

# UWARUNKOWANIA RETENCJI WYBRANEJ ZLEWNI ŹRÓDLISKOWEJ STREFY KRAWĘDZIOWEJ WYSOCZYNY GDAŃSKIEJ

ROMAN CIEŚLIŃSKI<sup>1</sup>, ALEKSANDRA PODLEŚNY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Geografii, Uniwersytet Gdański  
ul. Dmowskiego 16a, 80-952 Gdańsk  
georc@univ.gda.pl

<sup>2</sup> Pracownia Modelowania Hydrogeologicznego  
ul. Doroszewskiego 18/2, 80-319 Gdańsk  
ola.podlesny@onet.pl

**Zarys treści.** Celem pracy jest identyfikacja rodzajów retencji oraz uwarunkowań naturalnych i antropogenicznych wpływających na jej rozwój w zlewni Potoku Oliwskiego, a w szczególności w jej części źródłiskowej przy pomocy matematycznego modelu *Mike She*. W rezultacie wykonanych obliczeń stwierdzono, że analizowany obszar dzięki specyficznym cechom środowiska naturalnego ma wysoki potencjał retencyjny, który odnosi się przede wszystkim do strefy podziemnej.

**Słowa kluczowe:** retencja, strefa krawędziowa, obszar bezodpływowy

## Wstęp

Retencja to zdolność dorzecza do zatrzymywania wody opadowej. Jest ona niezwykle istotna dla gospodarki wodnej w zlewni, która z kolei jest jednym z najważniejszych czynników jej rozwoju. Zasoby wodne Polski na tle innych europejskich krajów są stosunkowo niewielkie i ilość wody, którą możemy dysponować, w dużym stopniu zależy od opadów. Ratunkiem jest zatem retencja wodna, czyli zatrzymanie, przy zastosowaniu rozmaitych zabiegów, jak największej ilości wody w jej powierzchniowym i przypowierzchniowym obiegu. Różne zabiegi techniczne jak i nietechniczne prowadzą do spowolnienia lub powstrzymania odpływu wody. Jednakże, aby móc stosować prawidłowo różne formy retencji, należy najpierw ustalić uwarunkowania, które będą wpływać na wielkość retencji w zlewni.

Na wstępie pracy założono, że poprawa stanu obiegu wód na obszarze zlewni jest związana z wykorzystaniem naturalnych zagłębień bezodpływowych do retencionowania wód opadowych z terenów zabudowanych. Na podstawie tego założenia określono główny cel pracy, którym jest rozpoznanie rodzajów i warunków retencji występujących w zlewni, a zwłaszcza w jej części źródłiskowej w warunkach naturalnych jak i dla zmienionych warunków zakładających oddziaływanie człowieka.

Jako obszar badań wybrano zlewnię Potoku Oliwskiego, a w szczególności część źródłiskową (ryc. 1) zlokalizowaną w strefie krawędziowej Wysoczyzny Gdańskiej nazywaną w niniejszej pracy wysoczyzną częścią zlewni. Pod tym pojęciem należy rozumieć obszar oddzielony linią wyznaczoną na granicy rzeźby morenowej i rzeźby rozcięć dolinnych strefy krawędziowej.

## Metody

Główne prace polegały na kwerendzie materiałów źródłowych potrzebnych do opracowania poszczególnych elementów bilansowych oraz wykorzystaniu programu komputerowego (*Mike She*) do modelowania matematycznego. Prace przygotowawcze polegały na digitalizacji sieci hydrograficznej obszarów o różnym typie zagospodarowania, a także wprowadzeniu danych o opadach atmosferycznych z automatycznej stacji pomiarowej przy Rafinerii Gdańskiej z lat 1997–2002.

## Charakterystyka modelu *Mike She*

*Mike She* jest programem do tworzenia modeli matematycznych o cechach zbliżonych do cech obiektu modelowanego, czyli oryginału, jakim jest fragment środowiska oraz działający analogicznie do obiektu oryginalnego w zakresie procesów obiegu wody zarówno w warunkach naturalnych jak i będących skutkiem wpływu człowieka (Carr i in., 1993; Refsgaard i in., 1995). Dzięki temu stosowany jest na świecie w różnych warunkach środowiskowych do zarządzania zasobami wodnymi i rozwiązywania różnorodnych problemów związanych z nimi (Refsgaard i in., 1992; Jain i in., 1992; Begey i in., 1999; Sørensen i in., 1999). Składa się on z wielu członów programowych do samodzielnego lub połączonego zastosowania w zależności od rodzaju opracowywanego zagadnienia. Do niniejszej pracy wykorzystany został *Mike She Water Movement Module*, którego zadaniem jest symulacja wszystkich procesów obiegu wody (Danish Hydraulic Institute Software, 1999).

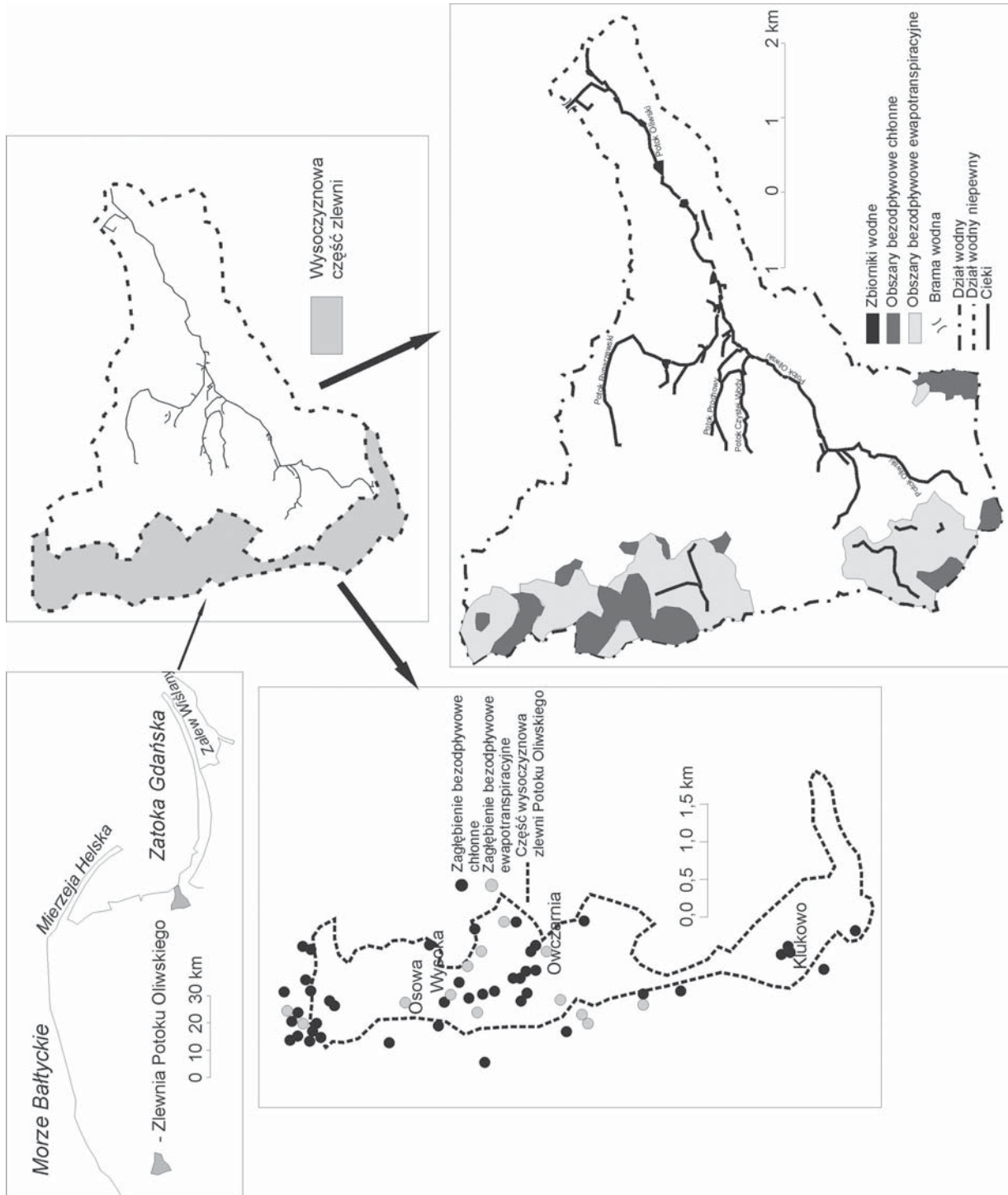
## Struktura użytkowania terenu

Część wysoczyznowa zlewni Potoku Oliwskiego zajmuje powierzchnię 7,25 km<sup>2</sup>. Największa część jej powierzchni pokryta jest lasem, który zajmuje 2,71 km<sup>2</sup>. Obszary rolnicze zajmują z kolei powierzchnię 2,03 km<sup>2</sup>. Następne miejsca pod względem wielkości powierzchni zajmują: zabudowa przemysłowa i wielkopowierzchniowa, których całkowita powierzchnia wynosi 1,45 km<sup>2</sup> oraz ogródki działkowe, których powierzchnia wynosi 0,73 km<sup>2</sup>. Z kolei całkowita powierzchnia zlewni wynosi 30,85 km<sup>2</sup>, na którą składają się lasy (18,77 km<sup>2</sup>), zabudowania (6,9 km<sup>2</sup>), użytki rolne (3,4 km<sup>2</sup>), ogródki działkowe (0,99 km<sup>2</sup>), nieużytki (0,64 km<sup>2</sup>) i wody (0,15 km<sup>2</sup>).

## Wody powierzchniowe

Część wysoczyznowa zlewni Potoku Oliwskiego nie posiada zorganizowanej sieci wód powierzchniowych. Z powierzchniowych elementów hydrograficznych występują tu mokradła, jeziora, oczka wodne oraz obszary bezodpływowe. Strefa krawędziowa dzięki swym palczasto rozgałęzionym dolinom stanowi korzystną drogę odprowadzania wód powierzchniowych.

Potok Oliwski odznacza się wysokim spadkiem jednostkowym dochodzącym do 12,5‰, przy czym w strefie krawędziowej parametr ten przekracza nawet wartość 20‰. Powyższe wartości oraz rzeźba terenu powodują zwiększone przepływy, które w latach 1996–1999 wahały się od 0,012 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> do 0,27 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Zauważono także tendencję wzrostu przepływów z roku na rok, której przyczyn upatruje się w coraz większej ilości wód, jakie dostają się do cieków zlewni z kanalizacji deszczowej (Staszek, 2006).



Ryc. 1. Zlewnia Potoku Oliwskiego wraz z częścią wysoczyznową  
 Źródło: ryciny 1-3 – opracowanie własne.

## Obszary bezodpływowe

Najwięcej obniżeń o charakterze chłonnym znajduje się w strefie wysoczyznowej. Ich głębokość nie przekracza 1,25 m, zaś powierzchnia największych sięga ponad 12 tys. m<sup>2</sup>, przy objętości wynoszącej 4100 m<sup>3</sup>. Średnia powierzchnia obniżeń wynosi kilkaset metrów kwadratowych.

Na terenie wysoczyznowym zlewni potoku Oliwskiego występuje niewielka liczba naturalnych zbiorników bezodpływowych ewapotranspiracyjnych. Ich jednoznaczna klasyfikacja jest trudna z powodu istnienia cieków okresowych, które odwadniają powierzchniowo niektóre zagłębienia, a do ustalenia braku infiltracji konieczna jest dokładna znajomość budowy geologicznej (Drwal, 1973).

## Składowe bilansu wodnego w warunkach naturalnych

### Opad i parowanie

Dane uśrednione dotyczące opadów atmosferycznych nie uwzględniają wartości maksymalnych ani minimalnych, nie pozwalają także na ustalenie innych parametrów, takich jak czas trwania lub natężenie opadu. W wielu przypadkach wartości opadu rzeczywistego są wielokrotnie wyższe lub niższe niż wartość średnia obliczona dla danego okresu. Te zróżnicowania mają zasadniczy wpływ na pozostałe składowe bilansu, ponieważ decydują o obiegu wód oraz o rodzajach i intensywności odpływu.

Poniższa tabela (tab. 1) zawiera zestawienie objętości wody obliczone dla wybranych dni, w których wystąpiły różne, co do natężenia, opady. Objętość wody przekroczyła w czasie opadu nawalnego ponad 26-krotnie objętość wody podczas opadu zwykłego. W przypadku parowania ze względu na brak danych dla potrzeb obliczeń modelowych założono, że 20% wielkości opadów stanowią straty na parowanie wraz z ewapotranspiracją, intercepcją oraz zwilżaniem.

Tabela 1. Ilość wody w wysoczyznowej części zlewni w zależności od natężenia opadu

Rodzaj opadu	Objętość wody	Suma opadu dobowego	Max natężenie	Średni opad dobowy
Zwykły 18 II 2001	30 450 m <sup>3</sup>	4,05 mm	4,2 mm/h – opad zwykły	0,17 mm
Silny 12 III 2001	73 950 m <sup>3</sup>	8,25 mm	10,2 mm/h – opad silny	0,34 mm
Nawalny 9 VII 2001	804 750 m <sup>3</sup>	143,7 mm	111,0 mm/h – opad nawalny	5,99 mm

Źródło: opracowanie własne.

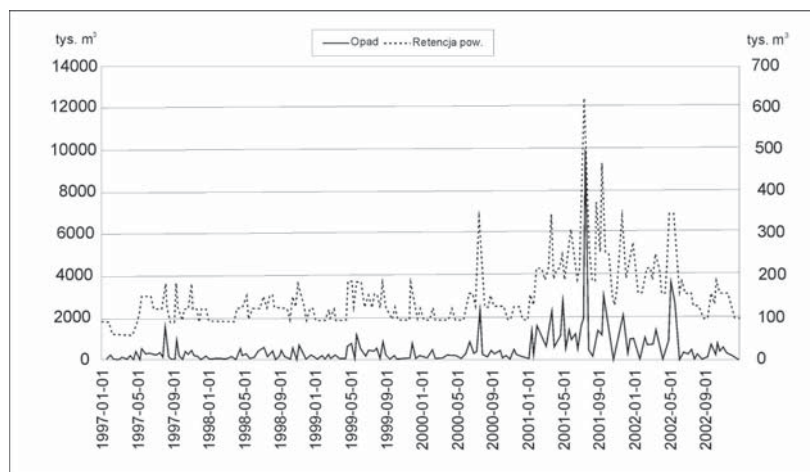
### Retencja powierzchniowa

Woda opadowa po dotarciu do gruntu ulega zatrzymaniu w niewielkich zagłębieniach terenu (retencja depresyjna) (Chełmicki, 2002) oraz w powierzchniowej warstwie gleby. Do retencji powierzchniowej zaliczono także wodę gromadzoną w naturalnych zagłębieniach bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych oraz obszarów zabagnionych. W badanym okresie wartości retencji powierzchniowej wahały się w zakresie od 61 720 m<sup>3</sup> do 617 210 m<sup>3</sup> (ryc. 2).

### Retencja w strefie saturacji

Za wskaźnik świadczący o istnieniu retencji podziemnej przyjęto wahania zwierciadła wód podziemnych: ich podniesienie świadczy o okresowym zatrzymaniu wód, spadek – o ubytku.

W punkcie wysoczyznowym zwierciadło wody gruntowej nie podniosło się powyżej 39,05 m i nie spadło niżej niż 48,64 m p.p.t. Amplituda wahań na przestrzeni sześciu lat bilansowych wyniosła 9,59 m, a miąższość strefy przekraczała trzydzieści metrów. W strefie krawędziowej amplituda wahań poziomu zwierciadła wód podziemnych wyniosła 6,85 metra, przy czym wartości sięgały od minimalnej: 3,74 m p.p.t. do maksymalnej: 10,59 m p.p.t.



Ryc. 2. Wielkość opadów i retencji powierzchniowej w zlewni Potoku Oliwskiego

### Odptyw powierzchniowy

Odptyw powierzchniowy w warunkach naturalnych formułuje się po wypełnieniu form retencji powierzchniowej (Karwowski, Soczyńska, 1989). Kształt krzywej odzwierciedlającej wielkość odptywu niemal pokrywa się z kształtem krzywej opadowej, zatem zmiany następowały w tym samym czasie, bez opóźnienia pomiędzy opadem a jego skutkiem w postaci odptywu powierzchniowego. Wielkości wahały się pomiędzy 246 tys. m<sup>3</sup> a 1296 tys. m<sup>3</sup>.

Udział wód podziemnych w zasilaniu odptywu rzeczno-egzogenicznego w zlewni Potoku Oliwskiego w badanym okresie wyniósł średnio 39,36%. Przy takich cechach zasilania cieków powierzchniowych w zlewni, zależność pomiędzy średnią dobową natężenia opadów a wielkością przepływów w Potoku Oliwskim jest wyraźnie widoczna zarówno w ujęciu wieloletnim, jak i krótkookresowym.

### Składowe bilansu wodnego w warunkach zagospodarowania antropogenicznego

Z analizy zagospodarowania przestrzennego zlewni całkowitej wynika, że zabudowa zajmuje 6,9 km<sup>2</sup>, co stanowi 22,4% całkowitej powierzchni. Zmieniły się zatem lokalne parametry odptywu powierzchniowego z tych terenów i obszary możliwej infiltracji. Ilość wód opadowych, jaka spada na teren zabudowany, jest bowiem w 60% odprowadzana do kanalizacji burzowej.

### Retencja powierzchniowa

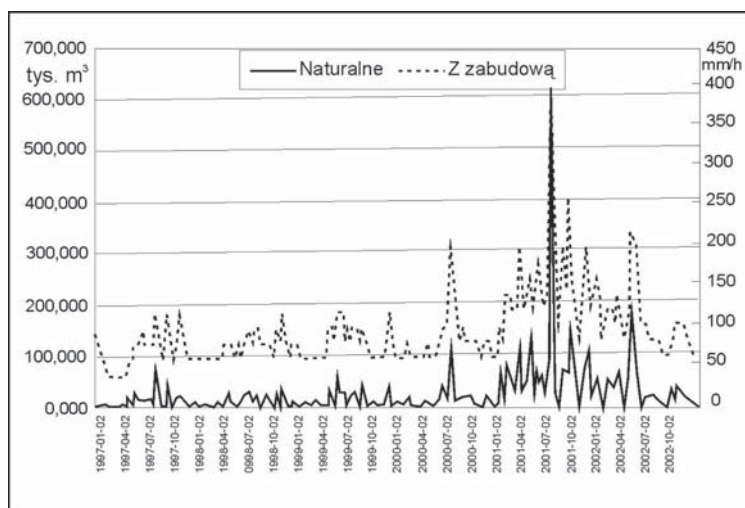
Po wprowadzeniu do obliczeń modelowych zabudowy wraz z jej skanalizowanym odptywem części wód opadowych zaobserwowano, że potencjał retencyjny zmniejszał się lub okresowo pokrywał z warunkami naturalnymi, w odpowiedzi na zmienione cechy powierzchni, nigdy jednak ich nie przekroczył (ryc. 3). Nadal występował ścisły związek pomiędzy zwiększeniem opadu i wielkością retencji na powierzchni terenu. Jej wartość średnia dla całego okresu bilansowego obniżyła się w porównaniu z naturalnym o 5,4% i nie odpowiada procentowemu udziałowi zabudowanej powierzchni zlewni.

### Retencja w strefie saturacji

Zmiany poziomu zwierciadła wód gruntowych w warunkach zabudowy uwiaryściły się w wysoczyznowej i krawędziowej strefie zlewni wyraźnym, stopniowym i trwałym obniżeniem. Na wysoczyźnie poziom zwierciadła wód gruntowych w okresie bilansowym spadał w porównaniu do warunków naturalnych, a róż-



nica między nimi rosła w czasie osiągając maksymalnie 3,77 metra w ciągu 6 lat. Najniżej wody gruntowe wystąpiły na głębokości 49,54 m p.p.t. najwyżej na 42,43 m, zatem amplituda zmalała do 7,11 m. W strefie krawędziowej poziom wód również spadał, przy czym różnica pomiędzy krzywymi wyniosła maksymalnie 0,37 m. Najwyżej wody gruntowe wystąpiły na głębokości 4,07 m, czyli o 0,32 m głębiej niż w warunkach naturalnych, a najniżej 10,76 m. Amplituda wahań wyniosła 5,69 m, czyli o ponad 1 m mniej niż w warunkach naturalnych.



Ryc. 3. Retencja powierzchniowa w warunkach naturalnych i z zabudową w zlewni Potoku Oliwskiego

### Odptyw powierzchniowy

Jego wartości zmniejszyły się w porównaniu do naturalnego lub miały taką samą wartość. Różnica pomiędzy nimi sięgała od 0 do 42,6% wartości odpływu naturalnego, przy czym największe dysproporcje pojawiały się w okresach intensywnych opadów. Przepływy w Potoku Oliwskim podobnie jak w warunkach naturalnych reagowały wzrostem na zwiększone opady atmosferyczne i spadkiem po ich ustąpieniu. Jednak wielkości przepływów po odprowadzeniu części wód opadowych do wód powierzchniowych zmieniły się w sposób zasadniczy. Minimalna wielkość w obu przypadkach jest taka sama i wynosi  $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , natomiast maksymalna z poziomu  $7,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dla warunków naturalnych podniosła się aż do  $27,61 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (383%).

### Retencjonowanie wód opadowych za pośrednictwem naturalnych zagłębień bezodpływowych

W zależności od intensywności deszczu w ciągu jednej godziny na powierzchni wysoczyzny mogą pojawiać się różne ilości wody. Alternatywny sposób zagospodarowania tak oszacowanych opadów oparto na zdolności utworów powierzchniowych do przepuszczalności, a w konsekwencji na infiltracji wody, z wykorzystaniem trzech etapów retencji: od powierzchniowej do podziemnej. Biorąc pod uwagę zagłębienia chłonne, do których odprowadzano by wody opadowe, założono dobry lub średni charakter przepuszczalności utworów, jakie je budują. Po sprawdzeniu objęściowego natężenia przepływu filtracyjnego, a tym samym zdolności infiltracji wód w zagłębieniach, przy zastosowaniu wzoru Darcy ustalono potrzebną powierzchnię zagłębień, która infiltrowałaby deszcz o różnym natężeniu. Waha się ona od  $1015 \text{ m}^2$  do  $26\,825 \text{ m}^2$ .

Aby sprawdzić skuteczność retencji w zagłębieniach w przebiegu 24-godzinnej infiltracji wybrano trzy zagłębienia o łącznej powierzchni  $21\,700 \text{ m}^2$  i objętości  $7230 \text{ m}^3$ . Dla deszczu zwykłej ilości wody, jaka w wyniku opadu gromadziła się w zagłębieniach w ciągu tego okresu, podlegała infiltracji bez opóźnienia. Wielkość infiltracji równała się wielkości opadu. Osiągnięte w tym dniu wielkości infiltracji wyniosły  $1865,81 \text{ m}^3/30 \text{ min}$

i stanowiły zaledwie 4,8% możliwej wartości. Podobnie dla deszczu silnego (12 III 2001), wartości infiltracji pokrywały się z ilością gromadzącej się w zagłębieniach wody i nie zbliżyły się nawet do wartości maksymalnej. Osiągnęły wielkość 4531,25 m<sup>3</sup>, co stanowi 11,6% możliwości. Ostatnim wybranym do analizy dniem był 9 VII 2001, ze szczególnie wysokim natężeniem opadu, który stał się przyczyną powodzi w okolicach Gdańska. Analiza wielkości infiltracji i objętości wody gromadzącej się w zagłębieniach wykazała, że w tym dniu maksymalna wielkość infiltracji została osiągnięta trzy razy i trwała przez 1,5 godziny, a w pozostałym okresie była niższa. Ilość wody, jaka nie zdołała infiltrować wyniosła dla badanego obszaru: 3587,04 m<sup>3</sup> o godzinie 17:00, 5574,82 m<sup>3</sup> o godzinie 17:30 i 10250,64 m<sup>3</sup> o godzinie 19:00. Jednak już w pół godziny po wystąpieniu tych nadwyżek zostały one w całości infiltrowane.

## Wnioski

Dzięki przeprowadzonym obliczeniom przy wykorzystaniu programu *Mike She* możliwe było stwierdzenie, że badany obszar dzięki ukształtowanym przez naturę czynnikom posiada wysoki potencjał retencyjny. Zostały zbadane także warunki retencji powierzchniowej, w której swój ogromny udział mają zagłębienia bezodpływowe.

Wprowadzenie do obliczeń czynnika antropogenicznego ograniczyło w źródłiskowej części zlewni wykorzystanie retencji na rzecz zwiększenia odpływu wód powierzchniowych spowodowanego odprowadzeniem wód spływających powierzchniowo z obszarów zabudowanych. Do istotnych zjawisk należało obniżanie się poziomu wód gruntowych na terenie wysoczyzny i strefy krawędziowej, zmieniające strukturę zasilania cieków, w której zwiększył się udział składowej powierzchniowej. W niektórych przypadkach mogą one skutkować zmianą charakteru niektórych cieków ze stałych na okresowe lub epizodyczne, z powodu utraty kontaktu hydraulicznego wód powierzchniowych z podziemnymi w obszarach źródłiskowych znajdujących się w strefie drenażu. Również zaobserwowano podnoszenie się wielkości przepływów w ciekach. Zwiększony udział powierzchniowego sposobu zasilania wynikał z odprowadzania do cieków wód opadowych z zabudowanych obszarów wysoczyzny. Mając świadomość postępującego obecnie procesu zabudowy i pokrywania powierzchni zlewni nieprzepuszczalnymi materiałami o wysokim współczynniku odpływu, należy się spodziewać również rosnących wartości przepływów, o ile nie zostanie zmieniony sposób odprowadzania wód.

## Literatura

- Begey M.B., Gonella M., Teatini P., Refsgard A., Basberg L., 1999, *MIKE-SHE application to the recovery project of a former industrial area in Ravenna, Italy, strongly polluted by toxic metals*, Proceedings of 3rd DHI Software Conference, June 7–11, Helsingør, Denmark.
- Carr R.S., Punthakey J.F., Cooke R., Storm B., 1993, *Large scale catchment simulation using the MIKE SHE model: 1. Process simulation of an irrigation district*, [w:] R.N. Chowdhury and M. Sivakumar (red.), *Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Geo-Water and Engineering Aspects*, Wollongong, NSW, Australia.
- Chełmicki W., 2002, *Woda, zasoby, degradacja, ochrona*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Danish Hydraulic Institute Software, 1999, *Mike She WM – User Manual*.
- Drwal J., 1973, *Zagadnienia bezodpływowości na obszarach młodoglacjalnych*, Zeszyty Naukowe, 3, Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Jain S.K., Storm B., Bathurst J.C., Refsgaard J.C., Singh R.D., 1992, *Application of the SHE to catchments in India – Part 2: Field experiments and simulation studies on the Kolar Subcatchment of the Narmada River*, Journal of Hydrology, 140, Lohani, V.K., s. 25–47.
- Karwowski S., Soczyńska U., 1989, *Procesy hydrologiczne. Fizycznogeograficzne podstawy modelowania*, PWN, Warszawa.
- Refsgaard A., Seth S.M., Bathurst J.C., Erlich M., Storm B., Jørgensen G.H., Chandra S., 1992, *Application of the SHE to catchments in India – Part 1: General Results*, Journal of Hydrology, 140, s. 1–23.
- Refsgaard J.C., Storm B., 1995, *MIKE SHE*, [w:] P. Vijay (red.), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado.

Sørensen H.R., Jacobsen J.T., Kjelds J.Y., Hopkins E., 1999, *Application of MIKE SHE and MIKE 11 for integrated hydrological modeling in South Florida*, Proceedings of 3rd DHI Software Conference, June 7–11, Helsingør, Denmark.  
Staszek W., 2006, *Komentarz do mapy hydrograficznej 1 : 50 000*, arkusz N-34-50-C, Gdańsk.

## THE RETENTION DETERMINANTS OF A CHOSEN HEADWATER CATCHMENT IN THE GDAŃSK EMINENCE EDGE ZONE

**Abstract.** The paper aims at identifying retention types and their natural and anthropogenic determinants in the catchment of the Potok Oliwski, especially in its headwater section, by means of Mike She mathematic model. The calculations performed allowed to determine that the studied area, due to natural factors, has high retention potential, mostly in the underground zones.

**Key words:** retention, edge zone, area without outflow