

KAMIL BIŃKOWSKI, TOMASZ KUDŁA<sup>1</sup>

## PRZESTRZENNY ROZKŁAD PRĘDKOŚCI PRZEPLYWÓW W UJŚCIOWYM ODCINKU RZEKI – ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

### 1. Wprowadzenie

Pionowy rozkład prędkości przepływu stanowi jedną z cech charakterystycznych przepływu wody w korytach otwartych. Z rozkładem prędkości ściśle związany jest pojęcie tachoidy. Tachoida to obwiednia końców wektora prędkości od zwierciadła wody do dna, które są usytuowane na jednej linii pionowej w płaszczyźnie przekroju poprzecznego.

Zagadnieniem pionowego rozkładu prędkości przepływu zajmowano się już w przeszłości (Buchholz, 1989; Czetwertyński i Utrysko, 1969; Prandtl, 1956). Według prowadzonych do tej pory badań, kształt tachoidy zależy od wielu czynników, tj.: kształt geometrii przekroju poprzecznego i podłużnego, wiatr, gęstość wody. Jako pierwszy wpływ wiatru na pionowy rozkład prędkości przepływu opisał w swojej pracy prof. W. Buchholz. Praca ta przedstawiała jednak sytuację w ruchu jednostajnym (Buchholz, 1996). Brak jest natomiast określenia tachoidy w warunkach przepływu rzeczywistego.

W ramach prac wykonywanych przez Instytut Morski w Gdańsku, Oddział w Szczecinie przeprowadzono badania rozkładów prędkości przepływów w ujściowym odcinku Odry (rys. 1.). Pomiarów prowadzonych w dniu 27 sierpnia 2003 wykonano na dwóch przekrojach na Odrze Wschodniej - Regalicy (przekrój nr 1 i nr 2) i jednym na Przekopie Mieleńskim (przekrój nr 3). W dniu pomiaru odczyt stanu wody z łaty wodowskazowej w Szczecinie na Moście Długim wynosił 539 cm ( $z = 0,205$  m n.p.m. wg. Kr). Głównym celem pomiarów terenowych było określenie rozkładu prędkości przepływu wody w zadanych przekrojach.

W badanym rejonie Odra Wschodnia charakteryzuje się głębokościami rzędu  $8 \div 9$  m oraz lokalnymi zaburzeniami w morfometrii dna w postaci niewielkich przegłębień. Na Przekopie Mieleńskim głębokości te są znacznie większe i dochodzą do 12 m, a wynikają one z systematycznego pogłębiania koryta dla potrzeb żeglugi.

W wyniku pomiarów otrzymano wykresy rozkładów prędkości poziomych i pionowych przepływu, wielkości samego przepływu oraz geometrię badanych przekrojów. Uzyskano również informacje na temat kształtu tachoidy w wybranych pionach pomiarowych. Wyniki te przedstawiono w tabelach (tab. 1.) oraz na wykresach (rys. 2., rys. 3., rys. 4.).

---

<sup>1</sup> Instytut Morski w Gdańsku, Oddział Szczecin

## 2. Metodyka pomiarów

Pomiary rozkładu prędkości wykonano na wcześniej wyznaczonych przekrojach. Rozpoczęto kilka metrów od brzegu, zakładając tzw. głębokość „mierzalną” (minimalna głębokość pomiarowa od zanurzonego przetwornika). Po przepłynięciu koryta prostopadle do nurtu rzeki, wymienioną czynność powtórzono, zaczynając pomiar od drugiego brzegu. Wszystkie pomiary zarejestrowane zostały z równoczesnym zapisem współrzędnych geograficznych dla poszczególnych punktów pomiarowych.



Rys.1. Lokalizacja przekrojów pomiarowych na Regalicy i Przekopie Mieleńskim, (Mapa topograficzna Polski, skala 1:200000, 1991)

Pomiary wykonano instrumentem badawczym ADCP połączonym z nowoczesnym systemem pozycjonowania DGPS Pathfinder, zainstalowanych na łodzi pontonowej należącej do Instytutu Morskiego, Oddział w Szczecinie. Prądomierz Rio Grande Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) umożliwia jednoczesny pomiar trzech składowych prędkości przepływu wody i ich kierunku w korytach otwartych, jak i określenie samego wydatku. Zakres jego możliwości obejmuje kilka trybów pomiarowych, zależnych od szerokości i głębokości koryta w danym przekroju oraz od prędkości przepływu wody w rzece.

Aparatura ADCP rejestruje szczegółowo rozkłady prędkości i kierunki przepływu wody poprzez podział jej strumienia na paski (słupki). Rejestracja wymienionych parametrów, określanie przepływu w danym przekroju oraz pełna wizualizacja odbywa się natychmiast w trybie rzeczywistym. Szerokość określonego paska danych uwarunkowana jest czasowym przesunięciem wysyłania kolejnych wiązek fal i prędkością statku. Standardowo jest to 0,2 sekundy pomiędzy kolejnymi falami. Każda z czterech wiązek rejestruje również głębokość, która następnie jest uśredniana dla potrzeb późniejszych obliczeń wydatku (Bińkowski i Kudła, 2002).

### 3. Analiza wyników

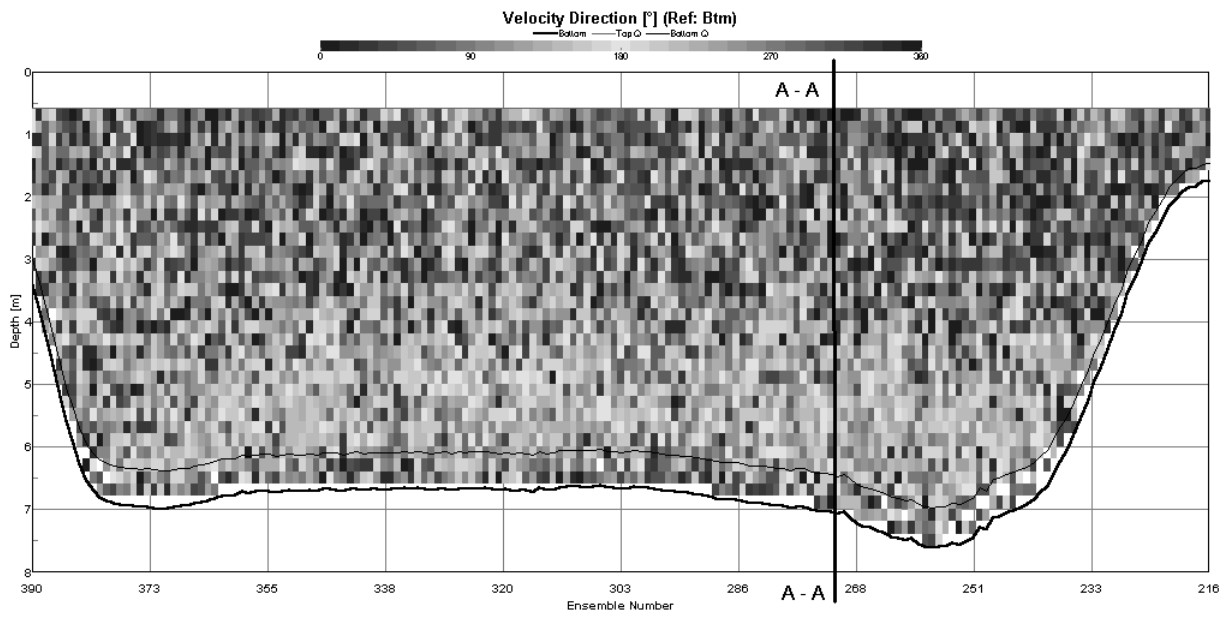
Zestawienie charakterystycznych wartości (tab.1.) zawiera dane o czasie wykonywania pomiaru na poszczególnych przekrojach, o wymiarach przekrojów (szerokość, pole), o przepływie i prędkościach średnich, o kierunku przepływu ( $0^0$  – północ,  $180^0$  – południe) i o kierunku i prędkości wiatru ( $0^0$  – wiatr południowy,  $180^0$  – wiatr północny).

Pomierzone wartości (tab.1.) wskazują, iż w badanych przekrojach wodę można uznać za stojącą, a jej nieznaczne ruchy odbywające się przy niewielkich prędkościach są wynikiem różnicy pomiędzy stanem wody na Regalicy, a stanem wody w lewym dopływie - Głębiej Wodzie oraz na Jeziorze Dąbie. Ruchy wody w badanym rejonie są również wynikiem działania wiatru. Najbardziej interesującym przekrojem pod względem uzyskanych wyników jest przekrój numer 1. W czasie pomiaru wiał dość silny wiatr z kierunku południowo – wschodniego. Odra w tym miejscu kieruje się na północ. Jak widać w tabeli, przepływ wody w badanym przekroju jest ujemny (przepływ przeciwny do biegu rzeki – rys. 2.). Spowodowane jest to wpływem Głębiej Wody, która wpada z lewej strony do Regalicy tuż poniżej przekroju. Wiatr wiejący z południa powoduje, że tylko tuż pod powierzchnią zwierciadła wody przepływ w Odrze skierowany jest na północ, a prędkości przy dnie są ujemne. Gdyby kierunek wiatru był północny lub gdyby pogoda była bezwietrzna, cały przepływ skierowany byłby na południe. Na przedstawionych poniżej wykresach (rys. 2., rys. 3.) oś pionowa przedstawia głębokości poniżej zwierciadła wody, zaś na osi poziomej widoczne są kolejne numery pionów pomiarowych oddalonych od siebie o ok. 1 m.

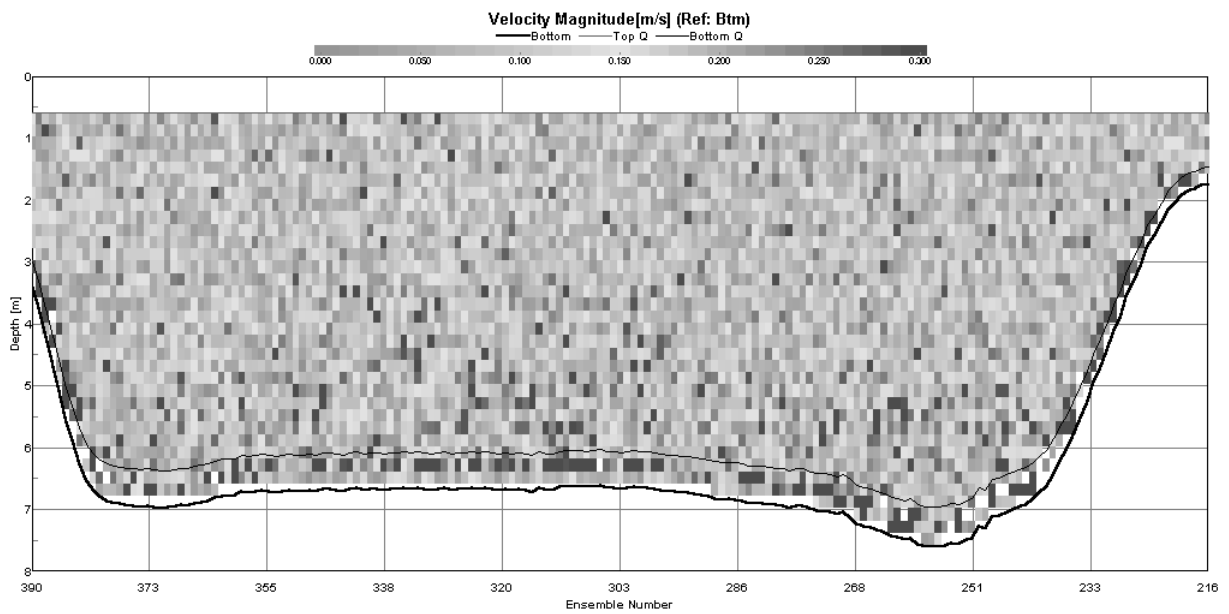
Wielkości prędkości w opisywanym przekroju są niewielkie (rys. 3.). Ciekawy kształt ma tachoida w każdym z pionów pomiarowych. Dla potrzeb artykułu wybrano i przedstawiono na wykresie pion A - A (numer 272) przekroju numer 1 (rys 4.). Jej charakter pokazuje, jak duży wpływ na prędkości przepływu w badanym rejonie ma wiatr. Mimo, iż jest to sytuacja chwilowa, widać wyraźnie, że w ujściowych odcinkach rzek kształt tachoidy nie zależy jedynie od geometrii przekroju poprzecznego i podłużnego. W pozostałych przekrojach – drugim i trzecim, pomierzonych przy niewielkim wietrze, prędkości przepływu wody również są niewielkie.

Tabela 1. Zestawienie danych i charakterystycznych wartości w przekrojach pomiarowych

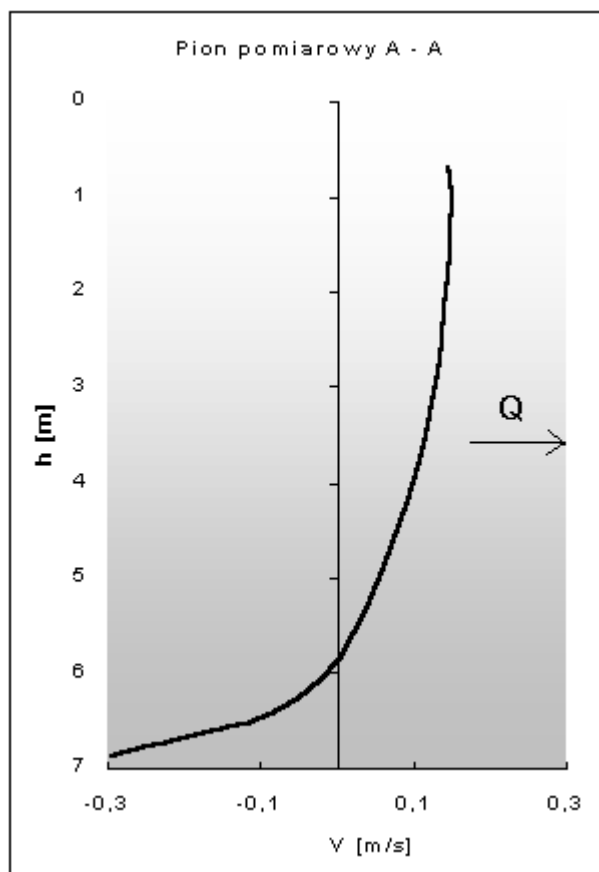
Numer przekroju	Data i godzina pomiaru	Szerokość przekroju [m]	Pole przekroju A [m <sup>2</sup> ]	Przepływ Q [m <sup>3</sup> /s]	Średnia prędkość przepływu $V_{sr}$ [m/s]	Kierunek prędkości przepływu [°]	Prędkość wiatru w [m/s]	Kierunek wiatru [°]
1	27.08.2003 11:02	170,24	1068,21	-32,12	0,030	218,84	7,4	333
2	27.08.2003 11:17	176,52	1226,60	17,49	0,014	13,56	3,7	292
3	27.08.2003 12:11	129,64	1299,55	46,53	0,036	329,03	4,4	292



Rys. 2. Kierunek prędkości przepływu wody w przekroju numer 1



Rys. 3. Wartości prędkości przepływu wody w przekroju nr 1



Rys. 4. Kształt tachoidy w pionie pomiarowym A – A (numer 272) w przekroju nr 1

## 1. Podsumowanie

Analiza wyników pomiarów przeprowadzonych w dniu 27.08.2003 roku pokazała, że duży wpływ na prędkości przepływu w ujściowych odcinkach rzek ma wiatr. Zgodnie z teoretycznymi rozważaniami, kształt tachoidy przy wietrze południowym wygląda podobnie jak na powyższym wykresie (rys. 4.). Pomiaru jednak przedstawiają tylko chwilowe prędkości, co nie do końca oddaje specyfikę przepływu w badanym rejonie.

W przyszłości należy wykonać całą serię pomiarów rozciągniętą w czasie, przy pogodzie bezwietrznej, oraz przy wietrze wiejącym z różnych kierunków i z różną siłą. Najbardziej istotne mogą okazać się pomiary przy wietrze północnym oraz południowym. Głównym celem dalszej pracy będzie opracowanie i zweryfikowanie na przykładzie dolnej Odry modelu matematycznego rozkładu prędkości przepływu wody w rzece przy uwzględnieniu wpływu wiatru, oraz analiza kształtu tachoidy w warunkach przepływu rzeczywistego przy silnym wietrze oraz przy bezwietrznej pogodzie. Na podstawie pomiarów będzie można w przyszłości przeanalizować warunki formowania się cofki wiatrowej w rejonie ujściowego odcinka rzeki na przykładzie Dolnej Odry.

## **Literatura**

- Bińkowski K., Kudła T.: Najnowsze metody pomiarów hydrodynamicznych w korytach otwartych z wykorzystaniem aparatury ADCP, XXII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Współczesne Problemy Hydrauliki Wód Śródlądowych, Lubniewice, IBW PAN Gdańsk 2002
- Buchholz W.: Tachoida Prandtla w świetle hipotezy Boussinesqa i równań ruchu, XVI Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Współczesne Problemy Hydrauliki Wód Śródlądowych, Grodno k. Międzyzdrojów, IBW PAN Gdańsk 1996
- Buchholz W.: Wpływ wiatru na przepływy w ujściach rzek, Wydawnictwo Instytutu Morskiego, Gdańsk – Słupsk – Szczecin 1989
- Czterwertyński E., Utrysko B.: Hydraulika i hydromechanika, PWN, Warszawa 1969
- Mapa topograficzna Polski, skala 1:200000, Wojskowe Zakłady Kartograficzne, Warszawa 1991
- Prandtl L.: Dynamika przepływów, PWN, Warszawa 1956

## **SPATIAL DISTRIBUTION OF FLOW VELOCITIES IN ESTUARY SECTION OF ODRA RIVER – ANALYSIS OF MEASUREMENT RESULTS**

### **Summary**

Article presents results of field measurements describing distribution of flow velocities in estuary section of Odra River. Measurement methodology and used equipment have been described. Attention has been paid to wind influence on real flow in open channel of the estuary section of the river. Further measurement and investigation plans using current results have been mentioned.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań terenowych opisujących rozkłady prędkości przepływów w ujściowym odcinku Odry. Przybliżono metodykę pomiarów i opisano sprzęt pomiarowy. Zwrócono uwagę na wpływ wiatru na rzeczywisty przepływ w korycie otwartym ujściowego odcinka rzeki. Podano dalsze plany pomiarowe i badawcze wykorzystujące dotychczasowe wyniki.