

Konstrukcja mapy batymetrycznej na podstawie badań sonarowych sztucznego zbiornika wodnego na przykładzie Zalewu Sulejowskiego

*Construction of a bathymetric map (1:25000) of an artificial
water reservoir located in a lowland area: the example
of the Sulejów Reservoir, Poland*

Marcin JASKULSKI

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź
marcin.jaskulski@geo.uni.lodz.pl

Aleksander SZMIDT

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
Instytut Nauk o Ziemi, Katedra Geografii Fizycznej
ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź
aleksander.szmidt@geo.uni.lodz.pl

Ireneusz ZBICIŃSKI

Aleksandra ZIEMIŃSKA-STOLARSKA
Janusz ADAMIEC

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
ul. Wólczarska 213, 90-924 Łódź
ireneusz.zbicinski@p.lodz.pl
aleksandra.zieminska-stolarska@p.lodz.pl
janusz.adamiec@p.lodz.pl

Streszczenie

W artykule tym poruszony został problem wykonywania pomiarów batymetrycznych na płytkich sztucznych zbiornikach śródlądowych położonych na obszarach nizinnych. Jako obszar badań wybrano Zalew Sulejowski położony w Polsce Centralnej. Zbiorniki tego typu charakteryzują się często mocno urozmaiconą linią brzegową o dużej zmienności jej stanu, urozmaiconym dnem powstałym w wyniku szeregu prac hydrotechnicznych oraz dużą eutrofizacją, szczególnie płytszych fragmentów zbiornika. Czynniki te istotnie wpływają na sposób i jakość pomiarów oraz na późniejszą interpretację uzyskanych danych morfometrycznych. W tekście przedstawiono sposoby wykonywania tego typu pomiarów batymetrycznych w strefach problemowych, metody weryfikacji i korekty uzyskanych danych, a także metodykę wykreślenia obrazu ukształtowania dna, łącznie z przykładem uzupełnienia informacji morfometrycznej w oparciu o inne źródła danych. W wyniku przeprowadzonych prac uzyskano mapę batymetryczną Zbiornika Sulejowskiego w skali 1:25000.

Abstract

The article deals with the issue of conducting bathymetric measurements in shallow, artificial inland reservoirs found in lowland. The Sulejów Reservoir, located in Central Poland, was selected as the study area. Reservoirs of this type are often characterised by well-developed shoreline and diverse bottom resulting from range of hydrotechnical works and considerable eutrophication, especially in the shallower parts of the reservoir. These factors have significant impact on the method and quality of bathymetric measurements, and by extent on the interpretation of the obtained morphometric data and, consequently, on the choice of methods for the final charting of the bottom. The paper presents a methodology for bottom measurements in problem zones, and methods for the verification and correction of the obtained data. Complementary morphometric data were taken from additional data sources. As result of this research, a bathymetric chart of the Sulejów Reservoir was made at scale of 1:25000.

Keywords: Bathymetry, interpolation, GIS, dam reservoirs, charting.

Słowa kluczowe: Batymetria, interpolacja, GIS, zbiorniki zaporowe, kartowanie.

Wprowadzenie

Powierzchnia wszystkich jezior na Ziemi wynosi 2,7 mln km², co odpowiada 1,8% ogólnej powierzchni lądów. Szacuje się, że około 40% jezior na świecie nie zostało pomierzonych w stopniu pozwalającym na dokładne określenie ukształtowania dna i co się z tym wiąże – precyzyjnego określenia pojemności wodnej zbiorników (Shiklomanov, Rodda 2003). Poznanie ukształtowania dna jeziora jest ważne, ponieważ umożliwia prowadzenie prac naukowych z zakresu geomorfologii – w odniesieniu do procesów rzeźbotwórczych, jakie zachodzą na dnie (Jaskulski, Szmidt 2014). Dane takie umożliwiają także badania z zakresu hydrodynamiki i modelowania parametrów fizykochemicznych wody (Ziemińska-Stolarska *et al.* 2015).

Jakość uzyskanych wyników badań batymetrycznych w dużej mierze związana jest z parametrami technicznymi sprzętu pomiarowego, sposobu pomiarów oraz charakterystyki geometrycznej badanego akwenu wodnego. W związku z tym, niejednokrotnie prace tego typu ograniczone zostają poprzez czynniki kosztowe i czasowe. Dzięki rozwojowi technologii można dokonywać coraz to precyzyjniejszych pomiarów, znacząco skracając ich czas. Nadal jednak procesy te nie są w pełni automatyczne i wymagają dużej ingerencji człowieka. Próbuje się dokonywać analiz przestrzennych zbiorników wodnych metodami pośrednimi (Hollister *et al.* 2011, Jaskulski *et al.* 2016), jednakże uzyskanie dokładnego obrazu nadal wymaga dostarczenia jak największej ilości precyzyjnych danych hydrograficznych.

Dla płytkich zbiorników śródlądowych pochodzenia naturalnego dane batymetryczne pozyskuje się najczęściej za pomocą pojedynczych lub wielowiązkowych sond wysokiej częstotliwości, sprzężonych z układem pozycjonowania i zamontowanych na jednostce pływającej. Dane dostarczone przez te systemy mogą zawierać również informacje na temat geomorfologii i procesów geologicznych jeziora (Yang i Zhang 2011). Stosując się do zasad aktualizmu geologicznego, znając reguły przebiegu procesów geomorfologicznych, najważniejsze trendy w budowie naturalnego zbiornika wodnego, można w dużej części przewidzieć przebieg form dna, co zdaniem autorów znacząco ułatwia późniejszą ocenę i interpretację uzyskanych danych pomiarowych.

Nieco inaczej wygląda kwestia sztucznych zbiorników, powstałych poprzez zagrodzenie rzek zaporami i zalanie fragmentu doliny rzecznej. Obszary te wcześniej często podlegały silnej antropopresji oraz dużym przemianom podczas budowy samego zbiornika. Użytkując ciąg danych z pomiarów z tych miejsc, badacz może zetknąć się z problemem wyjaśnienia, czy nienaturalny, odbiegający od normy obraz jest odzwierciedleniem form antropogenicznych, czy też jest on skutkiem błędów pomiarowych.

W przypadku takich obiektów istnieje możliwość interpretacji uzyskanych danych poprzez analizę materiałów archiwalnych. Zaliczają się do nich mapy topograficzne z okresu przed powstaniem jeziora, czy też dokumentacja geodezyjna i techniczna wykonana podczas budowy zbiornika. Przydatnym źródłem są też rezultaty interpretacji geomorfologicznej form terenu rozpoznawanych na mapach. Pozwala to na wykreślenie mapy ukształtowania dna zbiornika głównie w oparciu o tego typu materiały (Jaskulski *et al.* 2016).

Badaniom poddany został położony w Polsce Centralnej Zbiornik Sulejowski (ryc. 1A, B). Według regionalizacji fizycznogeograficznej Kondrackiego (1998), Zbiornik Sulejowski zlokalizowany jest w prowincji Wyżyn Polskich (34), podprowincji Wyżyny Małopolskiej (342), makroregionie Wyżyny Przedborskiej (342.1), w mezoregionie Doliny Sulejowskiej (342.111). Zbiornik i jego najbliższe otoczenie położony jest w północnej części mezoregionu, gdzie przebiega granica pomiędzy Wyżynami a Nizem Polskim. Ze względu na niskie położenie nad poziomem morza (poniżej 200 m n.p.m.), dominujące pokrycie obszaru badań i terenów sąsiadujących osadami czwartorzędowymi oraz małe urozmaicenie reliefu, obszar badań będzie traktowany jako nizinny. Zbiornik (Jezioro) Sulejowskie powstało w 1973 r. w wyniku przegrodzenia Pilicy czołową zaporą ziemną o wysokości 16 m, zlokalizowaną na 137,5 kilometrze rzeki. Początkowo całkowita pojemność zbiornika przy normalnym poziomie piętrzenia 166,6 m n.p.m. wynosiła 77,6 mln m³ (Ambroźewski *et al.* 2008). Zbiornik Sulejowski pełni różne funkcje, które zmieniały się w czasie. Pierwotnie przeważała funkcja retencyjna, energetyczna i przeciwpowodziowa. Zbiornik stanowił też rezerwuuar wody pitnej dla aglomeracji łódzkiej. Z biegiem czasu funkcje te ulegały przekształceniom.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań (A, B) oraz schemat przebiegu ścieżek pomiarów batygraficznych na Zbiorniku Sulejowskim (C)
 Fig. 1. Location of the study area (A, B); measurement paths along the entire Sulejów Reservoir (C)

Obecnie Zalew Sulejowski to akwen pełniący głównie rolę rekreacyjną, energetyczną i retencyjną. Jego walory turystyczno-rekreacyjne podkreśla założony w 1994 r. Sulejowski Park Krajobrazowy.

Omawiany obiekt przez ponad 40 lat istnienia nie posiadał opracowania batymetrycznego. Pierwsze prace nad dokładniejszym modelem dna zbiornika rozpoczęto w latach 2012/2013. Powstała wówczas mapa batygraficzna, wykonana w oparciu o dane historyczne, pochodzące z map topograficznych wykonanych przed powstaniem Zalewu oraz map dokumentacyjnych z okresu budowy zbiornika. Otrzymany obraz posiadał dokładność pionową zbliżoną do dokładności cięcia warstwicowego map, a więc większą niż 1,25 m (Jaskulski *et al.* 2013).

Uzyskana mapa stanowiła nową jakość dla badanego terenu, jednakże nie zawierała aktualnych danych batymetrycznych. W tej sytuacji zaistniała potrzeba przeprowadzenia badań batymetrycznych współczesnymi technikami, które pozwoliły na uzyskanie dokładniejszego i bardziej wiarygodnego obrazu dna Zbiornika Sulejowskiego. Nowe pomiary głębokościowe wykonano w ramach projektu MONSUL (Analiza czynników wpływających na stan ekologiczny wód Zbiornika Sulejowskiego w oparciu o ciągly monitoring i zintegrowany model 3D zbiornika), dzięki współpracy dwóch łódzkich uczelni: Politechniki Łódzkiej i Uniwersytetu Łódzkiego. Uzyskane dane pomiarowe uzupełniono o informację morfometryczną wykonaną w oparciu o fotointerpretację zdjęć lotniczych w strefie brzegowej oraz pływicy zbiornika.

Metodyka i etapy pracy

Etap I – Pomiary w terenie

Prace pomiarowe rozpoczęto w lipcu 2016 roku. Do badań wykorzystano zamontowany do łodzi motorowej Sonar Lowrance HDS generacji 3 z przetwornikami 50/200 kHz oraz sonarem bocznym 400/800 khz. Urządzenie jest wyposażone w GPS 10Hz. Mierzone dane przetwarzał program ReefMaster 1.8. Badania prowadzono na liniach profilowych, poprzecznych do osi dłuższej zbiornika w odległości około 50 metrów. W miejscach, gdzie istniało podejrzenie skomplikowanego lub bardziej interesującego reliefu, linie profilowe (pomiaru) zostały zagęszczone (ryc. 1C). Dzięki tak prowadzonym badaniom terenowym uzyskano bazę danych w postaci około 440 000 punktów z określonym położeniem przestrzennym oraz głębokością.

Etap II – Weryfikacja i korekta danych pomiarowych

Uzyskane dane wymagały przeprowadzenia weryfikacji w celu potwierdzenia lub ustalenia faktycznej głębokości w każdym punkcie pomiarowym. Ze względu na charakter zbiornika (jeziro płytkie, z dużą ilością elementów przed powstania zbiornika oraz duży stopień eutrofizacji w obszarach płytkich) nie dokonano automatycznej korekty uzyskanych danych pomiarowych (Popielarczyk, Templin 2014). *Post processing* przeprowadzony w programie ReefMaster 1,8 polegał na wizualnej ocenie obrazu pochodzącego z przetwornika DownView (częstotliwość 400/800 kHz) z jednoczesną ręczną korektą wysokości punktów (ryc. 2A,B,C,D).

Zdaniem autorów metoda ta daje bardziej wiarygodne wyniki dla miejsc silnie przekształconych antropogenicznie. W przeciwieństwie do automatycznych algorytmów można łatwiej dokonać oceny, czy lokalne anomalie w ukształtowaniu dna są faktycznymi i w rzeczywistości nie wymagają metod wygładzania lub usunięcia ze zbioru danych. Pierwszym elementem mogącym zakłócać pomiar ukształtowania dna są pnie dawnych drzew osiagające na badanym obszarze wysokość około 60 cm (ryc. 2A). W celu wykreślenia ukształtowania dna zbiornika informacja o tych obiektach została usunięta (ryc. 2B). Występowanie tego typu przeszkód terenowych powinno zostać przeniesione do osobnej warstwy. Aby tego typu dane były wiarygodne i nie powodowały przekłamań, dno zbiornika powinno być pokryte gęstą siecią punktów pomiarowych odpowiadającym jakością pomiarów LIDAR tak, aby każda przeszkoda (np. pień) była odwzorowana. W związku z tym na mapie końcowej obiekty tego typu nie są przedstawiane. Drugą grupą elementów mogących wpływać na uzyskany obraz morfometrii dna zbiornika były odbicia sygnału od roślinności miękkiej (ryc. 2C). W tym przypadku dokonano przesunięcia pionowego punktów pomiarowych do wyraźnie widocznej granicy gęstości substancji tworzącej powierzchnię dna (ryc. 2D).

Bezpośrednia analiza uzyskanych wyników pomiarów pozwoliła wychwycić miejsca dające nietypowy obraz podczas odczytu, jednakże stanowiące faktyczny obraz ukształtowania dna (ryc. 5D,E). Miejsca te stanowiły ślady dawnych prac hydrotechnicznych. Analizy

tego typu pozwalają na odwzorowanie dokładniejszego kształtu dna lub uwypuklenie mniejszych, lecz istotnych obiektów podwodnych. Ze względu na dużą pracochłonność metoda ta ma ograniczone zastosowanie względem większych obszarów badawczych. W sumie, na tym etapie pracy usunięto kilka procent punktów, co do których zaistniały wątpliwości w ich lokalizacji lub ich rozkład wskazywał na konieczność generalizacji lub usunięcia.

Etap III – Uszczegółowienie przebiegu linii brzegowej

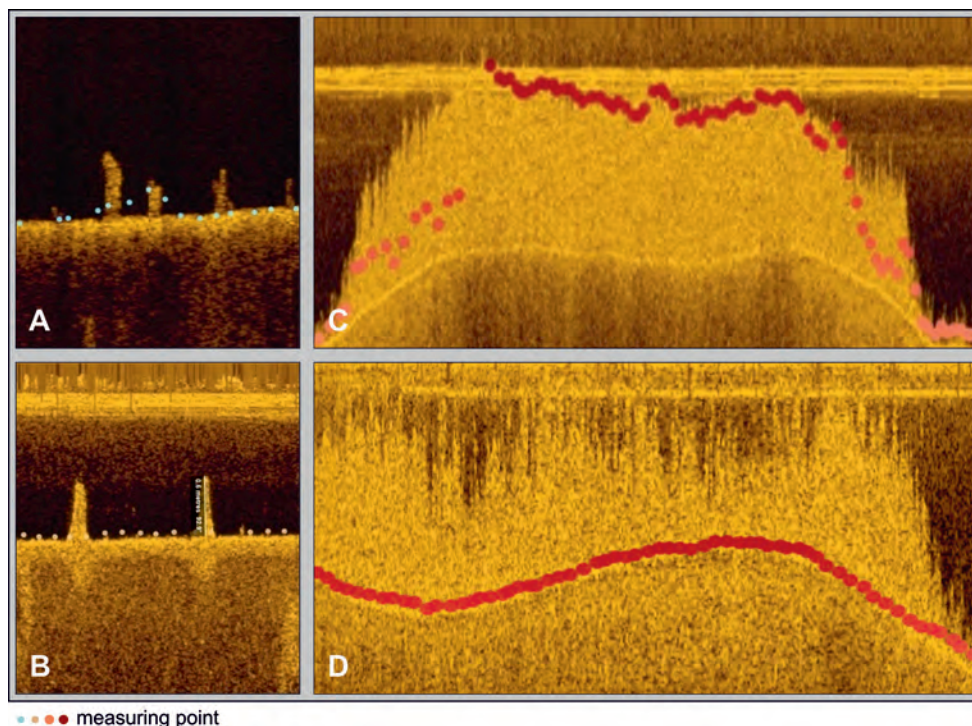
Ważnym elementem w konstrukcji szczegółowej mapy dna jest określenie wektorowego przebiegu linii brzegowej. Dla opracowywanego modelu zbiornika będzie to izobata 0, a dokładność jej wytyczenia będzie miała istotny wpływ na interpolacje danych i obraz DEM w strefach brzegowych. Zadanie to w początku wydaje się bardzo proste – istnieją bazy danych wektorowych, cyfrowe mapy topograficzne, z których tą linię można pozyskać. Jak wspomniano wcześniej, brzegi tego typu zbiorników w wyniku antropopresji oraz naturalnych procesów brzegowych ulegają silnym zmianom. Analizując mapy topograficzne oraz zdjęcia lotnicze i satelitarne z różnych okresów, autorzy stwierdzili duże rozbieżności w przebiegu linii brzegowej (ryc. 3). Dodatkowo, analiza fototonu zdjęć lotniczych wskazuje na istotne zmiany w aktywności i głębokości strefy brzegowej (ryc. 4A,C). W związku z tym zdecydowano się na ręczną interpretację i digitalizację linii brzegowej zbiornika w oparciu o najnowszą dostępną w okresie prac ortofotomapę z roku 2012 (ryc. 4A).

Etap IV – Uzupełnienie informacji głębokościowej w płytkich strefach akwenu

Z uwagi na to, że pomiary były wykonywane z użyciem łodzi motorowej, badaniami nie objęto miejsc, gdzie głębokość wody była mniejsza niż 1 metr (ryc. 4A,C). W celu wykreślenia NMT przyjęto, że granice zbiornika (brzeg) stanowią izobate 0. Bezpośrednie łączenie jednak linii brzegowej ze skrajnymi punktami pomiarowymi z sonaru daje obraz zbyt uśredniony (ryc. 4B). Aby uzupełnić brakujące dane dokonano interpretacji ortofotomapy z okresu zimowego z 2012 r. (ryc. 4C). Następnie w celu określenia położenia wysokościowego widocznych form dna zbiornika porównano fototon zdjęcia lotniczego z fototonem w miejscach, gdzie możliwe było jeszcze dokonanie pomiarów terenowych (ryc. 4C). Na tej podstawie wykreślono linie opisujące powierzchnie o określonej głębokości (ryc. 4C). W wyniku tych prac przebieg ukształtowania dna w strefie przybrzeżnej jest bardziej urozmaicony i zbliżony do rzeczywistości (ryc. 4D).

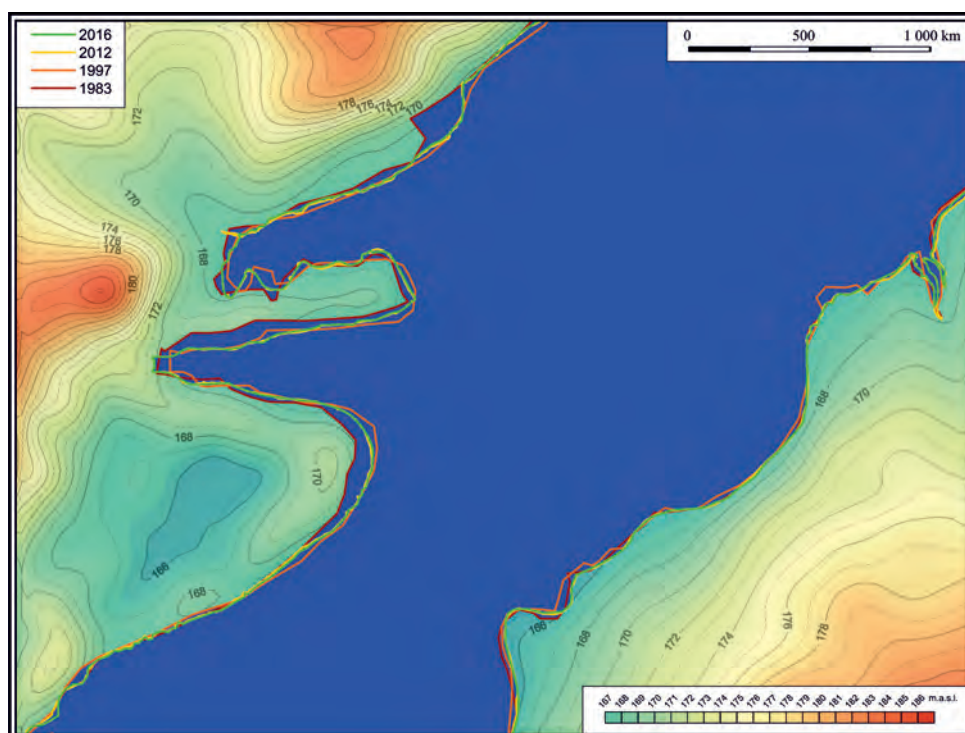
Etap V – Uzupełnienie informacji głębokościowej w głębszych częściach akwenu

Za osobne zagadnienie należy uznać właściwe zinterpretowanie form dna będących pochodnymi po obiektach rzeźby fluwialnej. Najbardziej jaskrawym przykładem są dawne starorzecza. W okresie przed powstaniem zbiornika były one pokryte bujną roślinnością łąkową i słabo widoczne w terenie. Po zalaniu zbiornika, o ile nie uległy zniszczeniu podczas prac hydrotechnicznych, powinny się stać obiektami bardziej widocznymi na



Ryc. 2. Obrazy przedstawiające odbicie fali akustycznej od obiektów twardej, w tym przypadku najprawdopodobniej pni drzew. Obiekty wymagają usunięcia (A – obraz przed korekcją, B – obraz po korekcji). Dalej, przykład odbicia sygnału echosondy od roślinności miękkiej (moczarka kanadyjska), a nie od rzeczywistego dna. Lokalizacje punktów należy sprowadzić do wyraźnej linii zmiany gęstości ośrodka (C – obraz przed korekcją, D – obraz po korekcji)

Fig. 2A, 2B. Reflection of acoustic wave from hard objects, most probably tree trunks (A – image before correction, B – image after correction); Fig. 2C, 2D. Example of sonar signal reflected from vegetation (Canadian waterweed) instead of the actual bottom. The location of points should be lowered to the line of density change (C – image before correction, D – image after correction)



Ryc. 3. Zmiany przebiegu (nieścisłości) w przebiegu linii brzegowej Zbiornika Sulejowskiego na podstawie danych pochodzących z różnych okresów kartowania

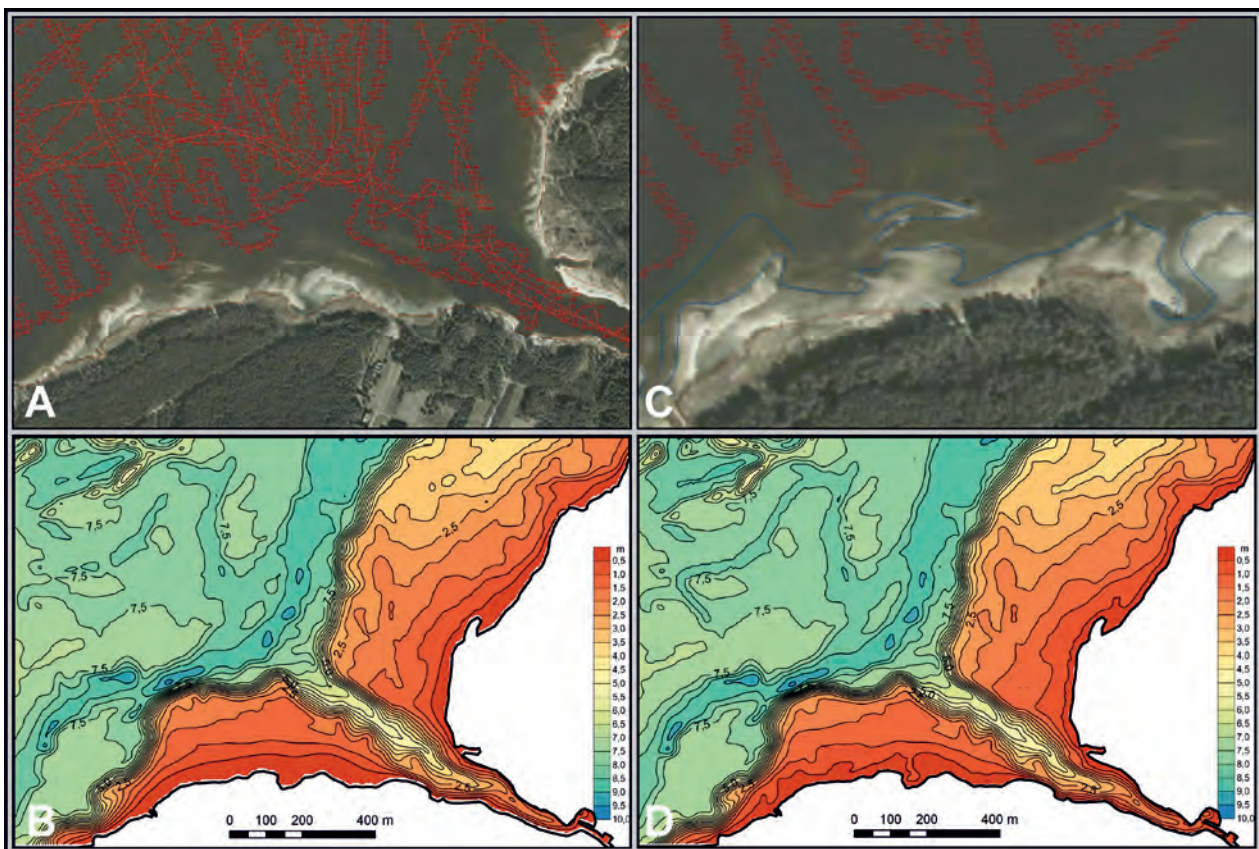
Fig. 3. Variations (discrepancies) of the course of the shoreline in the Sulejów Reservoir, on the basis of data from different charting periods

nowej, w tym przypadku limnicznej powierzchni. Ze względu na ich kręty kształt, przy stosowaniu stałych interwałów linii pomiarowych, algorytm interpolujący może mieć problem z wychwyceniem tej informacji i połączeniem w jedną formę liniową (ryc. 4B). Problem ten można rozwiązać na kilka sposobów. W pierwszym przypadku można zagęścić linie pomiarowe, w drugim użyć sondy wielowiązkowej, ewentualnie także z zagęszczeniem linii pomiarowych. Jeśli jednak ze względów technicznych niemożliwe jest zastosowanie powyższych rozwiązań (brak sprzętu, dane archiwalne), wówczas można dokonać interpretacji geomorfologicznej wykreślonego pierwotnie obrazu ukształtowania dna. W celu weryfikacji metody wytypowano dwa łatwo dostępne miejsca i przeprowadzono dodatkowe badania echosondą wzdłuż dawnego koryta rzecznego. Potwierdziły one ciągłość tych form terenu. W związku z tym autorzy postanowili dokonać interpretacji pozostałości dawnej sieci rzecznej oraz ręcznej korekty obrazu form terenu (ryc. 4D). Proces ten prowadzony był przy użyciu oprogramowania Golden Software Surfer 14, za pomocą narzędzia edycji siatki.

Wszystkie zebrane w terenie dane głębokościowe zostały skorelowane z informacją o poziomie piętrzenia wody w każdym dniu badawczym, a następnie uśrednione do maksymalnego stanu wynoszącego 166,6 m n.p.m.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały możliwość utworzenie Cyfrowego Modelu Wysokościowego dna sztucznego zbiornika wodnego w oparciu o pomiary batymetryczne oraz interpretację innych informacji morfometrycznych. Konstrukcja map na podstawie danych „surowych”, tylko przy użyciu automatycznych metod interpolacyjnych na zbiornikach wodnych o skomplikowanym ukształtowaniu dna, nie daje satysfakcjonujących rezultatów. W przypadku pomiarów echosondą można stosować automatyczne algorytmy filtrujące i wygładzające, jednakże w miejscach występowania licznych i drobnych form antropogenicznych narzędzia te nie spełniają w pełni swojej roli. Ręczna weryfikacja wizualna, mimo swojej pracochłonności, pozwala na dokładniejszą



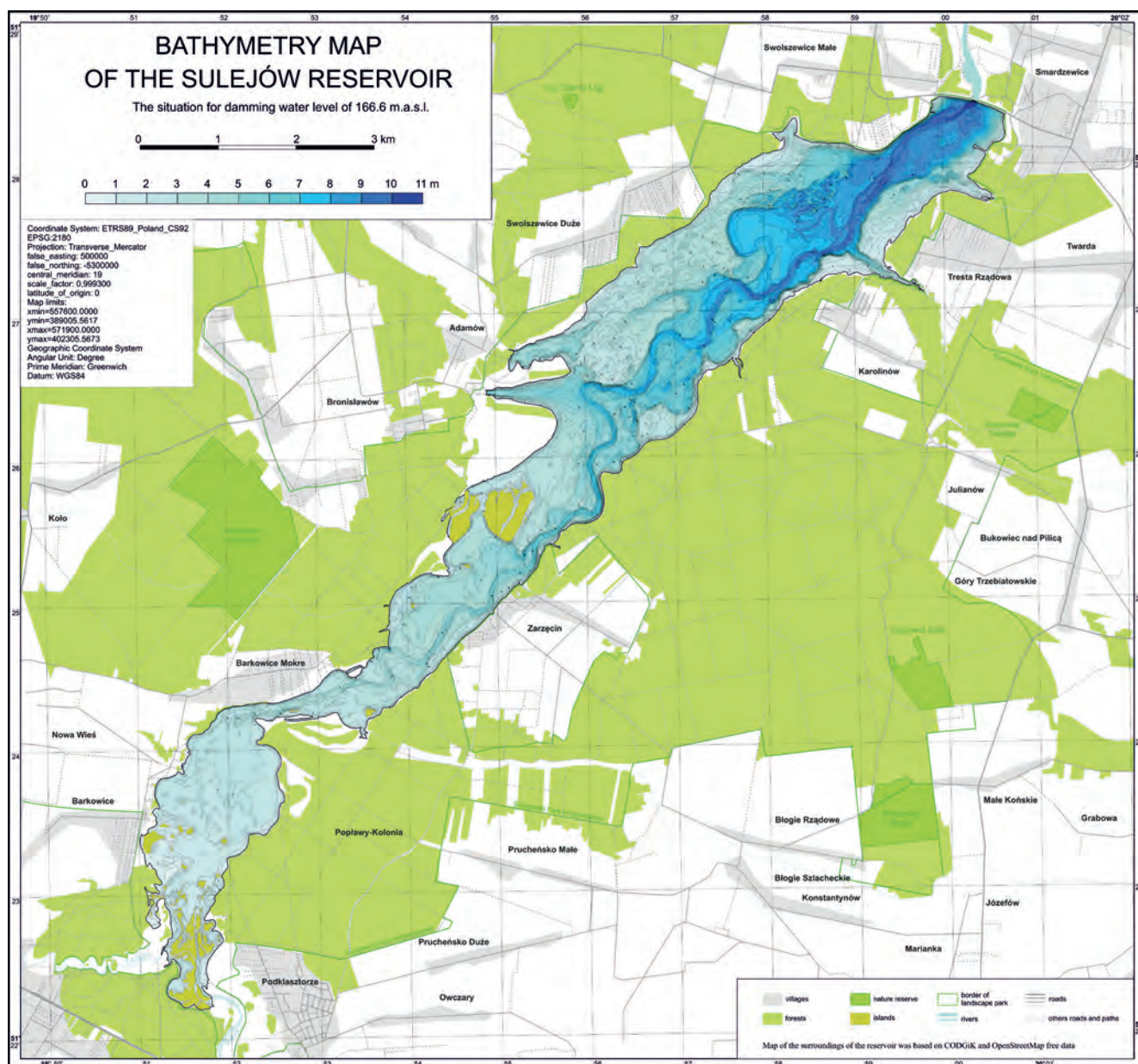
Ryc. 4. Fotointerpretacja form dna Zbiornika Sulejowskiego w strefie brzegowej, A – lokalizacja punktów pomiarowych, B – obraz ukształtowania fragmentu dna uzyskany na podstawie danych z pomiarów echosondą oraz informacji o przebiegu linii brzegowej, C – lokalizacja punktów pomiarowych oraz przebieg interpretacji form dna w strefie przybrzeżnej (niebieska linia), D – obraz ukształtowania fragmentu dna uzyskany na podstawie danych z pomiarów echosondą, informacji o przebiegu linii brzegowej, danych z interpretacji form strefy przybrzeżnej oraz interpretacji form dawnego dna dolinnego

Fig. 4. Photointerpretation of the bottom landforms in the shore zone, A – locations of measuring points, B – fragment of the bottom, based on data from echo sounder measurements and information on the course of the shoreline, C – locations of measuring points and the course of interpretation of bottom forms in the shore zone (blue lines), D – representation of the bottom, based on data from echo sounder measurements, information on the course of the shoreline, data from interpretation of the shore zone forms and interpretation of the bottom forms of the old valley

i wiarygodniejszą korektę punktów pomiarowych. Dzięki temu obraz mapy uzyskany po interpolacji jest bliższy rzeczywistości. Gęstość profili pomiarowych warunkuje optymalną skalę dla opracowania wynikowego, w tym przypadku było to 1:25000. W razie konieczności stworzenia mapy o większej skali badacze stają przed problemem zagęszczenia linii profili pomiarowych lub wykonania ponownych badań przy użyciu coraz dokładniejszego sprzętu (np. echosondy wielowiązkowej). Mogą też wystąpić przypadki, że do badań wykorzystane mogą być tylko dane archiwalne. Aby uszczegółwić istniejące dane pomiarowe dokonano połączenia

metod bezpośredniego pomiaru i fotointerpretacji linii brzegowej oraz form dna strefy przybrzeżnej. Pozwoliło to na uzyskanie bardziej wiarygodnego obrazu dna w miejscach niedostępnych dla łodzi motorowej. W toku badań zauważono, że wbudowane w oprogramowania algorytmy interpolacyjne nie potrafią odpowiednio interpretować i łączyć liniowych form terenu, takich jak np. starorzecza. Dokonano zatem próby ręcznego wyinterpretowania przebiegu skomplikowanych form dna zbiornika będących wcześniej elementami dna doliny rzecznej. Ponowne, testowe pomiary w terenie potwierdziły skuteczność tej (opisanej w artykule) metody.

Mapa wynikowa



Ryc. 5. Mapa batymetryczna Zbiornika Sulejowskiego

Fig. 5. Final map. Bathymetry map of the Sulejów Reservoir

Oprogramowanie

Pierwotny cyfrowy model wysokościowy dla danych pochodzących z pomiarów sonarowych wykonano w programie RefMaster 1.8, zaś dla obszarów poza strefą pomiarów w programie ESRI ArcMap 10.2. Następnie całość danych połączono w programie ESRI ArcMap 10.2., stosując metodę interpolacji Topo to Raster, uzyskując raster o oczku siatki 5 metrów. Reinterpretacji przebiegu form liniowych dna zbiornika wykonano w programie Golden Software Surfer 14 za pomocą funkcji Grid Editor. Warstwy wynikowe przygotowano w ESRI ArcMap 10.2., zaś składu mapy dokonano w programie Corel Draw X7.

Bibliografia

- Ambrożewski Z., Micha A., Zalewski M., Szamowski A., 2008, 35 lat eksploatacji zbiornika wodnego Sulejów, *Gospodarka Wodna* 12/08, Materiały na Sympozjum naukowo-techniczne w dniu 19 grudnia 2008 r. w Smardzewicach.
- Holister J.W., Milstead W.B., Urrutia M.A., 2011, Predicting Maximum Lake Depth from Surrounding Topography, *PLoS ONE* 6 (9): e25764, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025764>.
- Jaskulski M., Jaskulski M., Zbiciński I., Ziemińska-Stolarska A., 2013, Mapa Batygraficzna Zbiornika Sulejowskiego.
- Jaskulski M., Szmidt A., 2014, Transformations in morphometry of valley bottom as a result of the creation of reservoir illustrated with the example of Sulejów Lake, *Landform Analysis* 27, 27–33 (DOI: <http://dx.doi.org/10.12657/landfana.027.002>).
- Jaskulski M., Szmidt A., Ziemińska-Stolarska A., Jaskulski M., 2016, Nowa metoda opracowania mapy ukształtowania dna sztucznego zbiornika wodnego na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych, *Roczniki Geomatyki* XIV, 4 (74), 455–464.
- Kondracki J., 1998, *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Popielarczyk, D., Templin T., 2014, Wyniki najnowszych pomiarów batymetrycznych Jeziora Suskiego, [w:] Pawłowski B. (red.), *Problemy rekultywacji jezior ze szczególnym uwzględnieniem Jeziora Suskiego*, Śusz–Toruń.
- Shiklomanov I.A., Rodda J.C., 2003, *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Yang X., Zhang T., 2011, Detecting Estuarine Bathymetric Changes with Historical Nautical Data and GIS in Geoinformatics in Applied Geomorphology (ed. Anbazhagan S., Subramanian S.K., Yang X.), CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 105–117.
- Ziemińska-Stolarska A., Polańczyk A., Zbiciński I., 2015, 3-D CFD simulations of hydrodynamics in the Sulejow dam reservoir, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 63 (4), 334–341 (DOI: 10.1515/johh-2015-0033).