

ZBIGNIEW MROZIŃSKI<sup>1</sup>

## METODA PODOBIEŃSTWA HYDROLOGICZNEGO W UJĘCIU RÓŻNYCH AUTORÓW

### 1. Wstęp

Zagadnienie podobieństwa hydrologicznego jest bardzo ważne z uwagi na konieczność określania charakterystyk hydrologicznych koniecznych do wymiarowania budowli wodnych oraz niezbędnych do planowania i realizacji zadań gospodarki wodnej. Mimo rozwoju nowej gałęzi hydrologii jaką jest modelowanie matematyczne wielkości projektowe są charakterystykami statystycznymi a w bardzo małym stopniu wynikami modelowania matematycznego.

Ważnym wydaje się przegląd równań wykorzystywanych w metodzie podobieństwa i ich krytyczna ocena.

### 2. Analiza literaturowa metody podobieństwa hydrologicznego

W celu zobrazowania postaci równań oraz transformacji tej metody przeanalizowano dostępną podstawową literaturę hydrologiczną okresu powojennego.

Orlewicz (Franczuk, 1958) cytuje równanie Dębskiego na zwykłą wielką wodę w postaci :

$$\log Q_3 = C + 0,7 \log F - 0,3 \quad (1)$$

$$C = C_0 + 2,73 \log \frac{H}{H_0} + 0,36 \log \frac{K}{K_0} + 0,18 \log \frac{J}{J_0} \quad (2)$$

gdzie :

$Q_3$  – woda brzegowa w m<sup>3</sup>/s,

$F$  - zlewnia w km<sup>2</sup>,

$C_0$  – parametr podany w tabeli dla wybranych przekrojów rzek lub obliczony z przekształconego równania (1) dla profilu kontrolowanego,

$H$  - opad roczny w badanym przekroju,

$K$  - wzniesienie badanego przekroju rzeki powyżej poziomu morza,

$J$  - spad od źródeł do badanego przekroju,

$0$  - indeks odnosi się do przekroju kontrolowanego tej samej rzeki lub sąsiedniej o podobnych warunkach przepływu dla którego  $C_0$  jest znane.

Czetwertyński (1958) cytuje wzór Dębskiego na wielką wodę w postaci :

$$Q_{50\%} = C \cdot A^{2/3} \quad (3)$$

---

<sup>1</sup> Politechnika Szczecińska, Szczecin

$$C = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{2,73} \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^{0,36} \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{A}{A_0}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0,5} \cdot C_0 \quad (4)$$

gdzie :

- A – powierzchnia zlewni w km<sup>2</sup>,
- P – wysokość normalnego rocznego opadu,
- I – stosunek całkowitego spadku rzeki do długości doliny,
- L – długość cieku,
- 0 – indeks odnoszący się do cieku porównawczego.

Dębski (1970) zamieszcza swój własny wzór na określenie zwyczajnej wielkiej wody

$$Q_{50\%} = C \cdot A^{2/3} \quad (5)$$

$$C = C_0 \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^{2,73} \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^{0,36} \cdot \left(\frac{J}{J_0}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{A}{A_0}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{L_0}{L}\right)^{0,5} \quad (6)$$

gdzie :

- A - powierzchnia zlewni w km<sup>2</sup>,
- C<sub>0</sub> – współczynnik stabilizowany zlewni podobnej,
- P - opady normalne roczne,
- H - rzędna zwierciadła wody zwyczajnej,
- J - spadek rzeki od źródeł do przekroju,
- 0 - indeks dotyczy zlewni podobnej.

Lambor (1971) podaje formułę na obliczanie przepływów maksymalnych.

$$Q_{\max} = Q_{\max}^0 \left(\frac{F}{F^0}\right)^{0,67} \quad (7)$$

gdzie :

- $Q_{\max}$  – przepływ maksymalny.
- $F$  – powierzchnia zlewni,
- $Q^0$  i  $F^0$  – odnoszą się do przekroju wodowskazowego tej samej zlewni.

Byczkowski (1979) podaje następujące równanie

$$Q_x = k \cdot Q_0 \left(\frac{A_x}{A_0}\right) \quad (8)$$

- $A_x$  – powierzchnia zlewni w profilu badanym,
- $A_0$  – powierzchnia zlewni w profilu porównawczym,
- $k$  – współczynnik  $k = \left(\frac{q_x}{q_0}\right)$  stosunek odpływów jednostkowych

lub

$$Q_x = Q_0 \left(\frac{A_x}{A_0}\right)^n \quad (9)$$

- $n$  – współczynnik potęgowy

lub

$$Q_x = k \cdot Q_0 \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^n \quad (10)$$

Stachy (1991) dla obliczania przepływów średnich niskich zaleca stosować równanie

$$SNQ_x = SNQ_G \cdot \frac{A_x}{A_G} \quad (11)$$

- $SNQ$  – przepływ średni niski,  
 $A$  – powierzchnia zlewni,  
 $x$  – indeks, odnosi się do przekroju obliczeniowego,  
 $G$  – indeks, odnosi się do wodowskazu położonego na rzece najwyżej.

Bernat (1991) dla przeliczania przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia zaleca stosować równanie :

$$Q_{px} = Q_{pG} \cdot \left( \frac{A_x}{A_G} \right)^n \quad (12)$$

- $Q_p$  – przepływ o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się „p”,  
 $A$  – powierzchnia zlewni,  
 $x$  – indeks, odnosi się do przekroju obliczeniowego,  
 $G$  – indeks, odnosi się do przekroju wodowskazowego zamykającego górną część dorzecza,  
 $n$  – wykładnik ( wskaźnik redukcji ) zależny od makroregionu 0,57 – 0,92.

Ozga-Zielińska (1994) do interpolacji lub ekstrapolacji charakterystyk przepływu zaleca stosować równanie w postaci :

$$Q_0 = Q_w \left( \frac{A_0}{A_w} \right)^n \quad (13)$$

- $Q$  – przepływ,  
 $A$  – powierzchnia zlewni,  
 $n$  – parametr empiryczny,  
 $0$  – indeks, przekrój obliczeniowy,  
 $w$  – indeks, przekrój wodowskazowy.

Gdy na rzece znajdują się dwa wodowskazy, parametr  $n$  można obliczyć z zależności

$$n = \frac{\ln Q_{w2} - \ln Q_{w1}}{\ln A_{w2} - \ln A_{w1}} \quad (14)$$

$w1, w2$  – indeksy, przekroje wodowskazowe

Równanie (13) może być stosowane do przenoszenia charakterystyk ze zlewni podobnej ( w przypadku pełnej analogii hydrologicznej ).

Byczkowski (1996) do interpolacji, ekstrapolacji jak i analogii zaleca stosować następujące równania :

$$Q = Q_0 \left( \frac{A}{A_0} \right)^n \quad (14)$$

lub

$$Q = k \cdot Q_0 \left( \frac{A}{A_0} \right)^n \quad (15)$$

$$k = \frac{q}{q_0}$$

- $Q$  – przepływ o dowolnej charakterystyce,
- $A$  – powierzchnia zlewni,
- $Q_0$  – indeks, odnosi się do profilu porównawczego,
- $n$  – wykładnik potęgowy,
- $q$  – odpływy jednostkowe

$$k = \frac{q}{q_0} = a \cdot \left( \frac{X_1}{X_{10}} \right)^{n_1} \cdot \dots \quad (16)$$

$X$  – charakterystyki fizyczno-geograficzne i klimatyczne

### 3. Jaka postać równania jest właściwa?

a) w przypadku przenoszenia informacji z przekroju „0” do przekroju „x” na tej samej rzece lub podobnej

$$Q_x = Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^n \cdot k_1 \quad (17)$$

dla przekroju x-x

$$\left( \frac{A_x}{A_0} \right)^n = \text{stała}$$

$$k_x = \text{stała}$$

a więc

$$\left( \frac{A_1}{A_0} \right)^n \cdot k_x = \text{stała } k$$

$$Q_x = k \cdot Q_0 \quad (18)$$

Stała k powinna być wyznaczona ( identyfikowana ) dla zakresu przepływów np. średnich, niskich, itp.

- b) w przypadku określania przepływu w dowolnym miejscu na rzece.  
 Czyli przekrój x-x jest przekrojem wędrującym na rzece ( chcemy określić przepływy wzdłuż biegu rzeki ) to równanie powinno mieć postać

$$Q_x = Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^n \quad (19)$$

Inna postać ze współczynnikiem „k” jako stała nie przeliczałaby przepływów prawidłowo dla szczególnego przypadku gdy przekrój x-x pokrył by się z przekrojem 0 – 0.

Wtedy musimy otrzymać  $Q_x = Q_0$ .

Równanie (19) należy rozpisać następująco :

$$Q_x = Q_0 \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^1 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^{(n-1)} \quad (20)$$

gdzie :

$$Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^1 \text{ - obrazuje pełne podobieństwo zlewni}$$

$$\left( \frac{A_x}{A_0} \right)^{(n-1)} \text{ - obrazuje pewną korektę podobieństwa zlewni}$$

( czyli brak podobieństwa )

Zaproponowana postać równania jest szczególnie przydatna jeżeli mamy 2 przekroje badawcze na rzece a przepływy chcemy interpolować lub ekstrapolować

Do identyfikacji wykładnika „n” równanie (19) przybierze postać :

$$Q_1 = Q_0 \left( \frac{A_1}{A_0} \right)^n$$

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left( \frac{A_1}{A_0} \right)^n$$

$$\ln \frac{Q_1}{Q_0} = n \ln \frac{A_1}{A_0}$$

$$n = \frac{\ln \frac{Q_1}{Q_0}}{\ln \frac{A_1}{A_0}} \quad (21)$$

a więc :

$$Q_x = Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^{\frac{\ln \frac{Q_1}{Q_0}}{\ln \frac{A_1}{A_0}}} = Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^n \quad (22)$$

tak zapisane równanie spełnia warunki wyjściowe :

dla przekroju 0 - 0  $Q_x = Q_0$

oraz dla przekroju 1 - 1  $Q_x = Q_1$

c) przeniesienie przepływów z jednej zlewni na drugą :

$$Q_x = Q_0 \cdot \left( \frac{A_x}{A_0} \right) \cdot k$$

gdzie :

0 – indeks zlewni obserwowanej,  
x – indeks dowolnej zlewni.

W takim przypadku powinniśmy uzależnić zlewnię x od 2-ch lub więcej zlewni badawczych a współczynnik **k** – uzależnić nie tylko od powierzchni ale również innych parametrów morfometrycznych i klimatycznych

np. 
$$k = \left( \frac{A_x}{A_0} \right)^{n_1} \cdot \left( \frac{Z_x}{Z_0} \right)^{n_2} \cdot \left( \frac{Y_x}{Y_0} \right)^{n_3} \quad (23)$$

gdzie – **z, y, ...** – parametry morfometryczne i klimatyczne.

Taki zapis gdzie „**k**” jest zmienną wielowymiarową umożliwia przeliczenie zlewni kontrolowanej na samą siebie czyli równanie spełnia warunki wyjściowe.

Równanie (23) jest równaniem uwzględniającym interferencje oddziaływań poszczególnych czynników, jest zarazem równaniem prostym do identyfikacji parametrów „n”.

Nasuwa się pytanie czy jest ono właściwe i czy oddziaływanie parametrów jest interferencyjne czy może superpozycyjne lub mieszane.

Zakładając superpozycję oddziaływań parametrów należałoby założyć następującą postać równania :

$$k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{i=m} \left( \frac{X_i}{X_{0i}} \right)^{n_i} \quad (24)$$

gdzie :

m – ilość rozważanych parametrów morfometrycznych i klimatycznych,  
X – rodzaj parametru,  
ni – identyfikowany wykładnik.

Proponowane równanie (24) również spełnia warunki wyjściowe i dla przekroju „X” leżącego w punkcie „0”  $Q_x = Q_0$ .

#### **4. Wnioski**

1. Różnorodność opisu matematycznego metody podobieństwa hydrologicznego wymaga wnikliwej analizy stosowanych formuł.
2. Komplikacja opisu przy ekstrapolacji obserwacji poprzez łączenie mnożnika i wykładnika jest matematycznie niezależna.
3. Stosowanie mnożnika „k” tworzy równanie nie spełniające warunków wyjściowych.
4. Wykorzystanie interferencji oddziaływań czynników morfometrycznych i klimatycznych w metodzie modeli obszarowych podobieństwa może prowadzić do nadwrażliwości modelu (nieuzasadnionej czułości).

#### **Literatura**

- Bernat B. i inni „Zasady obliczenia maksymalnych rocznych przepływów rzek polskich o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się”, IMGW, Warszawa 1991.
- Byczkowski A., Hydrologia”, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1996.
- Byczkowski A., Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych – przepływy charakterystyczne, PWNiL, Warszawa 1979.
- Czetwertyński E., Hydrologia, Arkady, Warszawa 1958.
- Dębski K., Hydrologia, Arkady, Warszawa 1970.
- Franczuk M., Orlewicz S., Radzikowski A., Tablice inżynierskie, PWN Poznań 1958.
- Lambor J., Hydrologia inżynierska, Arkady, Warszawa 1971.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., Hydrologia stosowana, PWN Warszawa 1994.
- Stachy J. i inni, Zasady obliczenia przepływów średnich niskich rzek polskich, IMGW Warszawa 1991.

#### **METHOD OF HYDROLOGICAL ANALOGY BY DIFFERENT AUTHORS**

##### **Summary**

The paper contains the review of the basic hydrological bibliography concerning method of the hydrological analogy applications. Applied mathematical formulas as well as the analysis of its correctness as a model of hydrological information transposition are presented. Formulas describing the problem have been suggested.

##### **Streszczenie**

W artykule zamieszczono przegląd podstawowej literatury hydrologicznej w zakresie stosowania metody podobieństwa hydrologicznego. Zamieszczono stosowane formuły matematyczne oraz przeanalizowano ich poprawność jako modelu przenoszenia informacji hydrologicznej. Zaproponowano postacie formuł opisujących to zagadnienie.