

Wybrane zastosowania w nauce i dydaktyce kanału rumowiskowo-przepływowego

Dr inż. Andrzej Wróblewski¹, dr hab. inż. Włodzimierz Chybicki², dr hab. inż. Piotr Srokosz³

¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa

²Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu, Instytut Politechniczny

³Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych

Zaawansowana technologicznie aparatura badawcza jest podstawowym elementem doświadczalnego procesu poznawczego realizowanego zarówno w zakresie badań naukowo-rozwojowych, jak i w zakresie prac dydaktycznych prowadzonych ze studentami. Przedstawiony w niniejszym artykule kanał rumowiskowo-przepływowy jest głównym elementem wyposażenia laboratorium hydrologicznego Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (rys. 1). Aparaturę zakupiono w 2010 roku ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach realizacji zadań Projektu Operacyjnego „Rozwój Polski Wschodniej”.

Kanały są wykorzystywane do transportu wody już od czasów Starożytnego Rzymu. Angielskie słowo *flume*, powszechnie stosowane w literaturze międzynarodowej, pochodzi od łacińskiego *fluere* oznaczającego „płynąć” i w dzisiejszej literaturze branżowej oznacza najczęściej nachylone koryto przeznaczone do przenoszenia wody na odległość [7] lub drogę wodną służącą statkom i barkom. Pomimo, że stosowanie metod numerycznych jest powszechne, to złożoność zjawisk towarzyszących propagacji falowania w strefie zmiennej głębokości i oddziaływanie ruchu falowego z prądami morskimi powoduje, że badania modelowe są ciągle ważnym elementem badań. Dotyczy to szczególnie sytuacji, gdy znaczącą rolę odgrywają zjawiska silnie nieliniowe lub turbulencja. Laboratoryjne kanały wodne znajdują szerokie

zastosowanie w geologii i inżynierii lądowej od ponad 100 lat, modeluje się z ich wykorzystaniem, m.in. złożone zjawiska transportu rumowiska. Pierwsze badania eksperymentalne dotyczące transportu osadów w otwartych kanałach były prowadzone przez Osborne’a Reynoldsa już w latach osiemdziesiątych XIX wieku [7], a naturę przepływu wody w kanale analizował już Leonardo da Vinci. Najwcześniejsze publikacje związane z tą tematyką ba-



Rys. 1. Widok kanału rumowiskowo-przepływowego

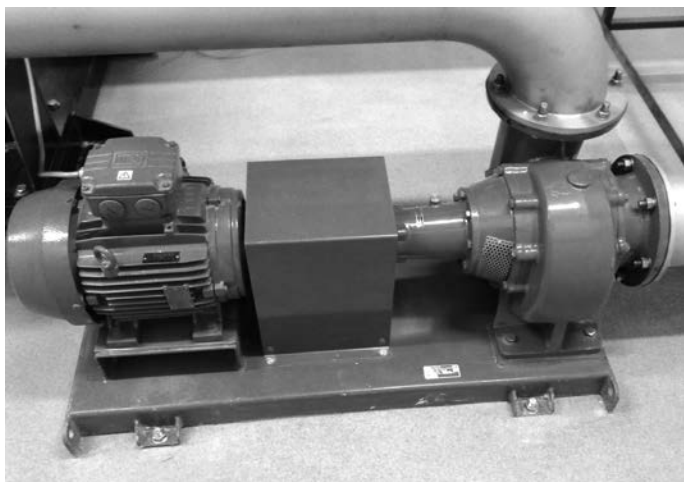
dawczą sięgają początków XX wieku (prace Grove'a Karla Gilberta, 1914 rok [2] i Alberta Schieldsa, 1935 rok [9]). Aktualnie, kanały rumowiskowo-przepływowe są stosowane, m.in. w badaniach erozji gruntu [10], zjawisk wzajemnego oddziaływania roślinności i płynącej wody [5], określania rozkładu przestrzennego metali ciężkich w osadach (w kanale o geometrii pierścienia) [3] oraz retencji pierwiastków biogennych [12]. Badania eksperymentalne w kanałach służą nawet wyjaśnianiu zjawisk kształtujących geometrię i rzeźbę powierzchni planet (np. Marsa, [6]). W prowadzonych eksperymentach wykorzystuje się nowoczesne przyrządy i techniki pomiarowe stosowane do tej pory w innych dziedzinach nauki (np. georadary do obrazowania struktury powierzchniowej dna [8], kamery CCD [11] czy LiDARy [1] do

rejestracji wizyjnej zjawisk zachodzących w przemieszczającej się wodzie). Opis zaobserwowanych zjawisk jest wspomagany rozwiązaniami analitycznymi (np. [13]).

W Polsce, aktualnie wiodącym ośrodkiem badań eksperymentalnych i analitycznych związanych z modelowaniem zjawisk hydrodynamicznych w kanale wodnym jest Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN). Pierwsze laboratorium hydrauliczne w IBW PAN (na otwartym powietrzu) uruchomiono już w 1969 roku [4]. Stworzono je w celu przeprowadzenia hydraulicznych badań modelowych na potrzeby projektowanego Portu Północnego w Gdańsku oraz przebudowy Cieśniny Świny [4]. Obecnie IBW posiada jeden z najdłuższych w kraju kanałów wodnych (60 m długości). Największy kanał w Polsce znajduje się w Centrum Techniki Okrętowej. Jest to głębokowodny basen holowniczy o wymiarach $270 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, wykorzystywany do badania oddziaływania ruchu do statków i falowania.

KANAŁ RUMOWISKOWO-PRZEPŁYWOWY (FALOWO-PRZEPŁYWOWY)

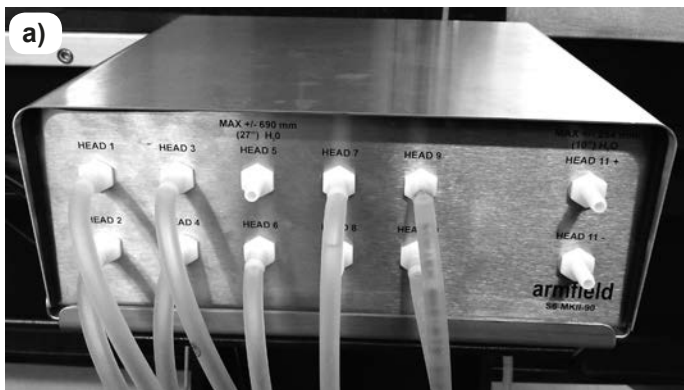
Podstawowym elementem składowym kanału będącego na wyposażeniu laboratorium hydraulicznego w Olsztynie jest: półotwarte koryto o prostokątnym przekroju ($60 \times 45 \text{ cm}$, o dłu-



Rys. 2. Pompa elektryczna



Rys. 4. Struny falowe



Rys. 3. Oprzyrządowanie kanału: system pomiaru wysokości wody (a) i przepływomierz (b)



Rys. 5. Miernik lokalnej prędkości przepływu wody



Rys. 6. Mini-echosonda ultradźwiękowa firmy General Acoustics

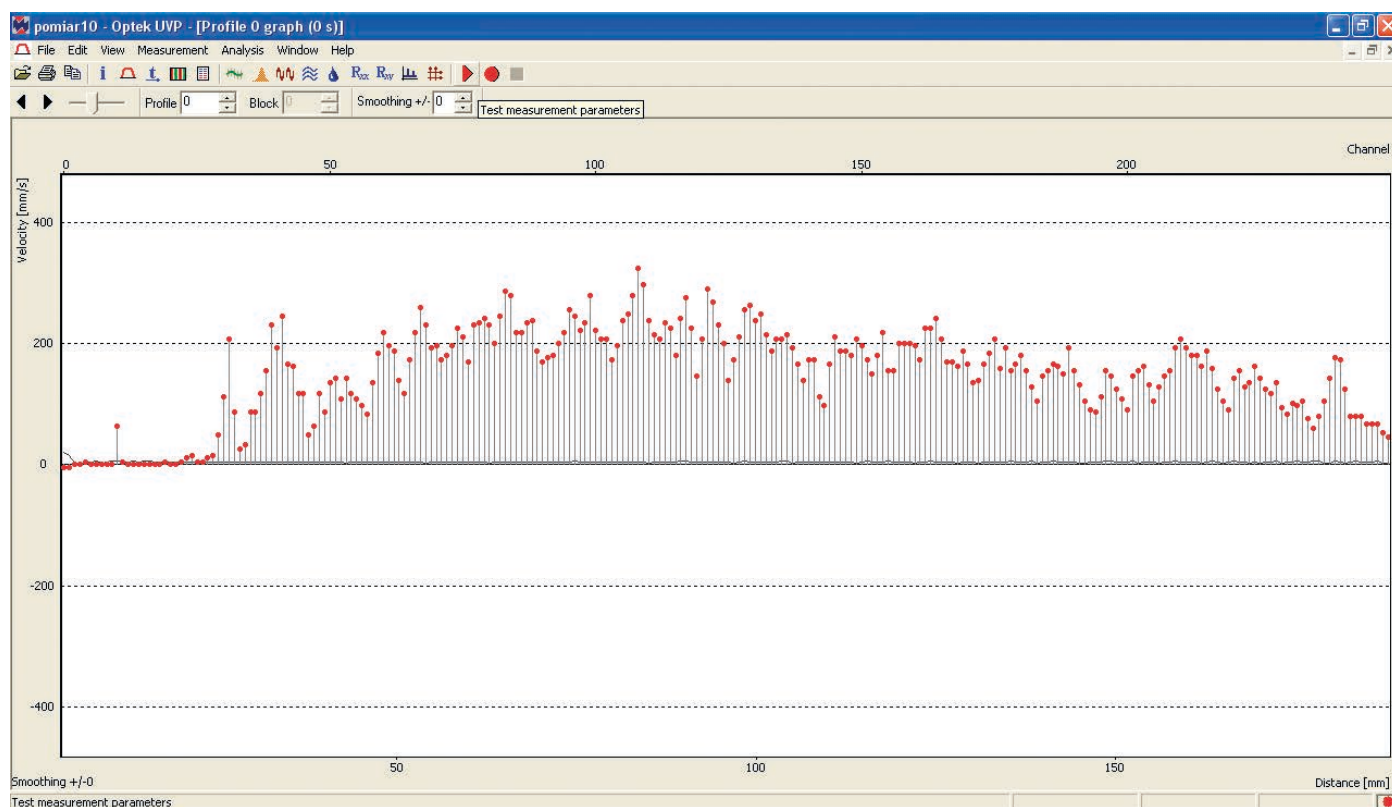
gości 12,5 m) z przezroczystymi ścianami bocznymi, system poziomowania/pochylania koryta napędzany elektrycznymi silownikami przekładniowymi z silnikiem o mocy 2,2 kW, sterowany komputerem generator falowania, sterowana elektronicznie pompa o mocy 7,5 kW (rys. 2) wymuszająca przepływ wody w kanale w obiegu zamkniętym. W skład zestawu instrumentów pomiarowych wchodzi, m.in. 10-punktowy, elektroniczny system pomiaru wysokości słupa wody w korycie (rys. 3a), przepływomierz (rys. 3b), dwie struny z rejestratorem do pomiaru kształtu i prędkości fal (rys. 4), precyzyjny miernik lokalnej prędkości przepływu wody (rys. 5) oraz mini-echosonda ultradźwiękowa (rys. 6) służąca do rejestracji przemieszczeń rumowiska w dnie koryta. W preliminarzowych badaniach zastosowano również udostępniony przez firmę General Acoustics system ultradźwiękowej rejestracji lokalnej prędkości przepływu wody.

BADANIA PRELIMINARZOWE

Laboratorium hydrauliczne w Olsztynie uruchomiono w 2012 roku w nowym budynku Wydziału Nauk Technicznych zlokalizowanym przy ulicy Heweliusza 4, który zaprojektowano przede wszystkim z myślą o zainstalowaniu w nim kanału rumowiskowo-przepływowego. W latach 2012-2013 przeprowadzono kalibrację instrumentów pomiarowych oraz wykonano wstępne badania wpływu propagacji fal na zjawiska pionowego mieszania wody. Ze względu na charakter zjawiska dokładne jego zbadanie jest bardzo trudne i wydaje się prawie niemożliwe w badaniach w naturze. Jeżeli woda w górnej warstwie oceanu posiada taką samą temperaturę i takie samo zasolenie, to stwierdzenie, czy w tej warstwie zachodzą procesy mieszania, jest niezwykle trudne. W kanale przepływowo-falowym jest to

możliwe, mierząc pole prędkości ruchu wody, np. przy pomocy laserowych instrumentów PIV. W badaniach wstępnych wykorzystano jednak uproszczoną metodę wizualizacji zachodzących procesów poprzez dodanie do gęstszej warstwy wody barwnik (rodaminę) i obserwując szybkość mieszania się wody na granicy warstw. Oczywiście tego rodzaju badanie jest badaniem bardziej jakościowym niż ilościowym, i tylko użycie metody PIV umożliwiającej na jednoczesny pomiar pola prędkości w całym badanym obszarze pozwoli określić, gdzie najsilniej występuje turbulencja i pozwoli na określenie przyczyny jej powstawania. Przeprowadzono również analizę możliwości zastosowania rejestratorów ultradźwiękowych do pomiaru prędkości rozchodzenia się fal wewnętrznych za pomocą urządzenia firmy General Acoustics Met-Flow UVP-DUO.

Wyniki uzyskane z badań preliminarzowych pozwoliły na sformułowanie programu badań zasadniczych. Między innymi będzie badany mechanizm tłumaczący sposób, w jaki ciepło przechodzi z górnych warstw oceanu w warstwy głębiej położone, zimniejsze i o większej gęstości. Ponadto proponowane badania będą poświęcone zagadnieniu, w jaki sposób falowanie powierzchniowe wpływa na transport ciepła w oceanie. Panuje ogólna zgoda, że wymiana ta jest głównie następstwem mieszania się wody o różnej temperaturze spowodowanego turbulencją. Zjawisko turbulencji jest zjawiskiem niezwykle złożonym, wiadomo jednak, że czynnikiem koniecznym do jej powstania jest wirowość pola prędkości. Wymienia się wiele czynników powodujących powstawanie turbulentnego ruchu wody w oceanie. Istotną rolę pełnią czynniki związane z ruchem falowym – turbulentny ruch wody może być spowodowany załamaniem powierzchniowych fal grawitacyjnych, falami wewnętrznymi, cyrkulacjami Langmuira czy prądem Stokesa. W przypadku turbulentnej wymiany ciepła w pionie wywołanej ruchem falo-



Rys. 7. Wykres pomiaru prędkości przepływu (Met-flow UVP-Duo firmy General Acoustics)



Rys. 8. Zajęcia dydaktyczne z kanałem rumowiskowo-przepływowym

wym zdecydowana większość prac opiera się na przyjęciu pewnych hipotez zakładających mechanizm i szybkość tworzenia się turbulencji wynikającej z ruchu wywołanego falowaniem powierzchniowym. W publikowanych pracach pomija się jednak jeden istotny fakt związany z mieszaniem się wody spowodowanym falami powierzchniowymi: jeżeli gęstość wody jest zmienna i zależy od głębokości, to pole prędkości falowania powierzchniowego, nawet jeżeli będzie rozważane tylko jego przybliżenie liniowe, jest polem wirowym. Wirowość ta jest proporcjonalna do iloczynu przemieszczeń pionowych i gradientu funkcji gęstości. Celowe zatem wydaje się zbadanie, w jaki sposób zmiana gęstości wody i falowanie powierzchniowe wpływa na wymianę ciepła w górnych warstwach oceanu.

ZASTOSOWANIE DYDAKTYCZNE

Aparatura naukowo-badawcza stanowiąca wyposażenie laboratorium hydraulicznego w Olsztynie jest wykorzystywana również w procesie dydaktycznym. W ramach przedmiotu Metody doświadczalne w hydraulice są realizowane pomiary ćwiczenia laboratoryjne, takie jak: badanie przelewu o ostrej krawędzi, przelewu o szerokiej koronie czy badanie wypływu spod zasuw.

Ćwiczenia realizowane z wykorzystaniem kanału rumowiskowo-przepływowego zawsze cieszą się ogromnym zainteresowaniem wśród studentów. Podczas trwania zajęć studenci innych roczników obserwują przeprowadzane doświadczenia z udostępnionej w tym celu części korytarza na piętrze budynku. Pracownicy modernizują programy zajęć w aspekcie szerszego wykorzystania kanału w procesie kształcenia realizowanym na kierunkach Budownictwo, Inżynieria Środowiska oraz Ochrona Środowiska.

PODSUMOWANIE

Prezentowany w niniejszym artykule kanał rumowiskowo-przepływowy jest urządzeniem nowym, które jest dopiero wdrażane do programów naukowo-badawczych oraz dydaktycznych. W planach badawczo-rozwojowych ujęto, m.in. ścisłą współpracę pomiędzy pracownikami Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz Państwowej Wyższej Szkoły

Zawodowej w Elblągu. W 2013 roku w laboratorium goszczono również naukowców z zagranicy (Turcja), którzy planują przeprowadzenie w nim badań eksperymentalnych.

Zrozumienie, w jaki sposób ciepło przenika do głębszych warstw oceanu, jest niezwykle istotne i jego znaczenie trudno przecenić. Oprócz wpływu na zmiany klimatu zjawisko mieszania wód w górnej warstwie oceanu ma także wpływ na życie biologiczne, np. wzrost temperatury w górnych warstwach oceanu zmniejsza zawartość tlenu. Dokładniejsze określenie liczby Reynoldsa dla ruchu falowego pozwoli na lepsze zrozumienie mieszania się wód oceanu i w dokładniejszy sposób opisać zjawisko rozchodzenia się zanieczyszczeń. Z tego względu i wielu innych nieopisanych wyżej powodów kontynuacja badań w kanale jest jak najbardziej potrzebna i uzasadniona.

LITERATURA

1. Blenkinsopp C. E., Turner I. L., Allis M. J., Peirson W. L., Garden L. E.: Application of LiDAR technology for measurement of time-varying free-surface profiles in a laboratory wave flume. *Coastal Engineering*, 68, 2012, 1-5.
2. Gilbert G. K.: The transportation of debris by running water. United States Geological Survey Professional Paper 86, 1914.
3. Huang J., Ge X., Wang D.: Distribution of heavy metals in the water column, suspended particulate matters and the sediment under hydrodynamic conditions using an annular flume. *Journal of Environmental Sciences*, 24(12), 2012, 2051-2059.
4. IBW PAN: <http://www.ibwpan.gda.pl/index.php/pl/history/>, (28.08.2014 r.).
5. Li Y., Wang Y., Anim D. O., Tang C., Du W., Ni L., Yu Z., Acharya K.: Flow characteristics in different densities of submerged flexible vegetation from an open-channel flume study of artificial plants. *Geomorphology*, 204, 2014, 314-324.
6. Marra W.A., Braat L., Baar A.W., Kleinhans M.G.: Valley formation by groundwater seepage, pressurized groundwater outbursts and crater-lake overflow in flume experiments with implications for Mars. *Icarus*, 232, 2014, 97-117.
7. Nowell A. R. M., Jumars P. A.: Flumes: theoretical and experimental considerations for simulation of benthic environments. *Oceanography and Marine Biology – An Annual Review*, 25, 1987, 91-112.

8. Okazaki H., Nakazato H., Kwak Y.: Application of high-frequency ground penetrating radar to the reconstruction of 3D sedimentary architecture in a flume model of a fluvial system. *Sedimentary Geology*, 293, 2013, 21-29.
9. Shields A.: Versuch. Wasserbau und Schiff, 26, 1935.
10. Strohmeier S. M., Nouwakpo S. K., Huang C.-H., Klik A.: Flume experimental evaluation of the effect of rill flow path tortuosity on rill roughness based on the Manning–Strickler equation. *CATENA*, 118, 2014, 226-233.
11. Wang C.-C., Chen P.-C., Liao C.-Y.: Application of CCD cameras as a versatile measurement tool for flume tank. *Ocean Engineering*, 42, 2012, 71-82;
12. Zaki-ul-Zaman Asam, Kaila A., Nieminen M., Sarkkola S., O'Driscoll C., O'Connor M., Sana A., Rodgers M., Xiao L.: Assessment of phosphorus retention efficiency of blanket peat buffer areas using a laboratory flume approach. *Ecological Engineering*, 49, 2012, 160-169.
13. Zhou B.-Z., Ning D.-Z., Teng B., Chen L.-F.: Analytical study of wave making in a flume with a partially reflecting end-wall. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 22(3), 2010, 402-409.

PODZIĘKOWANIE: Autorzy składają serdeczne podziękowania przedstawicielstwu firmy General Acoustics w Polsce, która udostępniła do badań preliminarzowych aparaturę pomiarową Met-Flow UVP-Duo.