

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MODELI HYDROLOGICZNYCH W STRATEGICZNEJ OCENIE ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO MIEJSCOWYCH PLANÓW ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO

Mariusz Sojka¹, Sadzide Murat-Błażejewska¹, Rafał Wróżyński¹

¹ Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, e-mail: masojka@up.poznan.pl; smurat@up.poznan.pl; rafal.wrozyński@up.poznan.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono możliwości zastosowania modelu hydrologicznego HEC-HMS przy opracowywaniu strategicznej oceny oddziaływania na środowisko projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego na wody powierzchniowe. Praktyczne możliwości zastosowania modelu w symulacji reakcji zlewni na opady o dużym natężeniu przedstawiono na przykładzie zlewni ciek Różany Potok, która podlega szybkiemu procesowi urbanizacji. Pole powierzchni zlewni Różany Potok wynosi 8,1 km², a długość ciek 5,57 km. W latach 1992–2012 nastąpił znaczny przyrost terenów uszczelnionych w zlewni z około 5,2 do 16%. Dodatkowo obręb zlewni opracowywane są nowe mpzp, realizacja ich zapisów może przyczynić się do wzrostu udziału terenów nieprzepuszczalnych do ponad 20%. Wzrost udziału terenów nieprzepuszczalnych w analizowanej zlewni oraz tradycyjne podejście do zagospodarowania wód opadowych, może doprowadzić do dwukrotnego wzrostu przepływów wezbraniowych i zwiększenie ryzyka występowania lokalnych podtopień i powodzi.

Słowa kluczowe: zlewnia, urbanizacja, model opad-odpływ, miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, ocena oddziaływania na środowisko.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING HYDROLOGICAL MODELS IN STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF LOCAL SPATIAL DEVELOPMENT PLANS

ABSTRACT

The paper presents the possibility of application of the hydrological model HEC-HMS in the development of a strategic environmental assessment of local spatial development plans on surface water. The practical possibility of using simulation models of catchment response to high intensity precipitation is shown on the example of the Różany Potok watercourse catchment which is subject to rapid urbanization process. The area of Różany Potok catchment is 8.1 km² and a stream length is 5.57 km. In the years 1992–2012 there was a significant increase in impervious areas in the catchment of about 5.2 to 16%. In addition, new local spatial development plans are prepared within the catchment area. The implementation of

their records may contribute to the increase in the proportion of impervious areas to over 20%. The increase in the share of impervious areas in the catchment area and traditional approach of precipitation water management can lead to doubling flood flows and increase the risk of local flooding.

Keywords: catchment, rainfall-runoff model, local spatial development plan, strategic environmental assessment.

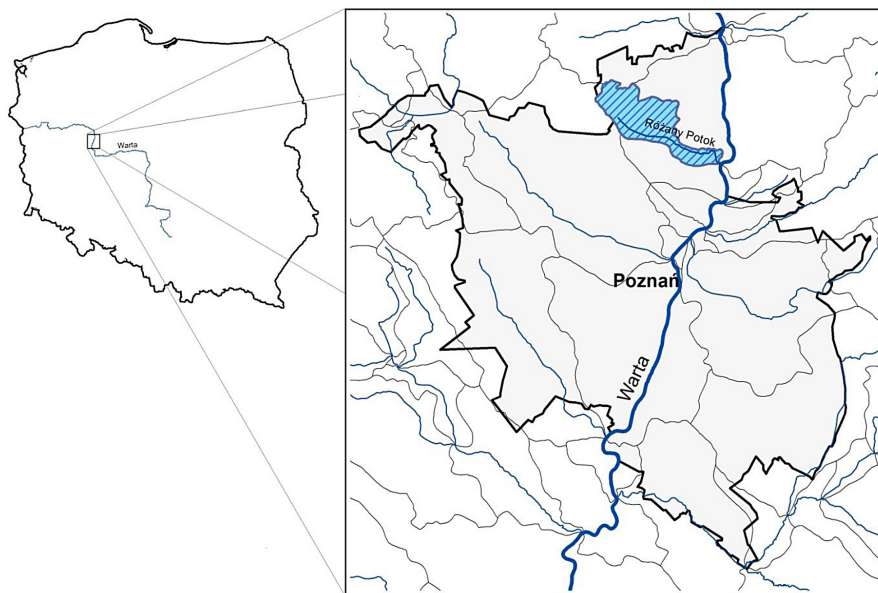
WSTĘP

Postępująca urbanizacja powoduje szereg zmian w naturalnym cyklu hydrologicznym. Mniejsza powierzchnia terenów otwartych i biologicznie czynnych w zlewniach zurbanizowanych prowadzi do obniżenia ich naturalnych zdolności retencyjnych [[Wałęga i in. 2013]. Dodatkowo prognozowane zmiany klimatu w zakresie wzrostu częstotliwości występowania opadów nawaalnych wskazują, że w małych rzekach położonych na terenach zurbanizowanych będą występowały gwałtowne wezbrania. Aby ograniczyć negatywne skutki urbanizacji należy uwzględnić wymogi ujęte w polityce przestrzennej gminy, określanej w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, a następnie w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego (mpzp). W planie miejscowym określa się wskaźniki zagospodarowania terenu, maksymalną i minimalną intensywność zabudowy jako wskaźnik powierzchni całkowitej zabudowy w odniesieniu do powierzchni działki budowlanej, minimalny udział procentowy powierzchni biologicznie czynnej w odniesieniu do powierzchni działki budowlanej. Od 2008 roku (Dz. U. Nr 199, poz. 1227 ze zm.) projekty miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego powinny być poddane strategicznej ocenie oddziaływania na środowisko. Prognoza oddziaływania na środowisko określa, analizuje i ocenia przewidywane znaczące oddziaływania, między innymi na wodę. Informacje zawarte w prognozie oddziaływania na środowisko powinny być opracowane stosownie do stanu współczesnej wiedzy i metod oceny oraz dostosowane do zawartości i stopnia szczegółowości projektowanego dokumentu.

Autorzy prognoz oddziaływania na środowisko realizacji postanowień projektowanych dokumentów planistycznych w zakresie wód powierzchniowych i podziemnych nie wykorzystują w pełni dostępnej literatury przedmiotu. Rzadko też ocena odniesiona jest do zlewni, która jest podstawową jednostką obiegu wody. Brak jednolitej metodyki w zakresie przygotowania prognozy powoduje, że opracowanie to najczęściej nie ma charakteru inżynierskiego, a przedstawiane jest wyłącznie w formie opisowej lub zestawień tabelarycznych [Bednarek 2012].

Celem niniejszej pracy była analiza możliwości zastosowania modelu hydrologicznego HEC-HMS przy opracowywaniu strategicznej oceny oddziaływania na środowisko projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego na wody powierzchniowe, w szczególności do symulacji reakcji zlewni na opady o dużym natężeniu. Praktyczne możliwości zastosowania modelu zostały przedstawione na

przykładzie zlewni ciek Różany Potok, lewego dopływu rzeki Warty, która podlega szybkiemu procesowi urbanizacji (rys. 1). Pod względem administracyjnym tereny te są administrowane przez Miasto Poznań oraz gminę Suchy Las.



Rys. 1. Lokalizacja zlewni ciek Różany Potok

MATERIAŁY I METODY

Zlewnia ciek Różany Potok jest zlewnią niekontrolowaną. Parametry przestrzenne i fizjograficzne zlewni określono na podstawie warstw informacyjnych: map topograficznych w skali 1:10 000, map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 arkusz Poznań, mapy hydrograficznej w skali 1:50 000 arkusz Poznań. Warstwy z map topograficznych w skali 1:10 000 pozwoliły na zbudowanie w programie SAGAGIS numerycznego modelu terenu (NMT) zlewni Różany Potok. Charakterystykę zmian sposobu użytkowania zlewni w latach 1972–2012 przeprowadzono na podstawie rastrowych map topograficznych w skali 1:10 000 w układzie 1965 i 1992 oraz ortofotomapy kolorowej, które pozyskano w postaci rastrowej z Geoportalu (www.geoport.gov.pl). Charakterystyki warunków glebowych w zlewni dokonano na podstawie map glebowo-rolniczych arkusze: Poznań i Suchy Las, uzyskanych z Wielkopolskiego Zarządu Geodezji, Kartografii i Administrowania Mieniem w Poznaniu. Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego dla rozpatrywanego obszaru w postaci rastrowej pozyskano z Miejskiej Pracowni Urbanistycznej w Poznaniu. Analiza zapisów zawartych w mpzp pozwoliła na określenie przyszłych kierunków zmian sposobu zagospodarowania terenów w zlewni.

Zebrane w ten sposób materiały kartograficzne stanowiły materiał wejściowy do utworzenia numerycznej bazy danych o zlewni cieką Różany Potok. Za pomocą programu ArcGIS 9.3.1. firmy ESRI oraz aplikacji HYDROTOOLS na podstawie utworzonego NMT wygenerowano granice zlewni. Następnie przy pomocy aplikacji HEC-GeoHMS wykorzystując NMT oraz mapy struktury użytkowania i gatunków gleb automatycznie wprowadzono do modelu HEC-HMS niezbędne parametry przestrzenne do przeprowadzenia symulacji wpływu struktury zagospodarowania na odpływ ze zlewni. Symulację przeprowadzono w czterech wariantach dla struktury zagospodarowania terenu z lat 1992, 1998 i 2012 roku, a w ostatnim, czwartym, wariantcie założono pełną realizację zapisów miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

W pierwszym etapie pracy założono wysokość opadu obliczeniowego, przyjęto czas trwania deszczu 2 godziny i prawdopodobieństwo przewyższenia 10%. Obliczenia wykonano na podstawie wzoru empirycznego Bogdanowicz i Stachego (1998). Ze względu na niewielką powierzchnię zlewni cieką Różany Potok przyjęto stałą wysokość opadu z maksymalnym natężeniem w środku jego trwania. Opad efektywny wyznaczono za pomocą metody SCS-CN (1986), w której jest on uzależniony jest trzech czynników: gatunku gleby, sposobu użytkowania terenu oraz od uwilgotnienia gleby przed wystąpieniem rozpatrywanego opadu. Poszczególnym gatunkom gleb przypisano grupy glebowe SCS wg metodyki zaproponowanej przez Ignara [1993]. Interakcję czynników ujmuje bezwymiarowy parametr CN, który przyjmuje wartości od 0 do 100. Parametr CN pozwala na obliczenie maksymalnej potencjalnej retencji zlewni S , a następnie opadu efektywnego w kolejnych krokach czasowych H_j .

W następnym etapie dokonano transformacji opadu efektywnego w odpływ bezpośredni. W modelu hydrologicznym HEC-HMS zastosowano opcję paired data i wprowadzono własny hydrogram jednostkowy. Parametry modelu Nasha dla analizowanej zlewni zurbanizowanej obliczono na podstawie zależności opracowanej przez Rao i in. [1972]. W pierwszej kolejności obliczono czas opóźnienia odpływu t_{LAG} oraz parametr retencji zbiornika k a następnie liczbę zbiorników N według wzorów (1), (2) i (3):

$$t_{LAG} = 1,28 \cdot A^{0,46} \cdot (1 + U)^{-1,66} \cdot H^{-0,27} \cdot D^{0,37} \quad (1)$$

$$k = 0,56 \cdot A^{0,39} \cdot (1 + U)^{-0,62} \cdot H^{-0,11} \cdot D^{0,22} \quad (2)$$

$$N = \frac{t_{LAG}}{k} \quad (3)$$

gdzie: A – powierzchnia zlewni [km^2],

U – udział powierzchni nieprzepuszczalnej [-],

H – wysokość opadu efektywnego [mm],

D – czas trwania opadu efektywnego [h].

Rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego obliczono na podstawie dwuparametrowej funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma, według wzoru:

$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(N)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{N-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (4)$$

gdzie: $u(t)$ – rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego IUH (h^{-1}),

t – czas od początku układu współrzędnych (h),

k – parametr retencji zbiornika (h),

N – liczba zbiorników (-),

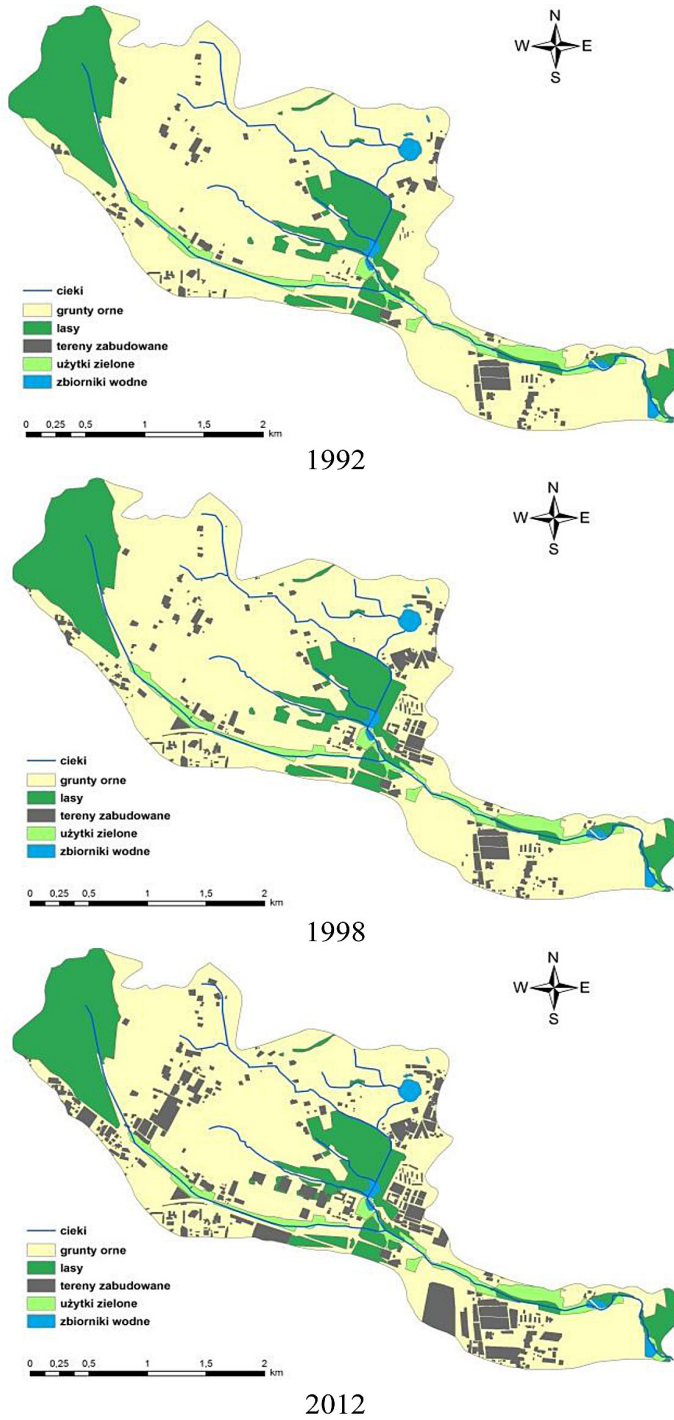
$\Gamma(N)$ – funkcja gamma $\Gamma(N) = (N-1)!$

Następnie przy pomocy modelu HEC-HMS obliczono rzędne hydrogramu odpływu bezpośredniego jako reakcji zlewni na opad o założonym czasie trwania i przyjętym prawdopodobieństwie przewyższenia. Szczegółowo przeanalizowano wpływ postępującej w ostatnich latach urbanizacji zlewni na parametr CN , potencjalne zdolności retencyjne S , wysokości opadu efektywnego H , czasy osiągnięcia kulminacji t_p , wielkości przepływów maksymalnych $Q_{10\%}$, 2h oraz objętości odpływu V . Na koniec dokonano oceny możliwości zastosowania modelu HEC-HMS przy przygotowywaniu strategicznej oceny oddziaływania projektu mpzp na wody powierzchniowe.

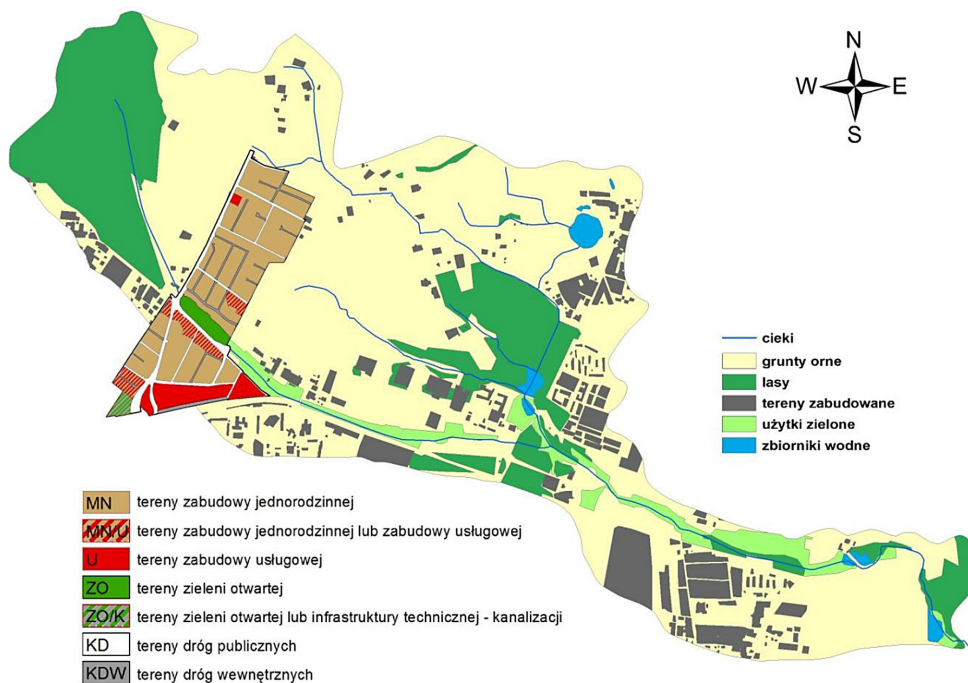
WYNIKI

Zlewnia ciek Różany Potok jest zlewnią III rzędu, ciek jest prawym dopływem rzeki Warty uchodzącym do niej w 235,8 km jej biegu, poniżej miasta Poznań. Według systemu kodowania jednostek hydrograficznych stosowanego w Polsce zlewnia ciek Różany Potok otrzymała kod 185934 (Czarnecka 2005). Analizowana zlewnia położona jest w obrębii jednolitej części wód powierzchniowych – Warta od Cybiny do Wełny, która została oznaczona kodem PLRW600021185999. Pole powierzchni zlewni Różany Potok wynosi 8,1 km^2 , a długość ciek 5,57 km. Źródło ciek położone jest wzwartym kompleksie leśnym Las Sucholeski na wysokości około 120 m n.p.m. Różany Potok uchodzi do rzeki Warty na wysokości około 55 m n.p.m. Spadek podłużny ciek wynosi 11,67‰. Najwyżej położonym wzniesieniem w zlewni jest Góra Moraska o wysokości 153,8 m n.p.m., natomiast w dolinie rzeki Warty wysokości sięgają około 55 m. n.p.m. Deniwelacja terenu wynosi 98,9 m. Średni spadek zlewni wynosi 24‰, a spadki poprzeczne dochodzą w górnej części zlewni miejscami do 197‰. W zlewni dominują gleby płowe i brunatne właściwe wytworzone z pisków słabogliniastych i piasków gliniastych lekkich. Pod względem struktury użytkowania w zlewni dominują grunty orne i nieużytki, które stanowią około 59,8% powierzchni zlewni, lasy zajmują około 19,1%, użytki zielone około 4,1% a wody powierzchniowe około 0,9%. Tereny zabudowane i drogi stanowią odpowiednio 11,8 i 4,2 %. W latach 1992–2012 nastąpił znaczny przyrost terenów uszczelnionych w zlewni z około 5,2 do 16% (rys. 2).

Dla rozpatrywanego obszaru opracowywane są nowe mpzp. W pracy szczegółowo przeanalizowano jeden mpzp „Morasko-Radojewo-Umultowo” (rys. 3), który



Rys. 2. Struktura użytkowania terenu zlewni ciek Różany Potok w latach 1992–2012

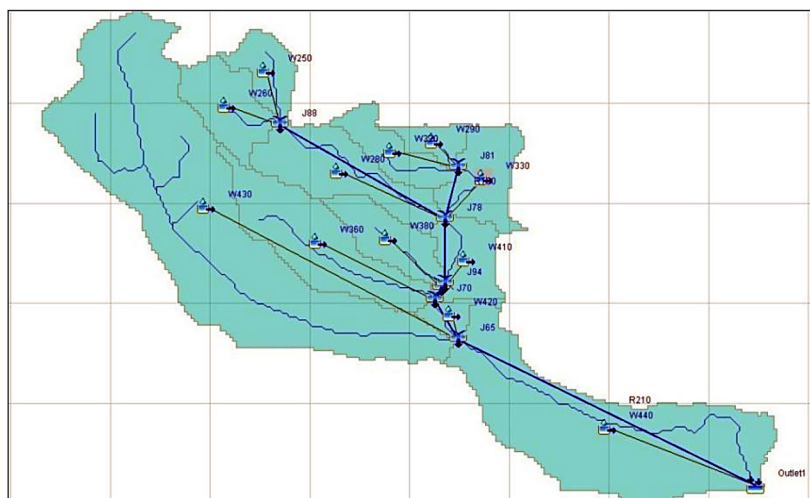


Rys. 3. Zmiany sposobu zagospodarowania zlewni wraz z zaznaczeniem zasięgu mpzp „Morasko–Radojewo–Umultowo”

został uchwalony w listopadzie 2012 roku uchwałą Rady Miasta Poznania nr XL/594/VI/2012. Realizacja zapisów mpzp może przyczynić się do wzrostu udziału terenów nieprzepuszczalnych w zlewni nawet do 20%.

W miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego ustalono nowe przeznaczenie terenów w szczególności pod zabudowę mieszkaniową jednorodziną (MN), zabudowę usługową (U), zabudowę mieszkaniową jednorodziną lub usługową (MN/U) a także tereny komunikacji – drogi publiczne i wewnętrzne. W zapisach mpzp ustalono udział powierzchni biologicznie czynnej dla terenów zabudowy jednorodzinnej od 45 do 60% powierzchni działki. W przypadku terenów przeznaczonych pod zabudowę usługową oraz zabudowę mieszkaniową jednorodziną lub usługową udział powierzchni biologicznie czynnej określono odpowiednio na poziomie 30-40% i 30%. W zakresie zagospodarowania wód opadowych i roztopowych ustalono, że mogą być one odprowadzane do kanalizacji deszczowej lub zagospodarowane na miejscu. Dla projektu przedmiotowego mpzp w okresie od maja 2011 do lipca 2012 roku została opracowana metodą indukcyjno-opisową prognoza oddziaływania na środowisko. W prognozie zwrócono uwagę, że wprowadzenie nowego sposobu zagospodarowania terenu może oddziaływać negatywnie na znajdujący się w granicy planu ciek Różany Potok. Podkreślono, że mogą wystąpić zmiany w charakterystyce jakościowej wód powierzchniowych i podziemnych jak i zmiany ilościowe. Skalę

negatywnego oddziaływania planu można ograniczyć poprzez właściwe gospodarowanie wodami opadowymi i roztopowymi, co będzie sprzyjać poprawie lokalnych zdolności retencyjnych wód. W prognozie jednak nie przedstawiono oceny ilościowej w szczególności w odniesieniu do wpływu realizacji zapisów mpzp na przepływy wody w cieku Różany Potok. Brak szerszego spojrzenia autorów oceny oddziaływania mpzp na środowisko i odniesienia jej do zlewni cieku Różany Potok, może mieć poważne konsekwencje. Wzrost odpływu powierzchniowego z terenów nieprzepuszczalnych i jednocześnie jego przyspieszenie wskutek ułatwionego spływu i działania sieci kanalizacyjnej może prowadzić po opadach nawalnych do podtopień lub powodzi w dolnym biegu analizowanego cieku. Zgodnie ze stanem współczesnej wiedzy w zakresie hydrologii, ocenę wpływu zmian sposobu użytkowania i zagospodarowania zlewni na wielkości przepływów maksymalnych można przeprowadzić przy pomocy modeli hydrologicznych. W praktyce światowej najczęściej stosowane są modele Storm Water Management Model (SWMM 2005), HEC-HMS (USA CE, EC 2008) i Mike (DHI 2007). Najbardziej popularnym z nich z punktu widzenia darmowego dostępu, możliwości wprowadzania danych przestrzennych automatycznie ze środowiska GIS oraz bogatych materiałów szkoleniowych wydaje się HEC-HMS. W niniejszej pracy przygotowana na podstawie dostępnych materiałów kartograficznych baza danych przestrzennych o zlewni Różany Potok została wprowadzona automatycznie do modelu HEC-HMS z programu ArcGIS za pomocą aplikacji HEC-GeoHMS (rys. 4). Obliczenia wykonano dla czterech wariantów użytkowania zlewni z lat 1992, 1998 i 2012 oraz przy założeniu pełnej realizacji zapisów mpzp. Symulacje wykonano dla opadu obliczeniowego o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i czasie trwania 2h. Wyniki zbiorcze zaprezentowano w tabeli 1.



Rys. 4. Schemat obliczeniowy zlewni cieku Różany Potok w modelu HEC-HMS

Tabela 1. Parametry i charakterystyki modelu Nasha zlewni ciek Różany Potok dla opadu o prawdopodobieństwie przekroczenia 10% i czasie trwania 2 h

Rok	U [%]	CN [-]	S [mm]	H [mm]	N [-]	k [h]	t [h]	$Q_{10\%, 2h}$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Odływ V [tys. m^3]
1992	5,2	73,1	93,3	3,8	2,15	1,16	2,92	2,38	30,44
1998	9,5	74,2	88,3	4,3	2,03	1,11	2,46	2,90	34,01
2012	16,0	75,8	81,0	5,2	1,85	1,05	2,02	3,97	41,86
2012 + mpzp	19,9	76,9	76,2	5,8	1,75	1,02	1,90	4,64	47,06

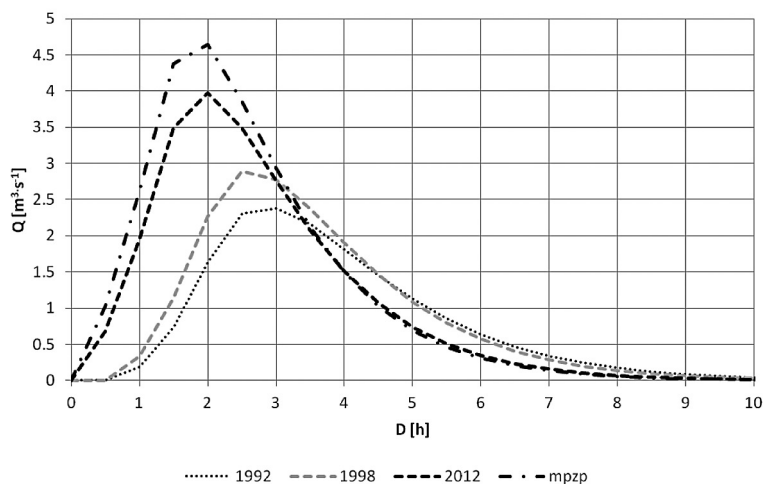
Przeprowadzone obliczenia wykazały, że stopniowy przyrost udziału terenów nieprzepuszczalnych w zlewni w latach 1992–2012 doprowadził do zmniejszenia jej potencjalnych zdolności retencyjnych o około 12 mm. Realizacja zapisów mpzp może przyczynić się do zmniejszenia zdolności retencyjnych o kolejne 5 mm. Wartość parametru CN wzrosło z 73,1 do 76,9; co przełoży się w konsekwencji na zwiększenie opadu efektywnego w zlewni o około 2 mm jako reakcji na opad o wysokości 39,4 mm.

Wzrost udziału terenów nieprzepuszczalnych w analizowanej zlewni oraz tradycyjne podejście do zagospodarowania wód opadowych, może doprowadzić do dwukrotnego wzrostu przepływów wezbraniowych i zwiększenie ryzyka występowania lokalnych podtopień i powodzi. Skróceniu ulegnie także czas koncentracji o około 1 h. Realizacja zapisów mpzp może doprowadzić do wzrostu odpływu wody ze zlewni z 30 tys. m^3 w roku 1992 do 47 tys. m^3 po zrealizowaniu zapisów mpzp (rys. 5).

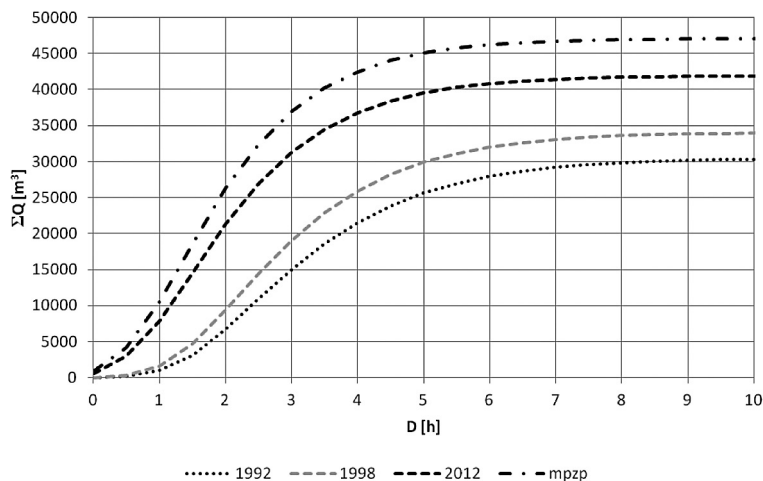
PODSUMOWANIE

Brak w Polsce wytycznych, standardów i metodyk referencyjnych, które powinny być stosowane w praktyce podczas wykonywania oceny oddziaływania projektów mpzp na wody powierzchniowe prowadzi do tego, że oceny wykonywane są tylko metodami opisowymi bez wyraźnego odniesienia do zlewni, w której odbywa się obieg wody. Uniemożliwia to prawidłową ocenę wpływu postępującej urbanizacji na stan wód powierzchniowych i podziemnych w aspekcie ilościowym jak i jakościowym. Brak stosownego rozporządzenia, które określiłoby formę prognozy, zagadnienia, zakres przestrzenny i zakres materiałów źródłowych, które muszą być wykorzystane, może prowadzić do kolejnych nieprawidłowości. Co prawda w Ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko z 2008 roku zwraca się uwagę na to, że powinna być ona prowadzona stosownie do stanu istniejącej wiedzy i metod oceny, nie zapisano jednak w stosunku do czyjej wiedzy urbanisty czy hydrologa?

Przeprowadzone badania wykazały możliwość zastosowania modeli hydrologicznych typu opad-odpływ w ocenie oddziaływania na środowisko projektów mpzp. Zastosowanie tych dobrze sprawdzonych w praktyce inżynierskiej narzędzi



A



Rys. 5. Hydrogramy odpływu bezpośredniego (A) oraz krzywe sumowania odpływu (B) cieką Różany Potok jako reakcji na opad o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i czasie trwania 2 h

pozwała na wykonanie oceny w sposób obiektywny, a co najważniejsze przy pomocy parametrów ilościowych. Szczególnie godne polecenia są darmowe, dobrze opisane modele hydrologiczne do których dane przestrzenne są wprowadzane bezpośrednio z bazy danych GIS. Jest to warte podkreślenia z punktu widzenia szerokiej dostępności materiałów kartograficznych w Polsce, szczególnie materiałów wykorzystywanych na etapie sporządzenia prognozy oddziaływania projektu mpzp na wody powierzchniowe. Materiały kartograficzne wykorzystywane w strategicznej ocenie oddziaływania na środowisko stanowią cenny materiał, który przy niewielkim nakładzie czasowym

może zostać przeniesiony do bazy danych GIS. Tak zgromadzone dane mogą być automatycznie wprowadzone do modeli hydrologicznych, a następnie na ich podstawie możliwe jest przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla rozpatrywanych wariantów zmian sposobu zagospodarowania i użytkowania zlewni. W przypadku małej przepustowości ciekuiistnieje możliwość zastosowania modeli hydrodynamicznych, aby określić wielkości stref zalewowych wzdłuż rzeki.

LITERATURA

1. Bednarek R. (red.) 2012. Strategiczna ocena oddziaływania na środowisko w planowaniu przestrzennym. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych o/Wielkopolski.
2. Bogdanowicz E., Stachý J. 1998. Maksymalne opady deszczu w Polsce: charakterystyki projektowe. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Materiały Badawcze 23, Seria: Hydrologia i Oceanologia, nr 85.
3. Czarnecka H. (red.) 2005. Atlas podziału hydrograficznego Polski. IMGW, Warszawa.
4. DHI Water and Environment 2007. Mike 21 Flow Model: Hydrodynamic Module. User Guide. DHI Water and Environment (DHI) Horsholm, Denmark.
5. Ignar S. 1993. Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych. Rozprawy Naukowe i Monografie. Wydawnictwo SGGW, s. 56.
6. Rao R.A., Delleur J.W., Sarma B.S. 1972. Conceptual hydrologic models for urbanizing basins. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(7), 1205–1220.
7. USA CE, EC 2008. Hydrologic modelling system HEC-HMS. User's Manual. Washington DC, pp. 298.
8. Wałęga A. 2013. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. *Journal of Water and Land Development*, 13–20.
9. SCS (Soil Conservation Service), 1986. Urban hydrology for small watersheds. Tech. Report 55, US Dept. of Agric., Washington DC, USA.
10. SWMM 2005. Storm water management model. EPA, Cincinnati, OH.