

Ćwiczenie 7

POMIARY PRZEPIYU W CIEKACH - CZĘŚĆ I METODY BEZPOŚREDNIE

- CEL:**
- Poznanie metod umożliwiających wyznaczenie przepływu wody w cieku
 - Kształcenie umiejętności obliczania przepływu w cieku na podstawie danych z młynkowania hydrometrycznego oraz projektowania przelewu pomiarowego służącego do prowadzenia obserwacji przepływu.
 - Wykazanie związku pomiędzy stanami i przepływami wód powierzchniowych
- METODA:** Obliczenia na podstawie danych z młynkowania hydrometrycznego oraz synchronicznych pomiarów stanu i przepływu wody w cieku
- MATERIAŁY:** Dane z młynkowania, dane o stanach i przepływach wody w cieku, nomogramy, kalkulator
- LITERATURA:**
1. Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z.: 1993 - *Hydrometria*. PWN, Warszawa.
 2. Dębski K.: 1970 - *Hydrologia*. Arkady, Warszawa.
 3. Gutry-Korycka M., Wernar-Więckowska H. (red): 1989 - *Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych*. PWN, Warszawa.
 4. Herschy R. W.: 1985 - *Streamflow measurement*. New York, NY: Elsevire Applide Science Publishers Ltd.
 5. Ozga-Zielińska M., Brzeziński J.: 1994 - *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa.

WPROWADZENIE

Istnieje szereg metod umożliwiających wyznaczenie przepływu wody w cieku. Najogólniej metody te można podzielić:

I. Pomiary bezpośrednie

1. metoda wolumetryczna
2. metoda prędkość-powierzchnia
3. metoda rozcieńczenia roztworów

II. Pomiary pośrednie (zależność stan-przepływ)

1. Empiryczna krzywa konsumcyjna (kanały naturalne)
2. Teoretyczna krzywa konsumcyjna (kanały sztuczne)
 - a. przelewy
 - b. przewężenia

Przepływ w cieku może być mierzony bezpośrednio lub pośrednio przez wykorzystanie obserwacji stanów wody zdefiniowanych jako:

$$H_s = H_w - H_0 \quad (7.1)$$

gdzie: H_w - rzędna zwierciadła wody, H_0 - umowny poziom porównawczy zwany zerem wodowskazu.

Przy pomiarach pośrednich wykorzystuje się zależność pomiędzy stanem wody w rzece a objętością przepływu. Zależność ta określana jest mianem krzywej stan-przepływ lub krzywej konsumpcyjnej. Jej przebieg zdeterminowany jest przez ukształtowanie kanału rzecznoego. Ukształtowanie to może być naturalne (kanały naturalne) lub może być konstrukcją sztuczną (kanały sztuczne).

Pomiary natężenia przepływu powinny być wykonywane w węzłach hydrograficznych to jest powyżej i poniżej połączenia ważniejszych cieków oraz przy ujściach. Miejsce pomiaru określone jest również przez zakładany profil, po który prowadzi się analizę odpływu ze zlewni. Jeżeli ciek przecina obszary o różnej budowie geologicznej, pożądane jest wykonanie pomiarów na granicy tych obszarów. W czasie badań hydrograficznych pomiary natężenia przepływów należy wykonywać również w profilach stacjonarnych służb hydrologicznych (o ile takie na analizowanym obszarze istnieją) tak, aby wykonane pomiary terenowe mogły być odniesione do strefy stanów wody oraz przepływów w cieku. Pomiar natężenia przepływu wykonuje się na prostym odcinku cieku, o korycie zwartym, wyrównanym dnie pozbawionym progów i roślinności wodnej. Przed przystąpieniem do pomiaru koryto cieku należy dodatkowo wyrównać przez usunięcie większych kamieni, korzeni i innych przedmiotów, które mogą wpływać na niedokładność pomiaru. Na wybranym odcinku rzeki bieg wody musi być swobodny, a strugi wody powinny układać się równoległe do brzegów. Profil taki powinien mieć w miarę równomierny rozkład głębokości i prędkości w korycie. Musi on umożliwić prowadzenie pomiarów przepływu wody przy różnych stanach wody (niskich, średnich i wysokich).

METODY BEZPOŚREDNIE

METODA WOLUMETRYCZNA

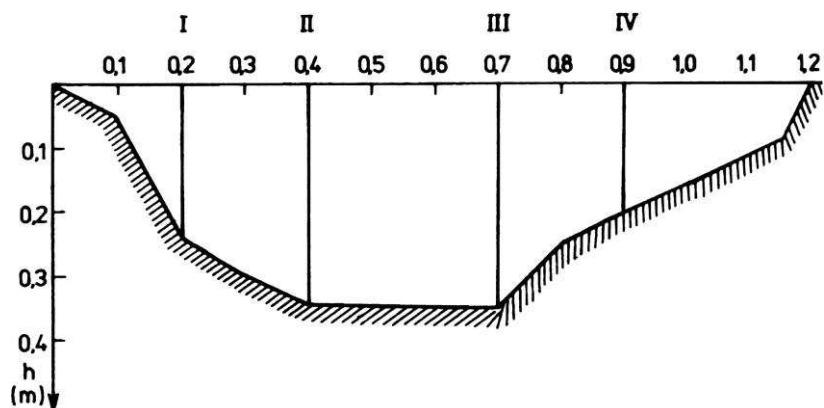
Metoda wolumetryczna zwana inaczej metodą objętościową najlepiej nadaje się do pomiaru wydajności źródeł lub drobnych cieków, których odpływ można ująć na przykład w plastikową lub metalową rynienkę. W przypadku trochę większych cieków można starać się podzielić jego przepływ na oddzielne strumienie wykorzystując do tego na przykład kamienie i ziemię. Pomiar tą metodą polega na zmierzeniu czasu napełnienia się zbiornika o znanej objętości V . Dzieliąc tę objętość przez czas t otrzymuje się przepływ:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7.2)$$

Pomiar należy wykonać kilkakrotnie i za przepływ przyjąć średnią z co najmniej trzech pomiarów. Pomiary objętości przepływu w naczyniach o znanej pojemności są najdokładniejsze o ile oczywiście zastosuje się odpowiednio duże naczynie podstawiane, tak aby czas napełniania się jego był stosunkowo długi.

METODA PRĘDKOŚĆ-POWIERZCHNIA

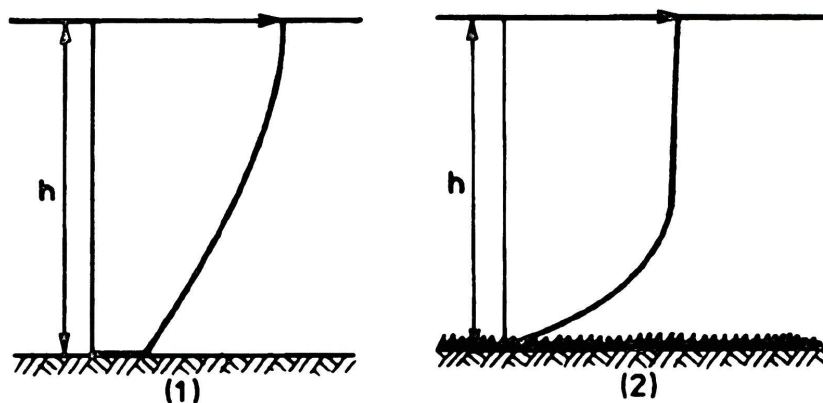
W metodach tej grupy istotne jest wyznaczenie pola przekroju poprzecznego rzeki (F). W tym celu wykonuje się sondowanie przekroju przy równoczesnym określaniu odległości od brzegu. Każdy punkt w przekroju jest opisany dwoma liczbami, z których pierwsza oznacza odległość od lewego brzegu (b), a druga głębokość (h) (ryc. 7.1). Na tej podstawie można obliczyć pola cząstkowe (f_i) między pionami sondowań, przyjmując, że głębokość w polach równa jest średniej arytmetycznej z głębokości w pionach ograniczających pole. Suma wszystkich pól cząstkowych jest równa powierzchni przekroju poprzecznego koryta. Całkowita liczba przekrojów pionowych powinna być nie mniejsza niż 25, a odległość między nimi powinna być taka, aby przepływ pomiędzy dwoma przekrojami nie był większy niż 5% przepływu całkowitego. Oczywiście przy małych ciekach nie ma możliwości wyznaczenia tylu pionów, jedna nie powinno być ich mniej niż 5. Piony hydrometryczne lokalizuje się w punktach charakterystycznych, to znaczy w miejscach załamania dna i zmian prędkości przepływu strugi wody. Należy zwrócić szczególną uwagę na przybrzeżne zastoiska i oddzielić przekrój czynny cieku (w którym zachodzi przepływ) od przekroju nieczynnego, który wyłącza się z obliczeń.



RYCINA 7.1. Profil poprzeczny koryta rzeczego.

Do pomiaru drugiego składnika, którym jest prędkość, wykorzystuje się takie przyrządy jak: pływaki, młynki hydrometryczne i dynamometry. Do pływaków zalicza się przyrządy pływające wraz z wodą z taką samą jak ona prędkością. Pomiar prędkości wody polega na pomiarze czasu, w ciągu którego pływak przebywa odcinek o znanej długości. Pomiar prędkości wody za pomocą młynków hydrometrycznych sprowadza się do pomiaru prędkości obrotów skrzydełek młynka poruszanych przez płynącą wodę. Dynamometry mierzą bezpośrednio nacisk prądu wody na przyrząd lub odpowiednią jego część składową.

Prędkość w profilu pionowym wykazuje zróżnicowanie. Najniższa jest przy dnie a największa na powierzchni wody (jeżeli nie jest ona pokryta roślinnością lub pokrywą lodową). Wykres rozkładu prędkości w pionie nazywa się trachoidą (ryc. 7.2).



RYCINA 7.2. Pionowy rozkład prędkości w rzece przy dnie gładkim (1) i szorstkim (2)

Prędkość przepływu można estymować przez równanie logarytmiczne zależnie od głębokości liczonej od dna h_i (analogicznie jak prędkość wiatru nad powierzchnią ziemi):

$$u(h_i) = 2,5u_i \ln\left(\frac{h_i}{h_0}\right) \quad (7.3)$$

gdzie: $u(h_i)$ - prędkość na głębokości h od dna, u_i - lokalna prędkość tarcia, h_0 - lokalna wysokość elementów wpływających na szorstkość dna.

Lokalna prędkość tarcia może być wyznaczona z zależności:

$$u_i = (ghS_c)^{1/2} \quad (7.4)$$

gdzie: g - przyspieszenie grawitacyjne, h - lokalna głębokość przepływu, S_c - nachylenie kanału (np. rzecznoego).

Analizując zależność prędkości przepływu od głębokości można pokazać, że średnia prędkość przepływu występuje na głębokości $0,368 h$, licząc głębokość od dna kanału. Z tych względów w IMGW przyjęto niżej opisany sposób postępowania przy wyznaczaniu średniej prędkości w pionie.

1. Przy głębokości wody $h < 0,2$ m pomiaru prędkości dokonuje się na głębokości $0,4 h$ licząc od dna. Prędkość zmierzona na tej głębokości przyjmowana jest jako prędkość średnia w pionie, czyli:

$$u_{sr} = u_{0,4h}. \quad (7.5)$$

2. Przy głębokościach $0,20 \leq h \leq 0,60$ m mierzy się prędkość w trzech punktach: na głębokości $0,2 h$, $0,4 h$ i $0,8 h$ licząc od dna, a prędkość średnią oblicza się ze wzoru:

$$u_{sr} = 0,25u_{0,2h} + 0,5u_{0,4h} + 0,25u_{0,8h} \quad (7.6)$$

3. Przy głębokościach $h > 0,60$ m mierzy się prędkość w pięciu punktach, a mianowicie: możliwie blisko dna u_d , na głębokości $0,2 h$, $0,4 h$ i $0,8 h$ i możliwie najbliższej powierzchni wody u_p . Prędkość średnią oblicza się ze wzoru:

$$u_{sr} = 0,1(u_d + 2u_{0,2h} + 3u_{0,4h} + 3u_{0,8h} + u_p) \quad (7.7)$$

W Amerykańskiej Służbie Geologicznej (USGS) dla rzek o głębokości poniżej $0,75$ m średnią prędkość ustala się na podstawie tylko jednego pomiaru na głębokości $0,4 h$ od dna. Natomiast dla głębokości rzeki powyżej $0,75$ m średnią prędkość oblicza się jako średnią arytmetyczną z prędkości pomierzonych na głębokości $0,2 h$ i $0,8 h$.

Pomiary prędkości przepływu przy wykorzystaniu młynka hydrometrycznego.

Młynek hydrometryczny jest przyrządem pozwalającym na dokładny pomiar średniej prędkości wody w dowolnym punkcie przekroju koryta cieku. Działanie jego sprowadza się do zarejestrowania liczby obrotów rotora w jednostce czasu. Znając liczbę obrotów młynka w czasie jednej sekundy n można obliczyć prędkość płynięcia wody w danym punkcie u ze wzoru:

$$u = \alpha + \beta \cdot n \quad (7.8)$$

gdzie α i β - są współczynnikami tarowania młynka.

Piony, w których dokonuje się pomiaru prędkości powinny pokrywać się z punktami sondowań, które służą do określenia powierzchni przekroju cieku. Na podstawie obliczonych prędkości średnich w pionach oblicza się prędkości średnie w polach wyznaczonych przez te piony. Przyjmuje się zasadę, że prędkość średnia w polu jest równa średniej arytmetycznej z prędkości w pionach. Iloczyn prędkości średniej w polu cząstkowym i u_{sr} i jego powierzchni f_i jest przepływem cząstkowym q_i . Suma przepływów cząstkowych jest poszukiwaną wartością natężenia przepływu Q . Pewnych trudności mogą przysparzać pola skrajne (brzegowe) jeżeli nie prowadzono w nich pomiarów prędkości (np. zbyt mała głębokość). Jeżeli w polach tych głębokość jest większa od 0 to prędkość oblicza się mnożąc prędkość w najbliższym pionie przez współczynnik φ . Wartość współczynnika zależy od materiału, z którego zbudowane jest dno i brzegi koryta i waha się od $0,5$ do $0,9$.

Najczęściej przyjmuje się $\varphi = 2/3$. Przy wyznaczaniu tego współczynnika można również oprzeć się na zestawieniu zawartym w tabeli 7.1

TABELA 7.1. Współczynniki redukcyjne prędkości w polach brzegowych

Charakter brzegu i koryta rzeki	Współczynnik redukcyjny φ
Woda przy brzegu nie płynie ze względu na silne zarastanie lub istnienie przekroju nieczynnego	0,5
Brzeg jest płaski i wyrównany	0,7
Brzeg ma naturalny spadek i jest zbudowany z gliny, piasku lub żwiru	0,8
Brzeg jest wyłożony deskami, betonem, ma duże nachylenie i jest wyrównany	0,9

Na całkowity błąd przypadkowy pomiaru natężenia przepływu wykonanego młynkiem hydrometrycznym składa się (Ujda 1984):

- błąd uwzględniający liczbę pionów pomiaru prędkości wody
- błąd pomiaru szerokości koryta ciekłu
- błąd pomiaru głębokości wody
- błąd uwzględniający pulsację prędkości wody
- błąd uwzględniający liczbę punktów pomiaru prędkości wody w pionie
- błąd instrumentalny (młynka)

Wielkość błędów pomiaru przepływu wody wykonanych przy wykorzystaniu młynka, a przeprowadzonych zgodnie z instrukcją (Wytyczne ...,1970) waha się od 4,23 do 6,32% dla rzek dużych ($B/h_s \geq 200$) i od 7,0 do 7,77% dla rzek małych ($200 > B/h_s > 50$) oraz bardzo małych ($B/h_s \leq 50$). Są to wielkości błędów stosunkowo duże, a mając na uwadze uchybienia w ścisłym przestrzeganiu podstawowych zasad pomiarowych, należy oczekiwać ich wzrostu. Jediną drogą prowadzącą do zmniejszenia błędów pomiarowych jest odpowiednie zwiększenie liczby pionów pomiaru prędkości wody, jak również powtarzanie pomiarów.

Pomiary prędkości przepływu przy wykorzystaniu pływaków.

Jeżeli nie ma możliwości wyznaczenia prędkości przepływu w profilu pionowym na różnych głębokościach, średnią prędkość przepływu można estymować na podstawie prędkości przepływu wody na powierzchni. Wykorzystuje się do tego celu wszelkiego rodzaju pływaki, które powinny być prawie całkowicie zanurzone w wodzie w celu uniknięcia działania wiatru. Długość odcinka ciekłu na jakiej mierzy się wówczas prędkość przepływu powinna być około 10-krotnie większa niż szerokość rzeki. Odcinek pomiarowy powinien spełniać warunki omówione na wstępie. Pływak wrzuca się do wody w pewnej odległości od punktu początkowego pomiaru wystarczającej do nabrania przez pływak prędkości równej prędkości wody na powierzchni. Pomiaru dokonuje się w kilku profilach na całej szerokości ciekłu. Średnią prędkość przepływu w każdej linii profilu oblicza się z zależności:

$$u_{si} = f\left(\frac{k}{h_i}\right)u_i \quad (7.8)$$

gdzie u_{si} - średnia prędkość w pionie i , $f(k/h_i)$ - funkcja zależna od średniej wysokości elementów wpływających na szorstkość dna i głębokość ciekłu w danym profilu i , u_i - prędkość w profilu i .

Generalnie przyjmuje się, że $f(k/h_i) = 0,85$. Według IMGW przyjmuje się następujące współczynniki redukcyjne (tab. 7.2)

TABELA 7.2. Współczynniki redukcyjne

Rodzaj materiału korytowego	Średnica ziaren (cm)	Wartość współczynnika redukcyjnego
Kamienie - otoczaki	10-20	0,82-0,84
Kamienie	5-10	0,85-0,87
Żwiry	2-5	0,88-0,89
Piaski	2	0,89-0,90
Muly	0,2	0,91-0,92

ZADANIE

1. Obliczyć przepływ w rzece na podstawie danych z młynkowania hydrometrycznego zarówno według schematu stosowanego w IMGW jak i wykorzystywanego w Amerykańskiej Służbie Geologicznej.

Dane z młynkowania:

Ciek	<i>Mały Lej - dopływ Kamienicy</i>		Profil	<i>Kamienica P2</i>
Data	<i>24.08.1999</i>		Godzina	<i>10⁴⁰</i>
Miejsce pomiaru	<i>Przy ujściu do Kamienicy</i>			
Rodzaj brzegu	nachylenie:	<i>ok. 70°</i>	materiał:	<i>kamienie, skały</i>
Stan na wodowskazu	<i>brak wodowskazu</i>			
Współczynniki młynka	<i>$\alpha = 0,01549$</i>		<i>$\beta = 0,10250$</i>	

Nr pionu	Odległość od brzegu [m]	Głębokość [m]	Czas po 50 obrotach młynka [s] na głębokości				
			dno	0,2 h	0,4 h	0,8 h	powierzchnia
	0	0,10			-		
I	0,2	0,18			18		
II	0,4	0,19			11		
III	0,6	0,23		10	10	7	
IV	0,8	0,21		11	8	6	
V	1,0	0,21		13	11	9	
	1,15	0,20			-		

2. Porównać wyniki biorąc pod uwagę dokładność pomiaru przepływu młynkiem hydrometrycznym.

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Obliczenia natężenia przepływu młynkiem najwygodniej jest przeprowadzić w tabeli, która w połączeniu z danymi z młynkowania spełnia rolę sprawozdania.

- Jaka jest różnica pomiędzy obliczeniami przepływu wykonanymi zgodnie ze schematem stosowanym w IMGW i USGS mając na uwadze dokładność pomiaru przepływu wykonanego młynkiem hydrometrycznym?

Obliczenia przepływu według schematu stosowanego w IMGW

Odległość od brzegu [m]	Nr pionu	Głębokość [m]	Odległość między punktami sondowań	Głębokość średnia	Powierzchnia $\Delta f = b \cdot h_s$	Prędkość śr. w pionie [m/s]	Prędkość śr. w polu ΔF [m/s]	Prędkość średnia w polu $\Delta Q = \Delta F \cdot V_s$
		h	b	h_s	Δf_i	V_m	V_s	ΔQ
0		0,10	0,2	0,140	0,028	-	0,200	0,005
0,2	I	0,18	0,2	0,185	0,037	0,300	0,390	0,014
0,4	II	0,19				0,481		
0,6	III	0,23	0,2	0,210	0,042	0,582	0,532	0,022
0,8	IV	0,21	0,2	0,220	0,044	0,665	0,624	0,027
1,0	V	0,21	0,2	0,210	0,042	0,489	0,577	0,024
1,15		0,20	0,15	0,205	0,030	-	0,326	0,010
$F = \Sigma \Delta F$ [m ²]					0,223	$Q = \Sigma \Delta Q$ [m ³ /s]		0,104

Obliczenia przepływu według schematu stosowanego w USGS

Odległość od brzegu [m]	Nr pionu	Głębokość [m]	Odległość między punktami sondowań	Głębokość średnia	Powierzchnia $\Delta f = b \cdot h_s$	Prędkość śr. w pionie [m/s]	Prędkość śr. w polu ΔF [m/s]	Prędkość średnia w polu $\Delta Q = \Delta F \cdot V_s$
		h	b	h_s	Δf_i	V_m	V_s	ΔQ
0		0,10	0,2	0,140	0,028	-	0,200	0,005
0,2	I	0,18	0,2	0,185	0,037	0,300	0,390	0,014
0,4	II	0,19				0,481		
0,6	III	0,23	0,2	0,210	0,042	0,527	0,504	0,021
0,8	IV	0,21	0,2	0,220	0,044	0,656	0,592	0,026
1,0	V	0,21	0,2	0,210	0,042	0,481	0,568	0,023
1,15		0,20	0,15	0,205	0,030	-	0,320	0,009
$F = \Sigma \Delta F$ [m ²]					0,223	$Q = \Sigma \Delta Q$ [m ³ /s]		0,101