INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 7/2011, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 85–95
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Andrzej Wałęga, Agnieszka Cupak, Włodzimierz Miernik

WPŁYW PARAMETRÓW WEJŚCIOWYCH NA WIELKOŚĆ PRZEPŁYWÓW MAKSYMALNYCH UZYSKANYCH Z MODELU NRCS-UH

INFLUENCE OF ENTRANCE PARAMETERS ON MAXIMUM FLOW QUANTITY RECEIVE FROM NRCS-UH MODEL

Streszczenie

W artykule wykonano analizy wrażliwości modelu NRCS UH na zmiany parametrów wejściowych. Badano wpływ kształtu hietogramu opadu, parametru CN i czasu opóźnienia na zmiany przepływów $Q_{max1\%}$ w zlewni niekontrolowanej. Do analizy wybrano zlewnię potoku Izwór o powierzchni 2,169 km^2, która jest zlewnią typowo górską i leśną – 86% jej powierzchni stanowią lasy. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w programie HEC-HMS 3.4. W programie tym zlewnia została podzielona na zlewnie elementarne, dla których obliczono średnią ważoną wartość parametru CN oraz czas opóźnienia. Tak określone parametry stanowiły dane wejściowe w obliczeniach. Wpływ zmian wielkości parametrów na wyniki uzyskane z modelu ustalono zmieniając ich wielkości o 10% w stosunku do wartości wyjściowych a następnie przeprowadzano symulacje. Przyjęto, iż parametry w modelach będą zmieniane maksymalnie do ±50% wartości wyjściowej. Obliczenia wykazały, że model NRSC-UH jest wrażliwy na zmiany kształtu hietogramu opadu i parametru CN charakteryzującego zdolności retencyjne zlewni. Z kolei, zmiana czasu opóźnienia nie wpływa istotnie na zmianę wielkości przepływów maksymalnych.

Słowa kluczowe: model NRCS UH, HEC-HMS, analiza wrażliwości, hietogram opadu

Summary

In article sensitivity analysis of NRCS-UH model on changes of entrance parameters were made. Influence of precipitation hietogram shape, CN parameter and lag time on changes of $Q_{max1\%}$ flows in uncontrolled catchment were studied. Izwór stream catchment were chosen to analysis. It is typical mountainous and forest catchment – 86% of its surface is covered by forest. All calculation were made with use of HEC-HMS 3.4 program. In NRCS UH model, catchment have been divided into particular catchments, for which a weighted average of CN parameter and also lag time have been evaluated. These parameters were an entrance parameters for further calculations. Influence of changes of parameters size and results got from model were established by changing their size about 10% in comparison to exit values and then simulations were executed.

There were assumed that parameters in model will be modify till ±50% of entrance values. Calculations showed that HRCS UH model is most sensible on changes of precipitation hietogram shape and CN parameter, which characterized the retention of catchment. In turn, modify of lag time does not influence in fact on change of maximum flow values.

Key words: *NRCS UH model, HEC-HMS, sensitivity analysis, hietogram of precipitation*

WSTĘP

Od wielu lat modele typu opad-odpływ stosowane są na całym świecie do obliczania przepływów w zlewniach niekontrolowanych. W sytuacji braku pomiarów hydrometrycznych parametry modeli są najczęściej uzależnione od charakterystyk topograficznych zlewni, rodzaju podłoża, użytkowania oraz przebiegu epizodu opadowego. Niezawodność pracy modelu zależy od tego, jak dobrze zdefiniowano jego strukturę i parametry. Bardzo często estymacja parametrów modeli jest trudna z powodu dużej niepewności co do ich wartości gdyż nie są one uzyskiwane z bezpośrednich pomiarów. Z tego powodu do właściwej pracy modelu konieczna jego jest kalibracja [Bahremand, De Smedt 2008]. Niestety nie zawsze gwarantuje ona jego niezawodność. Wartości parametrów uzyskane na drodze kalibracji i później stosowane w dalszych obliczeniach będą realistyczne tylko wtedy, gdy zbiór wykorzystanych danych był reprezentacyjny dla badanej zlewni i wartościowy pod względem ilościowym i jakościowym. Dlatego, nawet po procesie kalibracji istnieje potencjalne zagrożenie wzrostu błędu uzyskanych wyników obliczeń z powodu znacznej niepewności wartości danych obserwacyjnych wykorzystanych w kalibracji [Muleta, Nicklow 2004].

Znacznym problemem przy kalibracji jest duża liczba parametrów występujących w modelach hydrologicznych. Z tego powodu często korzysta się z analizy wrażliwości modeli pozwalających na redukcję liczby kalibrowanych parametrów tylko do tych, które w najbardziej istotny sposób wpływają na wyniki obliczeń [Henrichs i in. 2008; Cho, Lee 2001].

Celem pracy jest ocena wrażliwości modelu opad-odpływ, bazującego na hydrogramie jednostkowym opracowanym przez NRCS (*National Resources Conservation Service*), na zmiany parametrów wejściowych związanych z charakterystykami opadów i czasem opóźnienia. Model ten pierwotnie został opracowany dla niewielkich zlewni o charakterze rolniczym. Ponadto charakteryzuje się prostotą i łatwością określania parametrów, a także jest coraz częściej stosowany w praktyce. Wymienione cechy zdecydowały o wyborze tego modelu do analizy wrażliwości. Analizę tą przeprowadzono w mikrozlewni górskiej z dominującym leśnym użytkowaniem.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badania przeprowadzono w zlewni potoku Izwór znajdującego się w południowo-wschodniej części województwa małopolskiego. Źródła potoku wypływają z podnóża stoku Jaworzyny Krynickiej, jest on prawostronnym dopływem Czarnego Potoku, który z kolei jest dopływem Kryniczanki. Powierzchnia zlewni potoku Izwór wynosi 2,169 km^2, co stanowi 15,5% zlewni Czarnego Potoku. Sieć hydrograficza ma układ pierzasty. Długość cieku głównego wraz z odcinkiem źródłowym wynosi 2,604 km, a łączna długość dopływów jest równa 1,420 km. Gęstość sieci rzecznej wynosi 1,88 $km \cdot km^{-1}$. Zlewnia należy do typowych mikrozlewni górskich i położona jest powyżej 600 m n.p.m. Przeciętne wzniesienie zlewni nad poziom morza wynosi 800 m n.p.m. Zlewnia Izworu charakteryzuje się znacznymi spadkami: zbocza o spadku 10-20% zajmują 57,8% powierzchni zlewni, najwyższe spadki (powyżej 30%) występują w części źródłowej zlewni. Średni spadek całej zlewni wynosi 19,64%. Zlewnia potoku leży w paśmie Jaworzyny, która jest częścią Beskidu Sądeckiego. Pod względem budowy geologicznej leży na płaszczowinie magurskiej, gdzie przeważającą część stanowią zlepieńce, łupki podmagurskie i łupki pstre. Część zlewni pokrywają gleby brunatne, mało zasobne w próchnicę, wyługowane, o małej miąższości, lokalnie występują gleby torfowo-glejowe, a w partiach szczytowych gleby gliniaste i szkieletowe. Klimat zlewni cechuje duża wilgotność powietrza, wysokie opady i niskie amplitudy temperatur. Średnia roczna suma opadów w wieloleciu 1976--1997 wyniosła 896,5 mm [Michalczewski, Michalczewska 1998]. Pod względem użytkowania w zlewni dominują lasy zajmujące 86% jej powierzchni, następnie użytki zielone – 11,5% oraz grunty orne – 2,5%. Obecnie zlewnia potoku Izwór nie jest objęta pomiarami hydrometrycznymi. Na podstawie danych archiwalnych można stwierdzić, że maksymalne odpływy jednostkowe ze zlewni wynosiły przeciętnie 49,43 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, wahając się w przedziale 83,49 – 37,85 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Średni roczny odpływ jednostkowy z wielolecia 1976-1991 wyniósł 7,53 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ [Michalczewski 1992].

METODYKA BADAŃ

Model NRCS-UH opracowany został przez byłą Amerykańską Służbę Ochrony Gleb (*Soil Conservation Service* SCS) Pierwsza informacja o tym modelu pochodzi z *National Engineering Handbook*, *Section 4*, *Hydrology* [SCS 1972]. Bezwymiarowy hydrogram jednostkowy wykorzystywany przez SCS był rozwijany przez Victora Mockus'a, a podstawą jego opracowania były liczne hydrogramy jednostkowe uzyskane dla zlewni o różnej charakterystyce i lokalizacji. Hydrogram jednostkowy może zostać uproszczony i przedstawiony w kształcie trójkątnego hydrogramu. Wywołany jest jednostkowym opadem efektywnym (o czasie trwania D) jednolicie rozłożonym na powierzchni zlewni. Wykorzystując właściwości trójkąta można zauważyć, że 37,5% (lub 3/8) objętości hydrogramu jednostkowego ma część wznosząca i pozostałe 62,5% (lub 5/8) część opadająca. Przepływ kulminacyjny opisany jest zależnością:

$$q_p = \frac{c \cdot A \cdot PE}{T_p} \tag{1}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \tag{2}$$

gdzie:

- q_p – przepływ w kulminacji hydrogramu jednostkowego [$m^3 \cdot s^{-1} \cdot mm^{-1}$],
- c – współczynnik przeliczeniowy (c = 0,208),
- A – powierzchnia zlewni [km^2],
- T_p – czas wznoszenia fali wezbraniowej [godz.],
- D – czas trwania opadu efektywnego [godz.],
- PE – jednostkowy opad efektywny o wysokości 1 mm,
- T_{lag} – czas opóźnienia [godz.].

Procedura obliczeń. Wszystkie obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu HEC-HMS 3.4 [Hydrologic … 2009]. Parametrem wejściowym do modelu jest hietogram opadu, którego kształt oparto na funkcji gęstości rozkładu beta, proponowanej przez Więzika [2010]:

$$f(x) = \frac{x^{\propto -1}(1-x)^{\beta-1}}{\mathrm{B}(\alpha,\beta)} \tag{3}$$

dla $0 \leq x \leq t$, $\alpha > 0$ i $\beta > 0$, gdzie t jest czasem trwania opadu. Podstawą obliczeń był opad dobowy o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% określony przez Cebulak i in. [2000]. Jego wartość dla badanej zlewni wyniosła 110 mm. Krok czasowy hietogramu opadu przyjęto jako równy 30 min. Z uwagi na niewielką powierzchnię zlewni przyjęto opad jednolicie rozłożony na jej powierzchni.

Opad efektywny obliczono za pomocą metody określonej przez byłą SCS-CN. Parametr CN określono w oparciu o kategorie gleb (przyjęto kategorię C), użytkowanie zlewni i warunki hydrologiczne. Założono przeciętne warunki wilgotnościowe w zlewni.

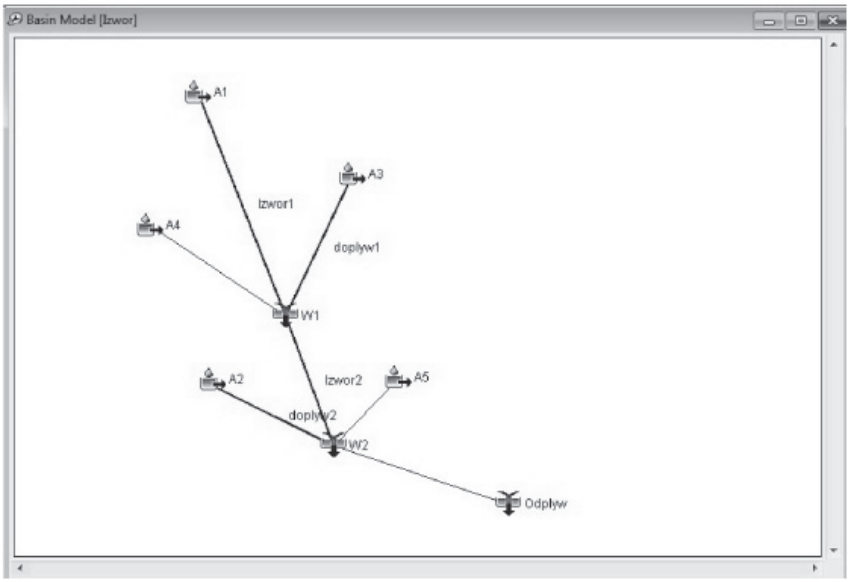
Czas opóźnienia, który stanowi jeden z parametrów określający przepływ w kulminacji hydrogramu jednostkowego ustalono z zależności regresyjnej [Maidmend, Hoogerwerf 2002]:

$$T_{lag} = \frac{(3{,}28 \cdot L \cdot 1000)^{0{,}8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0{,}7}}{1900 \cdot \sqrt{I}} \tag{4}$$

gdzie:

T_{lag} – czas opóźnienia, godz.,
L – maksymalna długość drogi spływu, km,
CN – parametr zależny od klasy glebowej, pokrycia terenu i warunków hydrologicznych,
I – średni spadek zlewni, %.

W programie HEC-HMS badana zlewnia została podzielona na zlewnie elementarne (rys. 1). Dla każdej zlewni elementarnej określono średnią ważoną wartość parametru CN oraz czas opóźnienia ze wzoru (4). Dodatkowo przyjęto transformację wody w korytach cieków występujących na obszarze zlewni.



Ryunek 1. Schemat zlewni potoku Izwór w programie HEC-HMS
Figure 1. Scheme of Izwór catchment in HEC-HMS program

Założono, iż fala powodziowa w cieku będzie ulegać jedynie przesunięciu w czasie bez zjawiska spłaszczenia, dlatego transformację wykonano metodą LAG, a wartość czasu opóźnienia w korycie cieku określono wzorem (4), zastępując parametr L i I charakterystykami koryt cieków.

Na wstępie obliczeń przyjęto wartości parametrów modelu według wcześniej opisanej metodyki. Założono, iż maksymalne natężenie opadu wystąpi w środku hietogramu - parametry α i β we wzorze (3) równe 2,0. Wpływ zmian wielkości parametrów na wyniki uzyskane z modelu NRCS ustalono w ten sposób, iż zmieniano ich wielkości o 10% w stosunku do wartości wyjściowych, a następnie dokonywano symulacji. Przyjęto, iż parametry w modelach będą zmieniane maksymalnie do ±50% wartości wyjściowej. Zmieniając wartości jednego parametru, pozostałe traktowano jako stałe, równe wartości wyjściowej.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono wartości parametrów dla poszczególnych zlewni elementarnych.

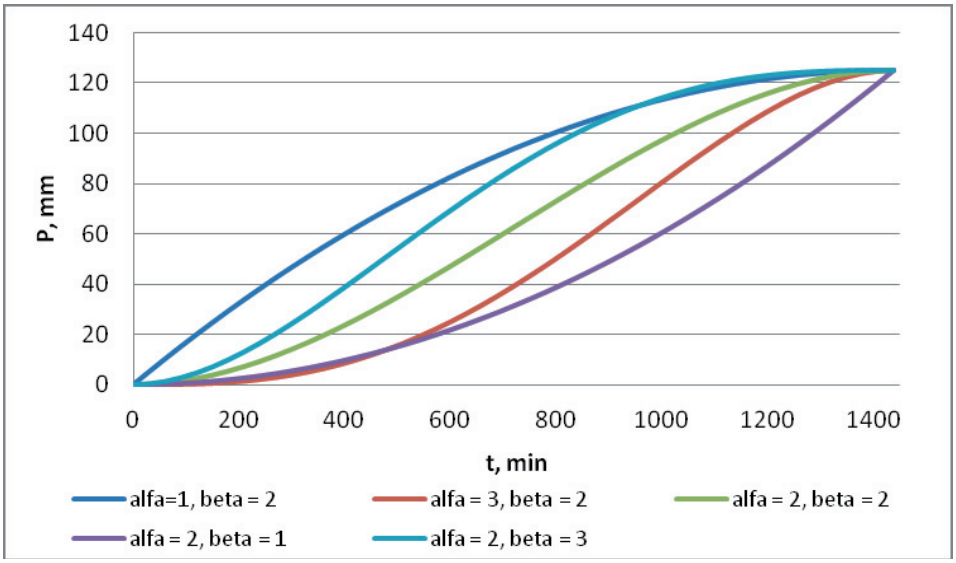
Tabela 1. Wartości wyjściowe parametrów w zlewniach elementarnych
Table 1. Parameters' exit values in particular catchment

Nr zlewni elementarnej	Powierzchnia zlewni, km^2	Średni spadek zlewni, %	Długość drogi spływu, km	Długość cieku, km	Użytkowanie km^2			Średnia ważona wartość CN	T_{lag}, godz.
					lasy	użytki zielone	grunty orne		
A1	0,12	22,79	0,584	0	0,116	0,0039	0	70,059	8,950
A2	0,379	13,84	0,934	0,66	0,344	0,035	0	70,369	16,582
A3	0,5925	22,21	1,589	0,82	0,5625	0,03	0	70,203	20,115
A4	0,484	22,62	1,08	1,08	0,449	0,035	0	70,289	14,600
A5	0,593	16,74	0,94	0,94	0,393	0,135	0,065	71,898	14,534
Suma	**2,169**		**2,604**		**1,864**	**0,239**	**0,065**		
Średnia		**19,64**						**70,707**	**31,325**

Z uwagi na znaczne spadki i niewielkie powierzchnie zlewni elementarnych, spodziewać się można szybkiej reakcji zlewni na występujący opad deszczu. Niewątpliwie korzystną rolę w opóźnieniu spływu powierzchniowego odgrywa użytkowanie zlewni - dominuje las oraz użytki zielone. Grunty orne, które nie odgrywają tak pozytywnej roli w spłaszczeniu fali jak wcześniej wspomniane lasy, znajdują się w mniejszości i zlokalizowane są w ujściowej partii zlewni. Znaczny udział lasów i użytków zielonych w ogólnej powierzchni zlewni wpływa na jej zdolności retencyjne, o czym świadczą wartości parametru CN (przeciętna jego wartość wynosi około 70). Warunki topograficzne, mimo

korzystnego pokrycia terenu lasami i użytkami zielonymi, wpływają na niskie wartości czasu opóźnienia, który waha się od niespełna 9 min w zlewni A1 zamykającej źródłową partię zlewni, do ponad 20 min w zlewni A3.

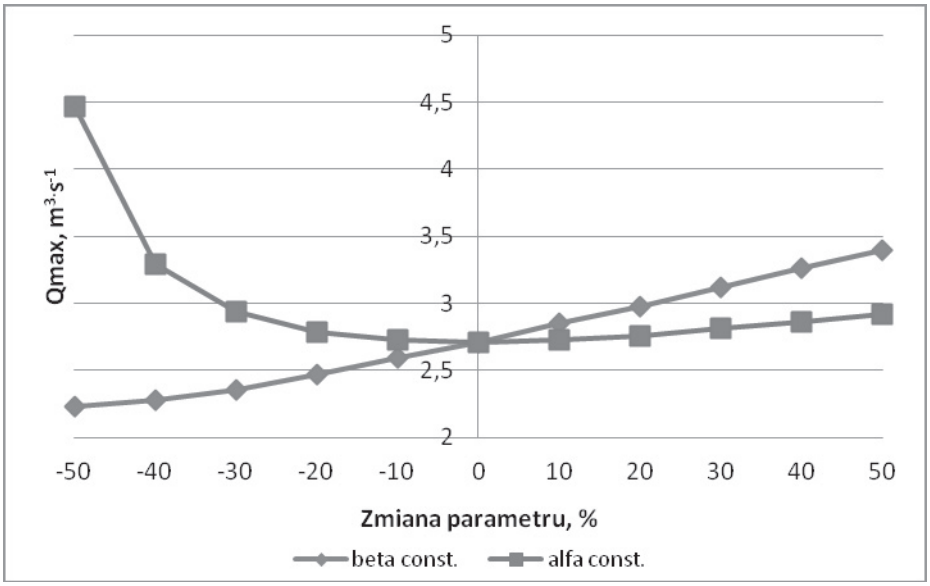
Krzywe sumowe opadów o prawdopodobieństwie 1% i czasie trwania 24 godz. uzyskane z rozkładu beta dla różnych parametrów przedstawia rys. 2.



Rysunek 2. Krzywe sumowe opadu o prawdopodobieństwie 1% i czasie trwania 24 godz. dla różnych kombinacji parametrów rozkładu beta; w obliczeniach uwzględniono poprawkę Weissa przy przeliczaniu opadu dobowego na 24 godzinny
Figure 2. Precipitation summarize curves with 1% of probability and 24 hours of time duration for different combinations of beta distribution parameters; in calculation Weiss correction for daily precipitation calculation on 24 hour's were taken into consideration

Zmiana wartości parametru α oraz β wpływa na różne kształty hietogramu opadu, które m.in. polegają na zmianie położenia maksymalnego natężenia chwilowego w czasie oraz jego wartości. A zatem można postawić pytanie: Jak zmiany kształtu hietogramu wpływają na wielkości przepływów maksymalnych? Odpowiedź na to pytanie przedstawiona jest na rys. 3, na którym widoczny jest istotny wpływ parametrów α i β charakteryzujących kształt hietogramu opadu na wielkości przepływów w kulminacji. Przy stałej wartości parametru β, zmniejszanie wartości α od poziomu wyjściowego równego 2,0 prowadzi do zmniejszania wartości Q_{max}, przy czym zależność ta jest wyraźnie prostoliniowa. Wraz ze wzrostem wartości α od poziomu wyjściowego przepływy wzrastają w sposób liniowy. Analizując lewą stronę wykresu można zauważyć, iż zmniejszanie wartości parametru α powoduje zmianę przepływów o 17,7%. Z kolei analizując

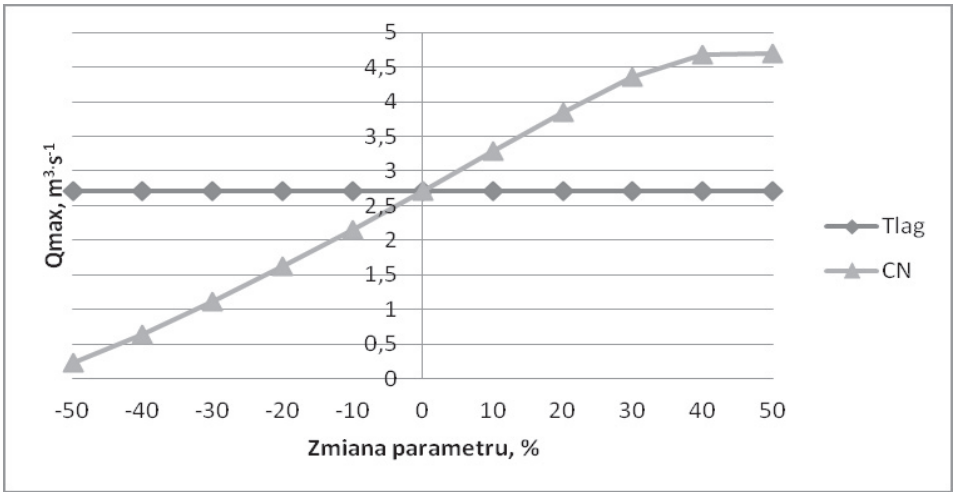
prawą stronę wykresu widać, iż wzrost parametru α powoduje wzrost przepływów maksymalnych o 20,3%. Na tej podstawie można stwierdzić, że model NRCS UH jest nieco bardziej wrażliwy na wzrost wartości parametru α poza optymalną wartość.



Rysunek 3. Analiza wrażliwości modelu NRCS UH na zmianę kształtu hietogramu opadu
Figure 3. Sensivity analysis of NRCS UH model on change of precipitation hietogram shape

Nieco odmienną wrażliwość wykazuje model na zmiany parametru β, przy stałej wartości α. Zmniejszanie parametru β poniżej wartości wyjściowej, przyjętej za optymalną równą 2,0, powoduje wzrost Q_{max}, przy czym mamy tu do czynienia z zależnością wykładniczą – wyraźny wzrost przepływów obserwuje się przy zmniejszaniu parametru β powyżej 30% wartości wyjściowej. Zmiana przepływów wraz ze zmniejszaniem wartości parametru β wynosi 39,4%. Z kolei, wzrostowi parametru β powyżej wartości wyjściowej towarzyszy zwiększanie się Q_{max}, ale nie tak znacznie, jak w poprzednim przypadku – zmiana Q_{max} wraz ze wzrostem β o 50% wynosi zaledwie 7,2%. W tym przypadku model NRCS UH jest znacznie bardziej wrażliwszy na zmniejszanie wartości parametru β w stosunku do wyjściowej. Reasumując, w przypadku braku informacji o rozkładzie opadu w czasie, stosując funkcję beta należy rozważnie ustalać jej parametry, gdyż w istotny sposób wpływają one na uzyskane wyniki symulacji. Wydaje się, że istnieje potrzeba optymalizacji wartości parametrów α i β dla

różnych epizodów opadowych tak, by można je stosować w przypadku modelowania odpływu w zlewniach niekontrolowanych bez ryzyka popełniania istotnych błędów. Na rys. 4 przestawiono wpływ parametru CN oraz czasu opóźnienia na wielkości Q_{max}. Parametr CN charakteryzuje możliwość powstawania odpływu w zlewni, dlatego też wpływa on w istotny sposób na przebieg symulacji. Wraz ze zmniejszaniem się tego parametru w zlewni następuje większe magazynowanie opadu, a co za tym idzie zmniejsza się wielkość odpływu bezpośredniego. Odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku zwiększania wartości CN. Prezentowane na rys. 4 wyniki obliczeń potwierdzają opisane zależności. Zmniejszanie wartości CN poniżej poziomu wyjściowego skutkuje zmniejszaniem wartości Q_{max} – zmniejszenie CN o 50% powoduje zmniejszenie przepływu maksymalnego o 91,3%. Z kolei, wzrost CN o 50% powyżej wartości wyjściowej wpływa na zwiększanie Q_{max} o 42,2%. Brak zmian wartości przepływów przy wzroście CN powyżej 40% w stosunku do wartości wyjściowej spowodowany jest przyjęciem CN = 99, gdyż w przeciwnym wypadku należałoby przyjąć jego wartości powyżej 100 co jest sprzeczne z metodą NRCS-CN.



Rysunek 4. Analiza wrażliwości modelu NRCS UH na zmianę parametru CN i T_{lag}
Figure 4. Sensitivity analysis of NRCS UH model on change of CN and T_{lag} parameters

Do podobnych wniosków doszły Nowicka i Wolska [2003], które analizowały wpływ początkowego uwilgotnienia zlewni wyrażonego parametrem CN, na kształt hydrogramu oraz wartości przepływów w kulminacji. Badania przeprowadzone w zlewni rzeki Skory wykazały, że zmiana wartości parametru CN z 63 do 100 powoduje 4-krotny wzrost $Q_{max1\%}$. Maidmend i Hoogerwerf [2002] uzyskali podobne rezultaty wpływu parametru CN na wielkości przepły-

wów otrzymane z pragramu HEC-1. Badania prowadzili w zlewni Buttermilk Creek w Teksasie, gdzie wrażliwość modelu NRCS określali tzw. wskaźnikiem elastyczności, rozumianym jako procentowa zmienność przypływów w stosunku do procentowej zmienności parametru modelu. Autorzy przyjęli, że w przypadku gdy wskaźnik ten jest mniejszy od 1% to model nie jest elastyczny, tzn. zmiana parametru modelu nie wpływa istotnie na wielkości przepływów. W przeciwnym przypadku model jest wrażliwy na zmiany jego parametrów. Wskaźnik elastyczności modelu zastosowany przez autorów artykułu w odniesieniu do parametru CN wyniósł 0,99%, co zinterpretowano jako model wrażliwy.

Można przypuszczać, że czas opóźnienia będzie w istotny sposób wpływał na wielkości przepływów maksymalnych. Wynika to z faktu, iż parametr ten we wzorze (1) zawarty jest w mianowniku i tworzy składową czasu do kulminacji T_p. A więc, wzrost czasu opóźnienia powinien wpływać na zmniejszenie wielkości q_p. Z przeprowadzonych w niniejszym artykule obliczeń wynika jednak, że zmiana czasu opóźnienia T_{lag} nie wpływa istotnie na zmianę wielkości Q_{max} – rys. 4. Ogólnie opisana powyżej relacja między T_{lag} a przepływem maksymalnym jest zachowana, lecz zmniejszanie Q_{max} wraz ze wzrostem czasu opóźnienia jest niewielkie. Można to tłumaczyć tym, iż w przypadku tak małej zlewni, jak badana, o wybitnym górskim charakterze (krótka droga spływu, duże spadki) wartości wyjściowe T_{lag} są bardzo małe, a więc ich zmiana w niewielkim stopniu wpłynie na ostateczny wynik obliczeń. Podobny brak związku między czasem opóźnienia a wartościami przepływów wykazali cytowani wcześniej Maidmend i Hoogerwerf [2002].

WNIOSKI

1. Na wielkości przepływów maksymalnych w istotny sposób wpływa kształt przyjętego hietogramu opadu. Stosując funkcję rozkładu beta do określenia hietogramu opadu zmiana wartości parametrów powoduje zmianę Q_{max} od niespełna 18 do prawie 40% w stosunku do wartości wyjściowej.

2. Model NRSC-UH jest wrażliwy na zmiany parametru CN charakteryzującego zdolności retencyjne zlewni. Zmiana wartości tego parametru o ±50% w stosunku do wartości wyjściowej wpływa na zmianę wielkości Q_{max} od ponad 42% do około 91%.

3. Zmiana czasu opóźnienia nie wpływa istotnie na zmianę wielkości Q_{max}. Wynika to z faktu, że w tak małej zlewni jak badana, o wybitnym górskim charakterze wartości wyjściowe czasu opóźnienia są bardzo małe, a więc ich zmiana także w niewielkim stopniu wpłynie na ostateczny wynik obliczeń.

BIBLIOGRAFIA

Bahremand A., De Smedt F. *Distributed Hydrological Modeling and Sensitivity Analysis in Torysa Watershed, Slovakia*. Water Resour Manage 22, 2008, 393–408.

Cebulak E., Czekierda D., Niedźwiedź T. *Uwarunkowania klimatyczne tworzenia się powodzi.* [W:] Model kompleksowej ochrony przed powodzią w obszarze dorzecza górnej Wisły na przykładzie woj. Małopolskiego. Red. Maciej Maciejewski. IMGW w Krakowie, 2000.

Cho S. M., Lee M. W. *Sensitivity considerations when modeling hydrologic processes with digital elevation model.* J. of the American Water Resources Association 37 (4) 2001, 931-934.

Henrichs M., Vosswinkel N., Uhl M. *Influence of Uncertainties on Calibration Results of a Hydrological Model*. Proc. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

Hydrologic Modelling System HEC-HMS,. User's Manual. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 2009.

Maidmend D.R., Hoogerwerf T. N. *Parameter Sensitivity in Hydrologic Modeling*. Technical Report. The University of Texas at Austin 2002.

Michalczewski M. *Badania wpływu zagospodarowania mikrozlewni górskiej na jakość i ilość odpływu wód powierzchniowych*. Mat. Konf. „Gospodarowanie wodą w krajobrazie rolniczym jako element zrównoważonego rozwoju". SGGW w Warszawie, 1992, Warszawa.

Michalczewski M., Michalczewska U. *Oddziaływanie sukcesji lasu w mikrozlewni górskiej na ilość i jakość odpływających z niej wód powierzchniowych*. [W:] Szata roślinna jako wielofunkcyjna dominanta ilościowo-jakościowych zasobów wodnych w górach. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, 42, 1998, Jaworki.

Muleta M.K., Nicklow J.W. *Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model*. J. of Hydrology 306, 2004, 127–145.

Nowicka B. Wolska M. *Wpływ retencji zlewni na formowanie kulminacji wezbrań opadowych*. [W:] Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych. Red. Gutry-Korycka M., Nowicka B., Soczyńska U. Uniwersytet Warszawski, 2003, Warszawa, 105-117.

SCS (Soil Conservation Service). National Engineering Handbook, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1972.

Więzik B. *Przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w małych zlewniach niekontrolowanych*. T. 1. [W:] Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. Red. B. Więzik, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 68, 2010, Warszawa, 153-165.

Dr inż. Andrzej Wałęga
Dr inż. Agnieszka Cupak
Dr inż. Włodzimierz Miernik
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Uniwersytet Rolniczy
al. Mickiewicza 24/28,
30-059 Kraków
e-mail: a.walega@ur.krakow.pl
tel. (012) 662 41 02

Recenzent: *Prof. dr hab. Stanisław Twardy*