

**Stefan IGNAR**

Katedra Budownictwa Wodnego SGGW  
Department of Hydraulic Structures WAU

**Jan KRUPA**

**Aleksandra IGNAR**

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW  
Department of Applied Mathematics WAU

## **Statystyczna analiza zmienności parametru CN dla zlewni rzeki Skawy Statistical analysis of CN parameter variability for Skawa river basin**

### **Wstęp**

W badaniach nad modelowaniem wezbrań opadowych istotny jest sposób wyznaczania opadu efektywnego, który jest transformowany przez modele koncepcyjne w odpływ wezbraniowy. Opad efektywny definiowany jest jako część opadu całkowitego, pozostająca po odjęciu strat, na które składają się: intercepcja, infiltracja, retencja powierzchniowa i parowanie terenowe. Do wyznaczania opadu efektywnego w hydrologii inżynierskiej znajdują zastosowanie formuły empiryczne, opisujące w sposób uproszczony złożone zjawisko rozdziału opadu (Ignar i Banasik 1986, Ostrowski 1988). Spośród tych formuł dużą popularność, ze względu na swą prostotę i łatwość zastosowania, zyskała metoda SCS opracowana w Stanach Zjednoczonych (Ralli-

son i Miller 1981). Uzależnia ona wielkość opadu efektywnego od: rodzaju gleby, sposobu użytkowania terenu zlewni oraz uwilgotnienia gleby przed wystąpieniem badanego opadu. Wszystkie te czynniki ujmuje bezwymiarowy parametr CN o wartościach z przedziału  $< 0, 100 >$ , związany z maksymalną potencjalną retencją zlewni S.

### **Zmienność wartości parametru CN**

W metodzie SCS uwzględnia się wpływ stanu retencji początkowej zlewni, analizując sumy opadów w ciągu 5 dni poprzedzających dane wezbranie. W zależności od wielkości tej sumy przyjmuje się jeden z 3 poziomów warunków wilgotnościowych (PWW) i w konsekwencji

modyfikuje wartość parametru CN określoną z tabel SCS w przeciętnych warunkach PWW II. Duże skrajne wielkości PWW I i PWW III interpretowano jako dolne i górne ograniczenie tzw. „przedziału rozrzutu”, czyli obwiednie obejmujące obserwowane w doświadczeniach wartości parametru CN. Traktowana w ten sposób wilgotność początkowa reprezentuje łączny efekt wszystkich przyczyn zmienności parametru CN, tj. natężenia opadu, przestrzennej zmienności charakterystyk zlewni i opadu oraz niedokładności w strukturze i współczynnikach we wzorach metody SCS (Rallison i Miller 1981).

W dalszych badaniach nad metodą SCS podjęto próbę określenia statystycznego rozkładu jej parametru CN. Hjelmfelt i in. (1981) analizowali dane o opadzie i odpływie w 12 małych zlewniach eksperymentalnych w okresie obserwacji od 7 do 24 lat i podali, że wartość parametru S maksymalnych wezbrań rocznych ma rozkład logarytmiczno-normalny. Jednocześnie zbadali zmienność parametru CN i stwierdzili, że przyjęte przez SCS wartości w poszczególnych przedziałach PWW odpowiadają 90, 50 i 10% sumowanych prawdopodobieństw wysokości opadu efektywnego, wyznaczonego metodą SCS przy przyjętym opadzie całkowitym. Prawdopodobieństwa te odpowiadają kolejno PWW I, PWW II i PWW III. Opierając się na powyższych przedziałach prawdopodobieństwa Hawkins i in. (1985) opracowali warunkowy rozkład prawdopodobieństwa opadu całkowitego P w przypadku opadu efektywnego  $PE = 0$ . Opad PE jest równy zero, gdy

opad całkowity jest mniejszy lub równy tzw. stracie początkowej  $I_a$  równej  $0,2 \cdot S$  dla PWW II. Autorzy wyznaczyli wartości  $I_a$  dla PWW I, PWW II i PWW III, przypisując im odpowiednio prawdopodobieństwa wystąpienia opadu efektywnego  $PE = 0$  równe 90, 50 i 10%, a w przypadku skrajnych wartości  $P = 0$  i  $P = \infty$  przyjęli prawdopodobieństwo równe 0 i 1. Stwierdzili, że te 5 punktów można w miarę dokładnie interpolować rozkładem logarytmiczno-normalnym. Wartości parametrów rozkładu wyznaczono jako  $m = -1,609$  i  $\sigma = 0,67$ . Parametry te określono dla standaryzowanych wartości P. Standaryzacji tej dokonano dzieląc P przez wartość  $S_{II}$  odnoszącą się do PWW II. Przy podanych powyżej wartościach parametrów rozkładu wyliczono funkcję gęstości i dystrybuantę. Posługując się tak wyznaczoną dystrybuantą warunkowego rozkładu prawdopodobieństwa można wyznaczyć opad efektywny metodą SCS z uwzględnieniem dowolnie przyjętego przedziału ufności (Ignar i Ignar 1990), co pozwala na uwzględnienie losowej zmienności parametru CN. Dystrybuanta ta może być również zaadaptowana do algorytmu wyznaczania przepływów wezbraniowych, który umożliwia przyjmowanie wartości parametrów z przyjętych rozkładów prawdopodobieństwa (Ignar 1993). W celu sprawdzenia zgodności przebiegu zmienności wartości parametru CN z rozkładem logarytmiczno-normalnym podanym w literaturze wykonano analizę danych empirycznych o opadzie i odpływie zarejestrowanych w zlewni rzeki Skawy.

## Analiza empirycznych wartości parametru CN

Analizę przeprowadzono dla danych o opadzie i odpływie zarejestrowanych w zlewni rzeki Skawy po profil Jordanów (powierzchnia zlewni – 96,6 km<sup>2</sup>). Dane te zebrano w ramach Programu Małych Zlewni IMGW (Ostrowski i Hołda 1997). Łącznie dysponowano 24 wezbrańmi. Dla wszystkich tych wezbrań określono wartości parametru S i CN przez porównanie obserwowanego opadu i odpływu (Ignar 1988). Następnie estymowano wartości parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego i normalnego dla obliczonych wartości maksymalnej potencjalnej retencji zlewni S. Obliczenia wykonano standardowym programem Statgraphics. Dla określonych rozkładów wyznaczono wartości modalne S ( $p = 50\%$ ) oraz S<sub>10%</sub> i S<sub>90%</sub> i przetransformowano je na wartości parametru CN, otrzymując w ten sposób wartości CN<sub>II</sub>, CN<sub>III</sub> i CN<sub>I</sub>.

Średnie wartości parametru CN obliczane z danych empirycznych zwykle różnią się istotnie od wyznaczonych standardowo metodą SCS (na podstawie map gleb i użytkowania). Ta różnica wynika z zastosowania do obliczeń wszy-

stkich obserwowanych wezbrań (Hawkins i in. 1985), podczas gdy oryginalna metoda SCS była opracowana na podstawie maksymalnych wezbrań rocznych. Zbyt krótki czas obserwacji w zlewni rzeki Skawy uniemożliwia zastosowanie tego kryterium. Zamiennie przyjęto zaproponowany arbitralnie przez Banasika (1994) warunek analizowania wezbrań wywołanych opadem większym od 20 mm. Po zastosowaniu tego kryterium uzyskano zbiór 12 wezbrań. Dla tego zbioru, podobnie jak dla 24 wezbrań, estymowano wartości parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego i normalnego wartości maksymalnej potencjalnej retencji zlewni S. Następnie wyznaczono S<sub>90%</sub>, S<sub>50%</sub> i S<sub>10%</sub> i przetransformowano je na wartości CN<sub>I</sub>, CN<sub>II</sub> i CN<sub>III</sub>. Wyznaczone w ten sposób wartości parametru CN zestawiono w tabeli.

### Podsumowanie i wnioski

Wartości parametrów CN wyznaczone z danych empirycznych o opadzie i odpływie różnią się znacznie dla poszczególnych wezbrań. Dla analizowanego zbioru 24 wezbrań rzeki Skawy po profil Jordanów wartości CN mieściły się

TABELA. Zestawienie obliczonych i odczytanych z tablic wartości parametrów CN  
TABLE. Computed and determined from tables values of CN parameter

Rozkłady	Wartości CN					
	CN <sub>II</sub>	obliczone			odczytane z tablic	
		CN <sub>I</sub>	CN <sub>III</sub>	CN <sub>I</sub>	CN <sub>III</sub>	
Normalny n = 24	85,3	77,7	94,6	70,6	93,7	
Normalny n = 12	82,9	74,5	93,4	66,9	92,5	
Logarytmiczno-normalny n = 24	86,9	76,4	93,2	73,4	94,5	
Logarytmiczno-normalny n = 12	85,0	70,6	93,1	70,0	93,5	

w przedziale od 70,9 do 97,2 przy wartości średniej 85,3. Zmienność ta, wynikająca głównie ze zmiennych warunków wilgotnościowych w zlewni przed wystąpieniem badanego opadu skłania do traktowania parametru CN jako zmiennej losowej.

Analiza wartości CN, zestawionych w tabeli, wykazuje istotne różnice między wartościami modalnymi CN<sub>II</sub> (o prawdopodobieństwie wystąpienia 50%) dla badanych rozkładów i zbiorów danych. Najlepszą zgodność wartości CN<sub>I</sub> i CN<sub>III</sub>, obliczonych z rozkładu statystycznego z tablic SCS, uzyskano dla rozkładu logarytmiczno-normalnego i dla zbioru wezbrań o opadach większych od 20 mm. Potwierdza to prawidłowość wyboru tego rozkładu i przyjętego kryterium doboru wezbrań do analizy.

## Literatura

- BANASIK K. 1994: *Model sedymentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- HAWKINS R., HJELMFELT A. T., ZEWENBERGEN A. W. 1985: *Runoff probability, storm depth and curve numbers*. J. of Irrigation and Drainage Engineering, t. 111, 4.
- HJELMFELT A. T., KRAMER K. A., BURWELL R. E. 1981: *Curve numbers as random variables*. International Symposium of Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi State University, Littleton.
- IGNAR S. 1993: *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- IGNAR S., BANASIK K. 1986: *Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na parametry modelu Nasha małej zlewni rolniczej*. Gosp. Wodna 4.
- IGNAR S., IGNAR A. 1990: *Adaptacja metody SCS do wyznaczania opadu efektywnego z*

*uwzględnieniem przedziału ufności*. Przegl. Geofiz. XXXV, z. 3–4.

- OSTROWSKI J. 1988: *Modelowanie hydrogramów wezbrań opadowych w małych zlewniach nie kontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych IMGW*. Cz. IV. *Określanie opadu efektywnego*. Wiad. IMGW XI (XXXII); 1–2.
- OSTROWSKI J., HOŁDAI. 1997: *Odwzorowanie katastrofalnych fal powodziowych w górskich zlewniach niekontrolowanych*. Konf. Nauk. Techn. „Zagrożenie powodziowe w zlewniach górskich”. Bielsko-Biała 14–16 kwiecień 1997.
- RALLISON R.E., MILLER N. 1981: *Past, Present and Future of SCS Runoff Procedure*. International Symposium on Rainfall-Runoff Modelling, Mississippi State University, Littleton.

## Summary

**Statistical analysis of CN parameter variability for Skawa river basin.** Method for effective rainfall determination plays a very important role in any rainfall–runoff modelling technique. One of the most often used methods is SCS (Soil Conservation Service) Curve Number method with one parameter denoted by CN. Values of CN parameter for 24 flood events recorded in Skawa river basin were determined from rainfall–runoff data. Next, the statistical distributions were fitted with the use of statgraphics package. Two distributions were applied: normal and log-normal for two sets of data: all 24 events and events with total rainfall greater than 20 millimetres (12 events). The analysis has shown, that log-normal distribution for floods caused by rainfalls greater than 20 mm gave the best results.

### Authors' address:

S. Ignar, J. Krupa, A. Ignar  
Warszawa Agricultural University – SGGW  
02–787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166  
Poland