

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Wykazanie możliwości stosowania urządzeń: sondy elektromagnetycznej (FLAT Model 801), hydroakustycznej (Son Tek, MicroADV) i urządzenia ADCP, do pomiarów rozkładów prędkości w warunkach laboratoryjnych

NATALIA WALCZAK<sup>1</sup>, MATEUSZ HÄMMERLING<sup>1</sup>, TOMASZ KAŁUŻA<sup>1</sup>, IRENEUSZ LAKS<sup>2</sup>  
UNIwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Melioracji i Inżynierii  
Środowiska, <sup>1</sup>Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, <sup>2</sup>Katedra Mechaniki  
Budowli i Budownictwa Rolniczego

**Słowa kluczowe:** mierniki pomiaru prędkości, badania laboratoryjne, koryto hydrauliczne

### STRESZCZENIE

Celem badań było sprawdzenie dokładności uzyskanych wartości prędkości z wykorzystaniem laboratoryjnych i terenowych urządzeń pomiarowych. W pracy przeanalizowano wyniki uzyskane z dwóch urządzeń wykorzystywanych w badaniach terenowych. Pierwszym był przepływomierz elektromagnetyczny (FLAT Model 801), który działa na zasadzie prawa Faradaya. Jego zaletą jest brak części ruchomych, dzięki czemu pomiar nie jest obciążony błędami. Drugim przebadanym urządzeniem jest ADCP Stream Pro, który wykorzystuje występujące przy propagacji fali dźwiękowej zjawisko Dopplera, a mechanizm pomiaru polega na zmianie częstotliwości sygnału odbitego od poruszającego się obiektu. Uzyskane wyniki prędkości porównano z wynikami uzyskanymi laboratoryjną sondą hydroakustyczną (ADV), wykorzystującą zjawisko Dopplera. Sonda ADV przeznaczona jest do rejestrowania chwilowych składowych prędkości, ze stosunkowo dużą częstotliwością. Efektem pracy było wskazanie uniwersalności i ograniczeń urządzeń, które mogą jednocześnie pracować w terenie i w laboratorium.

# Demonstration of the applicability of equipment: electromagnetic probe (FLAT Model 801), hydroacoustic (Son Tek MicroADV) and ADCP device for the measurement of velocity distributions in the laboratory

**Keywords:** velocity measuring devices, laboratory research, hydraulic flume

## ABSTRACT

The aim of the research was assessing the precision of obtained velocity values with the use of laboratory and field measuring devices. The research analyses the results obtained with the use of two field measuring devices. One of them was the electromagnetic current meter (Flat Model 801), which operates on the basis of the Faraday's law. Its advantage is the lack of moveable parts, thanks to which the measurement is not encumbered with error resulting from the mechanical nature of the propeller motion. The other field measuring device used in the research was the ADPC Stream Pro, which uses the Doppler Effect present in sound wave propagation. The measurement mechanism consist in changing the frequency of the signal reflected by the moving object. The obtained with the use by of the laboratory hydroacoustic (ADV), which uses the Doppler effect. The ADV probe registers components of the velocity vectors with a relatively high frequency. The research demonstrated the universality and limitation of the field measuring devices, which can operate both in the field and in the laboratory.

## 1. WPROWADZENIE

Rozkłady prędkości są podstawową miarą opisującą charakterystykę przepływu wody w badaniach terenowych i laboratoryjnych. Posługiwanie się uśrednionymi wartościami prędkości może być obarczone pewnymi niepewnościami (błędami) wynikającymi z miejsca badań i użytego sprzętu [1]. W literaturze można znaleźć różne klasyfikacje [2] metod pomiarów rozkładów prędkości. Rozróżnia się generalnie dwie grupy metod pomiarowych: jednoparametrowe (bezpośrednie) i wieloparametrowe (pośrednie) oparte na różnej liczbie zmiennych. Powoli odchodzi się od tego rodzaju klasyfikacji, ponieważ obecnie uznaje się go za przestarzały. Coraz częściej stosuje się podział metod na bezpośrednie i pośrednie w oparciu o rodzaj zmiennych, a nie o ich liczbę.

Klasyfikacja amerykańska [3] przyjmuje inny podział metod pomiaru objętości przepływu niż klasyfikacja polska opisana powyżej. Za metody bezpośrednie uznaje się te, w których stosuje się urządzenia, mierzące zmienne mające fizyczny związek z wielkością przepływu (np. prędkość wody, pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta). Według klasyfikacji USGS do metod bezpośrednich pomiaru objętości przepływu wody zalicza się:

- metodę wolumetryczną,
- metody pomiarowe z wykorzystaniem młynka hydrometrycznego,
- metody ADCP.

Pomiar objętości przepływu za pomocą metody wolumetrycznej, zwanej także metodą naczynia podstawionego, to najprostszy i najłatwiejszy do wykonania pomiar objętości przepływu. Pomiaru dokonuje się dla odcinków cieków o małym przepływie, czy też wypływów wód podziemnych (wypływy descensyjne i ascensyjne), w których przepływ ma charakter zwartej strugi umożliwiającej przechwycenie całej wypływającej w określonym czasie wody np. do podstawionego naczynia [2]. Pozostałe metody zaliczane są do metod pośrednich, stosowanych w sytuacjach, kiedy wykorzystanie metod bezpośrednich jest niemożliwe.

W pracy przedstawiono przegląd aktualnie stosowanych urządzeń służących do pomiaru prędkości przepływu w warunkach laboratoryjnych i w terenie. Celem badań było wykazanie, na podstawie przeprowadzonych pomiarów laboratoryjnych, możliwości i ograniczeń stosowania testowanych urządzeń. Oceniono wyniki pomiarów rozkładów prędkości w korycie o różnej szorstkości dna, które mogą jednocześnie pracować w terenie i w laboratorium.

## 2. URZĄDZENIA STOSOWANE DO POMIARU PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU

Najbardziej klasyczną metodą pomiaru prędkości przepływu jest pomiar przeprowadzany przy wykorzystaniu młynka hydrometrycznego (Rys. 1). Stosowanie tej metody jest powszechne przy punktowych pomiarach wartości prędkości prze-

ptywu. W ciągu dziesięcioleci nie nastąpiły znaczące zmiany w konstrukcji mechanicznej młynków, a jedynie w mechanizmie zliczania obrotów i rejestracji wyników. Na podstawie pomiaru czasu i liczby sygnałów oraz wykorzystując stałe zapisane w metryce urządzenia, punktową prędkość przepływu wody wyznaczano empirycznie. Wszystkie niezbędne dane (współczynniki i wzory) zawiera metryka młynka [4]. Obecnie najczęściej stosuje się rejestratory elektroniczne, które automatycznie przeliczają czas jednego pełnego obrotu skrzydełek młynka na wartość prędkości przepływu. Dla młynków nowego typu nie stosuje się żadnych wzorów obliczeniowych, ponieważ wartość prędkości można odczytać bezpośrednio z wyświetlacza rejestratora cyfrowego.



**Rysunek 1** Przepływomierz elektromagnetyczny  
**Figure 1** Flowmeter

Wykonanie pomiaru przy wykorzystaniu młynka (Rys. 1) polega na umieszczeniu skrzydełka młynka na osi poziomej i ustawienia skrzydełek młynka pod prąd wody. Młynki mogą być umocowane do sondy ręcznej (rurki) lub zawieszane na linie obciążonej ciężarkami. Pierwszy sposób stosowany jest praktycznie dla głębokości do 2 m i prędkości wody do 1,5 m/s. Wykonanie w ten sposób poprawnego pomiaru dla większych głębokości lub prędkości jest w praktyce bardzo trudne lub niemożliwe. Dlatego też dla dużych głębokości lub prędkości wody, na przykład w czasie wezbrań, pomiary wykonuje się z obiektów takich jak np. mosty.

Nowocześniejszym urządzeniem do pomiaru prędkości przepływu wody jest sonda elektromagnetyczna (Rys. 2). Przyrząd ten wykorzystuje prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya; to znaczy, że przepływająca wokół głowicy woda indukuje w niej prąd o wartości proporcjonalnej do prędkości poruszającej się wody. Wynik wraz z miarami statystycznymi wyświetlany jest na ekranie przyrządu, zgodnie z zadanymi warunkami wstępnymi pomiaru.

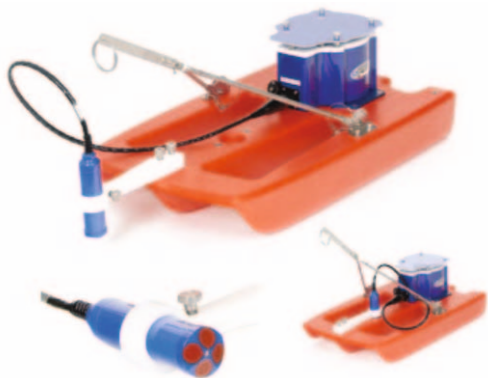
Przyrządy te charakteryzują się przede wszystkim brakiem jakichkolwiek części ruchomych, a więc pomiar nie jest obciążony błędami związanymi z mechaniczną naturą ruchu śmigielka hydrometrycznego, w tym również z jego bezwładnością. Przyrządy tego typu znajdują zastosowanie w pomiarach przepływu w płytkich ciekach, a również w ciekach zarastających [5]. Ciekawą właściwością tego typu przyrządów jest możliwość wykrywania i mierzenia przepływu o odwrotnym kierunku. Stała czasowa przyrządu jest bardzo mała, a próg zadziałania jest mniejszy niż młynka hydrometrycznego. Przykładowo urządzenie FLAT Model 801 pozwala wykonać pomiary w przedziale prędkości od - 5 m/s do + 5 m/s z dokładnością  $\pm 0,5\%$ . Pomiar może być przeprowadzony dla różnych czasów uśredniania wyników, od których zależy dokładność uzyskanych wartości prędkości przepływu.



**Rysunek 2** Sonda elektromagnetyczna (FLAT Model 801)  
**Figure 2** Electromagnetic Flow Meter

Do pomiarów rozkładów prędkości stosuje się również urządzenia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Metoda ADCP jest metodą wykorzystującą występujące przy propagacji fali dźwiękowej zjawisko Dopplera, polegające na zmianie częstotliwości sygnału odbitego od poruszającego się obiektu. Przyrząd wykorzystujący tę metodę składa się z głowicy pomiarowej z przetwornikami nadającymi i odbierającymi impulsy fal akustycznych oraz komputera, w którym dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu wykonywane są obliczenia i wizualizacja pomiaru [6].

Jednym z grupy urządzeń ADCP jest StreamPro (Rys. 3) – miniaturowy, akustyczny, dopplerowski prądomierz profilujący. Urządzenie posiada głowicę pomiarową, która nadaje i odbiera impulsy



Rysunek 3 Urządzenie StreamPro [7]

Figure 3 StreamPro device [7]

fal akustycznych o częstotliwości 1200 kHz. Rozchodząc się w wodzie fale natrafiają na zawiesziny, ulegają odbiciu i powodują powstanie echa fali, które powraca do głowicy. Pomiar wykonuje się poprzez powolne przemieszczanie urządzenia wzdłuż wyznaczonego profilu z jednego brzegu na drugi. W trakcie pomiaru na bieżąco podawane są wartości prędkości przepływu, głębokości, a także sumaryczna wielkość przepływu. Stream Pro umożliwia wykonanie pomiarów do głębokości 6 m, w komórkach od 2 cm do 20 cm, z rozdzielczością 0,1 cm/sec.

Urządzenie typu ADV służy do wyznaczenia natężenia przepływu w kanałach otwartych oraz naturalnych korytach rzecznych metodą jedno- lub wielopunktowego pomiaru prędkości. Ze względu na zastosowaną technikę pomiaru, zaliczane jest do grupy najdokładniejszych urządzeń pomiarowych. Urządzenie ADV pozwala wykonać pomiar z dokładnością  $\pm 1\%$  odczytu lub  $\pm 0,25$  cm/s. Przykładem tego typu urządzenia jest FlowTracker, który umożliwia pomiar prędkości już przy głębokości 2 cm. Urządzenie FlowTracker zaliczane jest do urządzeń bistatycznych typu ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Poza punktowym pomiarem prędkości umożliwia określenie prędkości średniej w poszczególnych pionach hydrometrycznych. Przetwornik posiada zaimplementowane jedno- i wielopunktowe metody obliczeniowe. Na ich podstawie obliczane są prędkości średnie oraz natężenie przepływu w przekroju pomiarowym, a także błędy pomiarowe. Równolegle do pomiaru prędkości oraz przepływu, urządzenie wyznacza przekrój poprzeczny koryta na podstawie wprowadzanych współrzędnych dla poszczególnych pionów hydrometrycznych. W zależności od typu zastosowanej sondy, możliwy jest pomiar dwóch lub trzech składowych prędkości (2D lub 3D)

względem układu współrzędnych XY lub XYZ [8]. Programowanie urządzenia odbywa się z poziomu rejestratora z wbudowanym wyświetlaczem. Wewnętrzna pamięć umożliwia zarejestrowanie do 150 tys. wyników jednostkowych prędkości.



Rysunek 4 Urządzenie ADV

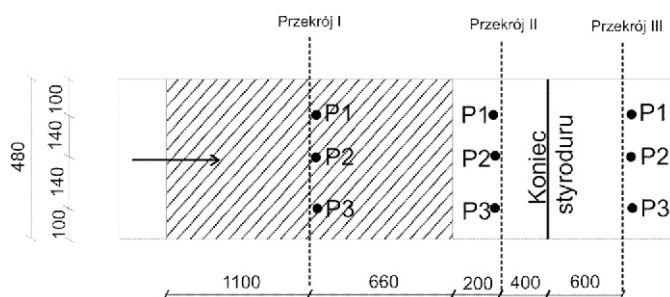
Figure 4 ADV device

### 3. BADANIA MODELOWE

W celu sprawdzenia przydatności różnych dostępnych na rynku urządzeń do wyznaczenia prędkości przepływu w warunkach laboratoryjnych, przeprowadzono szereg testów pomiarowych. W badaniach wykorzystano dostępne w Katedrze Inżynierii Wodnej i Sanitarnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu urządzenia: sondę elektromagnetyczną Valeporta (FLAT Model 801), hydroakustyczną (Son Tek, MicroADV) i urządzenie ADCP. Badania przeprowadzono na modelu fizycznym w laboratorium wodnym Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej. Model stanowiło oszklone koryto hydrauliczne o przekroju prostokątnym, szerokości 0,48 m i długości 10,0 m. Badania przeprowadzono w trzech przekrojach pomiarowych, w których mierzono prędkości w 3 pionach hydrometrycznych (Rys. 5), gdzie nie zaobserwowano wpływu odcinka wlotowego i wylotowego na wyniki pomiarów. Każdy z przekroi znajdował się na obszarze o różnej szorstkości dna. Pierwszy przekrój znajdował się w środku strefy występowania makrochropowatości w odległości 1,1 m od początku obszaru o zwiększonej szorstkości – nierówności o wysokości 0,05 m. Drugi przekrój umieszczono w odległości 0,4 m od końca obszaru o mikrochropowatości – szorstkości modelowanej za pomocą płyt styroduru. Ostatni przekrój zlokalizowano w odległości 0,6 m od końca odcinka wyłożonego styrodurem, gdzie dno stanowiła ocynkowana blacha. Wszystkie doświadczenia wykonano przy natężeniu przepływu równym  $0,048 \text{ m}^3/\text{s}$ , a średnia wartość liczby Reynoldsa wynosiła 23000 co odpowiada ruchowi burzliwemu. Piony 1 i 3 umieszczono 0,1 m

od ścian modelu fizycznego w celu uniknięcia znacznego wpływu ścian bocznych na wartości prędkości, pion 2 umieszczono w środku modelu. W Tabeli 1 zestawiono wartości prędkości średnich zmierzonych sondą elektromagnetyczną (FLAT Model 801), hydroakustyczną (ADV) i urządzeniem ADCP dla wszystkich pionów w przekroju I.

Na Rysunku 6 przedstawiono wykresy prędkości średnich uzyskanych za pomocą trzech róż-



**Rysunek 5.** Schemat rozmieszczenia pionów pomiarowych  
**Figure 5** Distribution scheme of the vertical measurements

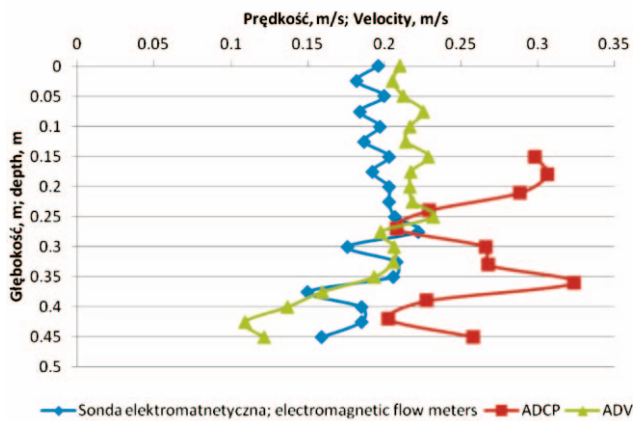
nych urządzeń w środkowej części koryta hydraulicznego, pomierzonych na obszarze o zwiększonej chropowatości dna. Wszystkie wykresy na głębokości od 0,2 m do 0,45 m (dno) charakteryzują się dużą zmiennością wartości prędkości w zakresie od 0,1 m/s do 0,33 m/s. Fluktuacje powstające przy dnie wynikają z nierówności podłoża, co powodowało zwiększoną turbulencję warstwy przydennej. Ze względu na ograniczenia występujące w budowie urządzenia ADCP, pomiary prędkości wykonane nim obejmują nieznaczną głębokość (od 0,45 m do 0,15 m). Większą zgodność wartości prędkości zaobserwowano w przypadku pomiarów za pomocą sondy elektromagnetycznej i urządzenia ADV. Średnia prędkość dla przekroju I – pionu 2 dla sondy elektromagnetycznej wynosiła 0,193 m/s, a dla urządzenia ADV 0,196 m/s. Współczynnik korelacji wynosi 0,554. Urządzenie ADCP dla tego samego pionu dawało większy rozrzut wartości prędkości, a jej średnia wartość wynosiła 0,265 m/s.

**Tabela 1** Zestawienie prędkości średnich w przekroju I  
**Table 1** Summary of average speeds in section I

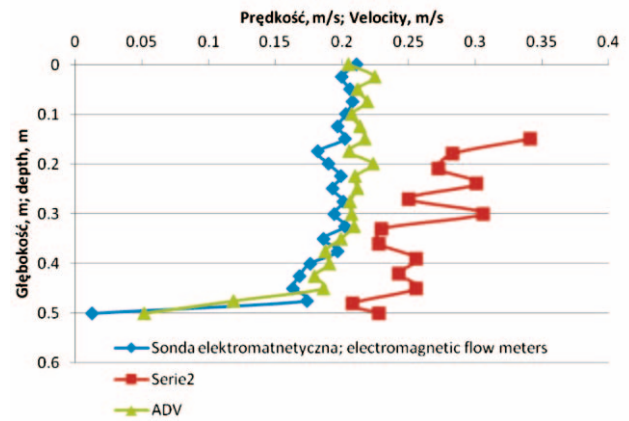
Głębokość Depth	Pion 1 Vertical 1		Pion 2 Vertical 2			Pion 3 Vertical 3	
	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	ADCP	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV
m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0,000	0,208	0,211	0,196	0,210		0,190	0,217
0,025	0,190	0,196	0,182	0,205		0,194	0,219
0,050	0,197	0,203	0,200	0,212		0,206	0,227
0,075	0,199	0,209	0,184	0,225		0,222	0,222
0,100	0,199	0,207	0,197	0,217		0,205	0,214
0,125	0,200	0,195	0,187	0,214		0,196	0,218
0,150	0,195	0,198	0,203	0,229	0,298	0,206	0,211
0,175	0,201	0,198	0,192	0,217	0,306	0,206	0,218
0,200	0,212	0,185	0,203	0,216	0,297	0,207	0,218
0,225	0,200	0,181	0,203	0,218	0,288	0,208	0,218
0,250	0,211	0,191	0,207	0,232	0,229	0,205	0,237
0,275	0,194	0,187	0,222	0,198	0,208	0,214	0,212
0,300	0,187	0,189	0,176	0,207	0,266	0,207	0,206
0,325	0,178	0,191	0,208	0,206	0,268	0,178	0,175
0,350	0,170	0,191	0,206	0,194	0,324	0,221	0,182
0,375	0,198	0,175	0,170	0,160	0,268	0,192	0,172
0,400	0,172	0,136	0,185	0,137	0,228	0,186	0,149
0,425	0,157	0,165	0,185	0,109	0,202	0,190	0,120
0,450	0,159	0,170	0,159	0,122	0,258	0,151	0,143

Rysunek 7 przedstawia wykresy prędkości średnich uzyskanych dla przekroju II w pionie 2.

W modelu na tym odcinku dna zamocowano styrodur, materiał o nieznacznej chropowatości.



**Rysunek 6** Rozkłady prędkości średnich w przekroju I dla pionu 2  
**Figure 6** Mean velocity distribution in section I for the vertical 2



**Rysunek 7** Rozkłady prędkości średnich w przekroju II dla pionu 2  
**Figure 7** Mean velocity distribution in section II for the vertical 2

**Tabela 2** Zestawienie prędkości średnich w przekroju II  
**Table 2** Summary of average speeds in section II

Głębokość Depth	Pion 1 Vertical 1		Pion 2 Vertical 2			Pion 3 Vertical 3	
	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	ADCP	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV
m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0,000	0,206	0,186	0,211	0,196		0,234	0,205
0,025	0,213	0,210	0,200	0,205		0,201	0,224
0,050	0,190	0,214	0,206	0,191		0,188	0,211
0,075	0,204	0,214	0,208	0,193		0,188	0,219
0,100	0,222	0,212	0,203	0,184		0,188	0,207
0,125	0,193	0,214	0,197	0,210		0,193	0,214
0,150	0,192	0,201	0,202	0,173	0,341	0,178	0,217
0,175	0,188	0,227	0,182	0,187	0,283	0,194	0,205
0,200	0,207	0,204	0,190	0,197	0,272	0,183	0,223
0,225	0,200	0,177	0,199	0,184	0,281	0,202	0,210
0,250	0,200	0,198	0,193	0,209	0,301	0,205	0,211
0,275	0,207	0,215	0,201	0,187	0,250	0,200	0,206
0,300	0,199	0,183	0,194	0,173	0,306	0,195	0,207
0,325	0,179	0,192	0,202	0,173	0,230	0,200	0,209
0,350	0,205	0,189	0,186	0,165	0,228	0,180	0,199
0,375	0,184	0,144	0,197	0,181	0,243	0,192	0,187
0,400	0,195	0,147	0,176	0,154	0,256	0,169	0,191
0,425	0,163	0,120	0,168	0,115	0,243	0,188	0,180
0,450	0,158	0,092	0,163	0,109	0,256	0,145	0,186
0,475	0,144	0,104	0,174	0,088	0,208	0,130	0,119
0,500	0,131	0,002	0,012	0,047	0,228	0,121	0,051

Średnia prędkość dla przekroju II – pionu 2 dla sondy elektromagnetycznej wynosiła 0,184 m/s, a dla urządzenia ADV 0,168 m/s. Prędkości uzyskane sondą elektromagnetyczną i ADV charakteryzują się wysokim współczynnikiem korelacji równym 0,803. Natomiast wartości prędkości uzyskane ADCP ( $v = 0,262$  m/s) są o 42% większe w stosunku do innych pomiarów (Tab. 2). Podobnie jak w przekroju I również tu rozkład prędkości charakteryzuje się dużym rozrzutem wartości na różnych głębokościach.

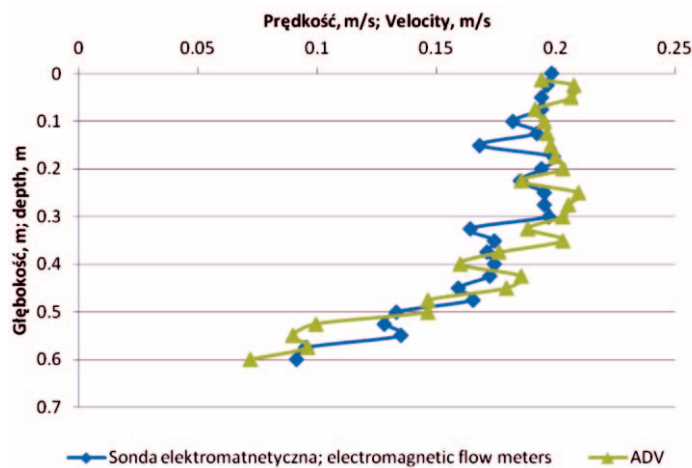
Najlepiej dopasowane rozkłady prędkości uzyskano w przekroju III (Tab. 3). Na rysunku 8 przedsta-

wiono rozkłady prędkości opisujące pion 2. Średnia prędkość dla przekroju III – pionu 2 dla sondy elektromagnetycznej wynosiła 0,170 m/s a dla urządzenia ADV 0,173 m/s. Prędkości uzyskane sondą elektromagnetyczną i ADV charakteryzują się wysokim współczynnikiem korelacji równym 0,919. Ze względu na rodzaj materiału dna koryta hydraulicznego w tym wariancie nie udało się przeprowadzić badania rozkładu prędkości z wykorzystaniem StreamPro. Można przypuszczać, że fala akustyczna wysyłana przez urządzenie rozpraszała się, a dno zbudowane z blachy nie pozwalało wykonać poprawnego pomiaru.

**Tabela 3** Zestawienie prędkości średnich w przekroju III

**Table 3** Summary of average speeds in section III

Głębokość Depth	Pion 1 Vertical 1		Pion 2 Vertical 2		Pion 3 Vertical 3	
	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV	Sonda elektrom. Electromagnetic flow meters	ADV
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0,000	0,194	0,202	0,198	0,194	0,184	0,191
0,025	0,183	0,176	0,196	0,208	0,182	0,204
0,050	0,194	0,185	0,194	0,206	0,190	0,198
0,075	0,183	0,200	0,194	0,191	0,178	0,204
0,100	0,209	0,206	0,182	0,195	0,180	0,202
0,125	0,198	0,220	0,192	0,196	0,187	0,190
0,150	0,209	0,201	0,168	0,198	0,178	0,193
0,175	0,198	0,196	0,199	0,200	0,194	0,196
0,200	0,189	0,195	0,194	0,203	0,178	0,170
0,225	0,186	0,197	0,185	0,185	0,184	0,172
0,250	0,182	0,170	0,195	0,209	0,181	0,193
0,275	0,197	0,190	0,195	0,205	0,182	0,172
0,300	0,200	0,171	0,197	0,203	0,159	0,190
0,325	0,196	0,159	0,164	0,188	0,159	0,181
0,350	0,184	0,167	0,174	0,203	0,173	0,180
0,375	0,172	0,142	0,171	0,176	0,173	0,154
0,400	0,168	0,147	0,174	0,160	0,175	0,183
0,425	0,190	0,116	0,172	0,185	0,156	0,153
0,450	0,182	0,156	0,159	0,179	0,167	0,140
0,475	0,181	0,099	0,165	0,146	0,157	0,134
0,500	0,160	0,125	0,133	0,146	0,148	0,139
0,525	0,154	0,056	0,128	0,099	0,111	0,136
0,550	0,140	0,086	0,135	0,089	0,131	0,099
0,575	0,114	0,076	0,095	0,096	0,102	0,060
0,600	0,112	0,063	0,091	0,072	0,062	0,076



**Rysunek 8** Rozkłady prędkości średnich w przekroju III dla pionu 2

**Figure 8** Mean velocity distribution in section III for the vertical 2

#### 4. WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań rozkładów prędkości przeprowadzonych w korycie hydraulicznym, laboratorium wodnego Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z zastosowaniem różnej aparatury pomiarowej pozwoliły na określenie możliwości wykorzystania testowanych urządzeń w badaniach laboratoryjnych.

Specyfika techniki pomiarowej poszczególnych urządzeń predysponuje je albo do badań tere-

nowych, albo laboratoryjnych. Zastosowane urządzenie ADV mimo największej uniwersalności (duży zakres pomiarowy, dokładność, pomiar trzech składowych prędkości) jest urządzeniem dedykowanym do warunków laboratoryjnych (gabaryty, konieczność uruchomienia i rejestracji pomiarów na komputerze). Urządzenie ADCP stosowane z powodzeniem w terenowych pomiarach hydrometrycznych, w badaniach laboratoryjnych ma ograniczone zastosowanie, wynikające z budowy, wielkości, metodyki pomiarów oraz konstrukcji koryt badawczych. Pewną wszechstronnością możliwości badań charakteryzuje się natomiast młynek elektromagnetyczny, który z jednej strony gwarantuje uzyskanie podobnej charakterystyki rozkładów prędkości co urządzenie ADV, a z drugiej strony pozwala na łatwe i proste wykonanie pomiarów terenowych. Stosowanie elektromagnetycznych młynków hydrometrycznych oraz urządzenia ADV w badaniach laboratoryjnych jest uzasadnione, a otrzymywane wartości prędkości są zbliżone do siebie. We wszystkich pionach hydrometrycznych w przekrojach I, II i III wykresy prędkości przyjmują podobny charakter. Uzyskane wartości średnich prędkości w poszczególnych pionach mieściły się w zakresie błędów pomiarowych testowanych urządzeń.

Praca sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST10/06959.

#### LITERATURA

- [1] Kałuża T., Zawadzki P., Flow capacity coefficient of strainers. *Experimental and Computational Solutions of Hydraulic Problems*. Rowiński Paweł (Ed.), GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, Springer, 2013, 159-170.
- [2] Więzik B., Bardzik A., Ćwiczenia terenowe z hydrologii, Kraków, Politechnika Krakowska, 1993.
- [3] (USGS, 2006) USGS Science for a changing world – tłumaczenie IMGW, Cykl Hydrologiczny (The water cycle), in Polish, 2009 <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html> 10.09.2013.
- [4] Walczak N., Walczak Z., Hämmerling M., Przedwojski B., Analytical Model for Vertical Velocity Distribution and Hydraulic Roughness at the Flow Through River Bed and Valley with Vegetation, *ROŚ*, 2013, tom 15, 405-419.
- [5] Tymiński T., Kałuża T., Investigation of Mechanical Properties and Flow Resistance of Flexible Riverbank Vegetation, *Pol. J. Environ. Stud.*, 2012, Vol. 21, No. 1, 201-207.
- [6] Laks I., Kałuża T., Sojka M., Walczak Z., Wróżyński R., Problems with Modelling Water Distribution in Open Channels with Hydraulic Engineering Structures, *ROŚ*, 2013, tom 15, 245-257.
- [7] [www.rdinstruments.com](http://www.rdinstruments.com)
- [8] Bajkowski S., Współczesne Techniki Pomiarowe Laboratoriów Wodnych, *liETW*, Nr 8/2/2010, 37-50.