INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/IV/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 105–117
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

WPŁYW WARUNKÓW WILGOTNOŚCIOWYCH NA ESTYMACJĘ WARTOŚCI PARAMETRU CN W ZLEWNI GÓRSKIEJ

Stanisław Krzanowski[1], Antoni T. Miler[2], Andrzej Wałęga[1]
[1]Uniwersytet Rolniczy im .Hugona Kołłątaja w Krakowie, [2]Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

THE EFFECT OF MOISTURE CONDITIONS ON ESTIMATION OF THE CN PARAMETER VALUE IN THE MOUNTAIN CATCHMENT

Streszczenie

Badania prowadzono w zlewni rzeki Kamienicy. Zlewnia ta zaliczana jest do trzech mezoregionów: Beskidu Sądeckiego – górna część zlewni, Beskidu Niskiego i Kotliny Sądeckiej – środkowa i dolna część zlewni. W celu weryfikacji przydatności metody NRCS do obliczania odpływu bezpośredniego wybrano siedem wezbrań jakie wystąpiły w latach 1997-2010 w górnej części zlewni Kamienicy. Wartość parametru *CN* wg metody NRCS ustalono wykorzystując zaobserwowane zjawiska opad--odpływ. W tym celu dokonano podziału całkowitego hydrogramu odpływu na odpływ gruntowy (bazowy) i odpływ bezpośredni. Uzyskane wyniki potwierdzają doniesienia innych autorów, że parametr *CN* określony na drodze empirycznej jest znacznie wyższy od wartości teoretycznej dla warunków normalnych. Przyjęto zatem założenie, że w okresie bezopadowym lub w przypadku opadów normalnych, źródłem zasilania cieków są wody podziemne pierwszego poziomu wodonośnego. Analizy wykazały, iż wykorzystanie przepływu bazowego jako miary uwilgotnienia podłoża w przypadku zlewni górskiej do obliczania parametru *CN* jest zasadne.

Wydaje się, iż przepływ bazowy lepiej niż suma opadów poprzedzających wezbranie charakteryzuje stopień uwilgotnienia zlewni, bowiem w sposób pełniejszy opisuje związki hydrauliczne wód podziemnych i powierzchniowych oraz poniekąd zdolności retencyjne zlewni.

Słowa kluczowe: metoda NRCS, zlewnia górska, warunki wilgotnościowe, odpływ bazowy

Summary

Research was carried out in the Kamienica river catchment. This catchment is included into three mesoregions: upper part of the basin – in the Beskid Sądecki, central and lower part of the basin – in the Beskid Niski and the Kotlina Sądecka. Seven floods, which occurred in 1997-2010 in the upper part of the Kamienica catchment, were selected in order to verify the suitability of the NRCS method to calculate the direct runoff. The CN parameter value according to NRCS method was estimated based on the observed phenomena of rainfall-runoff. To follow the aim, the total runoff hydrograph was divided into two parts: groundwater (base) flow and direct runoff. The obtained results confirm the reports of other authors that the CN parameter estimated by empirical study is significantly higher than the theoretical value for normal conditions. Thus, it was concluded that during a drought period or, in a case of normal precipitation, watercourses are supplied by groundwater of the first aquifer. The conducted examinations showed, that in the case of mountain catchments, the use of baseflow as an index of ground moisture to calculate the CN parameter is legitimate. It seems that the degree of catchment moisture is better characterized by the baseflow than by the sum of precipitation preceding the flood, as in this case hydraulic relations of groundwater and surface water, as well as in some sense water retention capacity of the catchment are more completely described.

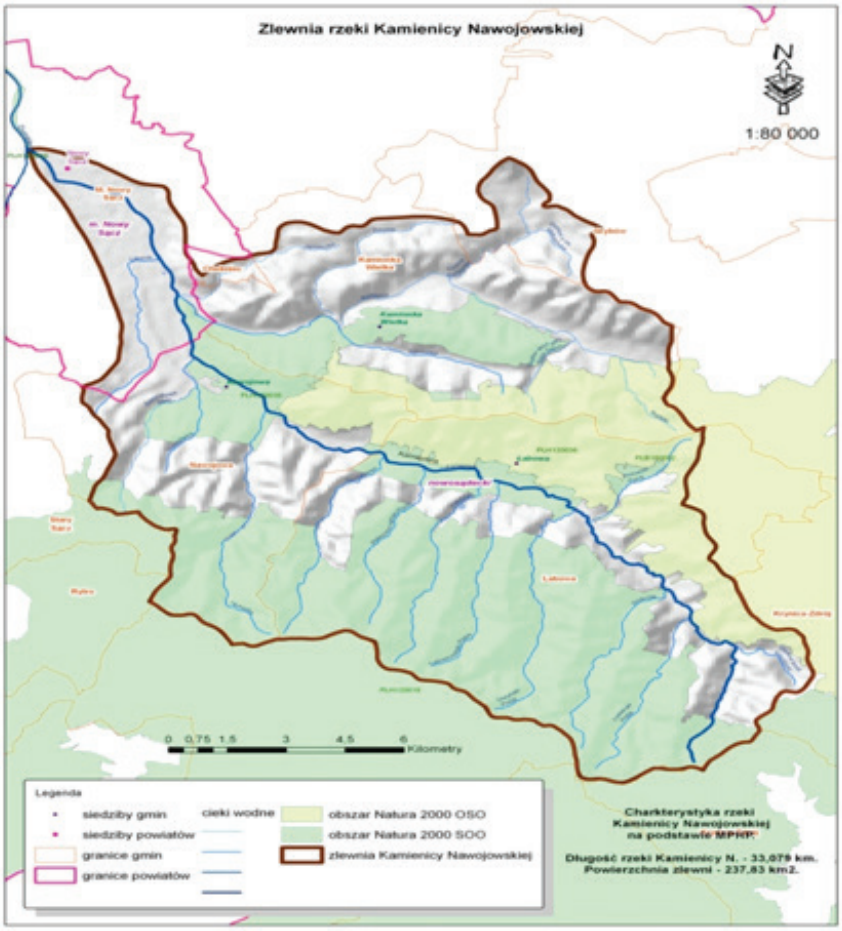
Key words: *NRCS method, mountain catchment, moisture conditions, baseflow*

WPROWADZENIE

W ostatnich latach modele typu opad-odpływ są powszechnie stosowane do symulacji zjawisk hydrologicznych w zlewniach niekontrolowanych. Dzięki zastosowaniu tych metod możliwe jest nie tylko obliczenie wartości przepływów miarodajnych na potrzeby projektowania budowli hydrotechnicznych, ale także określenie parametrów wezbrań (czasu trwania, czasu do kulminacji, objętości fali itp.) oraz analiza reakcji zlewni na zmiany zachodzące pod wpływem np. działalności człowieka. Modelowanie hydrologiczne wymaga jednak

wprowadzenia znacznej liczby, czasem trudnych do ustalenia parametrów. Jednym z najważniejszych parametrów stosowanych w modelach hydrologicznych jest parametr *CN*, którego wartość zależy od użytkowania zlewni, warunków glebowych, hydrologicznych i wilgotnościowych. Określenie tego parametru jest niezbędne w celu obliczenia opadu efektywnego, którego natężenie stanowi impuls wejściowy do modelu hydrologicznego. Jak wykazały badania Wałęgi i innych [2011 i 2012] prawidłowe ustalenie wartości parametru *CN* jest kluczowe na etapie przygotowywania danych do obliczeń, gdyż modele hydrologiczne są najbardziej wrażliwe na zmiany tego parametru. W praktyce, wartości *CN* określane są z odpowiednich tabel opracowanych przez National Resources Conservation Services (NRCS), dawniej SCS, w Stanach Zjednoczonych [Maidment 1993, Ponce 1989, ven Te Chow i in. 1988]. Jest to metoda najczęściej stosowania na całym świecie w obliczaniu opadu efektywnego m.in. [Application … 2005, Cunha i in. 2011, Metodyka … 2009, Ocena … 2012,, Urban … 2001]. Jednak, jak pokazują liczne badania nad aplikacją oryginalnej metody NRCS-CN do obliczania opadu efektywnego w warunkach polskich [Banasik i in. 1994, Ebrahimian i in. 2012, Ignar i in. 1995, Miler 2012, 2013, Okoński i Miler 2010] wartości parametru *CN* określonego na drodze teoretycznej, wg wytycznych NRCS, znacznie różnią się od obliczonych empirycznie w oparciu o zarejestrowane zjawiska typu opad-odpływ. Niestety, wielu projektantów nieświadomie stosuje oryginalną metodę w obliczeniach hydrologicznych, co może prowadzić do znacznego niedoszacowania rzeczywistych wartości parametrów wezbrań. Jak podaje Ciepielowski i Dąbkowski [2006], przyczyną tych różnic jest to, że w oryginalnej metodzie amerykańskiej do ustalenia wartości parametru *CN* brane były wyłącznie maksymalne roczne opady, a w badaniach opisywanych przez wyżej wymienionych autorów, wszystkie zakwalifikowane epizody. Stąd istnieje potrzeba weryfikacji wartości tego parametru do lokalnych warunków, co wpłynie na zmniejszenie niepewności uzyskanych wyników modelowania i umożliwi szersze stosowanie tej metody w praktyce.

Celem pracy jest weryfikacja przydatności metody NRCS do określenia parametru *CN* w warunkach zlewni górskiej Polski południowej. Dodatkowym celem jest próba odpowiedzi na pytanie: czy przepływ bazowy występujący w cieku zanim wystąpi wezbranie może być wykorzystany do oceny poziomu uwilgotnienia zlewni i korekty wartości *CN*?



Rysunek 1. Sieć hydrograficzna w zlewni Kamienicy
Figure 1. Hydrographic net in the Kamienica catchment

OBSZAR BADAŃ

Badania prowadzono w zlewni rzeki Kamienicy, prawostronnego dopływu Dunajca, która uchodzi do niego w miejscowości Nowy Sącz – rys. 1. Wg Kondrackiego [2009] zlewnia ta zaliczana jest do trzech mezoregionów: Beskidu Sądeckiego – górna część zlewni, Beskidu Niskiego i Kotliny Sądeckiej – środkowa i dolna część zlewni. Źródła rzeki znajdują się w Beskidzie Sądeckim

na wysokości 859, 5 m n.p.m. Całkowita długość cieku wynosi 33,1 km, a powierzchnia zlewni do ujścia do Dunajca wynosi 237,8 km^2. Na terenie zlewni występują mady, piaski i żwiry rzeczne, a także łupki, margle i piaskowce. Powstały one z niewęglanowych zwietrzelin skał osadowych.

Według podziału klimatycznego Polski obszar dorzecza Kamienicy Nawojowskiej kwalifikuje sie do Regionu Karpackiego.

W obszarze zlewni rzeki Kamienicy dominującą formą użytkowania są lasy, które zajmują około 60% powierzchni zlewni, głównie w jej górnej części, grunty orne stanowiące około 7% powierzchni zlewni, użytki zielone pokrywające ponad 7% powierzchni i tereny zabudowane, które zajmują około 8% powierzchni zlewni, a największe ich zagęszczenie występuje w rejonie ujścia rzeki do Dunajca.

METODYKA BADAŃ

Materiał wejściowy do analizy stanowiły wybrane epizody opad-odpływ notowane z górnej części zlewni Kamienicy, zamkniętej przekrojem wodowskazowym Łabowa (powierzchnia zlewni 64,9 km^2). Dane opadowe pochodziły ze stacji opadowej w Krynicy. Do analizy wybrano największe wezbrania z obserwacji zwyczajnych jakie wystąpiły w wieloleciu 1997-2010. Dane pochodziły z zasobów IMGW PIB w Warszawie. Przed właściwą analizą dokonano rozdziału odpływu bazowego od bezpośredniego. Rozdziału dokonano poprzez poprowadzenie linii prostej od punktu na hydrogramie, gdzie zaczyna się przyrost przepływów do punktu na części opadającej gdzie kończy się odpływ bezpośredni. W prezentowanych badaniach wartość parametru *CN* ustalono drogą pośrednią wykorzystując zaobserwowane zjawiska opad-odpływ. W tym celu dokonano podziału całkowitego hydrogramu odpływu na odpływ gruntowy (bazowy) i odpływ powierzchniowy. Objętość tak powstałego hydrogramu spływu powierzchniowego oznacza tzw. odpływ bezpośredni. Z przekształconego równania podstawowego metody NRCS, przy założeniu parametru λ=0,2 określającego tzw. straty początkowe w stosunku do maksymalnej potencjalnej retencji, można określić empiryczną wartość retencji S_i [mm] jako [np. Soczyńska i in. 2003]:

$$S_i = 5 \cdot \left(P_i + 2 \cdot H_i - \sqrt{4 \cdot H_i^2 + 5 \cdot P_i \cdot H_i} \right) \tag{1}$$

gdzie:

P_i – suma opadu całkowitego wywołującego i-te wezbranie [mm], H_i – odpływ bezpośredni [mm].

Wartość parametru *CN* wyliczano ze wzoru:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \tag{2}$$

W celu obliczenia wielkości odpływu bezpośredniego H [mm] wykorzystano znane równanie [Maidment 1993]:

$$H = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \tag{3}$$

gdzie:

P – opad całkowity [mm], S – maksymalna potencjalna retencja [mm], I_a – straty początkowe [mm].

Wielkości strat początkowych I_a przyjęto wg Ponce [1989] jako 20% wartości *S* (tj. λ=0,2). Poziom uwilgotnienia zlewni PNW określono zgodnie z wytycznymi NRCS w oparciu o sumę opadu z 5 dni poprzedzających analizowane wezbranie. W celu powiązania wartości parametru *CN* z odpływem bazowym, reprezentującym warunki wilgotnościowe w zlewni opracowano równanie wykładnicze, którego parametry określoną metodą najmniejszych kwadratów. Estymację przeprowadzono bazując na programie STATISTICA 10.0.

WYNIKI I DYSKUSJA

W celu weryfikacji przydatności metody NRCS do obliczania odpływu bezpośredniego wybrano siedem wezbrań jakie wystąpiły w latach 1997-2010 w górnej części zlewni Kamienicy. W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry analizowanych wezbrań. Największy odpływ bezpośredni zanotowany został dla epizodu nr 4, który wystąpił w trzeciej dekadzie lipca 2001 roku. Wezbranie to zostało wywołane opadem o czasie trwania 8 dni o całkowitej wysokości ponad 175 mm. Z kolei w sierpniu 1997 niemalże całkowita suma opadu została zamieniona w odpływ bezpośredni. Wpływ na to miało nasączone podłoże po lipcowych intensywnych opadach deszczu. Mimo, że stosując oryginalną procedurę NRCS, dla analizowanego epizodu suma 5 dniowa opadu wynosząca 23 mm sugeruje występowanie I poziomu uwilgotnienia podłoża, to oszacowany za pomocą wzorów (1) i (2) parametr *CN* wyniósł aż 98. Jak widać z przed-

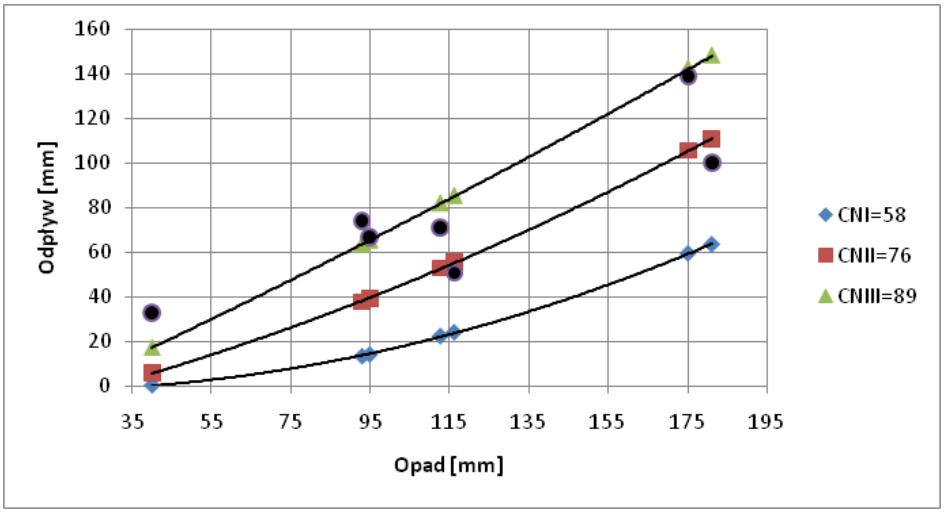
stawionego przykładu wyniki uzyskane w oparciu o zaobserwowane zjawiska opad-odpływ mogą znacznie odbiegać od wartości teoretycznych. Dlatego warto podjąć próbę alternatywnego określenia wilgotności zlewni na potrzeby obliczania parametru *CN*. Wg NRCS dla 6 spośród analizowanych 7 wezbrań wilgotność podłoża odpowiadała I poziomowi.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki analizowanych wezbrań
Table 1. Basic characteristics of the analysed floods

Lp	Data wystąpienia wezbrania Date of flood occurred	Opad całkowity Total precipitation [mm]	Odpływ bezpośredni Direct runoff [mm]	Suma opadów z 5 dni poprzedzających wezbranie Precipitation of the 5 days preceding the flood [mm]	PNW (NRCS)	PNW (obserwowane) (observed)
1	3-11.07.1997	94,9	67	47	II	III
2	1-6.08.1997	40	33	23	I	III
3	18-28.06.2001	112,7	71	10,6	I	III
4	20-27.07.2001	175,2	139	13,5	I	III
5	9-19.06.2005	116,2	51	13,7	I	II
6	11-20.05.2010	93	74	20,2	I	III
7	30.05-9.06.2010	181,2	100	8,8	I	II

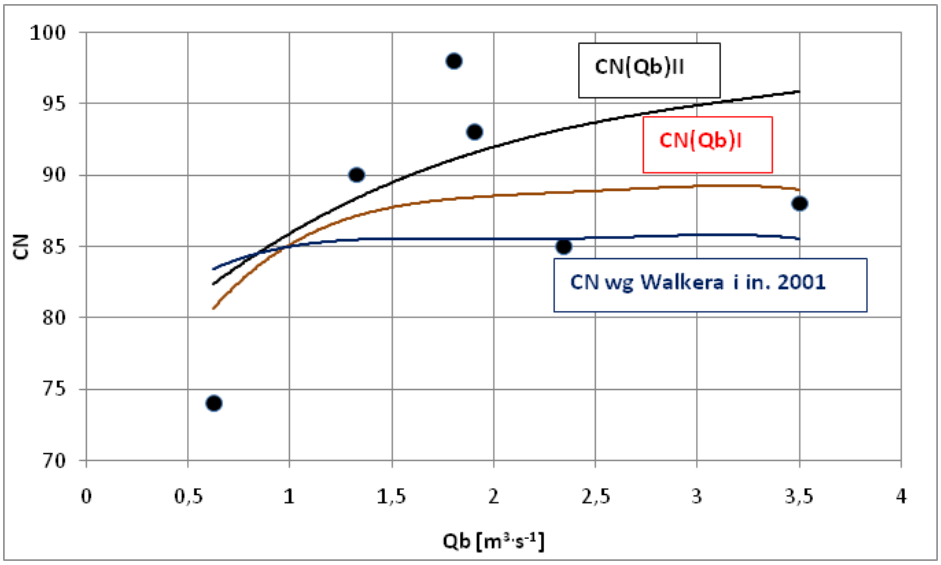
Na rys. 2 przedstawiono określone w oparciu o obserwacje zależności opad-odpływ dla analizowanych epizodów na tle krzywych wartości granicznych obliczonych dla parametru *CN* określonego teoretycznie dla trzech poziomów wilgotnościowych. Wartość teoretyczna parametru *CN* dla normalnych warunków wilgotnościowych wyniosła 76. Analizy wykazały, że wartości parametru *CN* określone na drodze empirycznej oraz obliczone wielkości odpływu bezpośredniego w przypadku 5 analizowanych epizodów znajdowały się w obszarze krzywej teoretycznej *CN* dla III poziomu uwilgotnienia – tab. 1, często przekraczając górną wartość graniczną. Te wyniki potwierdzają doniesienia m.in. Banasika i Woodwarda [2010], że *CN* określony na drodze empirycznej jest znacznie wyższy od wartości teoretycznej dla warunków normalnych. Świadczy to o tym, że w przypadku badanej zlewni, opad deszczu spadał na podłoże już wilgotne. Przy czym bezpośrednim źródłem wilgoci zlewni nie były

same opady atmosferyczne, ale wysoki poziom zwierciadła wody gruntowej, który mógł się utrzymywać po okresie zimowym, co prowadziło do zmniejszenia zdolności retencyjnej zlewni oraz mało przepuszczalne podłoże, które utrudniało infiltracje opadów.



Rysunek 2. Kształtowanie się związków opad-odpływ na tle wartości *CN* wg NRCS
Figure. 2. Development of rainfall-runoff relation vs. the *CN* value according to NRCS

Ponieważ wykorzystanie, zgodnie z zaleceniami NRCS, sumy 5 dniowej opadów z okresu poprzedzającego wezbranie jako miernika uwilgotnienia zlewni nie dało zadowalających rezultatów w przypadku analizowanej zlewni, podjęto próbę alternatywnego określenia warunków wilgotnościowych poprzez analizę przepływu bazowego w cieku, przed wystąpieniem wezbrania. Przyjęto założenie, że w okresie bezopadowym lub w przypadku opadów normalnych, źródłem zasilania cieków są wody podziemne pierwszego poziomu wodonośnego. W związku z tym znajomość przepływu bazowego z okresu zanim wystąpi wezbranie może stanowić dobrą informację o uwilgotnieniu zlewni. Wyższe wartości tego przepływu mogą świadczyć o wysokim poziomie wód podziemnych, a stąd i zmniejszonymi zdolnościami retencyjnymi zlewni. Na rys. 3. przedstawiono związki pomiędzy wartościami CN określonymi w oparciu o zaobserwowane epizody opad-odpływ z przepływem bazowym Q_b.



Rysunek 3. Związek pomiędzy wartościami *CN* empirycznymi a przepływem bazowym przed wystąpieniem wezbrania

Figure 3. Relation between empirical *CN* values and baseflow before occurrences of flood

Znaczny rozrzut punktów na wykresie świadczy o dość niejednoznacznej zależności, ale jednak daje się zauważyć pewną logiczną zależność, że wraz ze wzrostem przepływu bazowego (a wiec zmniejszeniem zdolności retencyjnej zlewni) zwiększają się wartości *CN*. Uzyskane relacje aproksymowano równaniami wykładniczymi w dwóch wariantach:

Wariant I: $$CN(Q_b) = 58 + 31 \cdot (1 - \exp(-2{,}125 \cdot Q_b)) \quad (4)$$

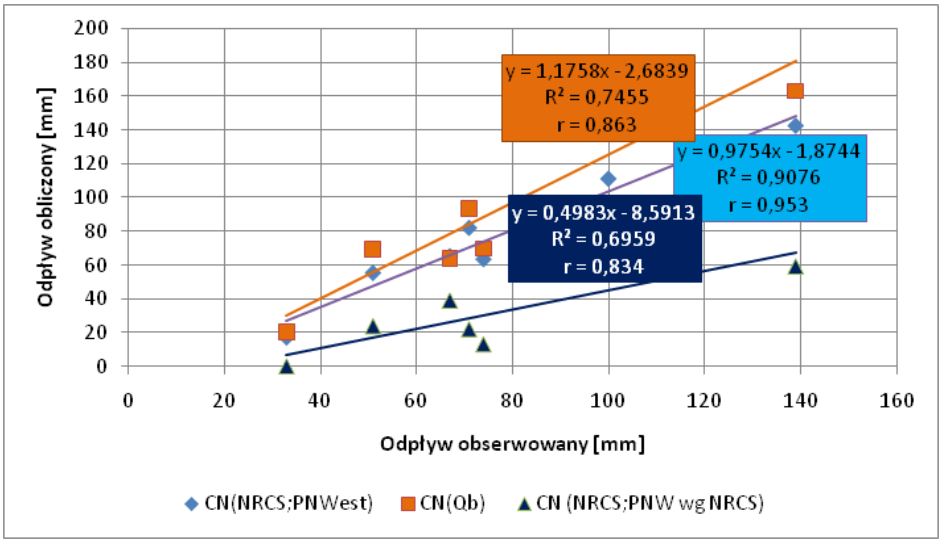
Wariant II: $$CN(Q_b) = 74 + 24 \cdot (1 - \exp(-0{,}693 \cdot Q_b)) \quad (5)$$

W równaniu (4) przyjęto, że 58 oznacza wartość teoretyczną *CN* dla I poziomu uwilgotnienia wg NRCS, 31 jest różnicą miedzy *CN* dla III i I poziomu uwilgotnienia, a wartość – 2,125 została oszacowania standardowo metodą najmniejszych kwadratów. W równaniu (5) natomiast zastosowano podobne rozumowanie, z tym, że wartości 74 i 24 odnoszą się do parametru *CN* określonego na drodze empirycznej. Metodyka ustalania parametrów równań (4) i (5) oraz

postać ich wyjściowa została zaczerpnięta z pracy Walkera i in. [2001]. Obliczony współczynnik korelacji dla równania (4) wyniósł 0,584, a dla równania (5) 0,636. Wstępne analizy wykazały, że wykorzystanie przepływu bazowego jako miary uwilgotnienia podłoża w przypadku zlewni górskiej do obliczania parametru *CN* jest zasadne i proponuje się w tym celu zastosowanie do obliczeń równania (5). Jednak w celu potwierdzenia tej tezy konieczne jest przeprowadzenie badań na większym materiale obserwacyjnym. Na rys. 3 wprowadzono także krzywą opisaną równaniem (6) podanym przez wspomnianego Walkera i in. [2001]:

$$CN(Q_b) = 44{,}3 + 41{,}3 \cdot (1 - \exp(-4{,}80 \cdot Q_b)) \tag{6}$$

Równanie (6) znacznie gorzej opisuje zależność miedzy przepływem bazowym a parametrem *CN* w stosunku do wcześniej podanych. Przyczyną tego jest fakt, iż równanie to zostało opracowane dla zlewni nizinnej, która charakteryzowała się zupełnie innym reżimem odpływu niż badana.



Rysunek 4. Weryfikacja zastosowanych modeli do obliczenia odpływu bezpośredniego
Figure 4. Verification of the used models to calculate the direct runoff

W celu zweryfikowania zaproponowanego równania do obliczania parametru *CN* w funkcji przepływu bazowego przeprowadzono obliczenia, których wyniki przedstawia rys. 4. Punkty zaznaczone kwadratowymi znacznikami reprezentują zależność miedzy odpływem obserwowanym a obliczonym z wykorzystaniem równania (5) do określenia parametru *CN*. Punkty w kształcie rombu określają zależność między odpływem obserwowanym a obliczonym, przy czym parametr *CN* został określony wg NRCS, dla poziomu uwilgotnienia określonego na bazie obserwacji (ostatnia kolumna w tabeli 1), natomiast znaczniki trójkątne odnoszą się do sytuacji, w której odpływ obliczony został w oparciu o parametr *CN* dla warunków wilgotnościowych przyjętych zgodnie z metodyką NRCS (kolumna 6 w tabeli 1). W każdym przypadku odpływ został obliczony w oparciu o równanie (3).

Z rys. 4 widać, że dla każdego wariantu uzyskano dość silną zależność statystyczną, przy czym najwyższy współczynnik korelacji uzyskano, gdy poziom uwilgotnienia podłoża był określony w oparciu o obserwacje. Jednak zadowalające rezultaty uzyskano dla metody w której parametr *CN* został obliczony w funkcji przepływu bazowego. Świadczy to o tym, że metoda ta może stanowić alternatywę w stosunku do powszechnie stosowanych metod dla określania parametru *CN*. Oczywiście przy zastosowaniu proponowanej metody projektant napotyka na poważną trudność związaną z określeniem przepływu bazowego. Jego ustalenie jest możliwe dla przekroi kontrolowanych z ciągłymi pomiarami przepływów lub dla stacji okresowych. Dalsze badania powinny iść w kierunku uogólnienia opracowanych zależności, po to by można było stosować tą metodę w zlewniach niekontrolowanych.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Wartości parametru *CN* określone na drodze empirycznej w oparciu o zarejestrowane epizody opad-odpływ znacznie odbiegają od teoretycznych podawanych przez NRCS. Świadczy to o konieczności weryfikacji wartości parametru *CN* dla lokalnych warunków uwzględniających specyfikę formowania sie wezbrań w danej zlewni.
2. Znaczy wpływ na wartości parametru *CN* odgrywa poziom uwilgotnienia zlewni przed wystąpieniem rozpatrywanego wezbrania. Zasto-

sowane rekomendowanych przez NRCS kryteriów określenia poziomu uwilgotnienia terenu może prowadzić do znacznych nieścisłości w określaniu parametru CN i obliczaniu opadu efektywnego.

3. Znajomość przepływu bazowego może być przydatna przy obliczaniu parametru CN. Przepływ bazowy może charakteryzować stopień uwilgotnienia zlewni bowiem sposób pełniejszy opisuje związki hydrauliczne wód podziemnych i powierzchniowych oraz poniekąd zdolności retencyjne zlewni.

BIBLIOGRAFIA

Application of Hydrologic Methods in Maryland. (2005). State Highway Administration.

Banasik K., Madeyski M., Więzik B., Woodward D.E. (1994). Applicability of curve number technique for runoff estimation from small Carpathian catchments. [In:] International Conference on Developments of Hydrology of Mountainous Areas. Slovak Committee of Hydrology, Stara Lesna, 125-126.

Banasik K., Woodward D.E. (2010). Empirical determination of runoff Curve Number for a small agriculture watershed in Poland. 2nd Point Federal Interagency Conference, Las Vegas June 27-July 1, 2010.

Ciepielowski A., Dąbkowski S. L. (2006). Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami). Oficyna Wydawnicza PROJPRZEMEKO, Bydgoszcz.

Cunha L.K., Krajewski W.F., Mantilla R., Cunha L. (2011). A framework for flood risk assessment under nonstationary conditions or in the absence of historical data. Journal of Flood Risk Management 4, 3-22.

Ebrahimian M., Nuruddin A.A.B., Soom M.A.B.M., Sood A.M., Neng L.J. (2012). Runoff estimation in steep slope watershed with standard and slope-adjustment Curve Number Method. Pol. J. Environ. Stud., 21 (5), 1191-1202,

Ignar S., Banasik K., Ignar A. (1995). Random variability of Curve Number values for SCS runoff procedure. [W:] Hydrological Processes in the Catchment. Red. B. Więzik.,127-130

Kondracki J. (2009). Geografia regionalna Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Maidmend D.R. (1993). Handbook of Hydrology. CRC Press.

Metodyka obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ. Raport końcowy. (2010). Stowarzyszenie Hydrologów Polskich, maszynopis, Warszawa.

Miler A.T. (2012). Wpływ zmian użytkowania terenu na odpływy wezbraniowe z obszarów o znacznym zalesieniu Roztocza Środkowego. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2/1, 173-182.

Miler A.T. (2013). Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Monografia. (ISBN 978-83-7160-696-0, Ark. Wyd. 7,7).

Ocena warunków występowania wody i tworzenia się spływu powierzchniowego w Lublinie. Badania hydrograficzne w poznaniu środowiska, T. X. Red. Z. Michalczyk (2012). Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.

Okoński B., Miler A.T. (2010). Adaptacja metody SCS-CN dla obliczania opadu efektywnego w zlewniach leśnych. [W:] Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. T. 1. Red. Beniamin Więzik. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN 68, Warszawa, 143-151.

Ponce, V. M. (1989). Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Buza J. (2003). Ocena zdolności retencyjnej zlewni. [W:] Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych. Uniwersytet Warszawski, Warszawa, 77-104.

Urban drainage design manual (2001). Hydraulic Engineering Circular 22, wyd. 2, Amerykański Departament Transportu.

Ven Te Chow, Maidment, D.K., Mays, LW. (1988). Applied of Hydrology. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, New York.

Walker E., Banasik K., Northcott W. J., Jiang N., Yuan Y., Mitchell J. K. (2001). Application of the SCS Curve Number Method to Mildly-Sloped Watersheds. Southern Cooperative Series Bulletin 398.

Wałęga A., Cupak A., Miernik W. (2011). Wpływ parametrów wejściowych na wielkość przepływów maksymalnych uzyskanych z modelu NRCS-UH. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 7, PAN o/Kraków, 85-95.

Wałęga A., Drożdżal E., Piórecki M., Radoń R. (2012). Wybrane problemy związane z modelowaniem odpływu ze zlewni niekontrolowanych w aspekcie projektowania stref zagrożenia powodziowego. Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus 11 (3), 57-68.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Krzanowski
Dr hab. inż. Andrzej Wałęga
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie Krakowie,
30-059 Kraków,
al. A. Mickiewicza 24/28, Tel. 12 662 4029, e-mail: rmkrzano@cyf-kr.edu.pl
a.walega@ur.krakow.pl

Prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41, e-mail:
amiler@up.poznan.pl