, MP223–MP235 [PYDYN I IN. 2017: 141–146].

A



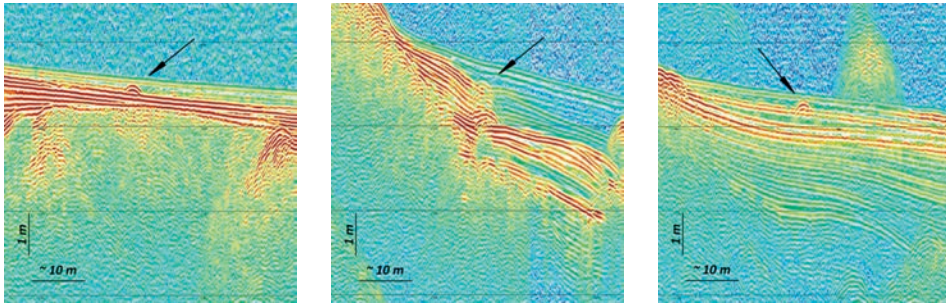
B



Ryc. 5. Profilomierz osadów (Subbottom profiler) SES-2000. A: jednostka centralna; B: przetwornik z kablem; fot. Instytut Morski w Gdańsku

FIG. 5. A subbottom profiler SES-2000. A: a central unit; B: a converter with a cable; photo by the Maritime Institute in Gdańsk





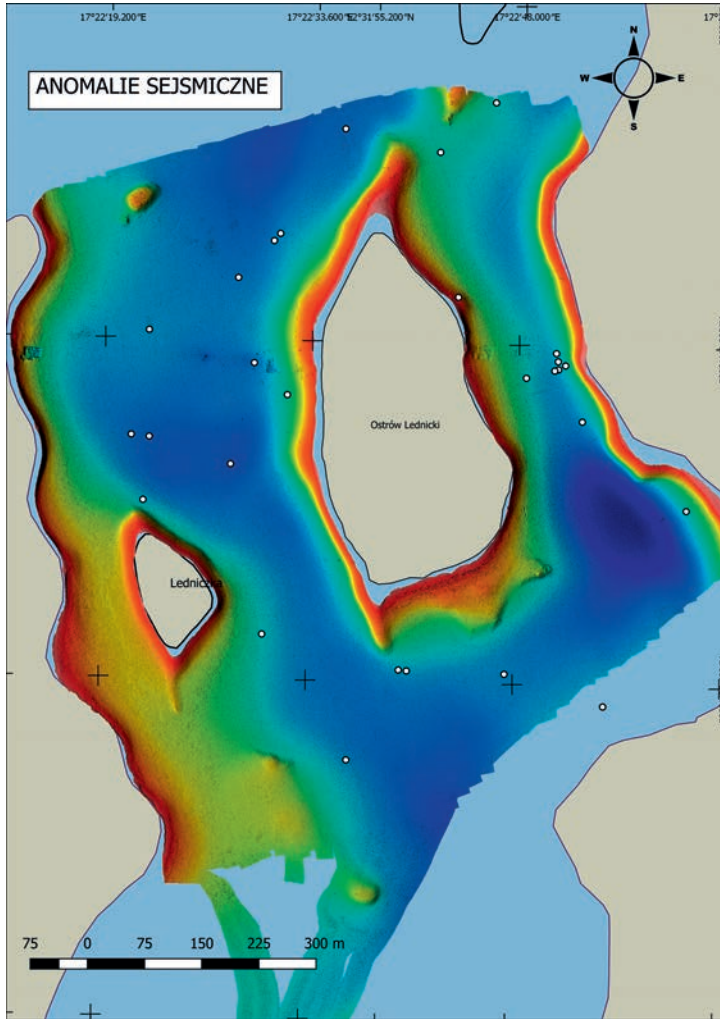
RYC. 6. Przykładowe zapisy wybranych obiektów zagłębionych w dnie jeziora: strzałki wskazują obecność anomalii (obiekty zagłębione w dnie), zielone i czerwone linie wskazują kolejne horyzonty wydzieleni (górne powierzchnie warstw zalegających na dnie jeziora); oprac. Instytut Morski w Gdańsku

FIG. 6. The exemplary traces of the chosen objects sunk into the bottom of the lake: the arrows indicate the presence of the anomalies (objects sunk into the bottom), green and red lines indicate subsequent horizons of the separations (top surfaces of the layers remaining at the bottom of the lake); edited by the Maritime Institute in Gdańsk

Pomimo ograniczeń związanych z powierzchniową penetracją dna w punktach: MP192 oraz MP220 zlokalizowano relikty mostów gnieźnieńskiego i poznańskiego, które nie wystawały z dna i nie były znane z dokumentacji archeologicznej [PYDYN I IN. 2017: 141–146].

Użycie w projekcie urządzeń akustycznych pozwoliło wykryć i wstępnie opisać obiekty zagłębione w osadach dennych. Obiekty te są nie do wykrycia innymi znanymi metodami nieinwazyjnymi. Pełna ocena efektywności zastosowanej metody jest trudna do przeprowadzenia ze względu na narzucone przez ministerstwo zasady realizacji projektu. Całkowita nieinwazyjność praktycznie wykluczyła dokładną inspekcję i przeszukanie wytypowanych do badań obszarów, zwłaszcza lokalizację obiektów znajdujących się kilkadziesiąt centymetrów pod powierzchnią dna. Należy również zaznaczyć, że zastosowane w projekcie urządzenie oraz metodologia pomiarów nie pozwalają na dokładny opis wykrytych obiektów oraz jednoznaczne określenia jego parametrów. Do szczegółowego opisu takich obiektów należałoby zastosować urządzenia wielogłowicowe (np. SES 2000 Quatro) przy równoczesnym 20-krotnym zagęszczeniu prowadzonych profili, co nie mogło być zrealizowane w 2017 roku ze względu na ograniczenia technologiczne i budżetowe.

Równocześnie pozytywnym efektem tego badania było wykazanie wielkiej skuteczności metody sejsmicznej przy poszukiwaniu obiektów niewidocznych na powierzchni dna, bez konieczności ingerencji w strukturę osadów. Metoda ta pozwala też na szczegółowe ukierunkowanie miejsc potencjalnych eksploracji, ograniczając ingerencję w strukturę stanowiska oraz zwiększając skuteczność



Ryc. 7. Mapa anomalii sejsmicznych; oprac. Mateusz Poppek

FIG. 7. A map of seismic anomalies; edited by Mateusz Poppek

realizowanych badań, bez konieczności wykonywania wielkoobszarowych wykopaliisk. Ponadto jest to w tej chwili jedyna nieinwazyjna metoda poszukiwania niemagnetycznych obiektów zagłębionych w dnie. Dzięki zastosowaniu jej na rozpoznanym obiekcie, jakim jest most poznański, i otrzymaniu pozytywnych wyników można z dużym prawdopodobieństwem przypuszczać, że technologia ta sprawdzi się przy poszukiwaniach innych drewnianych struktur archeologicznych znajdujących się w osadach dennych.

## Magnetometr czesowy

Do lokalizacji potencjalnych zabytków/anomalii posiadających właściwości ferromagnetyczne (obiektów z sygnaturą magnetyczną) zalegających na dnie jeziora Lednica wykorzystano czesowe magnetometry lądowe G858 oraz morskie G882. Czułość urządzeń na poziomie od 0,004 do 0,05 nT pozwalała na wykrycie nawet niewielkich metalowych obiektów z sygnaturą magnetyczną zalegających na powierzchni lub pod powierzchnią dna. Niestety zakres wykrycia maleje do sześciastu wraz ze wzrostem odległości, co oznacza, że im dalej od czujnika, tym większa musi być masa magnetyczna, aby została wykryta [HAC 2017: 35].

Pomiary na jeziorze Lednica realizowano w dwu etapach: wzdłuż brzegów i w rejonie wód o głębokościach powyżej dwóch metrów. Ze względu na małe głębokości przy brzegu jeziora i obu wysp pomiary prowadzono z użyciem magnetometrów lądowych umieszczonych tuż nad powierzchnią wody (Magnetometr G858). Profile poprowadzono równoległe do linii brzegowej w odstępach od 2 do 5 m w zależności od możliwości. W obszarach o głębokościach większych od dwóch metrów wykorzystywany był zestaw holowanych czujników składający się z magnetometrów morskich (Magnetometr G882). Profile równoległe w stałych odstępach 5-metrowych prowadzono na osi północ-południe. W rejonach obu mostów prowadzono profile równoległe do kierunku ich przebiegu, w miarę możliwości je zagęszczając. Pozwoliło to na zwiększenie ilości informacji o niewielkich przedmiotach. Dane zgromadzone podczas profilowania magnetycznego zostały poddane filtrowaniu, z zapisów usunięto sygnały w miejscach, gdzie przyrząd uderzał w dno, a następnie utworzono chmurę punktów w celu wyznaczenia pozycji anomalii [HAC 2017: 35].

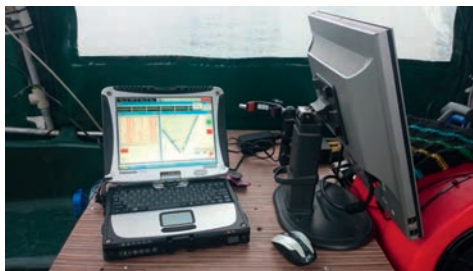
Ze względu na nieinwazyjny charakter projektu nie było możliwe sprawdzenie wszystkich anomalii wyznaczonych podczas skanowania magnetometrem. Do sprawdzenia wybrano kilkanaście punktów zlokalizowanych przy brzegu jeziora w celu weryfikacji. Punkty te wybrano ze względu na wysokie prawdopodobieństwo, że znajdują się w lotnej strefie mułu. Około 70% sprawdzonych punktów stanowiły obiekty metalowe, jednak pochodzenia współczesnego. W związku z tym należy przypuszczać, że anomalie magnetyczne znajdujące się głębiej w nawarstwieniach dennych mogą być metalowymi obiektami archeologicznymi [PYDYN I IN. 2017: 149].

Technologia pomiarów magnetometrycznych jest nie do zastąpienia w sytuacji prowadzenia nieinwazyjnych wielkoobszarowych poszukiwań obiektów metalowych posiadających sygnatury magnetyczne, np. przedmioty wykonane z żelaza lub stali. Wadą systemu jest konieczność prowadzenia czujników na stałej wysokości nad dnem, równocześnie najbliżej dna jak to możliwe, a prowadzenie profili pomiarowych bardzo gęsto np. w odstępach ok. 80 cm. W sytuacji zmiennych głębokości dna jeziora jest to bardzo trudne choćby ze względu na wysoką roślinność. Równocześnie proces wymaga bardzo dokładnego pozycjonowania

A



B



C



D



Ryc. 8. System i urządzenia do pomiarów magnetometrycznych. A: jednostka pomiarowa (Pan-cerzaba); B: system pomiarowy na jednostce prowadzącej pomiary; C: magnetometr cezowy G858; D: magnetometr cezowy G882; fot. Instytut Morski w Gdańsku

FIG. 8. The system and devices for magnetometric measurements. A: a measuring unit ('armoured frog' — a small research boat); B: Measuring system on a unit which conducts measurements; C: Caesium magnetometer G858; D: Caesium magnetometer G882; photo by the Maritime Institute in Gdańsk

urządzeń holowanych za rufą jednostki w czasie rzeczywistym. Przydatność tej technologii w archeologii podwodnej jest niezaprzeczalna. Wcześniej jedyną metodą poszukiwań obiektów metalowych pod wodą był detektor metali, który ma duże ograniczenia. Dzięki zastosowaniu magnetometru wielokrotnie przyspieszono prospekcję w porównaniu z metodami tradycyjnymi.

## Podsumowanie

W trakcie badań jeziora Lednica zastosowano trzy rodzaje prospekcji nieinwazyjnej: hydroakustykę (sonda wielowiązkowa), sejsmikę (profilograf osadów dennych) i magnetykę (magnetometr cezowy). Każda z tych metod umożliwia lokalizację innych obiektów. Sonda wielowiązkowa pozwala na poszukiwanie wszystkich obiektów wystających z dna. Profilograf osadów dennych wyszukuje obiekty zagłębione w dnie. Natomiast magnetometr cezowy lokalizuje wszystkie obiekty metalowe. Każda z tych metod dała bardzo ciekawe wyniki, dostarczając

obrazy anomalii pochodzące od obiektów znajdujących się w Lednicy. Niestety ze względu na nieinwazyjny charakter projektu nie wszystkie anomalie mogły zostać zweryfikowane. Pomimo to zastosowanie tych metod dało niezwykle ciekawy obraz obiektów znajdujących się w Lednicy i pozwoliło na dokonanie odkrycia kolejnych dwóch przepraw mostowych pochodzących z przełomów X i XI oraz XIII i XIV wieku, prowadzących na wyspę Ledniczkę.

Każda z omówionych metod daje bardzo ciekawe wyniki, jednak dopiero zastosowanie wszystkich trzech pozwala na uzyskanie dokładnego obrazu dna jeziora wraz z anomaliami, które w dużej mierze mogą mieć pochodzenie antropogeniczne. Wydaje się, że przyszłość archeologii podwodnej jest ściśle związana z wymienionymi badaniami nieinwazyjnymi. Niestety będzie to trudniejsze do osiągnięcia w płytkich akwenach śródlądowych niż w akwenach morskich, gdzie technologie te są wprowadzane o dłuższego czasu.

### Bibliografia

BOWENS A.

2009 Underwater archaeology. The NAS guide to principles and practices, Portsmouth.

HAC B.

2017 Przeprowadzenie prac związanych z lokalizacją potencjalnych zabytków/anomalii zalegających w wodach Jeziora Lednickiego [w:] Sprawozdanie końcowe projektu Kolebka Piastów — archeologiczne podwodne prospekcje w rejonie jeziora Lednickiego, red. A. Pydyn, Toruń, s. 30–96 [maszynopis w archiwum Zakładu Archeologii Podwodnej].

MACIEJEWSKI J., RADKA K.

2017 Kwerenda archiwalna stanowisk archeologicznych wokół jeziora Lednickiego [w:] Sprawozdanie końcowe projektu Kolebka Piastów — archeologiczne podwodne prospekcje w rejonie jeziora Lednickiego, red. A. Pydyn, Toruń, s. 7–30 [maszynopis w archiwum Zakładu Archeologii Podwodnej].

PYDYN A.

2017 Wstęp do projektu [w:] Sprawozdanie końcowe projektu Kolebka Piastów — archeologiczne podwodne prospekcje w rejonie jeziora Lednickiego, red. A. Pydyn, Toruń, s. 6 [maszynopis w archiwum Zakładu Archeologii Podwodnej].

PYDYN I IN. = PYDYN A., RADKA K., DĘBICKA D., POPEK M., MACIEJEWSKI J.

2017 Sprawozdanie z oględzin obiektów zlokalizowanych metodami nieinwazyjnymi [w:] Sprawozdanie końcowe projektu Kolebka Piastów — archeologiczne podwodne prospekcje w rejonie jeziora Lednickiego, red. A. Pydyn, Toruń, s. 97–168 [maszynopis w archiwum Zakładu Archeologii Podwodnej].

## The use of acoustic and magnetic methods in the search for archaeological objects through the example of Lednica lake


### S u m m a r y

Noninvasive surveys and prospections are a new dynamic trend in contemporary archaeology. They represent a trend of multidisciplinary analyses of cultural heritage. Due to limited access to technology, these methods are still not widely used in underwater archaeology, in particular in inland reservoirs. For this reason a team from the Department of Underwater Archaeology of the Institute of Archaeology at Nicolaus Copernicus University in Toruń in cooperation with the Maritime Institute in Gdańsk, the Museum of the First Piasts at Lednica and the Scientific Association of Polish Archaeologists (Warsaw branch), planned and completed a project *Kolebka Piastów — archeologiczne prospekcje podwodne w rejonie jeziora Lednickiego* in 2017. The project was financed by the Ministry of Culture and National Heritage under the following programme: Cultural heritage, priority: The protection of archaeological monuments.


In the course of the project a multibeam probe, a subbottom profiler and a magnetometer were used to conduct surveys. If the conditions and assumptions of the project allowed, a direct underwater verification was conducted. Due to multibeam sonar it is possible to obtain a reliable spatial picture of a lake bottom in high resolution, e.g. 100 or more measurement points for each m<sup>2</sup> of the bottom, which enables one to conduct a detailed overview of a surface of the research area and objects lying on it. This method turned out to be the most effective during verification and resulted in the localization of a new medieval bridge in Lednica lake. Using a subbottom sediment profiler is at the moment the only noninvasive method of searching for non-magnetic objects sunk into the bottom. After applying it on a recognized object, such as the Poznań bridge, and after receiving the positive results, it may be assumed — with high probability — that this technology will succeed in the search for other wooden archaeological structures located in subbottom sediments.

Magnetometric measurements are the next technology which was used in the researched reservoir. They are indispensable when noninvasive large scale searches of metal objects with magnetic signatures are conducted e.g. the objects made of iron or steel. In the area of Lednica lake several objects with a magnetic signature were localized. In the course of research in Lednica, three types of noninvasive prospections were applied: hydroacoustics (a multibeam probe), seismology (subbottom sediment profiler) and magnetics (Caesium magnetometer). Each of these methods helps to localize other objects and gives very interesting results; however, only after all three have been used is it possible to obtain a precise picture of the bottom of the lake together with anomalies, which to a large extent can have anthropogenic origins. It seems that the future of underwater archaeology is closely related to the described noninvasive surveys. Unfortunately it will be more difficult to achieve in shallow inland reservoirs than in sea waters, where these technologies have already been introduced for some time now.

otrzymano (received): 31.01.2019; zrecenzowano (revised): 4.04.2019; zaakceptowano (accepted): 30.05.2019

dr hab. Andrzej Pydyn  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Instytut Archeologii  
Zakład Archeologii Podwodnej  
Szosa Bydgoska 44/48  
87-100 Toruń  
e-mail: pydyn@umk.pl  
 <https://orcid.org/0000-0001-9478-9863>

dr inż. Benedykt Hac  
Instytut Morski w Gdańsku  
Zakład Oceanografii Operacyjnej  
Długi Targ 41/42  
80-830 Gdańsk  
e-mail: Benedykt.Hac@im.gda.pl

mgr Mateusz Popek  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Instytut Archeologii  
Zakład Archeologii Podwodnej  
Szosa Bydgoska 44/48  
87-100 Toruń  
e-mail: mpopek@umk.pl  
 <https://orcid.org/0000-0002-5490-3585>