

## ZMIANY W POKRYCIU TERENU A ZDOLNOŚCI RETENCYJNE ZLEWNI CIEKU BOGDANKA

Jolanta Kanclerz<sup>1</sup>, Sadzide Murat-Błażejewska<sup>1</sup>, Anna Adamska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: jkanclerz@up.poznan.pl, smurat@up.poznan.pl, ann.adamska@wp.pl

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wpływ zmian w pokryciu terenu na stosunki wodne w zlewni ciek Bogdanki o powierzchni 51,9 km<sup>2</sup>. Przeprowadzone badania i analizy dostępnych materiałów kartograficznych wykazały, że w latach 1940–2012 na skutek procesów urbanizacyjnych nastąpił znaczny wzrost terenów przekształconych antropogenicznie (z prawie 8% w roku 1940 do ponad 42% w 2012). Obszary zurbanizowane (zabudowa i szlaki komunikacyjne) przyczyniły się do uszczelnienia terenu a co za tym idzie do obniżenia zdolności retencyjnych zlewni o 0,25 mln m<sup>3</sup>. Zmniejszenie zdolności retencyjnych zlewni przyczyniło się do wzrostu wielkości opadu efektywnego  $P_{10\%}$  o 0,4 mm i  $P_{1\%}$  o 0,8 mm, co skutkowało wzrostem przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i 1% w ciekę o ponad 20%.

**Słowa kluczowe:** zlewnia, stosunki wodne, pokrycie terenu, model Nasha.

## CHANGES IN LAND COVER AND THE RETENTION CAPACITY OF THE WATERCOURSE BOGDANKA CATCHMENT

### ABSTRACT

This work presents the impact of land cover on water relations in the catchment of the Bogdanka watercourse which is 51.9 km<sup>2</sup>. The research and analysis of available cartographic materials have shown a significant increase in the anthropogenically transformed areas due to urbanization from almost 8% in 1940 to over 42% in 2012. Urbanized areas (buildings and communication routes) have contributed to sealing the area and thus reduced retention capacity by 0.25 million m<sup>3</sup>. Therefore, the effective rainfall  $P_{10\%}$  and  $P_{1\%}$  have increased respectively by 0.4 mm and 0.8 mm. As a result the maximum flow of exceedance probability of 10% and 1% have reached over 20% in the Bogdanka watercourse.

**Keywords:** catchment, water relations, land cover, Nash's model.

### WSTĘP

Rzeki od zawsze odgrywały ogromną rolę w lokowaniu miast i wspomagały ich rozwój gospodarczy. Antropopresja ma wpływ na stan rzek, dlatego w celu utrzymania ich wartości przyrodniczych, działania człowieka powinny podlegać planowaniu i programowaniu w ramach gospodarki wodnej [Lubieniecki 2003]. Takie działania promowane są przez Unię Europejską w Ramowej Dyrektywie Wodnej i Dyrektywie Powodziowej, i przeniesione do prawa krajowego, m.in. do nowelizacji Prawa Wodnego, Polityki wodnej państwa do roku 2030, Planów gospoda-

rowania na obszarach dorzeczy i do innych obowiązujących dokumentów planistycznych. Niezbędne jest przede wszystkim podjęcie działań na szczeblu lokalnym, uwzględniających warunki korzystania z wód oraz poprawę ich stanu, przy jednoczesnym zaspokajaniu potrzeb ludności i rekreacji. W celu poprawy stosunków wodnych na obszarach zlewni, należy w głównej mierze skoncentrować się na rewitalizacji terenów silnie zmienionych i zurbanizowanych, a dopiero potem zagospodarowywać nowe obszary [Przybyła i in. 2011, Sojka i in. 2014]. Ważnym czynnikiem przestrzeni, wpływającym pozytywnie na obieg wody w zlewni, są tereny biologicznie czynne,

których utratę szczególnie na terenach miejskich powinno się ograniczyć [Wagner i in. 2014].

W pracy przedstawiono wpływ zmian użytkowania terenu, które wystąpiły w latach 1940–2012, na stosunki wodne w zlewni cieką Bogdanki. Bogdanka jest cieką miejską o długości 11,8 km, skanalizowaną na odcinkach o łącznej długości 2,0 km, przepływającym przez północno-zachodnie dzielnice Poznania. Dolina cieką Bogdanka nazywana jest Zachodnim Klinem Zieleni Poznania i od zawsze stanowiła miejsce wypoczynku i rekreacji poznaniaków. Do Bogdanki odprowadzane są wody opadowe niemal z całej zlewni, dlatego chociaż z pozoru nieszkodliwa, wielokrotnie podczas długotrwałych opadów obficie wylewała.

## MATERIAŁY I METODY

Zmiany w pokryciu terenu zlewni cieką Bogdanki określono poprzez szczegółową analizę materiałów kartograficznych: mapy topograficznej w skali 1:25 000 z 1940 roku arkusze Posen Nord i Sady, uzyskanych z Archiwum Map Zachodniej Polski ([www.mapy.amzp.pl](http://www.mapy.amzp.pl)) oraz mapy topograficznej w skali 1:10 000 z 1998 roku zaktualizowanej ortofotomapą z 2012 roku ([www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)). Na podstawie zmian w pokryciu terenu zlewni określono wpływ na potencjalne zdolności retencyjne zlewni w latach 1940 i 2012 przy użyciu metody SCS [1986]. W metodzie tej poszczególnym gatunkom gleb z mapy glebowo - rolniczej, pokrywającym dany sposób użytkowania powierzchni, przypisano odpowiednią grupę glebową SCS [Ignar 1993]. Czynniki te określają zdolność infiltracyjną podłoża, wyrażoną w postaci parametru CN (Curve Number), na podstawie którego wyznaczono następnie maksymalną potencjalną retencję zlewni (S):

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1)$$

gdzie: S – maksymalna potencjalna retencja zlewni,

CN – parametr wyrażający zdolność infiltracyjną podłoża.

Wielkość opadu efektywnego po upływie czasu  $t_j = j \cdot \Delta t$  (gdzie  $\Delta t$  oznacza przyjęty przedział czasowy), obliczono ze wzoru:

$$H_j = \sum_{l=1}^j \Delta H_l = \begin{cases} 0 & P_j - 0,2 \cdot S < 0 \\ (P_j - 0,2 \cdot S)^2 & P_j - 0,2 \cdot S > 0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:  $H_j$  – opad efektywny w czasie od  $t_0$  do  $t_j$  [mm],

$$\left( H_j = \sum_{l=1}^j \Delta H_l \right)$$

$P_j$  – opad w czasie od  $t_0$  do  $t_j$  [mm],

$$\left( P_j = \sum_{l=1}^j \Delta P_l \right)$$

$\Delta P_l$ ,  $\Delta H_l$  – cząstkowy opad i cząstkowy opad efektywny w przedziale czasowym  $l$  [mm].

Wielkość przepływów o prawdopodobieństwie przekroczenia 10% i 1% obliczono modelem Nasha i przy użyciu programu hydrologicznego SMADA 6.43. Obliczenia na podstawie modelu Nasha pozwoliły uzyskać hydrogram jednostkowy, czyli wykres przedstawiający przebieg wezbrania wywołanego opadem efektywnym. Model Nasha opisuje działanie zlewni jako systemu złożonego z kaskady zbiorników o charakterystyce liniowej, wyrażonego wzorem:

$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(N)} \cdot \left( \frac{t}{k} \right)^{N-1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (3)$$

gdzie:  $u(t)$  – rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego (IUH – instantaneous unit hydrograph),

$t$  – czas od początku układu współrzędnych [h],

$k$  – parametr retencji zbiornika [h],

$N$  – liczba zbiorników [–],

$\Gamma(N)$  – funkcja gamma, której wartość dla całkowitej liczby zbiorników wynosi:  $\Gamma(N) = (N-1)!$ .

Czas opóźnienia odpływu wyznaczono z poniższej zależności, przyjmując do obliczeń za udział powierzchni nieprzepuszczalnej  $U$  tylko udział zabudowy zwartej:

$$LAG = 1,28 \cdot A^{0,46} \cdot (1 + U)^{-1,66} \cdot H^{-0,27} \cdot D^{0,37} \quad (4)$$

natomiast parametr retencji zbiornika wyznaczono z zależności:

$$k = 0,56 \cdot A^{0,39} \cdot (1 + U)^{-0,62} \cdot H^{-0,11} \cdot D^{0,22} \quad (5)$$

na podstawie których obliczono liczbę zbiorników (N):

$$N = \frac{LAG}{k} \quad (6)$$

gdzie: LAG – czas opóźnienia [h],

$k$  – parametr retencji zbiornika [h],

$N$  – liczba zbiorników [–],

$A$  – powierzchnia zlewni [km<sup>2</sup>],

$U$  – udział powierzchni nieprzepuszczalnej w zlewni [–],  
 $H$  – wysokość opadu efektywnego [mm],  
 $D$  – czas trwania opadu efektywnego [h].

Rzędne hydrogramu jednostkowego wyznacza się na podstawie rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego, a także powierzchni zlewni oraz współczynnika przeliczeniowego:

$$h_i = \frac{A}{3,6} \cdot \bar{u}_i = \frac{A}{3,6 \cdot \Delta t} \cdot \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad (7)$$

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

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

$A$  – powierzchnia zlewni [ $km^2$ ],

$1/36$  – współczynnik przeliczeniowy z [ $mm \cdot km^2 \cdot h^{-1} \cdot mm^{-1}$ ] na [ $m^3 \cdot s^{-1} \cdot mm^{-1}$ ],

$m$  – liczba rzędnych hydrogramu jednostkowego,

$\bar{u}_i$  – rzędne bezwymiarowego czasowego hydrogramu jednostkowego [ $h^{-1}$ ], tj. reakcji zlewni na bezwymiarowy opad jednostkowy o czasie trwania  $\Delta t$ , obliczone z zależności:

$$\bar{u}_i = \frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad (8)$$

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

lub w sposób przybliżony, jeśli  $t_p > 3 \cdot \Delta t$ :

$$\bar{u}_i = 0,5 \cdot [u(t) + u(t - \Delta t)] \quad (9)$$

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

gdzie:  $\Delta t$  – obliczeniowy krok czasowy [h], wyrażony wzorem:

$$\Delta t = \frac{LAG}{5} \quad (10)$$

Hydrogram odpływu bezpośredniego ze zlewni obliczono za pomocą równania dla opadu o  $n$  przedziałach czasowych i hydrogramu jednostkowego o  $m$  rzędnych:

$$Q_i = \sum_{j=i}^{\min(i,n)} h_k \cdot \Delta H_j \quad (11)$$

$k = i - j + 1; i = 1, 2, \dots, m + n - 1$ .

gdzie:  $Q_i$  – rzędne hydrogramu odpływu bezpośredniego [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ],

$\Delta H_j$  – cząstkowy opad efektywny w przedziale czasowym  $j$  [mm],

$n$  – liczba przedziałów czasowych opadu efektywnego.

## WYNIKI

Zlewnia cieką Bogdanki o powierzchni 51,9  $km^2$  położona jest na Pojezierzu Wielkopolskim (315.5) w mezoregionie Pojezierze Poznańskie (315.51) – zachodnia oraz centralna część i w Poznańskim Przełomie Warty (315.52) – część wschodnia zlewni [Kondracki 2001] (rys. 1). W unijnym systemie kodowania jednostek hydrograficznych zlewnia cieką Bogdanki otrzymała kod 18578 [Czarnecka 2005]. Bogdanka jest cieką trzeciego rzędu, której recypientem jest rzeka Warta do której uchodzi z lewej strony na jej 240,15 km na wysokości mostu kolejowego przy ulicy Garbary w Poznaniu.

Bogdanka jest cieką o długości 11,8 km, której źródło stanowią podmokłe tereny powyżej Jeziora Strzeszyńskiego w północno-zachodniej części zlewni na wysokości 77,5 m n.p.m. Spadek podłużny Bogdanki wynosi 1,7‰, a spadki poprzeczne doliny wynoszą średnio 25,35‰. Najwyższy punkt zlewni znajduje się w jej części północnej, jest to Góra Morska o wysokości 152,5 m n.p.m., będąca jednocześnie najwyższym położonym punktem Wysoczyzny Poznańskiej. Z kolei najniższym punktem zlewni jest znajdujące się w jej wschodniej części ujście cieką Bogdanka do Warty, położone na wysokości 57,5 m n.p.m. Średnia wysokość terenu na obszarze zlewni to 105,0 m n.p.m.

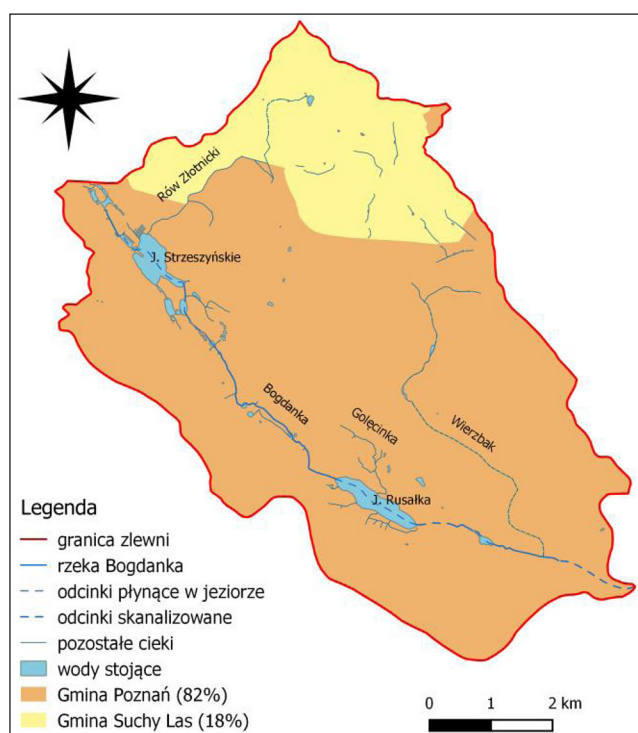
Pod względem administracyjnym zlewnia cieką Bogdanki znajduje się w centralnej części województwa wielkopolskiego i 82% zlewni administrowane jest przez Miasto Poznań a pozostała część przez gminę Suchy Las (rys. 1).

Ukształtowanie rzeźby terenu zlewni cieką Bogdanki związane jest ze strefą marginalną stadiału poznańskiego zlodowacenia bałtyckiego. W czasie trwania stadiału poznańskiego łądolód charakteryzował się dużą aktywnością, o czym świadczyć może występowanie sandrów usypanych przez wody tego łądolodu, m.in. sandr Suchego Lasu znajdujący się w północnej części zlewni, odprowadzający wody roztopowe łądolodu z okolic Góry Morskiej. Z kolei w okresie holoceniowym nastąpiło podniesienie powierzchni terenu w dolinach od 2 do nawet 10 m. Zjawisko to było skutkiem erodowania obszarów wyżej położonych oraz osuwania materiałów ze stref krawędziowych [Kaniecki 2001].

Analiza map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 wykazała, że w wierzchnich warstwach

**Tabela 1.** Charakterystyka fizjograficzna zlewni cieków Bogdanki

Rodzaj charakterystyki	Wzór	Jednostka	Wartość
Powierzchnia zlewni	$A$	km <sup>2</sup>	51,9
Długość cieków Bogdanki	$L$	km	11,8
Wysokość maksymalna zlewni	$W_{max}$	m n.p.m.	153,8
Wysokość minimalna zlewni (wysokość ujścia cieków Bogdanki)	$W_{min} = W_{uj}$	m n.p.m.	57,5
Wysokość źródła	$W_{zr}$	m n.p.m.	77,5
Deniwelacja terenu	$W_{max} - W_{min}$	m	95,0
Wysokość średnia	$W_{sr} = \frac{W_{max} - W_{min}}{2}$	m n.p.m.	105,0
Spadek podłużny cieków Bogdanki	$\frac{W_{zr} - W_{uj}}{L}$	‰	1,7

**Rys. 1.** Zlewnia cieków Bogdanki (na podstawie rastrowej mapy podziału hydrograficznego Polski i państwowego rejestru granic)**Fig. 1.** The Bogdanka river catchments (raster maps based on the division of hydrographic Polish and state register of boundaries)

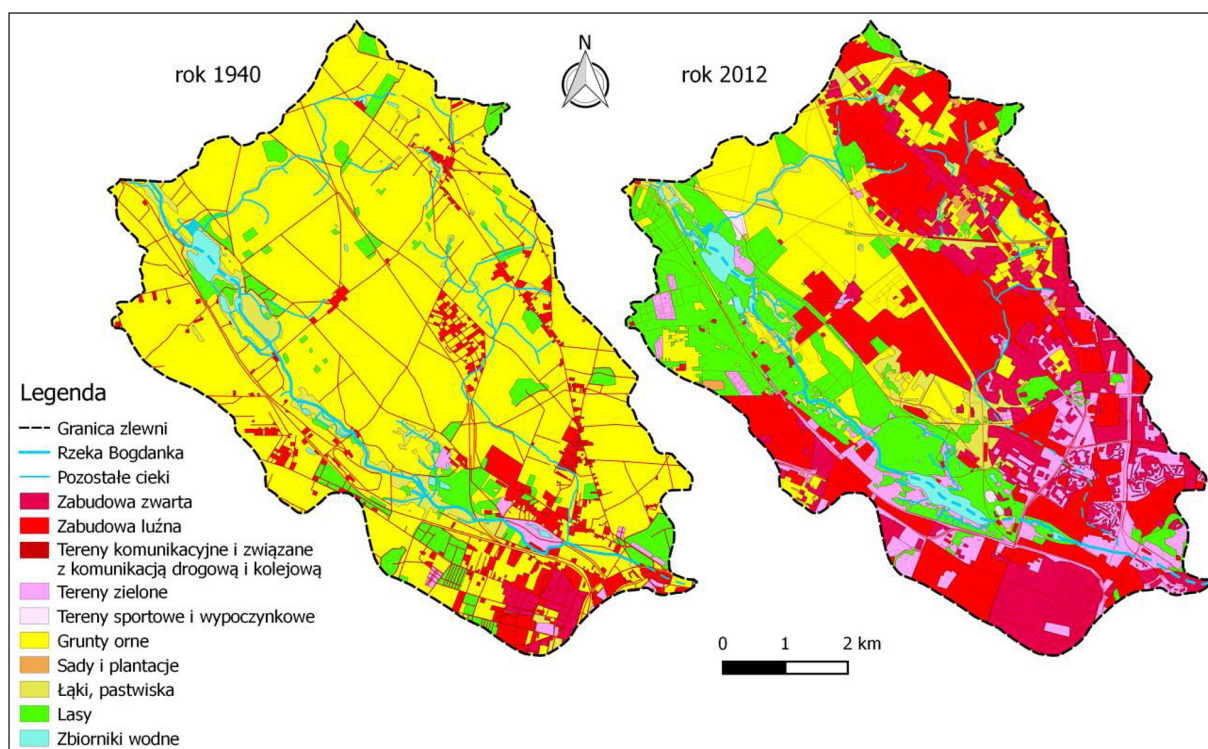
gleb w zlewni przeważają piaski słabogliniaste (53,2%) zwłaszcza w południowo-zachodniej oraz centralnej części zlewni, które porośnięte są lasami oraz pokryte zabudową miejską. Nieco mniej, bo 34,7% powierzchni zlewni pokryta jest piaskami gliniastymi lekkimi, które w centralnej części zlewni użytkowane są rolniczo oraz w północno-wschodniej części – silnie zurbanizowanej. W górnym biegu cieków Bogdanka występują niewielkie fragmenty terenu pokryte piaskami luźnymi (ok. 1,7%), a w dolnym biegu cieków, tuż powyżej miejsca w którym została ona skanalizowana – w Parku im. Adama Wodzicz-

ki, występuje teren pokryty pyłami zwykłymi. Równie niewielki udział w powierzchni zlewni mają tereny pokryte glinami lekkimi (0,8%), glinami średnimi (0,4%) oraz piaskami gliniastymi mocnymi (0,6%).

Analiza materiałów kartograficznych z 1940 i 2012 roku wykazała, że procesy urbanizacyjne przyczyniły się do istotnych zmian w pokryciu terenu zlewni cieków Bogdanki.

W roku 1940 zlewnia miała charakter typowo rolniczy, ponieważ aż 76,7% jej powierzchni zajmowały grunty orne (rys. 2). Zabudowa luźna zajmująca 2,7% powierzchni zlewni i za-





**Rys. 2.** Pokrycie terenu zlewni ciek Bogdanki w roku 1940 i 2012 (na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10000 oraz ortofotomapy)

**Fig. 2.** Cover the catchment of the river Bogdanka in 1940 and 2012 (based on topographic maps at a scale of 1: 10000 and orthophoto)

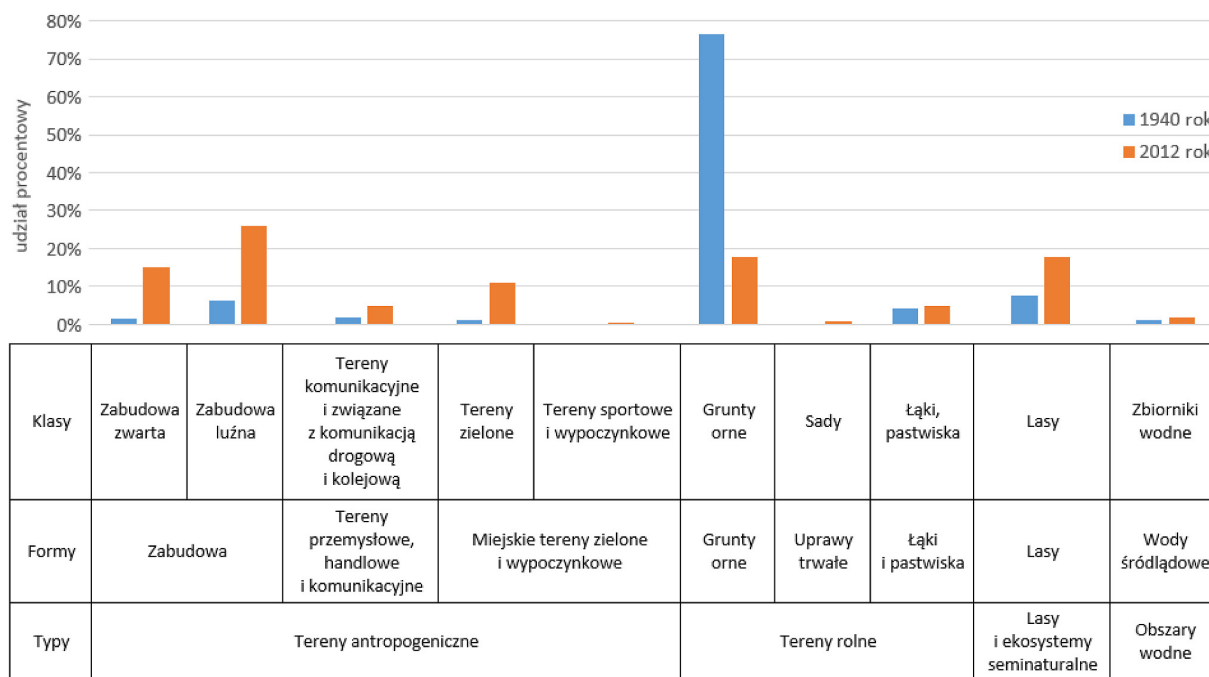
budowa zagrodowa zajmująca 3,5%, tworzyły rozproszone wsie w północno-wschodniej części zlewni oraz zabudowę Poznania w części południowej. W południowej części występowała również zabudowa zwarta, zajmująca 1,4% powierzchni analizowanego obszaru. W dolinie Bogdanki występowały głównie lasy (7,5%) oraz użytki zielone (5,0%). W roku 1940 wody stojące stanowiły 1,1% powierzchni zlewni, w tym m.in. Jezioro Strzeszyńskie, Stawy Strzeszyńskie, Stawy Sołackie oraz śródpolne oczka wodne.

W okresie 72 lat zlewnia Bogdanki nabrała bardziej charakteru miejskiego (rys. 2). Grunty orne znajdowały się już tylko w północno-zachodniej części zlewni, a ich udział zmalał do 17,8% na korzyść terenów antropogenicznych. Zabudowa luźna, zajmująca 26,6% powierzchni zlewni, przeplatała się z zabudową zwartą (15,3%) w północno-wschodniej i południowej części zlewni.

W okolicy Jeziora Strzeszyńskiego zaczęła rozwijać się także zabudowa letniskowa o udziale w 2012 roku – 0,2%. Na skutek sukcesji wtórnej przekształceniu w grunty leśne uległy użytki zielone, położone głównie w dolinie ciek Bogdanki, a udział lasów zwiększył

się do 17,9%. Na użytki zielone zaadaptowano grunty użytkowane dotąd rolniczo, zajmujące łącznie 8,9% powierzchni zlewni. W 2012 roku udział w strukturze użytkowania zlewni miały także sady oraz ogrody działkowe, zajmujące po 0,6% powierzchni zlewni. Ze względu na utworzenie sztucznego zbiornika wodnego Jezioro Rusalka w 1943 roku wzrósł także udział wód stojących (1,9%).

Podsumowując, na przestrzeni 72 lat nastąpił znaczący wzrost terenów antropogenicznych zwłaszcza ponad pięciokrotny wzrost zabudowy zarówno zwartej jak i luźnej (z 7,6% w roku 1940 do 42,2% w 2012) (rys. 3). Wraz z postępującym procesem urbanizacji na terenie zlewni ciek Bogdanki, rozwojowi uległa także sieć komunikacyjna. Gęstość sieci drogowej w 1940 roku wynosiła 4,25 km/km<sup>2</sup>, a w roku 2012 zwiększyła się dwukrotnie i wynosiła 8,77 km/km<sup>2</sup>. Wydłużyła się także sieć kolejowa z 21,49 km do 29,00 km. Mimo wzmocnienia znaczenia terenów miejskich na obszarze zlewni, odnotowano także wzrost lasów o 10,4% oraz użytków zielonych o 8,9%. Zmiany w użytkowaniu tereny odbywały się głównie kosztem gruntów ornych, których udział zmalał ponad czterokrotnie.



Rys. 3. Porównanie struktury użytkowania terenu zlewni cieków Bogdanki w roku 1940 i 2012  
 Fig. 3. Comparison of land use Bogdanka river catchments in 1940 and 2012

Na przestrzeni lat zmianie uległa także długość sieci rzecznej na terenie zlewni. W roku 1940 wynosiła ona łącznie 48,7 km i do roku 2012 została skrócona o 9,7 km poprzez zasypianie lub wyschnięcie cieków. Spiętrzeniu uległy wody cieków Bogdanki, w wyniku czego utworzone zostało Jezioro Rusalka, a odcinek cieków Bogdanki poniżej jeziora został wyprostowany oraz skanalizowany. Skanalizowano także niecały kilometr cieków Rów Złotnicki oraz niemal cały ciek Wierzbak, którego ujście przeniesiono dodatkowo o niecałe 600 m w dół cieków Bogdanki. Łącznie na terenie zlewni skanalizowaniu uległo 5,3 km sieci rzecznej.

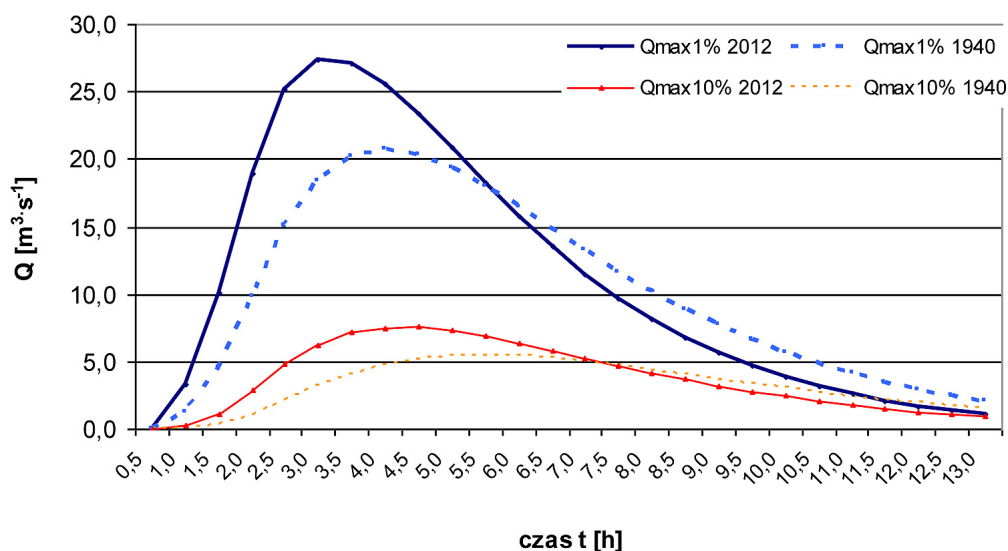
Zmiany w pokryciu terenu w szczególności gwałtowny rozwój terenów antropogenicznych znacząco wpłynęły na stosunki wodne zlewni. Uszczelnienie terenu przyczyniło się do zmniejszenia maksymalnej potencjalnej retencji, która to zmalała z 99,97 mm w roku 1940 do 95,13 mm w 2012 roku. Uwzględniając wielkość powierzchni zlewni, w roku 1940 mogła ona retencjonować 5,19 mln m<sup>3</sup> wody, natomiast w roku 2012 już tylko 4,93 mln m<sup>3</sup>. W konsekwencji aż 0,25 mln m<sup>3</sup> wody opadowej nie zostało retencjonowane w zlewni i przyczyniło się do wzrostu opadów efektywnych. Wielkość opadu efektywnego (t = 2h) o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% wzrosła o ok. 0,4 mm, a 1%, o ok. 0,8 mm.

Wzrost opadów efektywnych spowodował zmiany w reżimie rzeczonym. Obliczenia symulacyjne wykazały, że w roku 2012 przepływ o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% był wyższy o prawie 40% od przepływu w roku 1940, a przepływ o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% o ponad 32% (rys. 4). Skróceniu także uległ czas od wystąpienia opadu do osiągnięcia kulminacji o ok. 1h w przypadku przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i ok. 4h w przypadku przepływu 1%.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i analizy w zlewni cieków Bogdanki wykazały, że na skutek procesów urbanizacyjnych nastąpił znaczny wzrost terenów zabudowanych z prawie 8% w roku 1940 do ponad 40% w 2012. Zaobserwowano także w tym okresie wzrost powierzchni lasów o 10% (z ok. 8% do 18%) oraz użytków zielonych z 5% do 14%. Zmiany użytkowania terenu odbyły się kosztem gruntów ornych, których udział zmalał ponad czterokrotnie.

Na skutek urbanizacji zmniejszyły się zdolności infiltracyjne gruntów na terenie zlewni, opisane parametrem CN. Poprzez rozwój zabudowy, a co za tym idzie uszczelnienie terenu wartość tego parametru wzrosła z 71,8 w roku



Rys. 4. Hydrogram przepływów maksymalnych cieką Bogdanki o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i 1% w latach 1940 i 2012

Fig. 4. Hydrograph of maximal flow Bogdanka river with 10% and 1% probability to exceed during 1940 and 2012

1940 do 72,8 w 2012. Wzrost wartości parametru CN w zlewni cieką Bogdanki wiąże się ze zmniejszeniem potencjalnej zdolności retencyjnej tej zlewni o 250 tys. m<sup>3</sup>. Uszczelnienie terenów zlewni poprzez rozwój zabudowy i sieci komunikacyjnej przyczyniły się także do wzrostu wielkości opadu efektywnego. W roku 2012 opad efektywny o prawdopodobieństwie przewyższenia 10% i 1% wzrósł odpowiednio o 0,4 mm (22,8 tys. m<sup>3</sup> wody opadowej) i 0,8 mm (42,0 tys. m<sup>3</sup> wody). Konsekwencją wzrostu opadu efektywnego był wzrost przepływów cieką Bogdanki. Obliczone wielkości przepływów o prawdopodobieństwie 10% i 1% były wyższe o ponad 20% w roku 2012. Wzrost przepływów cieką może przyczynić się do lokalnych podtopień.

W zlewni cieką Bogdanki na terenach zurbanizowanych poprawę zdolności retencyjnych zlewni możnaby osiągnąć przez ograniczenie powstawania nowych powierzchni całkowicie uszczelnionych oraz zwiększanie powierzchni biologicznie czynnej. W tym celu powinno się m.in. budować zielone dachy, tworzyć parkingi o powierzchni ażurowej, tworzyć oczka wodne i stosować zadrzewienia osiedlowe oraz przydrożne. Zagospodarowanie wód opadowych w miejscu ich opadu lub opóźnienie ich dopływu za pomocą kolektorów burzowych do cieką Bogdanki, zredukowałyby przepływy w cieką, a tym samym ryzyko powstania lokalnych podtopień.

## LITERATURA

1. Banasik K. 2009. Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych. Wyd. SGGW Warszawa.
2. Bogdanowicz E., Stachy J. 1998. Maksymalne opady deszczu w Polsce, charakterystyki projektowe. Mat. Bad. IMGW 23 seria Hydrologia i Oceanologia 85.
3. Ignar S. 1993. Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych. Rozpr. Nauk. i Monogr., Wyd. SGGW, s. 56.
4. Kaniecki A. 2001. Komentarz do mapy hydrograficznej, Arkusz N33-130-D Poznań, WODGiK Poznań.
5. Kondracki J. 2001. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
6. Przybyła Cz., Bykowski J., Mroziak K., Napierała M. 2011. Rola infrastruktury wodno-melioracyjnej w procesie suburbanizacji. Rocznik Ochrona Środowiska, t. 13, cz. 1, 769–786.
7. SCS (Soil Conservation Service) (1972): USDA - Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Sec. 4, Hydrology, Washington, D.C.
8. SCS 1986. Urban hydrology for small watersheds. Tech. Report 55, US Dept of Agric., Washington, D.C.
9. Sojka M., Murat-Błażejewska S., Wróżyński R. 2014. Analiza możliwości wykorzystania modeli hydrologicznych w strategicznej ocenie oddziaływania na środowisko miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Inżynieria Ekologiczna, 39, 176–186.