

**Leszek HEJDUK**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS

### **Zastosowanie metody ADCP do pomiarów przepływu w małej rzece**

### **Application of ADCP for discharge measurement in small river**

**Słowa kluczowe:** akustyczny dopplerowski prądomierz profilograf, pomiar przepływu  
**Key words:** Acoustic Doppler Current Profiler, discharge measurement

#### **Wprowadzenie**

Istnieje wiele metod umożliwiających wykonanie pomiaru natężenia przepływu. Ogólnie metody te można podzielić na metody bezpośrednie i pośrednie (Byczkowski 1999). Do metod bezpośrednich można zaliczyć metody objętościowe, hydrauliczne i rozcieńczenia wskaźnika, natomiast do metod pośrednich wszystkie metody, które wymagają pomiaru elementów, od których uzależniony jest przepływ (najczęściej są to prędkości przepływu i powierzchnia przekroju poprzecznego). Byczkowski (1999) dodatkowo jako oddzielną metodę pomiaru przepływu opisuje metody integracyjne, polegające na jednoczesnym pomiarze powierzchni przekroju i prędkości przepływu. Powiązanymi

z zagadnieniem określania przepływu w rzekach, w szczególności przy zastosowaniu metod pośrednich, są urządzenia i przyrządy wykorzystywane do pomiaru prędkości przepływu. Najbardziej rozpowszechnionym przyrządem jest młynek hydrometryczny, pozwalający na punktowy pomiar natężenia przepływu. Obecnie oprócz młynków mechanicznych wykorzystywane są również ultradźwiękowe mierniki prędkości. Zarówno przy zastosowaniu tradycyjnego młynka mechanicznego, jak i przyrządów ultradźwiękowych niezbędne jest wykonanie wielu pomiarów w przekroju pomiarowym w celu uzyskania danych do obliczenia całkowitego przepływu przez przekrój. Wiąże się to często z koniecznością wykonania pomiaru, stojąc w ciek, co w przypadku wezbrań może być kłopotliwe i niebezpieczne. Wraz z rozwojem elektroniki pojawiły się metody pomiarowe, za pomocą których możliwy jest pomiar przepływu bez uciążliwego i czasochłonnego pomiaru punktowego. Taką metodą jest metoda

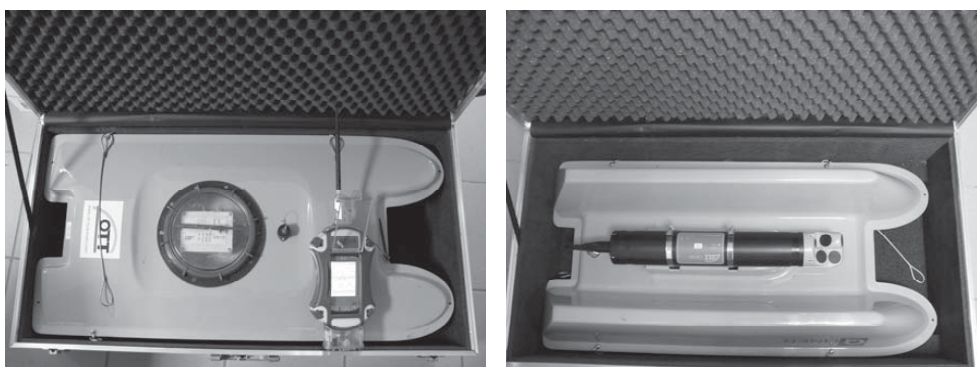
pomiarowa, wykorzystująca zjawisko Dopplera do pomiaru prędkości wody w rzekach, nazywana w skrócie ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), najczęściej tłumaczona na język polski jako akustyczny dopplerowski prądomierz profilograf (Maciążek 2005). Metoda ADCP wykorzystywana jest do pomiarów prędkości przepływu, co z równoczesnym pomiarem pola przekroju poprzecznego pozwala na obliczenie przepływu.

### **Pomiar przepływu przy zastosowaniu systemu Qliner**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW od początku 2008 roku wykonuje pomiary przepływu w rzekach przy zastosowaniu systemu Qliner. Na system Qliner składa się wiele elementów, umożliwiających pomiar przepływu, to jest: sonda ADCP – przetwornik o nazwie Aquadopp firmy Nortek AS, łódka, na której zamontowana jest to sonda, komputer polowy z systemem Bluetooth oraz oprogramowaniem, sprzęt dodatkowy (linki, ładowarki,

skrzynia transportowa itp.). Poszczególne elementy systemu przedstawione są na rysunku 1.

Pomiar przepływu przy użyciu systemu Qliner wykonywany jest na zbliżonych zasadach, jak pomiar młynkiem hydrometrycznym. Urządzenie nie posiada systemu nawigacji GPS, więc nie ma możliwości zdalnego określenia pozycji urządzenia w danej chwili. W celu wykonania pomiaru należy wyznaczyć przekrój hydrometryczny i określić jego szerokość. Następnie przy użyciu komputera należy zaprogramować urządzenie, wprowadzając dane na temat szerokości przekroju, maksymalnej głębokości, rozmiaru komórki pomiarowej, odległości między pionami hydrometrycznymi oraz tzw. wskaźnik brzegowy, określający szorstkość brzegów koryta. Pomiar wykonuje się, umieszczając urządzenie prostopadle do kierunku przepływu wody w kolejnych profilach hydrometrycznych. Komputer przelicza dane uzyskane z pomiaru na bieżąco, podając głębokość w danym profilu hydrometrycznym, rozkład prędkości w profilu, prędkość średnią, temperaturę wody i obliczony przepływ. Po



RYSUNEK 1. Widok systemu Qliner wraz z komputerem polowym w skrzyni transportowej  
FIGURE 1. Qliner and pocket PC in transport case

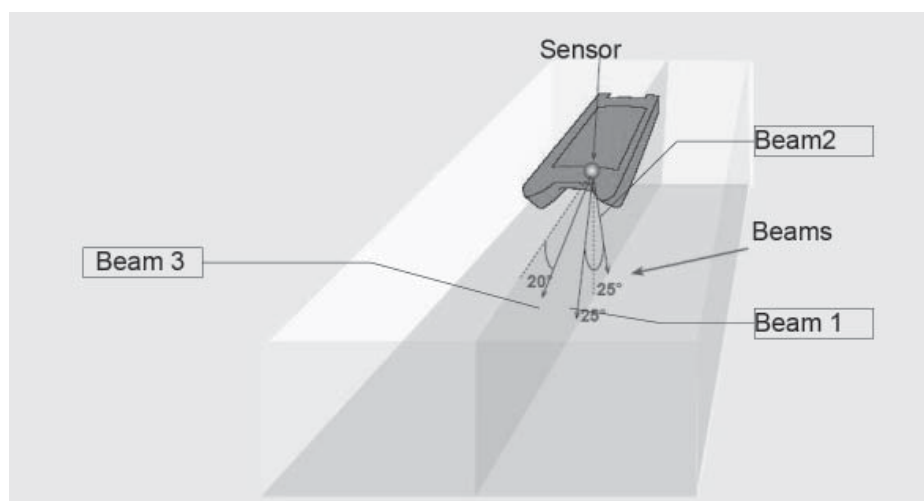
wykonaniu pomiaru ostatniego profilu uzyskuje się wartość przepływu w przekroju hydrometrycznym.

### Zastosowanie metody ADCP do pomiaru prędkości przepływu

Metoda pomiaru prędkości przepływu ADCP wykorzystuje efekt Dopplera, który polega na powstawaniu różnicy częstotliwości i długości fali wysyłanej przez źródło fali oraz zarejestrowanej przez obserwatora, który porusza się względem źródła fali (RD Instruments 1996, Qliner 2005). Od 1992 roku, po wprowadzeniu tzw. szerokopasmowego ADCP, urządzenia działające na tej zasadzie stosowane są do pomiaru przepływu w rzekach (Muste i in. 2004).

Urządzenie Qliner wykorzystuje trzy wiązki dźwiękowe: wiązki 1 i 3 skierowane w kierunku napływającej wody oraz wiązka 2 w przeciwnym kierunku (rys. 2). Wysłane wiązki odbijają

się od cząstek (zawiesiny) poruszających się w wodzie, a następnie wracają do przetwornika. Energia wysłanej wiązki dźwięku, przechodząc przez kolumnę wody, jest rozpraszana i absorbowana. Podobnie jest z wiązkami odbitymi. W czasie pomiaru poszczególne części kolumny wodnej generują swoje własne odbicia do momentu, aż sygnał dźwiękowy zostanie całkowicie rozproszony. W efekcie przetwornik odbiera wymieszane odbite sygnały z różnych głębokości. W celu określenia przesunięcia Dopplerowskiego na określonej odległości od przetwornika należy podzielić odbierany sygnał na odrębne części. Przy założeniu, że prędkość rozchodzenia się dźwięku w wodzie jest stała, możliwe jest obliczenie, po jakim czasie nastąpi odebranie odbitego sygnału przez przetwornik z określonych odległości. W ten sposób jest możliwe próbkowanie odbicia z ustalonych segmentów kolumny wodnej. Te segmenty nazywane są komórkami. Szczegółowy opis metody po-



RYSUNEK 2. Położenie wiązek w urządzeniu Qliner (Qliner 2005)  
FIGURE 2. The beams in Qliner (Qliner 2005)

miarowej opisywany jest w literaturze (RD Instruments 1996, Qliner 2005).

## Wyniki i dyskusja

Wersja systemu Qliner wykorzystywana do pomiarów przez Katedrę Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW posiada przetwornik o częstotliwości 2 Mhz. Częstotliwość jest ściśle związana z maksymalną głębokością zastosowania. Według Aquadopp Current Profiler (2005), zakres pomiarowy dla tej częstotliwości wynosi od 4 do 8 m głębokości, a zakres komórek od 0,1 do 2 m (maksymalnie może być ich w pionie 50). Przy dokonywaniu pomiaru należy ponadto uwzględnić głębokość zanurzenia urządzenia, a dokładnie odległość między linią wodną a osią przetwornika. Jest to wartość stała i w przypadku nieciążenia łódki wynosi 0,04 m. Dodatkową stałą jest „blank”, to jest martwa strefa pomiaru między osią przetwornika a pierwszą komórką pomiarową (minimalna, jaką można uzyskać dla tego przetwornika to 0,05 m). Tak więc przy założeniu rozmiaru komórki 0,1 m i zakresu blank 0,2 m pierwszy pomiar prędkości jest wykonywany na głębokości 0,3 m od przetwornika. Według producenta możliwy jest pomiar w zakresie  $\pm 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i dokładności 1% mierzonej wartości.

Jednym z parametrów, które mają wpływ na wyniki pomiaru, jest wskaźnik brzegowy. Jest to wartość, jaką należy wprowadzić do programu obliczeniowego w celu uwzględnienia szorstkości brzegów. Według Qliner (2005), należy stosować następujące wartości wskaźnika:

- gładkie, czyste ściany betonowe 0,8–0,9,
- ściany ceglane z roślinnością – 0,7,
- szorstkie ściany z trawą lub bujną roślinnością 0,6–0,5.

Producent urządzenia nie definiuje jednak tego wskaźnika i nie wyjaśnia, w jaki sposób można go wyznaczać dla innych sytuacji.

W celu sprawdzenia wpływu tego wskaźnika na uzyskiwane wartości natężenia przepływu wykonano pomiar przepływu na Potoku Służewieckim. Pomiaru przepływu dokonano za pomocą urządzenia Qliner i czujnikiem elektromagnetycznego Nautlius 2000, zgodnie z zaleceniami IMGW, a przepływ obliczono za pomocą metody Harlachera.

Na rysunku 3 przedstawiono wydruk, podsumowujący wyniki pomiaru wykonane za pomocą systemu Qliner, przy założeniu wskaźnika brzegowego, odpowiadającego szorstkiej ścianie. W części opisowej wydruku określone są kolejno: w pierwszej kolumnie – miejsce, operator, data, przepływ, szerokość profilu, powierzchnia, oraz w drugiej kolumnie – prędkość średnia, głębokość średnia. Wykresy przedstawiają – na osi poziomej numer kolejnego profilu, na osiach pionowych kolejno: prędkość średnia, przepływ z poprawką na szerokość mierzonej sekcji, przepływ w mierzonej sekcji, głębokość.

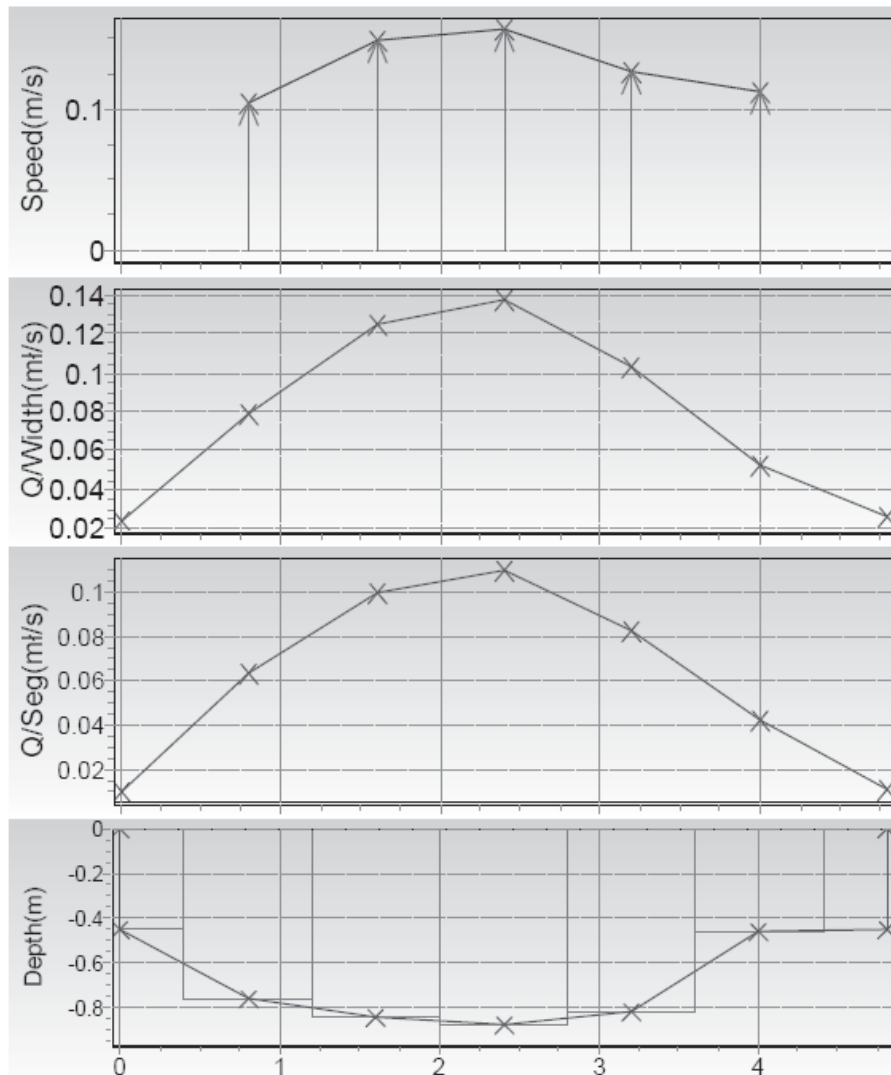
W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń prędkości średniej i przepływu dla różnych wartości współczynnika brzegowego, natomiast w tabeli 2 – porównanie pomierzonych parametrów przekroju.

W wyniku przeprowadzonego pomiaru testowego ustalono, że wartość przepływu uzyskana z urządzenia Qliner była większa od wartości przepływu

```

Site:                : park1
Operator:            : <operator>
Date/Time           : 09-05-2005 14:34:15 -> 14:41:27
Discharge (m3/s)    : 0.417 +/- 0.02
Width (m)           : 4.60      Mean Velocity (m/s) : 0.124
Area (m2)           : 3.368     Mean depth (m)       : 0.702
Gauge Start:        : 0.00      End:                 : 0.00
Section method:     : MID       Measure method:      : Powerlaw
Surface Factor:     : --       Ice Factor:           : --

```



RYSUNEK 3. Przykładowy wydruk podsumowujący wynik pomiaru  
 FIGURE 3. The sample spreadsheet of result

TABELA 1. Wpływ zmienności współczynnika brzegowego na wartość prędkości średniej i przepływu  
 TABLE 1. Influence of edge factor changeability for mean velocity and discharge

Wskaźnik brzegowy Edge factor [-]	Prędkość średnia Mean velocity [m·s <sup>-1</sup> ]	Przepływ Discharge [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
0	0,118	0,397
0,5	0,124	0,417
0,6	0,125	0,421
0,7	0,126	0,424
0,8	0,127	0,428
0,9	0,128	0,432
Wyniki pomiarów urządzeniem Nautilus 2000 Results of Nautilus 2000 measurement		
–	0,103	0,3227

TABELA 2. Porównanie parametrów przekroju  
 TABLE 2. Comparison of cross-section parameters

Wyszczególnienie Specification	Powierzchnia przekroju Area [m <sup>2</sup> ]	Głębokość średnia Mean depth [m]	Głębokość maksymalna Maximum depth [m]
Qliner	3,368	0,702	0,88
Nautilus 2000	3,134	0,681	0,78

uzyskanej przy pomiarach urządzeniem Nautilus 2000. Na szczególną uwagę zasługuje wpływ właściwego ustalenia wskaźnika brzegowego, którego zmienność ma wpływ na otrzymane wyniki. W przeprowadzonym teście zmiana wskaźnika brzegowego w zakresie 0,5–0,9 spowodowała zmianę wartości uzyskanego przepływu o +0,015, co odpowiada około 3,5% wartości przepływu. Prędkości przepływu i przepływ otrzymane z urządzenia Qliner były większe od wartości otrzymanych z urządzenia Nautilus 2000. Jednakże aby móc dobrze opisać zależności między tymi wartościami, należy wykonać więcej badań porównawczych przy zastosowaniu obu metod pomiarowych.

## Podsumowanie

Pomiar przepływu za pomocą urządzenia Qliner jest znacznie szybszy od pomiaru za pomocą młynka hydrometrycznego (urządzenia Nautilus). Ma to szczególne znaczenie podczas wezbrań, kiedy istotny jest czas wykonania pomiaru. Urządzenie pozwala na pomiar bez wchodzenia do rzeki, co zwiększa bezpieczeństwo osób wykonujących pomiar. Wynik pomiarów uzyskuje się natychmiast po wykonaniu pomiaru, a dodatkowo jest możliwość kontroli nad pomiarami cząstkowymi. Dobór parametrów potrzebnych do wykonania pomiaru jest jednak pewną niedogodnością. Właściwe określenie parametrów wymaga

dużego doświadczenia w wykonywaniu pomiaru lub wykonania pomiarów testowych. Jednakże wprowadzane parametry, niemające bezpośredniego wpływu na zmianę kształtu przekroju oraz liczby cel pomiarowych, jak na przykład wskaźnik brzegowy, można modyfikować po wykonaniu pomiaru w terenie za pomocą dodatkowego oprogramowania do obliczeń i tworzenia raportów.

## Literatura

- Aguadopp Current Profiler, 2005. User Manual, Nortek AS.
- BYCZKOWSKI A. 1999: Hydrologia. T. I. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- MACIĄŻEK A. 2005: Pomiary. Pomiary Hydrologiczne. *Gazeta Obserwatora IMGW* 1.
- MUSTE M., YU K., SPASOJEVIC M. 2004: Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics. Part I: moving-vessel measurements. *Flow Measurement and Instrumentation* 15: 1–16.
- RD Instruments, 1996. Acoustic Doppler Current Profiler. Principles of Operations. A Practical Primer.
- Qliner User Manual, 2005. Qmetrix b.v., Nortek AS.

## Summary

**Application of ADCP for discharge measurement in small river.** The new discharge measurement system called Qliner has been applied for discharge measurement in a small river. The results of test investigation have been compared with discharge measurement done with Nautilus 2000 equipment (electromagnetic flow sensor). Additionally, the influence of so called edge factor on velocity and discharge calculation has been discussed.

### Author's address:

Leszek Hejduk  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: leszek\_hejduk@sggw.pl