

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 53, 2011: 196–206  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 53, 2011)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 53, 2011: 196–206  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 53, 2011)

**Jarosław CHORMAŃSKI, Robert MICHAŁOWSKI**

Katedra Inżynierii Wodnej, SGGW w Warszawie  
Department of Hydraulic Engineering WULS-SGGW

## **Model hydrologiczny zlewni WetSpa-SGGW zintegrowany z modulem obliczeniowym w środowisku ArcGIS**

### **Hydrological catchment model WetSpa-SGGW integrated with a calculation module in ArcGIS environment**

**Słowa kluczowe:** ArcGIS, model hydrologiczny zlewni o parametrach przestrzennie rozłożonych, teledetekcja, obrazy satelitarne

**Key words:** ArcGIS, distributed hydrological catchment model, remote sensing, satellite images

## **Wprowadzenie**

Procesy hydrologiczne zachodzące w zlewni mają wpływ na prawidłowe funkcjonowanie różnych form gospodarki. Prawidłowe zrozumienie przebiegu tych procesów jest podstawą sformułowania odpowiedniego zestawu funkcji matematycznych w celu ich opisanie oraz umożliwia prawidłową identyfikację parametrów modelu hydrologicznego dla ich symulacji. Modelowanie matematyczne procesów hydrologicznych ma istotne znaczenie dla prowadzenia prawidłowej polityki gospodarowania wodą oraz umożliwia podjęcie właści-

wych decyzji planistycznych. Prognozowanie fali wezbraniowej odpływu w zlewniach miejskich ma znaczenie przede wszystkim w polityce przeciwpowodziowej, podczas gdy w zlewniach niezurbanizowanych istotne jest właściwe opisanie procesu odpływu, ale także procesów intercepcji i ewapotranspiracji.

Czynnikiem mającym zdecydowanie największy wpływ na tworzenie się odpływu w warunkach zlewni miejskiej są powierzchnie nieprzepuszczalne. Prawidłowe ich określenie – wielkość, zasięg i rozmieszczenie, jest zadaniem niezwykle ważnym i mającym często decydujące znaczenie dla prawidłowego modelowania odpływu ze zlewni (Chormański i in. 2008). Na obszarach niezurbanizowanych, a w szczególności na obszarach chronionych, pokrytych roślinnością quasi-naturalną, w okresie wegetacyjnym dominującym elementem w bilansie wodnym są straty wody

związane z intercepcją i ewapotranspiracją. W przypadku terenów niezurbanizowanych istotnym czynnikiem jest także prawidłowe opisanie rozmieszczenia roślinności i fazy jej rozwoju w okresie wegetacyjnym (Chormański i Batelaan 2011). Tradycyjnie wielkość udziału powierzchni nieprzepuszczalnej w zlewni, jak również rozkład przestrzenny i czasową zmienność roślinności przyjmuje się na podstawie zgeneralizowanej mapy użytkowania ziemi. W mieście uwzględnia się różnorodność rodzajów zabudowy miejskiej, na przykład domki jednorodzinne, centra handlowe, drogi, parki, i przypisywaną im wielkość przepuszczalności. Podejście takie, polegające na częściowym rozłożeniu przestrzennych parametrów modelowania, nie pozwala jednak na pełne wykorzystanie technik teledetekcyjnych, które dostarczają aktualnych informacji o stanie środowiska zlewni.

Integracja danych satelitarnych w modelu hydrologicznym opad-odpływ ze zlewni o parametrach przestrzennie rozłożonych rodzi potrzebę opracowania nowoczesnego narzędzia do modelowania, działającego w środowisku GIS. Opracowany w Katedrze Inżynierii Wodnej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie program komputerowy wykorzystuje model WetSpa, który umożliwia przestrzenny rozkład parametrów na poziomie komórki rastrowej. Model tego typu, uwzględniający parametry rozłożone w zlewni, umożliwia pełne wykorzystanie danych pozyskiwanych technikami teledetekcyjnymi. Model hydrologiczny WetSpa (Water and Energy Transfer between Soil, Plant and Atmosphere) opracowany w pierwszej wersji przez Batelaana i Wanga (Bate-

laan i in. 1996, Wang i in. 1996), jako model bilansowy WetSpa, stosowany był w Polsce przez Pokojską (2000). W późniejszej wersji model zaadoptowany został przez De Smedta i innych (2000) do obliczania odpływu ze zlewni jako reakcji na opad. W chwili obecnej model funkcjonuje jako WetSpa wersja 2.1 (Liu 2004) i wyposażony jest w interfejs wspomagający określanie przestrzennego rozkładu parametrów lokalnych w programie ArcView GIS 3.x. Model WetSpa wersja 2.1 stosowany był w Polsce do symulacji odpływu ze zlewni rolniczych (Poretta-Brandyk i in. 2010, 2011, Chormański i Batelaan 2011).

Wzorując się na tym interfejsie, a jednocześnie wprowadzając jego ulepszenie i rozszerzając wachlarz funkcji obliczeniowych pozwalających na integrację zdjęć satelitarnych, opracowano nowy interfejs użytkownika, który będzie przedstawiony w niniejszym artykule.

Badania finansowano ze środków grantów badawczych MNiSW nr N30505232/1917 oraz nr 637/N-RO-SJA/09/2010/0.

## Metodyka

### Rozszerzenie WetSpa-SGGW dla oprogramowania ArcGIS

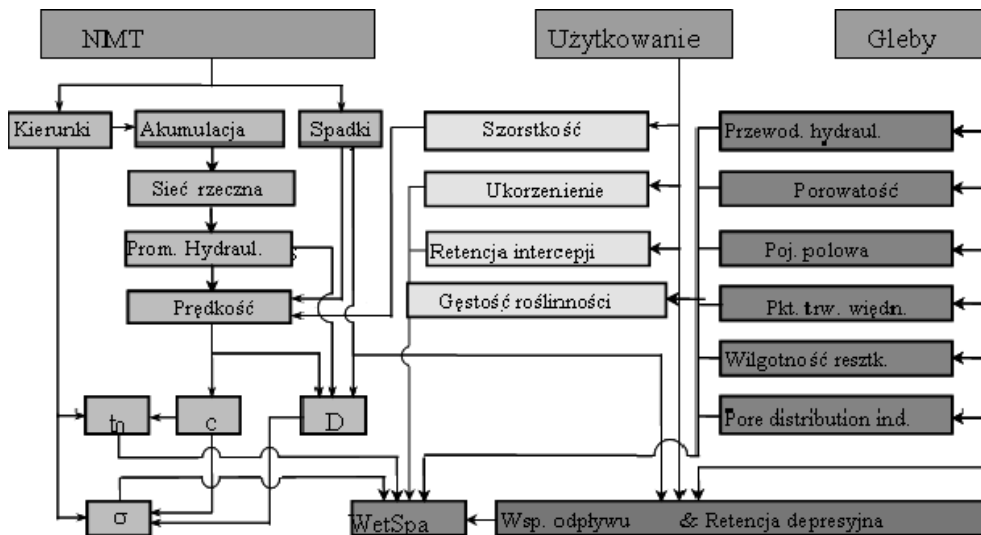
WetSpa-SGGW jest graficznym interfejsem użytkownika (GUI – Graphical User Interface), wspomagającym proces modelowania matematycznego z wykorzystaniem modelu WetSpa. Został zaprojektowany oraz zrealizowany jako rozszerzenie ArcGIS 10. Całość została napisana w obiektowym języku programowania C# w środowisku Microsoft VisualStudio 2008, co pozwo-

li w przyszłości na łatwą modyfikację lub rozszerzenie funkcjonalności tego interfejsu. Rozszerzenie wzbogacono o program instalacyjny, automatyzujący proces konfiguracji systemu operacyjnego oraz systemu ArcGIS na potrzeby poprawnej współpracy WetSpa-SGGW z ArcGIS. Interfejs służy do wyznaczenia rozkładu przestrzennego parametrów lokalnych modelu WetSpa obliczanych na podstawie map, działając jako preprocesor modelowania hydrologicznego. Obliczane mapy parametrów fizyczno-geograficznych modelu zapisywane są w strukturze katalogów tworzonych przez WetSpa-SGGW jako warstwy rastrowe. Następnie zamieniane są one w matryce parametrów w formacie ASCII, który jest formatem wejściowym dla modułów obliczeniowych modelu hydrologicznego WetSpa. Interfejs umożliwia też bezpośrednią komunikację z modelem hydrologicznym

WetSpa i wykonywanie symulacji odpływu z poziomu ArcGIS. Zaletą nowego interfejsu jest możliwość edycji parametrów do programu optymalizującego PEST w opracowanym do tego celu formularzu oraz pozwalającego na kontrolę procesu optymalizacyjnego.

### Model hydrologiczny

Model hydrologiczny WetSpa zaprogramowano w języku programowania FORTRAN 90. Wymaga on szczegółowych charakterystyk zlewni i koryt rzecznych do opisanego procesów hydrologicznych, parametryzowanych na podstawie trzech elementów środowiska: mapy gleb, mapy użytkowania oraz NMT – numerycznego modelu wysokości terenu (DTM – Digital Terrain Model). Schemat obliczeń rozkładu przestrzennego poszczególnych parametrów na podstawie map przedstawiono na rysunku 1.



RYSunEK 1. Schemat obliczeń rozkładu przestrzennego parametrów zlewni na podstawie map (Liu 2004)

FIGURE 1. The calculation scheme for spatial distribution of basin parameters based on maps

Dzięki matrycom parametrów w formacie ASCII możliwe jest rozwiązywanie równania bilansu wodnego zlewni w każdej komórce siatki obliczeniowej. Procesy hydrologiczne w większości opisywane są w modelu równaniami fizyki matematycznej, których parametry mają sens fizyczny i mogą być pomierzone w terenie lub określone na podstawie analiz GIS (Liu 2004). Model może być realizowany w wersji o parametrach częściowo rozłożonych – agregowanych w zlewniach elementarnych, oraz w wersji o parametrach w pełni rozłożonych ale dostosowanej do poziomu siatki rastrowej. Należy jednak zauważyć, że wybrane charakterystyki, takie jak dopływy wód gruntowych lub rozkład zmiennych meteorologicznych wejścia są w modelu uśredniane jedynie na poziomie zlewni elementarnych.

Model opad-odpływ zlewni zaprogramowany w wersji 2.1 przez Liu (2004) w postaci modułowej składa się z niezależnych, następujących programów:

**Mean** – służy do wyznaczania uśrednionych wartości parametrów przestrzennych w zlewniach elementarnych.

**Subbasins** – umożliwia obliczenie średnich wartości opadów, ewapotranspiracji potencjalnej i temperatury powietrza w zlewniach elementarnych na podstawie pomiarów punktowych przetworzonych w rozkład przestrzenny obliczony uprzednio metodą wieloboków Thiessena.

**IUH** – służy do obliczenia rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego, w zlewniach elementarnych, cząstkowych i komórkach rastrowych.

**Model\_1** – wykonuje symulacje hydrogramu odpływu modelem o para-

metrach częściowo rozłożonych w zadanym kroku czasowym.

**Model\_2** – wykonuje symulacje hydrogramu odpływu modelem o parametrach rozłożonych w zadanym kroku czasowym.

**Evaluation** – oblicza miary jakości modelu na podstawie porównania wartości obliczonych i obserwowanych.

**Balance** – umożliwia obliczenie wartości wybranych elementów bilansu wodnego.

Kody źródłowe powyższych modułów obliczeniowych zostały zmodyfikowane oraz dostosowane do środowiska nowego rozszerzenia WetSpa-SGGW poprzez dodanie im możliwości uruchamiania z parametrami (wykorzystując konstrukcje dostępne w Fortranie 90). Ponadto opracowano przyjazny dla użytkownika (okienkowy) interfejs kontroli programu PEST. Jest to program konsolowy, służący do optymalizacji parametrów modelu, która w nowej wersji odbywać się może z poziomu ArcGIS. Interfejs umożliwia ponadto wizualizację wyników optymalizacji i symulacji w sposób automatyczny po wykonaniu zadań obliczeniowych.

## **Opis programu instalacyjnego i struktury modułu WetSpa-SGGW w środowisku ArcGIS**

### **Instalacja WetSpa-SGGW dla ArcGIS**

Instalacja WetSpa-SGGW dla ArcGIS odbywa się poprzez uruchomienie programu setup.exe zlokalizowanego w folderze instalacyjnym WetSpa-SGGW. Podczas instalacji programu, oprócz samego rozszerzenia (biblioteka

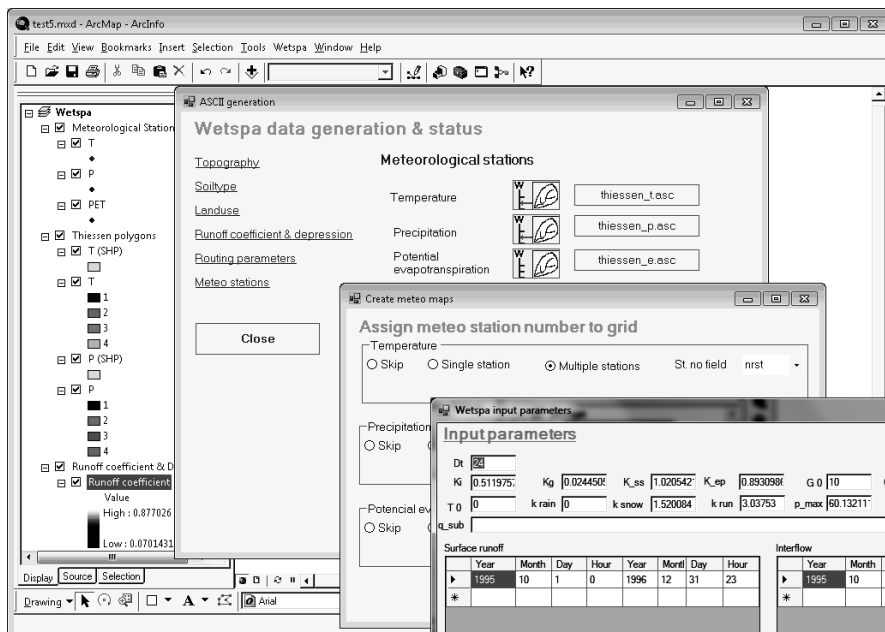
WetSpaExt.dll), zostają zainstalowane: pliki domyślne (szkieletowe, m.in. parametry modelu, przykładowe tabele re klasyfikacyjne itd.), system PEST, służący do optymalizacji parametrów modelu wraz z domyślnymi plikami szkieletowymi, dane do przykładowego projektu oraz pliki wykonywalne części obliczeniowej.

### Obsługa rozszerzenia

Interfejs WetSpa-SGGW instaluje się jako rozszerzenie ArcGIS, które aktywowane lub dezaktywowane jest w sposób przewidziany dla innych rozszerzeń systemu ArcGIS. Po uaktywnieniu rozszerzenia dodawany jest dodatkowy pasek rozwijalnego menu „WetSpa” (rys. 2). Zestawione tu polecenia (Organize WetSpa, Refresh project, Generate

model data, Model parameters, WetSpa Bin, Params estimation (Pest), Model results) pozwalają na łatwą obsługę interfejsu oraz programów obliczeniowych modeli hydrologicznych.

**Organize WetSpa** – otwiera formularz pozwalający na wskazanie lokalizacji plików potrzebnych do generowania danych do modelu matematycznego, czyli następujących map: numerycznego modelu terenu, użytkowania terenu, gatunków gleb i rozmieszczenia stacji meteorologicznych, oraz plików tekstowych zawierających serie wejściowych danych obserwowanych: temperatury, opadów, ewapotranspiracji potencjalnej, oraz serie weryfikacyjne odpływu ze zlewni. Zamknięcie tego formularza tworzy strukturę podkatalogów modelu WetSpa w katalogu, w którym został zapisany aktualny plik projektu ArcGIS



RYSUNEK 2. Menu programu WetSpa SGGW, dane wejściowe i parametry startowe modelu  
 FIGURE 2. Menu of the WetSpa SGGW, input data and start parameters

(plik z rozszerzeniem \*.mxd). Niektóre opcje w tym formularzu nie będą dostępne, jeżeli projekt ArcGIS nie został wcześniej zapisany. W samym dokumencie mapowym ArcGIS tworzona jest również warstwa główna o nazwie WetSpa oraz siedem grup tematycznych map parametrów modelu, których nazewnictwo zgodne jest z oryginalnym interfejsem WetSpa dla ArcGIS 3.x: Meteorological Stations, Thiessen polygons, Runoff coefficient & Depression, Routing parameters, Soiltype, Landuse, Topography. Dodatkowo kopiowane są pliki szkieletowe, tablice reklasyfikacyjne oraz wskazane w formularzu pliki teksowe z danymi meteorologicznymi.

W rozwijalnym menu ulokowano następujące komendy realizujące odpowiadające im zadania obliczeniowe:

**Refresh project** – generuje brakujące mapy, katalogi oraz kopiuje brakujące pliki szkieletowe.

**Generate model data** – formularz generujący dane wejściowe do części numerycznej modelu (pliki ASCII).

**Model parameters** – otwiera formularz, służący do edycji startowych parametrów globalnych modelu oraz parametrów symulacji, takich jak: krok czasowy, możliwość zapisania wyników symulacji w zlewniach elementarnych, wynikowe mapy procesów hydrologicznych (plik input.txt).

**WetSpa Hydro** – uruchamia poszczególne hydrologiczne programy obliczeniowe.

**Params estimation (Pest)** – zawiera trzy podmenu:

– Pest parameters, otwiera formularz służący do edycji parametrów programu optymalizującego PEST,

tworzy lub edytuje pliki niezbędne do procesu optymalizacji.

– Run Pest, uruchamia sam proces optymalizacji parametrów modelu WetSpa,

– View results, wyświetla wyniki autokalibracji.

**Model results** – wyświetla wyniki działania poszczególnych modeli hydrologicznych.

### **Adaptacja modelu WetSpa do danych uzyskiwanych ze zdjęć satelitarnych**

#### **Integracja map wskaźnika ulistnienia LAI w modelu WetSpa**

W modelu o parametrach przestrzenne rozłożonych zmienność i faza rozwoju roślinności w okresie wegetacyjnym wymaga zlikwidowania ograniczeń zgeneralizowanej mapy użytkowania. Poziom dokładności komórki rastrowej zależy od możliwości technicznych uzyskiwania danych satelitarnych. Dynamika rozwoju roślinności niezbędna do oszacowania intercepcji i ewapotranspiracji aktualnej uwzględniana jest przez parametryzację roślinności, na przykład przez zastosowanie wskaźnika ulistnienia LAI (Leaf Area Index). Wskaźnik ten jest powiązany ze stanem pokrywy roślinnej, a w konsekwencji jest odpowiedzialny za strukturę powierzchni czynnej w jej bilansie cieplnym (Leśny i in. 2007) i wodnym. Często wskaźnik ulistnienia LAI wiązany jest z maksymalną pojemnością retencji intercepcji pokrywy roślinnej (De Jong i Jetten 2008).

Przeprowadzono zmiany kodu źródłowego modelu WetSpa pod kątem aplikacji nowej formuły obliczeniowej zmian retencji intercepcji określonej na podstawie pomierzonych w terenie wartości LAI i zdjęć satelitarnych. Zdjęcia satelitarne powinny być odpowiednio dobrane – jedno odpowiadające maksimum wegetacji, gdy jest największa biomasa (np. zdjęcie z drugiej połowy lipca), i drugie odpowiadające minimum wegetacji (np. zdjęcie z początku wiosny lub zimowe, bez pokrywy śnieżnej). Zdjęcia przetworzone do postaci map LAI (w dowolnym programie geoinformacyjnym) wprowadzane są do programu WetSpa w formacie ESRI-GRID, a następnie na poziomie programu ArcGIS odpowiednie procedury obliczają na ich podstawie minimalną i maksymalną retencję intercepcji.

Wartości pojemności intercepcji w funkcji LAI wyznaczać można na podstawie literatury, na przykład metodą Von Hoyningen-Huene (1981) lub Su (2000). Odpowiednie procedury do oceny maksymalnej pojemności retencji intercepcji pokrywy roślinnej na podstawie zdjęć satelitarnych zostały zaprogramowane i są dostępne w modelu z poziomu ArcGIS. Obecnie prowadzone są próby wrażliwości modelu na pozyskiwanie wartości intercepcji pokrywy roślinnej przy zastosowaniu zaprogramowanej techniki w zlewni górnej Biebrzy.

#### **Adaptacja modelu WetSpa do pozyskiwania ze zdjęć satelitarnych informacji umożliwiających ocenę przepuszczalności pokrycia terenu w zlewniach miejskich**

Wykorzystanie teledetekcji satelitarnej umożliwia pozyskiwanie informacji o udziale powierzchni nieprzepuszczal-

nych, bez utraty dokładności ich przestrzennego rozłożenia, wynikającego z generalizacji mapy użytkowania terenu, z rozdzielczością od kilkunastu, kilkudziesięciu metrów (Landsat TM, Aster) do poniżej 1 m (Ikonos, QuickBird). Informację tę można w pełni wykorzystać dopiero w modelach o parametrach rozłożonych. Struktura rastrowa sprawia, że modele o parametrach rozłożonych stają się idealnym narzędziem do integracji danych satelitarnych o różnej rozdzielczości. Dane satelitarne średniorozdzielcze (np. Landsat TM) oraz wysokorozdzielcze (Ikonos) wykorzystano do mapowania obszarów o różnej przepuszczalności, uwzględniając tę informację do oceny mapy współczynnika odpływu w modelu zlewni WetSpa, według metodyki Chormańskiego i innych (2008).

Na przykładzie zlewni rzeki Woluwe (Bruksela, Belgia) przeprowadzono analizę czułości modelu na sposób szacowania współczynnika odpływu, uwzględniającą różną reakcję zlewni miejskiej na opady. Jak wynikało z symulacji, zastosowanie bardziej zaawansowanych i dokładniejszych metod analizy obrazów satelitarnych wpływa na parametry fali wezbraniowej. Analiza czułości została powtórzona w zlewni rzeki Białej (miasto Białystok), potwierdzając konieczność stosowania lepszej informacji w procesie modelowania hydrologicznego w zlewni o parametrach przestrzennie rozłożonych (Berezowski i in. 2011). W związku z tym program WetSpa-SGGW został przystosowany do oceny przestrzennej zmienności przepuszczalności pokrycia miast (udział powierzchni zabudowy – betonu, asfaltu, kostki brukowej, dachów etc.).

Standardowo mapa współczynnika odpływu obliczana jest według wzoru:

$$C = C_0 + (1 - C_0) \frac{S}{S + S_0} \quad (1)$$

gdzie:

$C$  – współczynnik odpływu [–],

$C_0$  – współczynnik odpływu przy spadku terenu zbliżonym do zera [–],

$S$  – spadek terenu [%],

$S_0$  – stała spadku uzależniona od rodzaju gleby [%].

Wartość  $C_0$  [–] obliczana jest jako funkcja rodzaju pokrycia terenu. W przypadku obszarów zurbanizowanych standardowa metoda zakłada przyjęcie średniej wartości proporcji przepuszczalności pokrycia na podstawie wiedzy eksperckiej dla wszystkich pikseli obszarów zurbanizowanych:

$$C_0 = \text{IMP} + (1 - \text{IMP})C_{\text{grass}} \quad (2)$$

gdzie:

IMP – proporcjonalny udział powierzchni nieprzepuszczalnej,

$C_{\text{grass}}$  – współczynnik odpływu dla powierzchni o spadku zbliżonym do zera i powierzchni pokrytej roślinnością trawiastą (Liu 2004).

W celu dostosowania standardowych procedur do różnych scenariuszy obliczeniowych współczynnika odpływu na podstawie zdjęć satelitarnych zmodyfikowano oryginalną tabelę reklasyfikacyjną parametrów mapy użytkowania, dodając dodatkową kolumnę zawierającą wartości wskaźnika nieprzepuszczalności o nazwie IMP (IMPervious). Procedura obliczeniowa umożliwia też wyznaczenie mapy wskaźnika nieprzepuszczalności

MIMP (Map of IMPervious) poprzez przypisanie wartości IMP z tabeli (wartości przyjęte z literatury) i uwzględnienie przestrzennej zmienności IMP. Użytkownik wykorzystujący dane satelitarne jako źródło informacji przestrzennej ma możliwość obliczenia MIMP poprzez agregację sklasyfikowanego uprzednio obrazu satelitarnego lub lotniczego do dowolnej rozdzielczości, w której prowadzone jest modelowanie hydrologiczne (np. wartości pikseli sklasyfikowanego obrazu IKONOS o rozdzielczości 1 m przeliczane będą do wielkości piksela 30 m). MIMP jest mapą rastrową o rozdzielczości przestrzennej zgodnej z przyjętą wielkością komórki obliczeniowej modelu. W każdym pikselu MIMP zapisano wartość wskaźnika w formacie liczb rzeczywistych z przedziału  $\{0-1\}$ , gdzie 0 oznacza pełną przepuszczalność powierzchni, a 1 – pełną nieprzepuszczalność.

Kolejnym etapem jest uwzględnienie MIMP w procedurze konstrukcji mapy współczynnika odpływu. Nowe menu obliczeniowe uwzględni zarówno standardową metodę z programu WetSpa 2.1 – wzory (2) i (1), jak i jej modyfikację przez obliczenie MIMP i podstawienie jej do wzoru (2), zamiast IMP:

$$C_0 = \text{MIMP} + (1 - \text{MIMP})C_{\text{grass}} \quad (3)$$

Implikując procedury dostosowujące model WetSpa do wykorzystania obrazów rastrowych, można obliczać współczynnik odpływu w następujących wariantach:

1. Standardowa procedura obliczania współczynnika odpływu programu WetSpa. Użytkownik ma możliwość zadeklarowania stałej wielkości IMP dla



całego obszaru miejskiego. Wielkość ta deklarowana jest przez użytkownika na podstawie wiedzy eksperckiej – wzory (2) i (1), lub obliczana jako średnia wartość ze wszystkich pikseli obrazu MIMP i przypisywana miejskiemu typowi pokrycia terenu – wzory (3) i (1).

2. Procedura częściowego rozłożenia. Użytkownik ma możliwość zadeklarowania stałej wartości wskaźnika przepuszczalności w różnych rodzajach obszarów zurbanizowanych (centrum handlowe i przemysłowe, dzielnice mieszkalne itp.). Możliwość ta jest szczególnie cenna w sytuacji wykorzystywania istniejących map użytkowania, na przykład Corine Land Cover 2006 (European Environment... 2007), która pomimo małej dokładności przestrzennej może być stosowana w praktyce inżynierskiej (Tyszewski i in. 2009). Wartość IMP jest pobierana przez program z odpowiedniej tablicy reklasifikacyjnej i przypisywana do poszczególnych rodzajów terenu zurbanizowanego lub obliczana jako średnia wartość pikseli z MIMP w strefach reprezentujących zurbanizowanie. Obliczanie współczynnika odpływu – wzory (3) i (1), jako funkcji przepuszczalności pokrycia i podłoża, jest tutaj zróżnicowane w strefach.

3. Procedura pełnego rozłożenia. Użytkownik ma możliwość uwzględnienia wartości współczynnika odpływu w funkcji MIPM, zróżnicowanej na poziomie każdej komórki obliczeniowej. Procedura pełnego rozłożenia realizowana może być dwoma sposobami: pierwszy polega na obliczeniu współczynnika odpływu – wzory (3) i (1), drugi zaś na obliczeniu współczynnika odpływu – wzór (1), poprzedzonym obliczeniem  $C_0$  z uwzględnie-

niem proporcji czterech różnych typów użytkowania, a mianowicie powierzchni nieprzepuszczalnych, wody, roślinności i powierzchni odkrytych:

$$C_0 = P_{\text{imp}} + P_{\text{water}} + 0,16P_{\text{vege}} + 0,33P_{\text{bare}} \quad (4)$$

gdzie:

$P_{\text{imp}}$  – udział powierzchni nieprzepuszczalnych,

$P_{\text{water}}$  – udział powierzchni pokrytych wodą,

$P_{\text{vege}}$  – udział powierzchni pokrytych roślinnością,

$P_{\text{bare}}$  – udział powierzchni odkrytych w pojedynczej komórce modelowania.

Stałe we wzorze (4) oznaczają domyślne wartości współczynnika odpływu przyjmowane dla roślinności (0,16) i powierzchni gleby odkrytej (0,33) w przypadku spadków zbliżonych do zera (Liu 2004).

## Podsumowanie i wnioski

Opracowany interfejs programu WetSpa-SGGW dla ArcGIS opracowany w Katedrze Inżynierii Wodnej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie umożliwia stosowanie modelu hydrologicznego opad-odpływ WetSpa w środowisku programu ArcGIS 10. Ponadto adaptacja programu WetSpa zwiększyła możliwości wykorzystywania danych satelitarnych do identyfikacji przestrzennej parametrów w modelowaniu poszczególnych procesów hydrologicznych. Obecnie model ten przystosowano do wykorzystania danych satelitarnych w celu oceny wybranych parametrów związanych z procesami intercepcji i ewapotranspiracji szaty ro-

ślinnej oraz szacowania współczynnika odpływu w zlewniach miejskich. Planuje się dalsze jego rozwijanie w kierunku adaptacji obliczeniowej procesu ewapotranspiracji aktualnej oraz podsystemu topnienia pokrywy śnieżnej pod kątem wykorzystania informacji pozyskiwanej ze zdjęć satelitarnych i lotniczych.

## Literatura

- BATELAAN O., WANG Z.M., DE SMEDT F. 1996: An adaptive GIS toolbox for hydrological modeling. In: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management. Ed. K. Kovar, H.P. Nachtnebel. IAHS Publ. 235.
- BEREZOWSKI T., CHORMAŃSKI J., CANTERS F., Van De VOORDE T., BATELAAN O. 2011: Impact of remotely sensed land-cover proportions on the runoff prediction in urbanized catchments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (złożono do druku).
- CHORMAŃSKI J., BATELAAN O. 2011: Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with significant contribution of organic soil. Upper Biebrza case study. *Ann. Warsaw Univ. Life Sciences – SGGW Land Reclam.* (przyjęto do druku).
- CHORMAŃSKI J., Van De VOORDE T., De ROECK T., BATELAAN O., CANTERS F. 2008: Improving Distributed Runoff Prediction in Urbanized Catchments with Remote Sensing based Estimates of Impervious Surface Cover. *Sensors*. 8: 910–932.
- De JONG S.M., JETTEN V.G. 2007: Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. *International Journal of Geographical Information Science* 21 (5): 529–545.
- De SMEDT F., LIU Y.B., GEBREMESKEL S. 2000: Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information. In: Risk Analysis II, Ed. C.A. Brebbia. WTI Press, Southampton, Boston: 295–304.
- European Environment Agency 2007. CLC2006 technical guidelines. EEA Technical Report 17: 70.
- LEŚNY J., SZOSZKIEWICZ K., JUSZCZAK R., OLEJNIK J., SERBA T. 2007: Wskaźnik ulistnienia LAI roślinności drzewiastej i krzewiastej terenów podmokłych. *Acta Agrophysica* 9 (3): 673–684.
- LIU Y.B. 2004: Development and application of a GIS-based hydrological model for flood prediction and watershed management. Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
- POKOJSKAP. 2000: Model hydrologiczny o parametrach przestrzennie rozłożonych zintegrowany z systemem informacji geograficznej. *Przegląd Geofizyczny* 45 (3–4): 299–308.
- PORRETTA-BRANDYK L., CHORMAŃSKI J., IGNAR S., OKRUSZKO T., BRANDYK A., SZYMCAK T., KRĘŻAŁEK K. 2010: Evaluation and verification of the WetSpa model based on selected rural catchments in Poland. *Journal of Water and Land Development* 14: 115–133.
- PORRETTA-BRANDYK L., CHORMAŃSKI J., OKRUSZKO T., BRANDYK A. 2011: Automatic calibration of the WetSpa distributed hydrological model for small lowland catchments. *Geoplanet: Earth and Planetary Sciences* (w druku).
- SU Z. 2000: Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies. *International Journal of Remote Sensing*. 21: 213–233.
- TYSZEWSKI S., KARDEL I., PUSŁOWSKA-TYSZEWSKA D., OKRUSZKO T., STAŃCZYK T., OGLEŃCKI P., CHORMAŃSKI J., MIROSLAW-ŚWIĄTEK D., MICHAŁOWSKI R., POLAK W. 2009: Studium hydrograficzne doliny rzeki Białej z wytycznymi do zagospodarowania rekreacyjno-wypoczynkowego i elementami małej retencji oraz prace hydrologiczne niezbędne do sporządzenia dokumentacji hydrologicznej. Maszynopis. Warszawa.
- Von HOYNINGEN-HUENE J. 1981: Die Interzeption des Niederschlags in Landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. Arbeitsbericht Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Braunschweig: DVWK).

WANG Z.M., BATELAAN O., De SMEDT F.  
1996: A distributed model for water and  
energy transfer between soil, plants and at-  
mosphere (WetSpa). *Phys. Chem. Earth.* 21  
(3): 189–193.

## Summary

**Hydrological catchment model WetSpa-SGGW integrated with a calculation module in ArcGIS environment.** Paper treats on development of the new catchment modeling tool, which works in the ArcGIS 10 environment. The program uses a WetSpa model, which allow user to spatial distribution of basin parameters into the raster cell level. A distributed hydrological model

could fully use a data from remote sensing. A new module of ArcGIS is developed using idea of previous version – WetSpa 2.1 for ArcView GIS 3.x program. Therefore it was improved by adding additional functions, which allow using of remote sensing data for estimation of runoff coefficient in catchment and identification of interception capacity of vegetation canopy.

### Author's address:

Jarosław Chormański, Robert Michałowski  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej  
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa  
Poland  
e-mail: j.chormanski@levis.sggw.pl