



ISSN 0867-7816

MONOGRAFIE
KOMITETU
GOSPODARKI
WODNEJ
POLSKIEJ
AKADEMII
N A U K

Zeszyt XX
2014

II Krajowy Kongres Hydrologiczny

HYDROLOGIA
W OCHRONIE I KSZTAŁTOWANIU
ŚRODOWISKA

Tom II

pod redakcją
Artura MAGNUSZEWSKIEGO

WARSZAWA 2014

**Mariusz SOJKA, Sadżide MURAT-BŁAŻEJEWSKA,
Rafał WRÓŻYŃSKI**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska

**PROGNOZA WPLYWU REALIZACJI ZAPISÓW
MIEJSCOWYCH PLANÓW ZAGOSPODAROWANIA
PRZESTRZENNEGO NA WZROST PRZEPIŁYWÓW
WEZBRANIOWYCH**

1. WSTĘP

Postępująca urbanizacja zlewni miejskich ma niekorzystny wpływ na stosunki wodne i przyczynia się do wzrostu intensywności odpływu powierzchniowego. Powoduje to lokalne podtopienia, a w skrajnych przypadkach powodzie miejskie (Wałęga i in. 2013). Odpływ powierzchniowy ulega przyspieszeniu w wyniku ułatwionego spływu po powierzchniach nieprzepuszczalnych oraz działania sieci kanalizacyjnej, która jest przeciążona, ponieważ pracuje w warunkach na jakie nie była projektowana. Podtopienia w miastach są skutkiem złej gospodarki wodami opadowymi i zbyt niskiej przepustowości kanalizacji deszczowej (Nachlik 2006). Dodatkowo odprowadzanie zanieczyszczonych wód opadowych do niewielkich cieków prowadzi do degradacji ekosystemów wodnych i od wody zależnych.

Brak integracji działań związanych z planowaniem przestrzennym oraz gospodarowaniem wodami przyczynia się do wzrostu zagrożenia podtopieniami i powodzią miejską. Wynika to przede wszystkim z niepokrywających się granic obszarów objętych planowaniem. W gospodarce przestrzennej są to jednostki administracyjne natomiast w gospodarce wodnej jednostki hydrograficzne: dorzecza, regiony wodne i zlewnie. W praktyce planistycznej, aby ograniczyć wpływ projektu Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego (MZPZ) na stan wód powierzchniowych, podaje się wartość maksymalnego dopuszczalnego procentu zabudowy działki oraz minimalnego procentu udziału powierzchni biologicznie czynnej. Bardzo często wskaźniki te są ustalane arbitralnie bez szerszej analizy ukształtowania terenu, warunków gruntowych i głębokości zalegania wód podziemnych.

Ponadto dane faktyczne o stopniu uszczelnienia miast i dzielnic istotnie różnią się od tych zapisanych w planach. Wprawdzie ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 2003 r. Nr 80 poz. 717) daje możliwość określania i egzekwowania intensywności zagospodarowania terenu i wielkości powierzchni biologicznie czynnej, jednak w praktyce inwestorzy często bezkarnie zwiększają powierzchnię terenów uszczelnionych (Januchta-Szostak 2011).

Warto też zwrócić uwagę na procedurę sporządzania oceny oddziaływania na środowisko projektu MPZP, której obowiązek wykonania narzuca *Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko* z 2008 r. Ocena ta w zakresie wód powierzchniowych i podziemnych wykonywana jest najczęściej bez wyraźnego odniesienia do zlewni, w której odbywa się obieg wody. Według przedmiotowej ustawy ocena oddziaływania na środowisko powinna zostać wykonana zgodnie ze stanem współczesnej wiedzy. Do dzisiaj jednak nie określono żadnych wytycznych oraz nie zdefiniowano metodyki referencyjnej. Prowadzi to w konsekwencji do tego, że ocena jest wykonywana tylko w sposób opisowy.

W praktyce hydrologicznej do oceny przepływów wezbraniowych w małych zlewniach niekontrolowanych, zgodnie z *Metodyką* (2009), stosuje się koncepcyjne modele typu opad-odpływ (Banasik i in. 2008; Banasik, Pham 2010; Sikorska, Banasik 2010; Alexakis i in. 2014).

Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza zmian sposobów zagospodarowania małej zlewni i wpływ tych zmian na kształt oraz objętości fal wezbraniowych wywołanych deszczami nawalnymi na przykładzie zlewni ciekłu Bocianka.

2. MATERIAŁY I METODY

W pracy szczegółowo przeanalizowano dostępne materiały kartograficzne w celu rozpoznania zmian sposobu zagospodarowania zlewni, jakie zaszły w latach 1911-2012. Przeanalizowano także zapisy miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (MPZP) i ich potencjalny wpływ na zwiększenie ryzyka występowania podtopień i powodzi.

Parametry przestrzenne i fizjograficzne zlewni oszacowano na podstawie warstw informacyjnych: map topograficznych w skali od 1:10000 do 1:25000, map glebowo-rolniczych w skali 1:25000 – arkusz Luboń i Komorniki, mapy hydrograficznej w skali 1:50000 – arkusz Poznań oraz numerycznego modelu terenu (NMT) w postaci TIN o cięciu arkuszowym 1:10000, udostępniony przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Wykorzystano także ortofotomapy kolorowe, które pobrano z www.geoportal.gov.pl.

Charakterystykę zmian sposobu użytkowania zlewni w latach 1919-2012 opracowano na podstawie archiwalnych niemieckich map topograficznych *Meßtischblatt* w skali 1:25000 z lat 1919 i 1944, uzyskanych z projektu MAPSTER. Dodatkowo wykorzystano rastrowe mapy topograficzne w skali 1:25000 w układzie 1965 i 1:10000 w układzie 1965 i 1992 oraz ortofotomapę kolorową opracowaną w ramach projektu Informatyczny System Osłony Kraju ISOK (tablica 1). Miejsce

plany zagospodarowania przestrzennego dla rozpatrywanego obszaru pozyskano z Biuletynu Informacji Publicznej gmin Luboń i Komorniki. Analiza MPZP pozwoliła na określenie przyszłych kierunków zmian sposobu zagospodarowania zlewni.

Tablica 1

Zestawienie map topograficznych i ortofotomap wykorzystanych do analizy zmian sposobu użytkowania zlewni ciekę Bocianka

Aktualność topograficzna	Nazwa godła	Godło	Skala	Format
1919	Posen Süd	1997	1:25000	jpg
1944	Posen Süd	3667	1:25000	jpg
1977	Poznań Puszczykowo	423.13 423.31	1:25000	TIFF
1991-1992	Luboń Puszczykowo	323.133 423.311	1:10000	TIFF
1998	Luboń Wiry Czapury	N-33-130-D-c-4 N-33-142-B-a-2 N-33-142-B-b-1	1:10000	TIFF
2012		N-33-130-D-c-4-4 N-33-142-B-a-2-2 N-33-142-B-b-1-1	1:5000	jpg

Zgromadzone materiały kartograficzne stanowiły materiał wejściowy do utworzenia numerycznej bazy danych zlewni ciekę Bocianka. Za pomocą programu ArcGIS 9.3.1. firmy ESRI dokonano wektoryzacji map rastrowych oraz przeprowadzono wszystkie analizy przestrzenne.

Do oceny wpływu zmian sposobu użytkowania terenu zlewni w latach 1919, 1944, 1977, 1992, 1998 i 2012 oraz realizacji zapisów MPZP na odpływ zastosowano koncepcyjny model kaskadowy zbiorników liniowych Nasha (1957).

Podstawowymi danymi wejściowymi do modelu transformacji opadu w odpływ jest rozkład sumy dobowej opadu o określonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia. W pracy wyznaczono wysokość opadu o czasie trwania 1 h i prawdopodobieństwie przewyższenia 10% na podstawie wzoru empirycznego Bogdanowicz i Stachego (1998). Ze względu na niewielką powierzchnię zlewni ciekę Bocianka, przyjęto stałą wysokość opadu z maksymalnym natężeniem w środku jego trwania. Opad efektywny wyznaczono za pomocą metody CN-SCS (1986) opracowanej przez Służbę Ochrony Gleb (*Soil Conservation Service*) w USA. W metodzie tej opad efektywny uzależniony jest od gatunku gleby, sposobu użytkowania terenu oraz od uwilgotnienia gleby przed wystąpieniem rozpatrywanego opadu. Poszczególnym gatunkom gleb z mapy glebowo-rolniczej przypisano grupy glebowe SCS wg metodyki zaproponowanej przez Ignara (1993). Interakcję czynników określa bezwymiarowy parametr *CN*, który, przyjmując wartości od 0 do 100, pozwala na obliczenie potencjalnej retencji zlewni *S*, a następnie opadu efektywnego *H_i* w kolejnych krokach czasowych. Transformację opadu efektywnego w od-

plyw bezpośredni wykonano przy użyciu modelu, w którym chwilowy hydrogram jednostkowy jest dwuparametrową funkcją gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma:

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

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 $\Gamma(N) = (N-1)!$

Ze względu na to, że w zlewni ciekła Bocianka nie były prowadzone pomiary hydrometryczne, jak w większości małych zurbanizowanych zlewni w Polsce, czas opóźnienia odpływu t_{LAG} oraz parametr retencji zbiornika k obliczono na podstawie zależności opracowanej przez Rao i in. (1972). Liczbę zbiorników N modelu Nasha obliczono jako iloraz czasu opóźnienia odpływu t_{LAG} i parametru retencji zbiornika k , co dalej pozwoliło na obliczenie czasu osiągnięcia kulminacji t_p :

$$t_{LAG} = 1,28 \cdot A^{0,46} \cdot (1 + U)^{-1,66} \cdot H^{-0,27} \cdot D^{0,37} \quad (2)$$

$$k = 0,56 \cdot A^{0,39} \cdot (1 + U)^{-0,62} \cdot H^{-0,11} \cdot D^{0,22} \quad (3)$$

$$N = \frac{t_{LAG}}{k} \quad (4)$$

$$T_p = (N-1)k \quad (5)$$

gdzie:

A – powierzchnia zlewni [km^2],

U – udział powierzchni nieprzepuszczalnej [-],

H – wysokość opadu efektywnego [mm],

D – czas trwania opadu efektywnego [h].

Na podstawie rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego IUH oraz powierzchni zlewni obliczono rzędne hydrogramu jednostkowego wywołanego opadem efektywnym o wysokości 1 mm i czasie trwania Δt :

$$h_i = \frac{A}{3,6} \cdot \bar{u}_i = \frac{A}{3,6 \cdot \Delta t} \cdot \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad (6)$$

$$t = \Delta t \cdot i; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

gdzie:

h_i – rzędne hydrogramu jednostkowego [$m^3 s^{-1} mm^{-1}$],

m – liczba rzędnych hydrogramu jednostkowego,

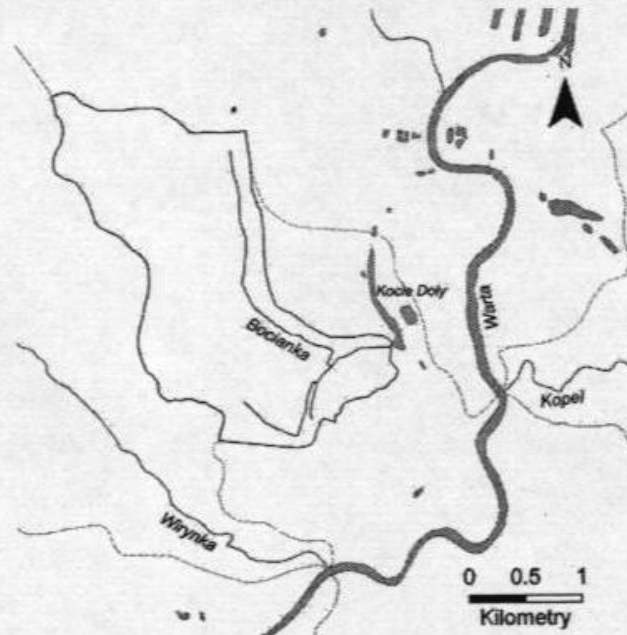
Następnie obliczono rzędne hydrogramów odpływu bezpośredniego, jako reakcji zlewni na opad o założonym czasie trwania i przyjętym prawdopodobieństwie przewyższenia. Na koniec szczegółowo przeanalizowano, dla poszczególnych lat symulacji, parametry CN , potencjalne zdolności retencyjne zlewni S , wysokości opadu efektywnego H , czasy osiągnięcia kulminacji t_p , wielkości przepływów maksymalnych $Q_{10\%, 1h}$ oraz objętości odpływu V .

3. WYNIKI BADAŃ

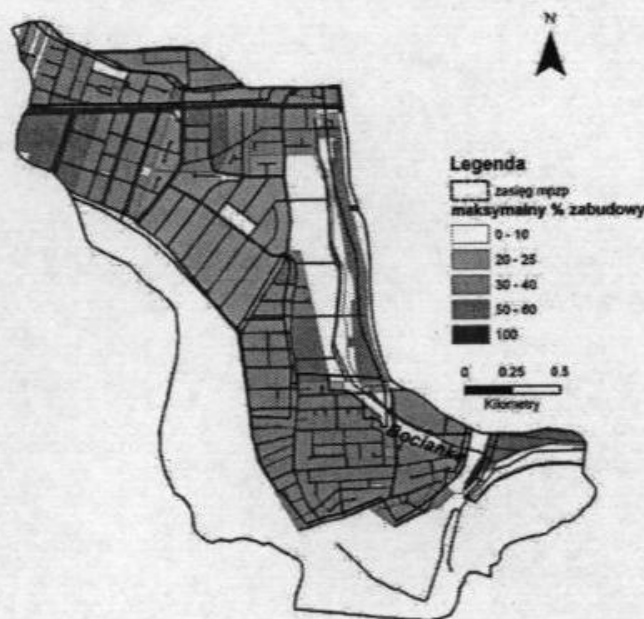
Zlewnia cieką Bocianka o powierzchni $4,35 \text{ km}^2$ zlokalizowana jest około $2,5 \text{ km}$ na południe od granic miasta Poznania. Pod względem administracyjnym 70% powierzchni zlewni podlega gminie Luboń, a 30% – gminie Komorniki. W ujęciu hydrologicznym analizowana zlewnia znajduje się w przyrzeczu rzeki Warty od Wirynki do Koplí (rys. 1). Długość cieką Bocianka wynosi $2,9 \text{ km}$. Jego źródła znajdują się w okolicy ulic Panka i Czajczej w Luboniu, na wysokości $75,3 \text{ m n.p.m.}$, natomiast ujście stanowi naturalny przyrzeczny bezodpływowy zbiornik Kocie Doły o powierzchni $4,74 \text{ ha}$, położony na wysokości $56,2 \text{ m n.p.m.}$ Powstał on poprzez odcięcie starorzecza rzeki Warty. Spadek podłużny cieką wynosi $6,7\%$. Średni spadek zlewni wynosi $9,6\%$, a spadki poprzeczne na zboczu doliny cieką Bocianki miejscami przekraczają 100% .

W zlewni dominują gleby płowe i rdzawe oraz czarne ziemie, które wytworzone zostały z piasków gliniastych lekkich i piasków słabogliniastych, odpowiednio $42,4$ i $48,3\%$. Pozostałą część pokrywają utwory wytworzone z piasków luźnych – $8,7\%$ i glin lekkich – $0,6\%$.

Zlewnia cieką Bocianka jest zurbanizowana, bowiem udział powierzchni nieprzepuszczalnych – dróg, chodników, parkingów i dachów budynków – jest wyższy od 5% i wynosi około 19% . Na przełomie lat 1919-2012 na terenie zlewni cieką Bocianka następował stopniowy przyrost terenów uszczelnionych. W latach 1919 i 1944 ich udział wynosił około $4,2\%$. Od roku 1977 do 2012 nastąpił przyrost aż o $18,6\%$. W obrębie zlewni administrowanej przez gminę Luboń uchwalonych zostało jedenaście miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, a jeden jest w trakcie przygotowania (rys. 2). Około 70% obszaru badań pokryte jest tego typu planami. Plany miejscowe zostały uchwalone w latach 2001-2011, dlatego znajdują się w różnym stadium realizacji. Głównym ich założeniem było przekształcenie terenów użytkowanych rolniczo na tereny zabudowy jednorodzinnej, usługowej i przemysłowej. Wiązało się to również z koniecznością budowy nowych dróg dojazdowych. Dla opracowanych planów określone zostały standardy urbanistyczne w zakresie udziału powierzchni nieprzepuszczalnej i biologicznie czynnej w obrębie objętym planowaniem – na obszarach zabudowy mieszkaniowej, mieszkaniowo-usługowej i przemysłowej udział te przyjęto na poziomie od 25 do 75% . Realizacja zapisów MPZP w analizowanej zlewni, przy założeniu, że na pozostałym obszarze nieobjętym planem zostaną przyjęte analogiczne standardy urbanistyczne, doprowadzi do wzrostu udziału powierzchni nieprzepuszczalnych do 35% .



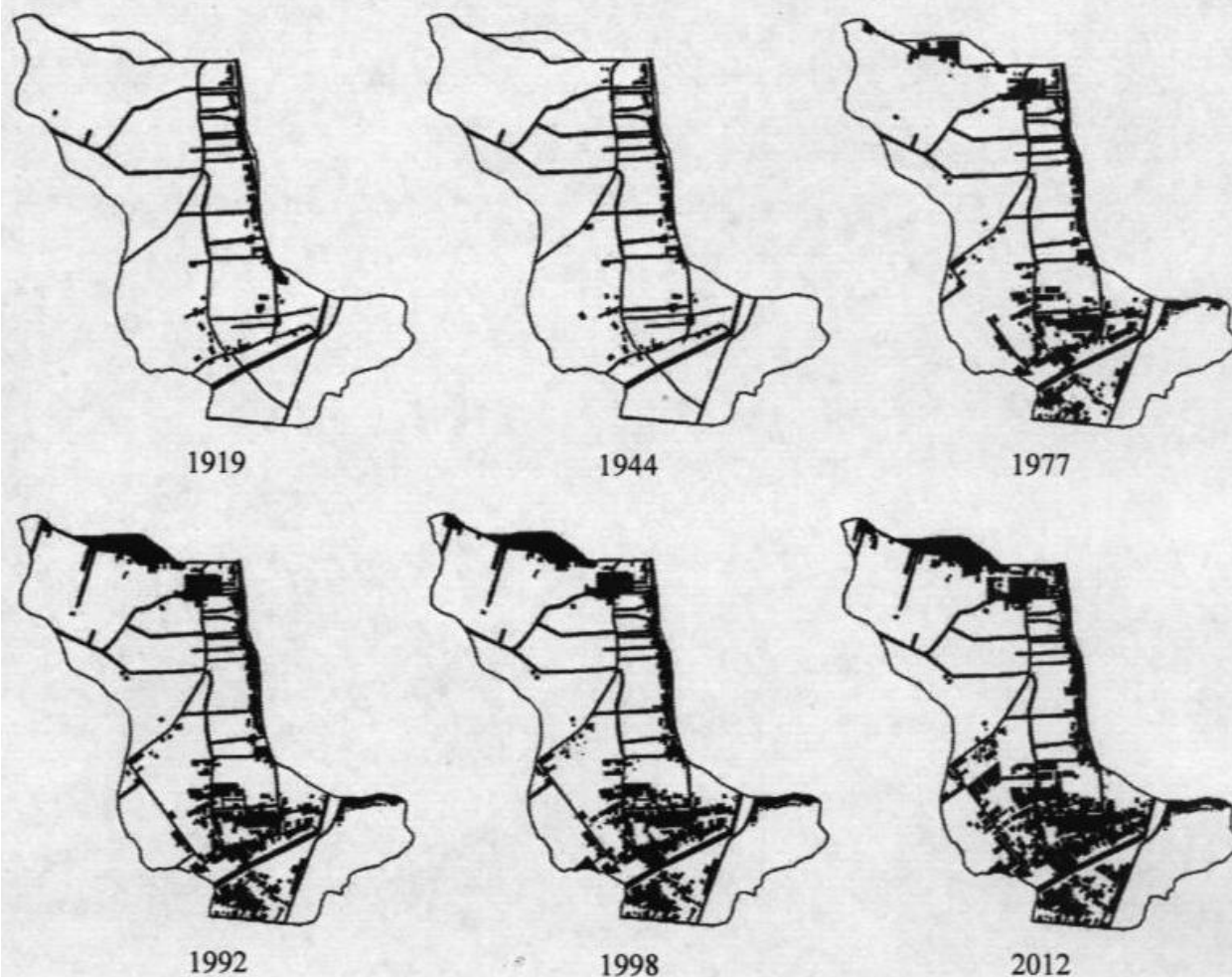
Rys. 1. Położenie zlewni ciekii Bocianka



Rys. 2. Pokrycie planistyczne zlewni ciekii Bocianka

Stopniowy przyrost udziału terenów nieprzepuszczalnych w zlewni w latach 1919-2012 (rys. 3) doprowadził do zmniejszenia jej potencjalnych zdolności retencyjnych o około 25 mm. Wartości parametru CN wzrosły z 73,4 do 79,3, co przełożyło się w konsekwencji na zwiększenie opadu efektywnego w zlewni o około 2,8 mm, jako reakcji na opad o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%, czasie trwania 1 h i wysokości 34,8 mm.

Wzrost udziału terenów nieprzepuszczalnych w analizowanej zlewni oraz tradycyjne podejście do zagospodarowania wód opadowych, które polega na ich jak najszybszym wprowadzaniu do sieci kanalizacyjnej i odprowadzaniu do najbliższego odbiornika, może doprowadzić do trzykrotnego wzrostu przepływów wezbrań ciekii Bocianka i zwiększenie ryzyka występowania lokalnych podtopień



Rys. 3. Przyrost udziałów terenów zabudowanych w zlewni w latach 1919-2012

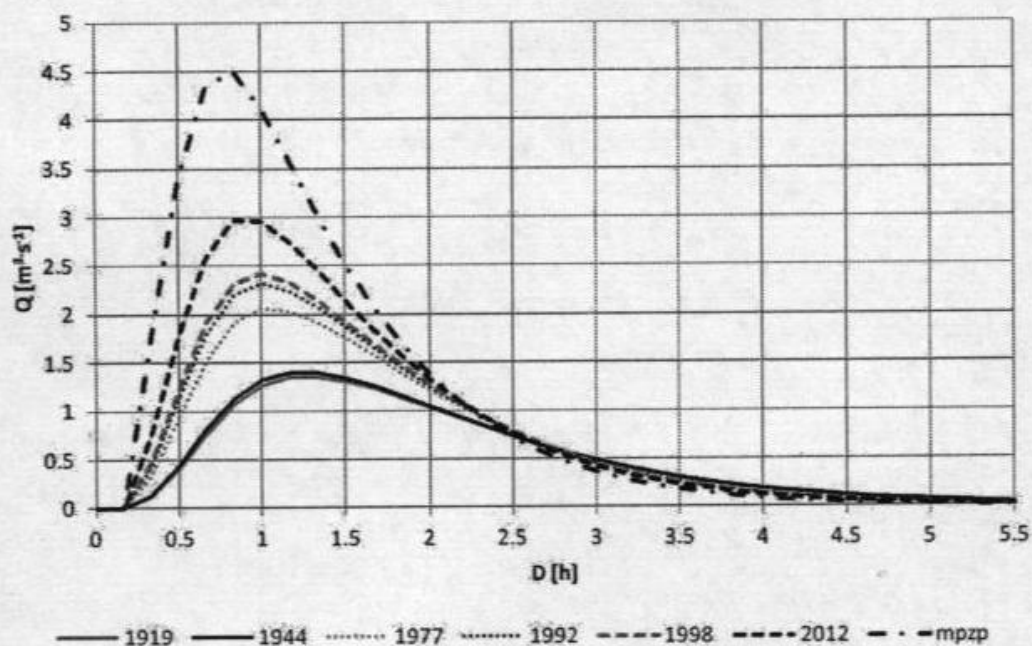
Tablica 2

Parametry i charakterystyki modelu Nasha zlewni ciekę Bocianka, dla opadu o prawdopodobieństwie przekroczenia 10% i czasie trwania 1 h

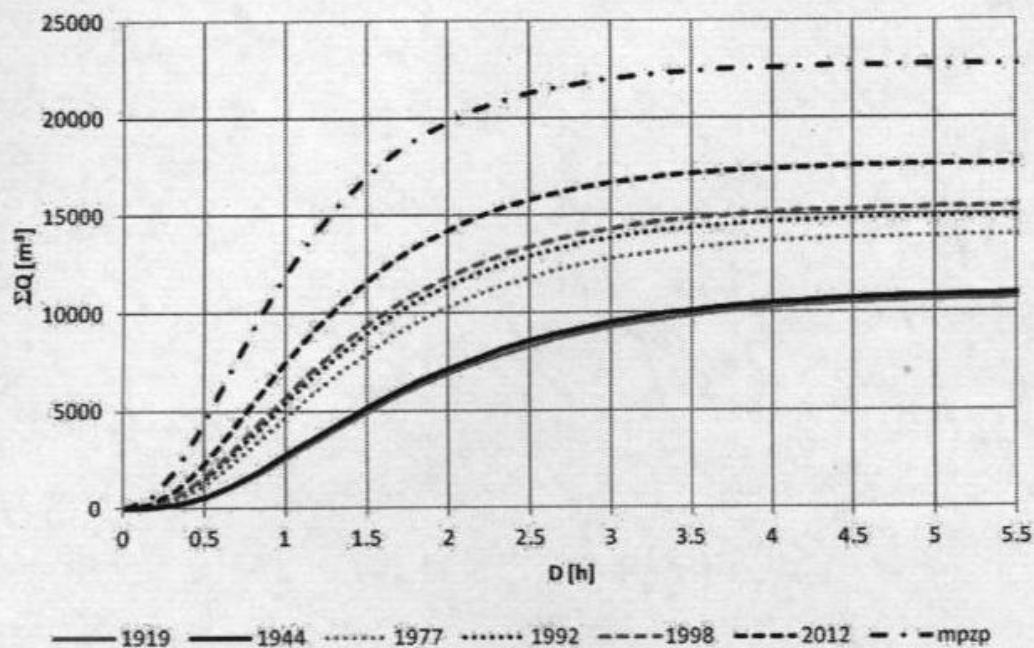
Rok	U	CN	S	H	N	k	t^*	$Q_{10\%, 1h}$	Odływ V
	[%]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[h]	[h]	[m ³ s ⁻¹]	[tys. m ³]
1911	4,1	73,4	91,9	2,49	1,98	0,80	1,28	1,36	10,83
1940	4,6	73,6	91,3	2,54	1,95	0,80	1,27	1,40	11,05
1972	11,5	75,3	83,4	3,23	1,76	0,75	1,07	2,06	14,05
1992	13,4	75,8	81,2	3,45	1,71	0,73	1,02	2,31	15,00
1998	14,5	76,0	80,0	3,58	1,69	0,73	1,00	2,41	15,49
2012	18,7	77,1	75,6	4,07	1,59	0,70	0,91	2,97	17,66
MPZP	27,6	79,3	66,2	5,29	1,42	0,65	0,77	4,50	22,75

i powodzi (rys. 4). Skróceniu ulegnie także czas od wystąpienia opadu do osiągnięcia kulminacji o około 30 min. Dodatkowe uszczelnienie powierzchni zlewni, wynikające z realizacji zapisów MPZP, bez zwrócenia uwagi na alternatywne metody

zagospodarowania wód opadowych spowoduje dalszy wzrost przepływów w ciek Bocianka. W stosunku do roku 1919 prognozowany jest ponad trzykrotny wzrost przepływów maksymalnych jako reakcji na opad o prawdopodobieństwie przekroczenia 10% i czasie trwania 1 h. Wzrośnie także ponad dwukrotnie odpływ wody z zlewni – z 11 tys. m^3 w roku 1911 do 22,8 tys. m^3 po zrealizowaniu zapisów MPZI. Odprowadzanie takich ilości wód opadowych do ciek Bocianka przekracza znacznie jego przepustowość. Szczególnie po intensywnych opadach w dolnym biegu ciek może dochodzić do podtopień na okolicznych łąkach, a w odbiorniku – zbiornik Kocie Doły – może nastąpić wzrost poziomu wody nawet o 0,5 m.



A



B

Rys. 4. Hydrogramy odpływu bezpośredniego (A) oraz krzywe sumowania odpływu (B) ciek Bocianka, jako reakcji na opad o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i czasie trwania 1 h

4. PODSUMOWANIE

Postępująca w ciągu ostatnich 100 lat urbanizacja spowodowała, że potencjalne zdolności retencyjne zlewni ciek Bocianka spadły o blisko 25 mm. W związku z tym, prawie po każdym opadzie nawalnym dochodzi do gwałtownego wzrostu przepływów w cieku. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne wykazały ponad trzykrotny wzrost przepływów wezbraniowych wywołanych deszczem nawalnym o założonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia.

Realizacja polityki przestrzennej gminy, bez respektowania warunków wodnych zlewni, może prowadzić w konsekwencji do wzrostu częstotliwości występowania lokalnych podtopień i powodzi. Aby przeciwdziałać tym niekorzystnym zjawiskom, należy w pierwszej kolejności, na etapie opracowania studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego i decyzji o warunkach zabudowy, uwzględnić zależności hydrologiczne typu opad-odpływ występujące w zlewni. W szczególności konieczne jest sporządzenie oceny oddziaływania na środowisko planowanych inwestycji. Ocena taka jest możliwa do opracowania dzięki modelom hydrologicznym typu opad-odpływ, które pozwalają na prowadzenie symulacji dla historycznych, obecnych, jak i przyszłych, wynikających z MPZP, wskaźników zagospodarowania przestrzennego zlewni. Dodatkowo za pomocą tego typu modeli można prowadzić symulacje dla deszczy o dowolnej charakterystyce (intensywność, czas trwania, rozkład), co jest szczególnie ważne w perspektywie wzrostu częstotliwości występowania zjawisk ekstremalnych wywołanych zmianami klimatu. Dostępność i możliwość wykorzystania materiałów kartograficznych pozwala na zbudowanie modelu zlewni rzecznej w środowisku GIS. Dane w ten sposób zgromadzone mogą zostać automatycznie wprowadzone do modelu przy pomocy dostępnych narzędzi i specjalistycznych aplikacji. Istnieje też możliwość zintegrowania modeli hydrologicznych z modelami hydrodynamicznymi i hydraulicznymi sieci kanalizacyjnej, co pozwoli na oszacowanie wielkości stref zalewowych lub podtopień spowodowanych przeciążaniem sieci kanalizacyjnej.

ASSESSMENT OF LOCAL LAND DEVELOPMENT PLAN IMPLEMENTATION ON FLOOD DISCHARGES GROWTH

Abstract

The paper presents a detailed analysis of the land-use changes of a small catchment and the projection of their impact on the shape and volume of water waves caused by the heavy rains. Analysis was conducted on the example of Bocianka stream. Catchment of Bocianka is urbanized. There was significant increase of urbanization from year 1919 to 2012. Impervious areas increased from 4 to 19%. Eleven local development plans have been adopted by the Luboń community within the Bocianka catchment and one is still under preparation. Local plans were adopted in the period 2001-2011, therefore they are in various stages of implementation. The main objective of the plans was to transform agricultural lands for single-family housing, service and industrial areas. Increase of impervious surfaces in the last 100 years caused that the potential retentive capacities in the catchment decreased by about

25 mm. Therefore, after almost each heavy rain, rapid grow of water flow in the Bocianka stream can occur. Performed simulation showed a more than threefold increase in flood flows caused by rain of the assumed duration and probability of exceedance.

Key words: urbanized catchment, local spatial development plan, rainfall-runoff model, urban flooding

BIBLIOGRAFIA

- Alexakis D.D., Grillakis M.G., Koutroulis A.G., Agapiou A., Themistocleous K., Tsanis I.K., Michaelides S., Pashiardi S., Demetriou C., Aristeidou K., Retalis A., Tymvios F., Hadjimitsis D.G., 2014, *GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus*, Natural Hazards and Earth System Science, 14, 413-426, DOI: 10.5194/nhess-14-413-2014
- Banasik K., Hejduk L., Barszcz M., 2008, *Flood flow consequences of land use changes in a small urban catchment of Warsaw*, 11th International Conference on Urban Drainage, 31, 10
- Banasik K., Pham N., 2010, *Modelling of the effects of land use changes on flood hydrograph in a small catchment of the Płaskowicka, southern part of Warsaw, Poland*, Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation, 42 (2), 229-240
- Bogdanowicz E., Śtachý J., 1998, *Maksymalne opady deszczu w Polsce: charakterystyki projektowe*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Materiały Badawcze 23, Seria: Hydrologia i Oceanologia, 85
- Ignar S., 1993, *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych*, Rozprawy Naukowe i Monografie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- Januchta-Szostak A., 2011, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań
- Metodyka obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ*, 2009, SHP, Warszawa
- Nachlik E., 2006, *Ochrona przeciwpowodziowa w powiązaniu z ochroną walorów przyrodniczych rzek i ich dolin*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4 (1), 47-62
- Nash J.E., 1957, *The form of the instantaneous unit hydrograph*, Publication IAHS No. 59, 202-213
- 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
- SCS, 1986, *Urban hydrology for small watersheds*, Technical Report 55, U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA
- Sikorska A., Banasik K., 2010, *Parameter identification of a conceptual rainfall-runoff model for a small urban catchment*, Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation, 42 (2), 279-293
- 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, 18, 13-20

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Mariusz Sojka, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Katedra Hydrologii i Zasobów wodnych, 60-649 Poznań, ul. Piątkowska 94F, e-mail: masojka@up.poznan.pl