



I brama torowa na Zalewie  
Szczecińskim.  
Zdjęcie lotnicze  
po zakończeniu budowy

# BADANIA WSPARCIEM DLA BUDOWNICTWA WODNEGO

O filarach wiedzy wykorzystywanej w analizach obecnych i przyszłych zmian środowiska, niezbędnych do realizacji inwestycji hydrotechnicznych.



## Małgorzata Robakiewicz

Instytut Budownictwa Wodnego  
Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku

**B**udowle hydrotechniczne służą gospodarce wodnej, kształtowaniu zasobów wodnych i wspomagają korzystanie z wód. Obejmują one urządzenia i instalacje techniczne związane z wodą i dzielą się na budowle śródlądowe i morskie. Ich realizacja w praktyce prowadzi do powstania obiektów w sposób kontrolowany ingerujących w środowisko wodne. Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej i rosnącym zrozumieniem procesów zachodzących w naturze potrafimy coraz lepiej planować konstrukcję takich

obiektów, wykorzystując dostępną wiedzę i nowoczesne metody badawcze. Działania inwestycyjne, a także prace modernizacyjne powinny poprzedzać szczegółowa analiza istniejących i prognozowanych zmian w środowisku, wykorzystująca filary wiedzy: badania terenowe, hydrauliczne badania na modelach fizycznych i modelowanie matematyczne.

## Badania terenowe

Znajomość środowiska oraz prognoz co do prawdopodobnych zmian w obszarze, w którym planowana jest inwestycja, musi być podstawą wszelkich działań związanych z inwestycją hydrotechniczną. W pierwszej kolejności należy rozpoznać warunki hydrometeorologiczne, dynamikę ruchu wody i rumowiska, a także stan ekosystemu. W procesie planowania należy uwzględnić prognozowane zmiany klimatu mające istotny wpływ na zmiany warunków hydrologiczno-meteorologicznych, a więc ryzyko pojawienia się zjawisk ekstremalnych (np. powodzi i suszy, wzrostu częstości i intensywności sztormów). To właśnie obserwowane i prognozowane zjawiska ekstremalne decydują o parametrach technicznych budowli, co bezpośrednio przekłada się na stopień ingerencji w środowisko. Niemniej ważna jest znajomość ekosystemu – miejsca planowanej inwestycji; waloryzacja środowiska umożliwia świadomy wybór miejsca budowy, minimalizując ryzyko negatywnych skutków ingerencji technicznej.

## Hydrauliczne badania na modelach fizycznych

Ten filar wiedzy wspiera proces poszukiwania najlepszych rozwiązań technicznych dotyczących inwestycji hydrotechnicznych. Na świecie ten rodzaj badań ma długą tradycję, sięgającą XIX wieku (Niemcy, Wielka Brytania, USA), podczas gdy w Polsce zaczęto je prowadzić po II wojnie światowej, gdy Politechnika Gdańska, będąca spadkobiercą niemieckiej Wyższej Szkoły Technicznej (Danzig Technische Hochschule), rozpoczęła badania nad modelami hydraulicznymi w pierwszych latach powojennych. Nowe laboratorium hydrauliczne powstało w 1953 roku w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN (IBW PAN) w Gdańsku, na terenie Politechniki Gdańskiej. W 1970 roku IBW PAN otworzył w Gdańsku-Oliwie duże laboratorium hydrauliczne na otwartej przestrzeni, przygotowane w pierwszej kolejności do badań dużych obiektów morskich związanych z budową Portu Północnego. Do 2000 roku w tym laboratorium przeprowadzono badania dotyczące wielu inwestycji morskich (np. portów w Darłowie, Kołobrzegu, Ustce, Łebie), śródlądowych (np. stopni wodnych Włocławek i Wyszogród, cieśniny Świny, jazu regulacyjnego Chanala w Iraku)



### dr hab. inż. Małgorzata Robakiewicz

Jest hydrotechnikiem, pracuje w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN. Zajmuje się m.in. modelowaniem matematycznym warunków hydrodynamicznych w rejonach wód przejściowych i rzekach. Uczestniczy w badaniach terenowych i projektach wspierających budowę i eksploatację obiektów hydrotechnicznych.  
marob@ibwpan.gda.pl

oraz na styku morza i lądu (ujścia Wisły do Zatoki Gdańskiej). Obecnie laboratorium jest w fazie modernizacji, a powrót do badań na modelach fizycznych zaplanowano na rok 2021.

Modele hydrauliczne umożliwiają obserwację i analizę zjawisk naturalnych w sąsiedztwie budowli (np. stopnia wodnego, portu) lub jej wybranego elementu (np. jazu, śluzy, basenu portowego, budowli regulacyjnej), dzięki czemu wspomagają optymalizację projektowanego rozwiązania. Istotą badań za pomocą modeli fizycznych jest wykorzystanie makiety projektowanego obiektu do odwzorowania przepływu wody oraz ruchu rumowiska obserwowanego w sąsiedztwie budowli. Modele mogą być budowane w skali nieskażonej (wszystkie wymiary geometryczne są redukowane w tym samym stopniu) lub skażonej (wymiar pionowy jest redukowany w mniejszym stopniu niż wymiar poziomy). Przyjmowany sposób skalowania modelu zależy od możliwości technicznych laboratorium, przede wszystkim dostępności przestrzeni do jego budowy oraz ilości wody dostępnej do zasilania stanowiska badawczego, a także zagadnienia, któremu ma służyć. Ogólną zasadą jest to, by w modelu fizycznym zachować charakter ruchu występujący w naturze. We wszystkich przypadkach, w których ważną rolę odgrywa ruch rumowiska, budowane są modele z dnem ulegającym rozmyciu; w pozostałych przypadkach budowane są modele z dnem stałym.

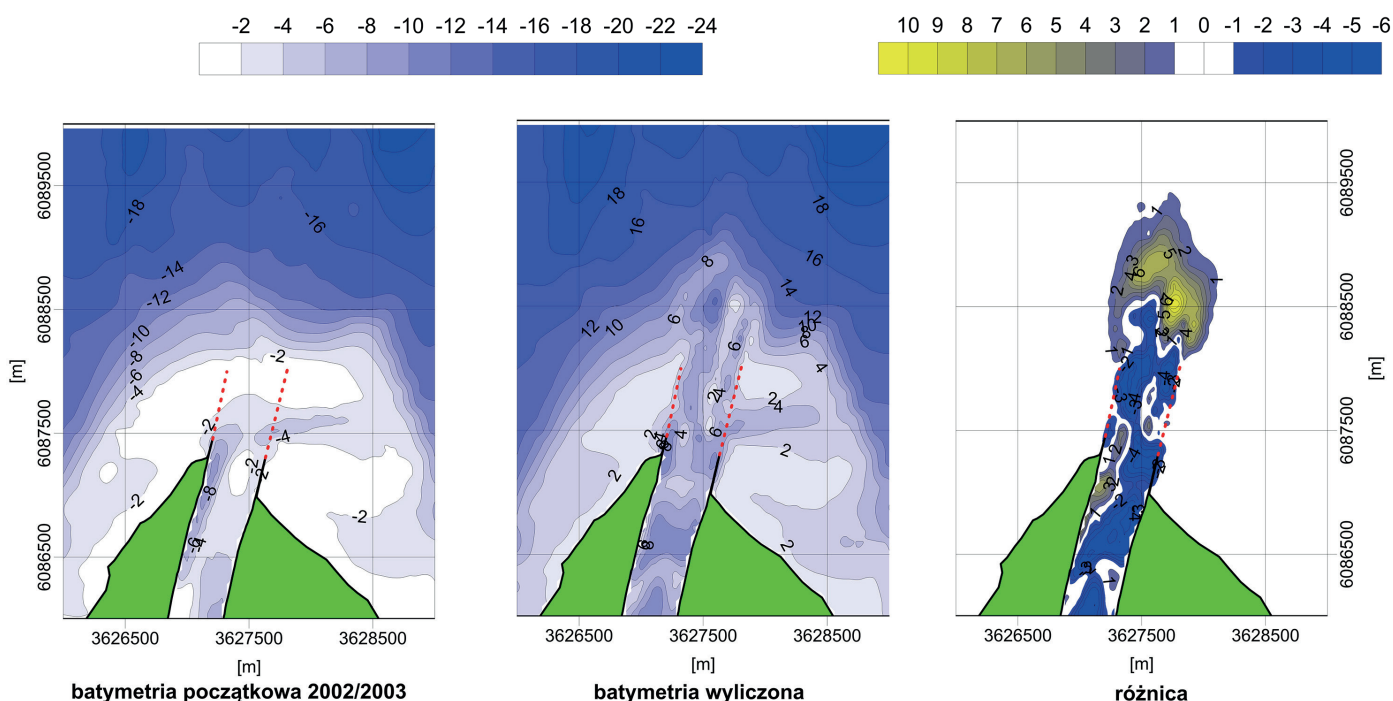
Modele fizyczne wymagają stosownego zaplecza laboratoryjnego i wykwalifikowanego personelu badawczego, co sprawia, że są to badania kosztowne. Z tego powodu w ostatnich dwóch, trzech dekadach zainte-

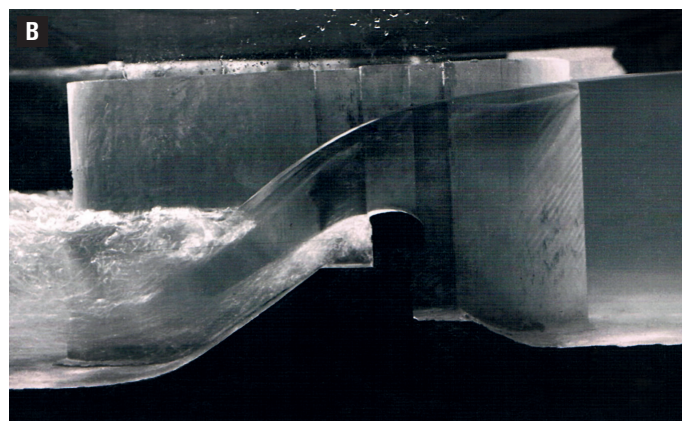
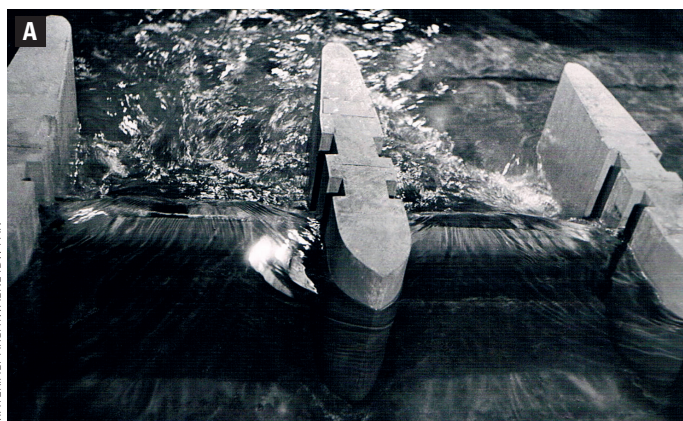
resowanie tą formą badań zmalało na korzyść prac bazujących na modelach matematycznych. Jednak modele fizyczne pozostają niezastąpione we wszystkich przypadkach, w których nie potrafimy opisać zachodzących zjawisk w sposób analityczny.

## Modelowanie matematyczne

Metoda opisu matematycznego zjawisk zachodzących w naturze umożliwia porównywanie stanu istniejącego środowiska ze zmianami, jakie mogą w nim nastąpić po zrealizowaniu planowanej inwestycji, zależnie od przyjętych rozwiązań. Modele matematyczne pozwalają na odwzorowanie i prognozowanie zjawisk na różnym poziomie szczegółowości. Modele jednowymiarowe (1D), czyli takie, w których warunki przepływu są uśredniane zarówno względem głębokości, jak i w przekroju poprzecznym rzeki, są powszechnie stosowane do oceny zmian poziomu zwierciadła wody w rzece w związku z jej zabudową obiektami hydrotechnicznymi. Modele dwuwymiarowe (2D), obecnie najczęściej wykorzystywane, pozwalają na odwzorowanie warunków przepływu i ruchu rumowiska uśrednionych względem głębokości. Z modeli trójwymiarowych (3D) należy korzystać w celu odwzorowania zjawisk złożonych, jak np. dwukierunkowy przepływ wody, tj. zjawisko cofki, występujące okresowo w ujściach rzek do morza. Modelowanie matematyczne to również narzędzie wspomagające uzupełnienie i rozszerzenie informacji pochodzącej z pomiarów terenowych oraz umożliwiające prognozowanie zmian warunków hydrodynamicznych, wynikających ze zmian klimatu.

Prognoza zmiany batymetrii ujścia Wisły na skutek wydłużenia falochronu zachodniego o 560 m i wschodniego o 760 m po roku działalności przy przepływie średnim jak w 2002 roku





Przepływ przez jaz przy całkowicie podniesionych zasuwach: A – widok w przekroju bocznym, B – widok dwóch przepel od strony wody górnej

Coraz częściej modele hydrodynamiczne są łączone z matematycznymi modelami ekologicznymi. Należy jednak pamiętać, że odwzorowanie rzeczywistych i prognozowanych zjawisk za pomocą modelowania matematycznego ma ograniczenia wynikające z niepełnej wiedzy o zależnościach między naturalnymi czynnikami występującymi w opisywanych zjawiskach. W celu określenia poziomu wiarygodności przygotowanych modeli przeprowadzana jest ich kalibracja i weryfikacja, czyli ocena zgodności uzyskanych wyników modelowania z obserwacjami w naturze przy wykorzystaniu co najmniej dwóch zbiorów danych pochodzących z różnych okresów. Gdy rezultaty obliczeń modeli nie są uwiarygodnione za pomocą pomiarów terenowych, należy traktować je jako źródło informacji o ograniczonej wartości. Warto zwrócić uwagę, że wyniki pomiarów terenowych, szczególnie realizowanych w warunkach ekstremalnych, również mogą być obciążone błędami wynikającymi m.in. z trudności technicznych podczas kampanii pomiarowej.

Można przytoczyć kilka przykładów inwestycji, których realizacja poprzedzona była szerokim spektrum badań.

Budowę stopnia wodnego Włocławek, realizowaną w latach 1962–1970, poprzedziły pomiary terenowe i hydrauliczne badania modelowe prowadzone w latach 1957–1966. Zakres badań za pomocą modeli fizycznych był bardzo szeroki i obejmował model przestrzenny stopnia z dnem stałym i ruchomym, model wycinkowy jazu, modele śluzy, grodzy i przegrodzenie wolnej części koryta. Wszystkie badania zostały zrealizowane w laboratorium IBW PAN na terenie Politechniki Gdańskiej.

Budowę Portu Północnego w Gdańsku, realizowaną w latach 1970–1975, poprzedziły prace badawcze prowadzone w latach 1968–1973. Obejmowały one m.in. analizy warunków falowo-prądowych i ruchu rumowiska w rejonie planowanej inwestycji, a także modelowanie fizyczne koncepcji układu falochronów

Portu Północnego wykonane w laboratorium IBW PAN w Gdańsku-Oliwie.

Przygotowanie koncepcji modernizacji drogi wodnej Świnoujście – Szczecin (1998–2000) obejmowało analizę kilkunastu wariantów pogłębienia i zabudowy hydrotechnicznej toru wodnego od Szczecina aż do wyjścia do Zatoki Pomorskiej. Do tego zadania opracowano trójwymiarowe modele matematyczne Zalewu Szczecińskiego wraz z Zatoką Pomorską, Zalewu Szczecińskiego i cieśniny Świny, zweryfikowane za pomocą danych pochodzących z pomiarów terenowych prowadzonych w latach wcześniejszych. Szczególną uwagę skoncentrowano na rejonie I bramy torowej, znajdującej się na połączeniu cieśniny Świny z Zalewem Szczecińskim. Dla tego fragmentu drogi wodnej przygotowano model fizyczny i matematyczny, które wykorzystano do optymalizacji kształtu tego fragmentu drogi wodnej; efekty badań znalazły swoje odzwierciedlenie w projekcie, a następnie realizacji inwestycji.

Analiza możliwości poprawy drożności ujścia Wisły przez przedłużenie kierownic, prowadzona za pomocą modelowania matematycznego w latach 2002/2003 i 2009, umożliwiła realizację pierwszego etapu pracy w 2015 roku, tj. wydłużenie kierownicy wschodniej o 200 metrów.

Kilka przykładów przedstawionych powyżej pokazuje różnorodność form badań, które w sposób skuteczny wspomogły procesy budowy lub modernizacji obiektów hydrotechnicznych w Polsce.

W związku z podpisaniem przez Polskę Europejskiego porozumienia w sprawie głównych śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym (konwencji AGN) w kolejnych latach planowanych jest wiele przedsięwzięć inwestycyjnych w gospodarce wodnej. Powinniśmy wykorzystywać wszystkie dostępne możliwości badawcze, by nowe obiekty hydrotechniczne zostały zaprojektowane i zrealizowane zgodnie ze sztuką inżynierską oraz w poszanowaniu środowiska.

Chcesz wiedzieć więcej?

Jasińska E., Majewski W., Robakiewicz W., *Szczegółowe wytyczne do zaprojektowania docelowego rozwiązania zabudowy hydrotechnicznej toru wodnego Świnoujście – Szczecin, uwzględniające całość zjawisk hydrologicznych zachodzących w ujściowym odcinku Odry w śródlądowym odcinku toru wodnego km 0,0–16,5 – Etap VIII – Podsumowanie wyników, Gdańsk 2000.*

Majewski W., Jasińska E., Kapiński J., Ostrowski R., Robakiewicz M., Szymkiewicz M., Walter A., Gańsiorowski D., Kolarski T., Skąja M., Dziegielewski A., Perfumowicz T., Piotrowska D., Massalski W., Mioduszewski K., *Ekspertyza dotycząca poprawy drożności ujścia rzeki Wisły wraz z projektem budowlano-wykonawczym zabudowy brzegu, Gdańsk 2003.*

Majewski W., *Hydrauliczne badania modelowe w inżynierii wodnej, Warszawa 2019.*

Ostrowski R., Kapiński J., Piotrowska D., Pruszek Z., Robakiewicz M., Różyński G., Schönhofer J., Skąja M., Szymkiewicz M., Szymkiewicz P., *Badania modelowe ujścia Wisły do Zatoki Gdańskiej dla potrzeb zadania pt. Przebudowa ujścia Wisły: dokumentacja projektowa, Gdańsk 2009.*