

## ROZDZIAŁ III

### PRZEPŁYWY

#### 1. Krzywe przepływu

Chcąc zastąpić stany wody przepływami, musimy znać w każdym przekroju wodowskazowym związek między tymi dwiema wartościami. Do tego celu potrzebna jest odpowiednia ilość pomiarów objętościowych. Korzystanie ze związków podanych w rozdz. I nie jest możliwe; wprawdzie szerokie i płaskie koryta można przyrównać w przybliżeniu do prostokąta, zaś przekroje kilkudzielne do paraboli, ale dokładność będzie w obu wypadkach niewystarczająca. W wypadku użycia wzorów 3, 4a i 4b musiałaby podziałka wodowskazowa odpowiadać głębokości koryta, należało by więc funkcję  $Q = f(H)$  zastąpić funkcją:  $Q = f(H + b)$ , w której  $H + b$  odpowiadałoby  $h_{sr}$  w korycie szeroko rozlanym lub  $h_{max}$  w korycie parabolicznym.

Mając wystarczającą ilość pomiarów objętościowych, możemy związek ustalić, przyjmując z góry kształt krzywej w zależności od kształtu koryta. Najogólniej można by przyjąć kształt równania  $n$ -stopnia w postaci:

$$Q = a + bH + cH^2 + dH^3 + \dots + nH^n \quad (6a)$$

przy czym najczęściej współczynniki przy dalszych wyrazach są tak małe, że wystarczy związek:

$$Q = a + bH + cH^2 \quad (6b)$$

Wprowadzona stała  $a$  oznacza objętość, która przepływa w chwili kiedy wodowskaz wskazuje podziałkę 0, skutkiem tego odpada potrzeba zamiany odczytu wodowskazowego na głębokość koryta.

Przy rzekach, w których wymiar głębokości jest nieznaczny w stosunku do szerokości, zbliża się kształt krzywej związku do

wyprowadzonego teoretycznie dla prostokąta, tylko o potędze bardzo różnorodnej. To też zwykle rozpoczynamy badania krzywej od kształtu jeszcze prostszego a mianowicie:  $Q = a H^n$ , przy czym albo zamiast  $H$  wstawiamy wartość  $H_{zw} - H_{dno}$ , albo też zamiast  $Q$  wartość  $Q' - Q_0$ , gdzie  $Q_0$  jest przepływem odpowiadającym stanowi  $H = 0$ .

Rozwiązanie równania  $Q = a H^n$  wymaga wraz ze stałą  $Q_0$  trzech równań, najczęściej mamy ich znacznie więcej, to też niewiadome wyznaczamy przy pomocy teorii błędów. W tym celu ustalamy najpierw z pomiarów odczyt na wodowskazie, który odpowiada średniemu położeniu dna, albo przepływ odpowiadający odczytowi zerowemu na wodowskazie, po czym prosty związek paraboliczny przedstawiamy w formie logarytmicznej:

$$\lg Q = \lg a + n \lg (H_{zw} - H_d) \quad \text{lub} \quad \lg (Q' - Q_0) = \lg a + n \lg H.$$

Oznaczając  $Q' - Q_0 = Q$  albo  $H_{zw} - H_d = H$ , tworzymy szereg równań dla różnych  $Q$  i  $H$ , mnożymy je kolejno przez  $\lg Q$  i  $\lg H$ , tworząc dwa szeregi równań:

$$\begin{aligned} (\lg Q)^2 &= \lg a \lg Q + n \lg H \lg Q \quad \text{i} \\ \lg Q \lg H &= \lg a \lg H + n (\lg H)^2. \end{aligned}$$

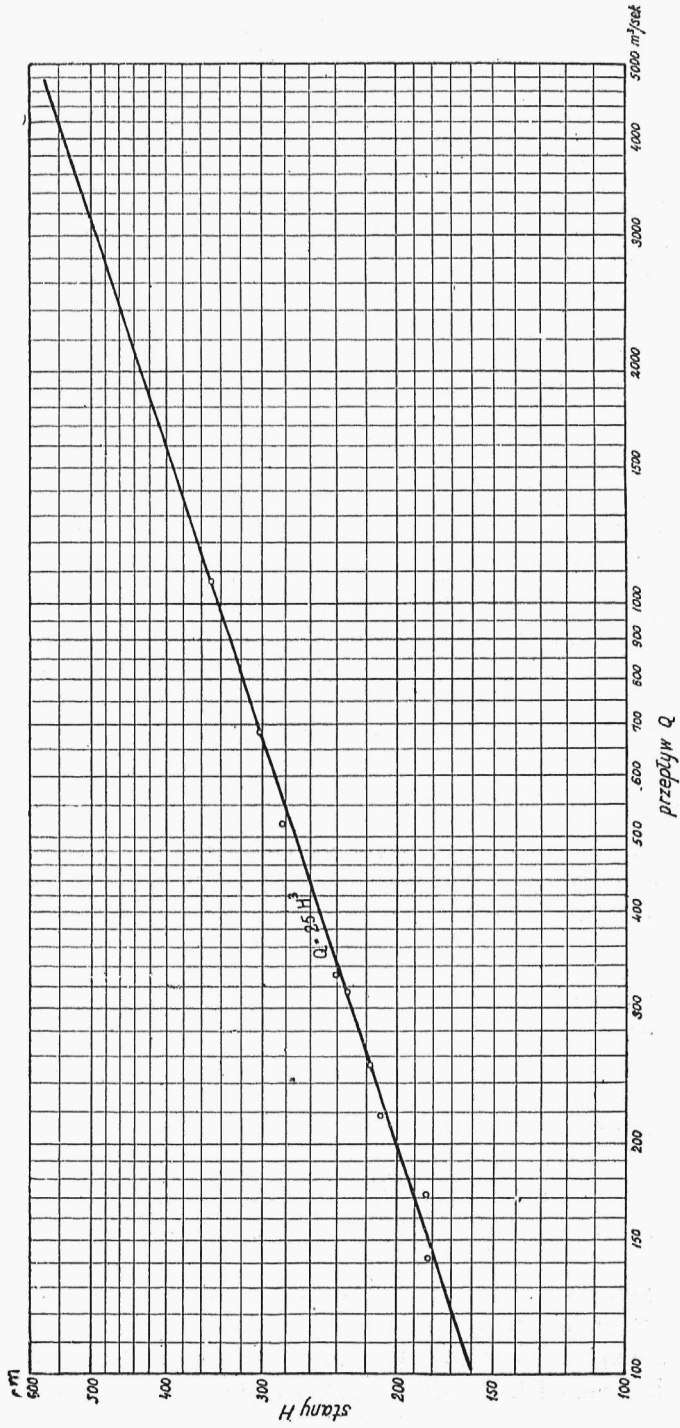
Sumując te szeregi otrzymujemy dwa równania, z których obliczymy niewiadome  $a$  i  $n$ :

$$n = \frac{[\sum (\lg Q)^2] \sum \lg H - [\sum (\lg Q \lg H)] \sum \lg Q}{[\sum (\lg Q \lg H)] \sum \lg H - [\sum (\lg H)^2] \sum \lg Q} \quad (7a)$$

$$\lg a = \frac{[\sum (\lg Q)^2] [\sum (\lg H)^2] - [\sum (\lg Q \lg H)]^2}{[\sum (\lg H)^2] \sum \lg Q - [\sum (\lg Q \lg H)] \sum \lg H} \quad (7b)$$

Prościej określa się wartość stałych przy tym kształcie krzywej na papierze logarytmicznym odmierzając na rzędnych  $\lg H'$  zaś na odciętych  $\lg Q'$ . Jeżeli punkty z pomiarów nie wypadają na prostej wówczas przesuwamy je o stałą wartość w kierunku pionowym lub poziomym aż do wyprostowania. Przesuwanie krzywej jest równoznaczne z odjęciem  $Q_0$  lub  $H_d$ . Wyprostowany związek daje w nachyleniu prostej wartość  $n$  jako tangens kąta nachylenia. Wartość logarytmu  $a$  otrzymamy na przecięciu prostej objętościowej z osią poziomą współrzędnych. Przykład wykreślnego poszukiwania kształtu krzywej na Dunajcu w Nowym Sączu podaje rys. 59.

Jeżeli poszukiwanie kształtu krzywej w tej najprostszej formie nie daje rezultatów, wówczas stosujemy kształt ogólnego równania, ale tylko do drugiej potęgi włącznie. Dobrze jest przyjąć wtedy za wyraz wolny  $a$  wartość  $Q$ , odpowiadającą średniemu przepły-



Rys. 59.  
Krzywa konsumpcyjna w podziale logarytmicznej dla Dunajca w Nowym Sączu.

wowi, i taki sam odczyt wodowskazu przyjąć dla poprawki  $H$ . Otrzymamy wówczas:

$$Q = Q_{H_{sr}} + b(H - H_{sr}) + c(H - H_{sr})^2 \quad (8)$$

Wartość  $Q_{H_{sr}}$  można napisać w postaci związku:

$$Q_{H_{sr}} = \alpha + \beta H_{sr} + \gamma H_{sr}^2$$

Z tych obu równań otrzymamy  $b = \beta + 2\gamma H_{sr}$  oraz  $c = \gamma$ .

Jeżeli obliczać będziemy wartości  $Q$  w stałych odstępach  $\Delta H$  wówczas

$$\Delta Q_1 = Q_{H + \Delta H} - Q_H = (b + 2cH - 2cH_{sr}) \Delta H + c \Delta H^2$$

$$\Delta Q_2 = Q_{H + 2\Delta H} - Q_{H + \Delta H} = (b + 2cH - 2cH_{sr}) \Delta H + 3c \Delta H^2$$

itd., to znaczy, że pomiędzy objętościami, odpowiadającymi zwiększeniom odczytów o  $\Delta H$ , różnice zwiększać się będą o stałą wartość  $2c \Delta H^2$ . Jeżeli odstęp  $\Delta H$  przyjmiemy równy np. 0,1 m, to wzrost ten przyjmie wartość 0,02 c lub 200 c, zależnie od tego czy  $H$  wyrażamy w metrach czy w centymetrach. Obliczenie tabeli objętości staje się bardzo proste. Pierwsza różnica dla odczytu  $H = 0$  będzie:

$$\Delta Q_1 = b \Delta H + c \Delta H^2, \text{ po czym nastąpią różnice jednakowe,}$$

$$\Delta Q_2 = \Delta Q_1 + 2c \Delta H^2$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_2 + 2c \Delta H^2 \text{ itd.}$$

W przekroju wodowskazowym na Dniestrze w Zaleszczykach przepływa przy zerze wodowskazu  $Q_0 = 61,47 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Wzór dla krzywej przepływu opiewa dla  $H_{sr} = 0$

$$Q = 61,47 + 1,239 H + 0,00805 H^2$$

gdzie  $H$  wyrażone w cm

$$2c \Delta H^2 = 1,61.$$

Stąd różnice:

$$\Delta Q_1 = 1,239 \cdot 0,1 + 1,61 = 1,7339$$

$$\Delta Q_2 = 1,7339 + 1,61 = 3,3439$$

$$\Delta Q_3 = 3,3439 + 1,61 = 4,954 \text{ itd.}$$

Tego typu wzorów chętnie używano w Centralnym Biurze Hydrograficznym w Wiedniu; spotykamy je także obliczone dla niektórych wodowskazów na Renie, Garonnie, Rodanie itd., są więc dość rozpowszechnione. Dla polskich rzek znajdujemy w dawnych rocznikach hydrograficznych prócz Zaleszczyk

dla Dniestru w Niżniowie:  $Q = 122,07 + 1,982 H + 0,00158 H^2$ ,

w Zaleścach:  $Q = 35,6 + 0,665 H + 0,00164 H^2$ ,

dla Wisłoki w Gawłuszowicach:  $Q = 39,05 + 0,696 H + 0,0037 H^2$ .

Bardziej rozpowszechnione są u nas wzory kształtu paraboli  $n$  — stopnia:  $Q = a (H + b)^n$ . Tak np. na Prypeci w Mostach Wolańskich mamy w granicach wysokich brzegów wzór:  $Q = 7,14 (H - 0,5)^{2,22}$  ważny do  $H = 4,43$ . Z chwilą wystąpienia rzeki z brzegów zmienia się kształt krzywej, mamy najpierw przejściową krzywą o ostrym zagięciu, a więc parabolę wysokiego stopnia  $Q = 0,000592 (H - 0,5)^{9,09}$  ważną w granicach  $H = 4,44$  do  $5,42$ , zaś dalej równanie prostej.  $Q = 1515 H - 7075$  (wartości  $H$  w metrach)<sup>21)</sup>. Takie same 2 równania krzywej, ale bez odcinka prostego, mają krzywe obliczone dla wodowskazu w Nyrczy dla Prypeci i w Sieninie dla Jasiołdy<sup>22)</sup>. Przykłady te pouczają, że przy gwałtownie zmieniających się przekrojach (rozlew na brzegi) nie można ująć związku między stanami wody i przepływami jedną krzywą. Nie można też używać obliczonych krzywych przepływu do określenia ilości przepływu daleko poza granice wyznaczone pomiarami, na których oparto obliczenie krzywej. Dla każdej więc krzywej powinny być podane jej granice ważności w stosunku do odczytów wodowskazowych. Z powyższych przykładów widać też, że przekroje rzeki o jednakowym lub podobnym charakterze muszą dać podobny kształt krzywej przepływu. Jeszcze lepiej uwidoczniają to krzywe obliczone dla wodowskazów Dunajca i Sanu. Z 12 wodowskazów na Dunajcu<sup>23)</sup> 10 ma związek w postaci paraboli zbliżonej do trzeciego stopnia (wykładnik zmienia się od 2,50 do 3,67), tylko Zgłobice przedstawiają krzywą bardzo płaską ( $n = 1,16$ ), zaś Gólkowice silnie zagiętą ( $n = 4$ ), krzywa Popradu w Starym Sączu ma wykładnik 3,20.

Dla 5 górnych wodowskazów na Sanie we wzorach występują wykładniki od 3 do 4,53. W Olchowcach wzrasta wykładnik do 6,65 zaś w Babicach do 8,03. Natomiast wszystkie dolne wodowskazy mają wykładniki od 2,07 do 2,68, tylko ostatni, w Radomyślu, ma nieco wyższy: 3,49<sup>24)</sup>.

---

<sup>21)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna. Stosunki przepływu Prypeci w profilu Mosty Wolańskie. Warszawa, 1933.

<sup>22)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna. Wyniki pomiarów objętości przepływu w dorzeczu Prypeci. Warszawa, 1934.

<sup>23)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna. Wyniki pomiarów objętości przepływu w dorzeczu Dunajca. Warszawa, 1927.

<sup>24)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna. Wyniki pomiarów objętości przepływu w dorzeczu Sanu. Warszawa, 1929.

Taki sam kształt wzorów znajdujemy i na innych rzekach zarówno w Polsce jak i poza jej granicami.

W korytach płaskich wzory na związek przepływu ze stanami zbliżają się do kształtu teoretycznego wykazując wykładnik  $= \frac{3}{2}$ . Są one bardzo rozpowszechnione, tak np. spotykamy je na Tybrze, Padzie, Loarze, Sekwanie, Izarze, Dracu itd.

Prócz tych dwóch typów wzorów spotykamy i inne rzadziej używane, tak np. Lombardini zaleca kształt funkcji:

$$Q = a H^{\frac{3}{2}} \pm b H^{\frac{n}{2}} \text{ podając dla Addy w Come: } Q = 100 H^{\frac{3}{2}} - 3,2 H^{\frac{5}{2}}.$$

## 2. Okres ważności krzywej związku

Ponieważ podstawą związku jest założenie, że temu samemu odczytowi wodowskazu odpowiada ta sama objętość przepływu, przeto wynika stąd jasno, że krzywa związku zachowuje swą ważność tylko tak długo, jak długo przekrój wodowskazowy i spad rzeki nie uległ zmianie.

Wobec tego konieczne jest przy podaniu wzoru na krzywą przepływu podać jej okres ważności. Konstruując krzywą z uwzględnieniem zmian stanu koryta, należy przyjąć za okres podstawowy najdłużej trwający stan koryta bez zmiany, o ile w tym czasie mamy wystarczającą ilość pomiarów objętościowych.

Duże i nagłe zmiany w kształcie koryta łatwo jest spostrzec; lecz obok tych wyraźnych zmian odbywają się (w korytach o bardzo ruchliwym podłożu i drobnym rumowisku) przesunięcia nieznaczne, ale za to ciągle i dlatego w rezultacie również wpływające na zmianę kształtu krzywej przepływu. Zwykle jednak zmiany tego rodzaju nie są jednokierunkowe, ale wahają się około pewnej średniej wartości. Tam gdzie wody średnie wyłobiły sobie głębsze koryto, po przejściu wyższych wód znajdujemy nieraz naniesione rumowisko, które rzeka powoli usuwa, wystarczy więc mieć do dyspozycji większą ilość pomiarów objętościowych, które wprowadzić nie będą leżeć ściśle na jednej krzywej, ale będą tylko nieznacznie od niej odbiegać. Równanie krzywej obliczone przy pomocy teorii błędów uwzględnia wszystkie pomiary i da krzywą, która odpowie średniemu stanowi koryta.

Przy układaniu związku między stanem wody i przepływem przyjęliśmy spad wody niezmienny w danym profilu wodowskazowym. W rzeczywistości tak nie jest, spad miejscowy ulega ciągłym zmianom—w miarę zmian wody i zmian w położeniu ławic rumowiska poniżej profilu wodowskazowego. I tu nie mamy innego środka, jak