

## **WPLYW ZMIAN KRZYWEJ PRZEPLYWU NA REJESTRACJĘ PRZEPLYWU NIENARUSZALNEGO**

Bogusław Michalec, Marek Tarnawski

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** Rejestracja przepływów niskich, w tym przepływu nienaruszalnego, jest szczególnie istotna w przypadku intensywnych poborów wody z cieków. Stanowi ona podstawę właściwej gospodarki wodnej ujęcia i gwarantuje zachowanie przepływów zapewniających warunki niezbędne dla przeżycia organizmów wodnych. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów geodezyjnych i hydrometrycznych w rzece Uszwicy wykonanych w okresie trzech lat od wybudowania posterunku wodowskazowego. Wodowskaz ten został uruchomiony w celu rejestracji przepływu nienaruszalnego, zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym na piętrzenie i pobór wody wydanym dla Browaru Okocim. Przy stanach niższych od przepływu nienaruszalnego browar ma zakaz poboru wody z Uszwicy. Przeprowadzone pomiary i opracowane krzywe konsumcyjne wykazały, że zmiany geometryczne przekroju poprzecznego rzeki powstałe po przejściu fal wezbraniowych mają istotny wpływ na określenie poziomu zwierciadła wody przy przepływie nienaruszalnym. Określono zmianę napełnień i rzędnych przepływów średniego niskiego i nienaruszalnego w przekroju wodowskazowym.

**Słowa kluczowe:** wodowskaz, krzywa przepływów, przepływ średni niski, przepływ nienaruszalny

### **WSTĘP**

Od kilkunastu lat odczuwalne są skutki deficytu wody w Polsce. Zwiększające się niedobory wody mają zrekompensować m.in. działania zwiększające małą retencję wodną, prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej oraz stosowanie technologii przemysłowych wymagających zmniejszonego zapotrzebowania na wodę. Ze względu na zwiększający się niedobór wody i rosnące zapotrzebowanie na nią, a także wymóg ochrony wód przed zanieczyszczeniem coraz częściej zwraca się uwagę na konieczność rejestracji przepływów niskich. Rejestracja tych przepływów powiązana jest niejednokrotnie z przepływem nienaruszalnym. Przepływy niżówkowe decydują o warunkach poboru wody w różnego rodzaju punktach, są wielkościami niezbędnymi przy projektowaniu i eksploatacji ujęć wody i oczyszczalni ścieków, zwłaszcza zaś przy ustalaniu zdolności do samooczyszczania się wód i ich odbiorników, tj. rzek i potoków [Michalczewski 1987].

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Bogusław Michalec, dr inż. Marek Tarnawski, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, 30-059 Kraków, al. A. Mickiewicza 24/28, e-mail: rmmichbo@cyf-kr.edu.pl, e-mail: mrtarnaw@cyf-kr.edu.pl.

Przepływy niżówkowe są jednym z najslabiej poznanych elementów reżimu hydrologicznego. W praktyce inżynierskiej uwagę poświęcano dotąd głównie przepływowi średnim i maksymalnym. Przyczyną tego stanu rzeczy było nie tylko niedostrzeżenie problemu wystąpienia deficytów wody, ale również niedokładność metod pomiaru przepływów niskich oraz duża niejednorodność przestrzenna czynników środowiska geograficznego, mających decydujący wpływ na reżim przepływów niskich [Michalczewski 1987].

Zwiększone zainteresowanie przepływami minimalnymi wynika ze wzrostu zapotrzebowania na wykorzystanie wód cieków powierzchniowych. W przypadku pojawienia się przepływów niskich, a zwłaszcza przepływów nienaruszalnych, zabrania się poboru wody z cieków. Zapotrzebowanie na wodę pokrywane jest wtedy z sieci wodociągowej MPWiK. Taką gospodarkę wodą realizuje browar w Brzesku, którego inwestorem strategicznym jest od 1996 r. Carlsberg. Od 2001 r. zakład współtworzy grupę Carlsberg Okocim S.A. Od tego czasu w zakładzie prowadzone są prace modernizacyjne i unowocześniające linię produkcyjną. Rezultat tych prac stanowi zwiększenie zdolności produkcyjnych instalacji wytwórczych do 2,6 mln hl. Do celów produkcyjnych i gospodarczych zakłady piwowarskie w Okocimiu pobierają z rzeki Uszwicy maksymalnie dobowo ok. 10 950 m<sup>3</sup> wody. Pobór wód powierzchniowych za pośrednictwem istniejącego ujęcia brzegowo-komorowego ograniczany jest koniecznością zachowania przepływu nienaruszalnego w dolnym biegu rzeki. W projekcie strefy ochronnej ujęcia wód powierzchniowych na rzece Uszwicy [Projekt... 2000] określono przepływ nienaruszalny z uwzględnieniem kryterium hydrobiologicznego, które warunkuje zachowanie podstawowych form flory i fauny wodnej. Przepływ ten został wyznaczony według wzoru Kostrzewy [1977].

Wzrost produkcji Browaru Carlsberg, a co za tym idzie – większe zapotrzebowanie na wodę, wymusza podjęcie prac umożliwiających kontrolę przepływów niskich w rzece Uszwicy. W 2006 r. w km 37+257 tej rzeki, zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym na budowę posterunku wodowskazowego [Niedbała i in. 2005], została zainstalowana łąta wodowskazowa służąca rejestracji stanów niskich. Ze względu na zmianę dna rzeki Uszwicy w przekroju wodowskazowym wywołane lokalnymi rozmyciami i akumulacją rumowiska istnieje konieczność weryfikacji krzywej przepływu. Według pozwolenia wodnoprawnego na piętrzenie i pobór wody z rzeki Uszwicy przez browar Carlsberg [Operat wodnoprawny... 2004] weryfikację krzywej przepływu należy wykonywać co roku. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań wykonanych w latach 2006–2008, służących określeniu przepływu średniego niskiego i nienaruszalnego w przekroju wodowskazu na rzece Uszwicy. Celem pracy jest wykazanie wpływu niewielkich zmian konfiguracji dna na poziom napełnienia w korycie tej rzeki przy przepływach średnim niskim i nienaruszalnym oraz określenie wpływu zmian krzywej przepływu na rejestrację przepływu nienaruszalnego.

## MATERIAŁ I METODY

### Charakterystyka obiektu badań

Rzeka Uszwica o długości 61 km jest drugorzędny, prawobrzeżny dopływ Wisły z ujściem w 150,7 km jej biegu. Źródła Uszwicy leżą na północnych stokach Beskidu Wyspowego w okolicach Rajbrotu (góra Kobyła), na wysokości ok. 500 m n.p.m. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 323 km<sup>2</sup>.

Na rzece Uszwicy znajdują się dwa wodowskazy IMGW – w Borzęcinie i w Brzesku, ale tylko na wodowskazie IMGW w Borzęcinie prowadzone są regularnie obserwacje stanów i przepływów. Założony w 1934 r. punkt wodowskazowy zlokalizowany jest poniżej miejscowości Brzesko w 16,3 km biegu rzeki i zamyka zlewnię o powierzchni 264,6 km<sup>2</sup>.

W 37+300 km rzeki Uszwicy znajduje się jaz stały o korpusie betonowym, wykonany w miejscu wcześniej istniejącego jazu drewnianego. Obiekt zamyka zlewnię o powierzchni 184 km<sup>2</sup>. Jaz ten służy spiętrzeniu wód rzeki w celu ich ujęcia przez browar Carlsberg. Ujęcie wody z rzeki Uszwicy zlokalizowano na prawym brzegu rzeki w km 37+200. Ilość ujmowanej wody w okresach niżówkowych musi zapewnić odpływ w korycie rzeki Uszwicy równy co najmniej przepływowi nienaruszalnemu, co jest wymagane pozwoleniem wodnoprawnym na piętrzenie i pobór wody [Operat wodnoprawny... 2004]. Określony przepływ nienaruszalny  $Q_n$  dla przekroju rzeki Uszwicy, w którym znajduje się ujęcie wody dla browaru, wynosi  $0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  [Operat wodnoprawny... 2004]. Określono również przepływ średni niski  $SNQ$  wynoszący  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . W 2005 r. opracowano koncepcję lokalizacji posterunku wodowskazowego w kilometrze 37+257 rzeki Uszwicy, zezwalającego na określenie napełnień dla przepływów niskich, w tym przepływu nienaruszalnego [Niedbała i in. 2005]. Według projektu łaty wodowskazowej rzędna przepływu nienaruszalnego  $Q_n$  wynosiła 217,36 m n.p.m., a rzędna przepływu średniego niskiego  $SNQ$  była równa 217,33 m n.p.m. W lipcu 2006 r. zainstalowano łatę wodowskazową w korycie rzeki Uszwicy, w przekroju znajdującym się 30 m poniżej dolnego stanowiska jazu w Brzesku-Okocimiu, a następnie wykonano pomiary hydrometryczne i obliczenia weryfikujące ustalenia zawarte w projekcie łaty. Stwierdzono, że zmiany konfiguracji dna po przejściu wiosennych fal wezbraniowych w 2006 r. oraz w wyniku prac związanych z wykonaniem posterunku wodowskazowego wpłynęły na zmianę równania krzywej przepływu. Spowodowało to zmianę napełnień i rzędnych przepływów  $Q_n$  i  $SNQ$  w korycie w wyniku obniżenia rzędnych dna. Określone rzędne tych przepływów wynosiły 217,31 m n.p.m. – przepływ  $Q_n$ , oraz 217,29 m n.p.m. – przepływ  $SNQ$ .

## Metodyka

Związek stanów wody i przepływu nie ma cech trwałości. Zmiany zależności  $Q = f(H)$  mogą mieć charakter trwały, nietrwały lub sezonowy. Do zmian trwałych zalicza się te, które wynikają ze zmian przekroju poprzecznego rzeki. Zmiany takie jak te, które wywołane są erozją lub akumulacją, zachodzą w korycie małej wody, dlatego też mają istotny wpływ na stany niskie [Byczkowski 1996].

Pomiary prędkości przepływu wody w przekroju wodowskazowym wykonano indukcyjnym młynkiem hydrometrycznym w latach 2006, 2007 i 2008. W każdym roku wykonywano serię pomiarów hydrometrycznych przy zróżnicowanych przepływach. W przekroju wodowskazowym wyznaczano pionu hydrometryczne w odległościach co 0,5 m. W każdym z pionów, w zależności od napełnienia wykonywano pomiar prędkości przepływu wody na co najmniej trzech wysokościach pionu hydrometrycznego [Procedura pomiarowa 2002]. Przepływ całkowity obliczano metodą Harlachera [Byczkowski 1996]. W trakcie pomiarów hydrometrycznych dokonano również pomiarów geodezyjnych przekroju poprzecznego i spadku zwierciadła wody. Wyniki tych pomiarów umożliwiły przeprowadzenie kontrolnych obliczeń przepływu według wzoru Chézy'ego,

w którym przyjęto współczynnik szorstkości  $n = 0,036$  według Manninga. Obliczenia przepływu w korycie zrealizowano za pomocą opracowanego programu komputerowego „cieq v.2.9.xls” (Microsoft Visual Basic for Application).

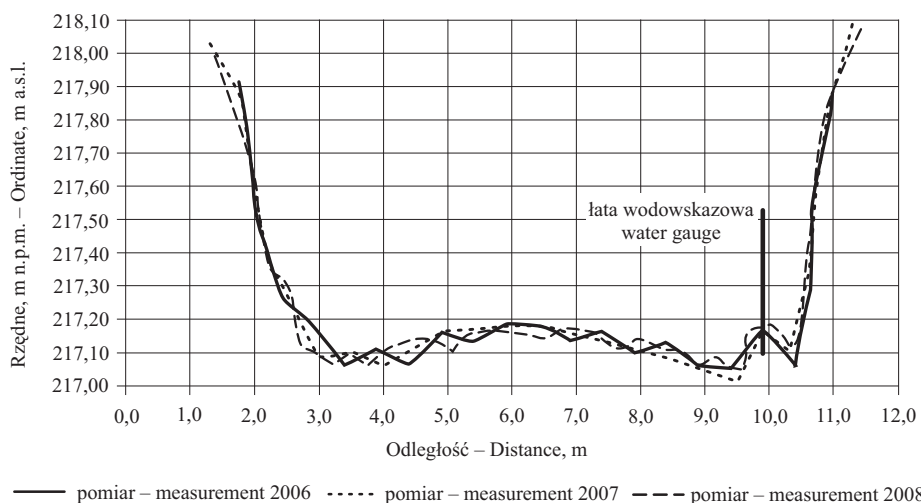
## WYNIKI I DYSKUSJA

Pomiary prędkości przepływu wody w latach 2006–2008 przy przepływach niskich i średnich obliczonych na podstawie pomiarów hydrometrycznych mieszczą się w przedziale  $0,24\text{--}4,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (tab. 1).

Tabela 1. Przepływy w przekroju wodowskazowym rzeki Uszwicy (km 37+257) obliczone na podstawie pomiarów hydrometrycznych i wzorem Chézy'ego  
Table 1. Water flows in the gauging section of the Uszwica river (km 37+257) calculated on the basis of hydrometric measurements and the Chézy formula

Data pomiaru Measurement date	Przepływ – Flow $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
	na podstawie pomiarów hydrometrycznych on basis of hydrometric measurements	według wzoru Chézy'ego according to Chézy formula
06.07.2006	1,22	1,24
07.07.2006	1,15	1,15
10.07.2006	0,91	0,92
18.07.2007	0,24	0,25
19.07.2007	0,41	0,42
11.08.2007	4,07	3,98
12.08.2007	3,56	3,40
21.10.2008	0,37	0,39
27.10.2008	0,84	0,87
30.10.2008	3,32	3,23
04.11.2008	1,16	1,19

W tabeli 1 porównano wielkości przepływu obliczonego na podstawie pomiarów hydrometrycznych prędkości przepływu wody z przepływem obliczonym według wzoru Chézy'ego. Obliczenie przepływu według tego wzoru wymagało określenia pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta rzeki. Na rys. 1 przedstawiono przekrój poprzeczny opracowany na podstawie pomiarów geodezyjnych w latach 2006–2008. Rzędna dna w najniższym punkcie przekroju wodowskazowego określona w 2008 roku wynosiła 217,04 m n.p.m. Według pomiarów wykonanych w 2007 roku rzędna ta wyniosła 217,01 m n.p.m., a według pomiarów z 2006 roku – 217,06 m n.p.m.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny rzeki Uszwicy  
 Fig. 1. Uszwica river cross-section

Zmiany konfiguracji dna wpłynęły na zmianę poziomu zwierciadła wody przepływów nienaruszalnego i średniego niskiego, powodując również zmianę równania krzywej przepływów. Krzywą przepływów wyznaczono zgodnie z równaniem Bubendeya [Byczkowski 1996]. Określona po zainstalowaniu wodowskazu krzywa przepływu – krzywa konsumcyjna – została opisana równaniem w postaci [Michalec i in. 2006]:

$$Q = 4,895 \cdot h^2 + 0,119 \cdot h - 0,00008 \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  – przepływ,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
 $h$  – napętnienie w korycie, m.

Napętnienia w korycie przy przepływie nienaruszalnym i średnim niskim wynosiły odpowiednio 0,25 i 0,23 m.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów geodezyjnych i hydrometrycznych w 2007 r. stwierdzono zmianę geometrii dna cieku w przekroju wodowskazowym i określono nową postać krzywej przepływu [Niedbala i in. 2007]:

$$Q = 4,804 \cdot h^2 - 0,275 \cdot h - 0,016 \quad (2)$$

Wyniki pomiarów geodezyjnych w 2007 r. pozwoliły stwierdzić obniżenia dna o 5 cm w rejonie cokołu łaty wodowskazowej. W środkowej części koryta odłożone zostało rumowisko rzeczne. W wyniku tych przekształceń geometrii dna nie uległa znaczącej zmianie powierzchnia czynnego przekroju poprzecznego. W konsekwencji przy zwiększonych o 5 cm napętnieniach w korycie dla przepływów  $Q_n$  i  $SNQ$  nie zmieniły się wskazania na wodowskazie. Jednakże ze względu na obniżenie się dna, napętnienia odpowiadające analizowanym przepływowi zwiększyły się i wynosiły odpowiednio 0,30 i 0,28 m.

Na podstawie kontrolnych pomiarów w przekroju wodowskazowym w 2008 r. stwierdzono zmianę pól powierzchni przekroju poprzecznego dla rzędnych, które odpowiadają przepływowi  $Q_n$  i  $SNQ$ , wpływającą na zmianę krzywej przepływu [Niedbała i in. 2008]:

$$Q = 4,921 \cdot h^2 - 0,166 \cdot h - 0,004 \quad (3)$$

W ciągu trzech lat zmianie ulegały napełnienia w korycie rzeki odpowiadające przepływowi średniemu niskiemu i nienaruszalnemu. Przy zmianach konfiguracji dna w latach 2006 i 2007 nie zmieniły się rzędne zwierciadła wody analizowanych przepływów (tab. 2).

Tabela 2. Napełnienia i rzędne dla przepływów średniego niskiego ( $SNQ$ ) i nienaruszalnego ( $Q_n$ ) w przekroju wodowskazowym rzeki Uszwicy (km 37+257)

Table 2. Water depths and ordinates for average low flows ( $SNQ$ ) and base flow ( $Q_n$ ) in the gauging section of the Uszwica river (km 37+257)

Przepływ Water flow $Q, m^3 \cdot s^{-1}$	Napełnienie w korycie Water depth in river channel $h_{2006}, m$	Rzędna zwierciadła wody, m n.p.m. Ordinate of water level, m a.s.l.	Napełnienie w korycie Water depth in river channel $h_{2007}, m$	Rzędna zwierciadła wody, m n.p.m. Ordinate of water level, m a.s.l.	Napełnienie w korycie Water depth in river channel $h_{2008}, m$	Rzędna zwierciadła wody, m n.p.m. Ordinate of water level, m a.s.l.
0,28 ( $SNQ$ )	0,24	217,29	0,29	217,29	0,26	217,30
0,34 ( $Q_n$ )	0,26	217,31	0,31	217,31	0,28	217,32

Ze względu na erozję i odkładanie się materiału mineralnego w korycie rzeki Uszwicy w okresie od lipca 2007 r. do września 2008 r. zmianie uległo pole przekroju poprzecznego w przekroju wodowskazowym. Zmiana rzędnej najniższego punktu dna, odpowiadająca zeru wodowskazu, jak również zmniejszenie się pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta przyczyniły się skorygowaniu odczytów stanów wody na wodowskazie.

## PODSUMOWANIE

Zmiany konfiguracji dna w przekroju wodowskazowym rzeki Uszwicy wpływają na zmianę napełnień w jej korycie przy przepływach niskich. Przyczyniają się również do zmiany poziomu zwierciadła wody przepływu nienaruszalnego. Brak weryfikacji krzywej przepływów w tym przekroju Uszwicy przyczyniłby się do poboru wody przez Browar przy przepływach niższych od przepływu nienaruszalnego i spowodowałby zmniejszenie jej ilości poniżej ujęcia, powodując niezachowanie minimalnych warunków bytowych fauny i flory w rzece.

Rejestrując na wodowskazach stany odpowiadające przepływowi niskim, należy prowadzić przynajmniej coroczne pomiary kontrolne, weryfikujące krzywą przepływów. Zmiany poziomu rejestrowanych stanów wody przepływów niskich spowodowane są zmianą konfiguracji dna i pola powierzchni przekroju poprzecznego cieku, do której dochodzi w wyniku przejścia wód wezbraniowych.

## PIŚMIENNICTWO

- Byczkowski A., 1996. Hydrologia. Wyd. SGGW Warszawa.
- Kostrzewa H., 1977. Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływu nienaruszalnego dla rzek Polski. IMGW Warszawa.
- Michalczewski M., 1987. Elementy środowiska geograficznego czynnikiem reżimu przepływów niskich w rzekach na obszarze Polski południowej. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawy 120.
- Michalec B., Tarnawski M., Brożek M. 2006. Wykonanie łąty wodowskazowej wraz z nadzorem wykonawczym posterunku wodowskazowego Brzesko na rzece Uszwicy w km 37+257. Opracowanie na zlecenie Spółki Carlsberg Polska S.A. Maszynopis, Kraków.
- Niedbała J., Michalec B., Tarnawski M. 2005. Operat wodnoprawny na budowę posterunku wodowskazowego Brzesko na rzece Uszwicy w km 37+257. Opracowanie na zlecenie Spółki Carlsberg Polska S.A. Maszynopis, Kraków.
- Niedbała J., Michalec B., Tarnawski M. 2007. Kontrola posterunku wodowskazowego Brzesko na rzece Uszwicy w km 37+257. Opracowanie na zlecenie Spółki Carlsberg Polska S.A. Maszynopis, Kraków.
- Niedbała J., Michalec B., Tarnawski M. 2008. Weryfikacja krzywej przepływu posterunku wodowskazowego na rzece Uszwicy w km 37+257. Opracowanie na zlecenie Spółki Carlsberg Polska S.A. Maszynopis, Kraków.
- Operat wodnoprawny na szczególne korzystanie z wód przez Carlsberg Okocim S.A. w Warszawie na terenie Carlsberg Okocim S.A., Oddział w Brzesku. EkoNorm S.C. Projekt nr 2004/13/3. Katowice.
- Procedura pomiarowa. Pomiar natężenia przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego – wykonany w bród. Maszynopis, IMGW/PSHM/SPO/POM/2002.
- Projekt strefy ochronnej ujęcia wód powierzchniowych na rzece Uszwicy w km 35+900. ABM SOLID S.A. Tarnów 2000.

## EFFECT OF THE CHANGES IN THE RATING CURVE ON THE RECORDING OF BASE FLOW

**Abstract.** The recording of low flows, including base flow, has particular importance in the case of intensive draw-offs of water from a water-course. It provides a basis for the proper water management of a water intake and ensures that the flows creating the right conditions for the survival of water organisms and vegetation are maintained. The paper presents the results of the geodetic and hydrometric surveys conducted on the Uswica river during three years of the building of a water gauge. The latter was built with the aim of recording the base flow, in accordance with the permit required by the Water Law Act and issued for the damming-up and draw-off of water by the Okocim Brewery. At the water levels lower than the base flow, the brewery has no right to take water from the Uswica river. The measurements and the developed rating curves showed that the geometrical changes in the river's cross-section caused by the passing flood waves have a significant influence on establishing the water level at the base flow. The change in water depths and the ordinates of average low and base flows in the gauging section were determined.

**Key words:** water gauge, rating curve, average low flow, base flow

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.02.2010*