

## KSZTAŁTOWANIE SIĘ ODPŁYWU W ZLEWNI ZURBANIZOWANEJ NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI STRZYŻY

Magda Sikora<sup>1</sup>, Roman Cieśliński<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego, ul. Bażyńskiego 4, 80-952 Gdańsk, e-mail: magda\_sikora3@wp.pl, georc@univ.gda.pl

### STRESZCZENIE

Celem pracy jest określenie jaki wpływ wywierają różne formy użytkowania obszaru zlewni zurbanizowanej na wielkość i zmienność odpływu. Powiązanie wielkości przepływu z formami użytkowania terenu pozwoli stwierdzić, które czynniki wpływają na odpływ w zlewni. Obiektem badań jest zlewnia rzeki Strzyży położona w granicach administracyjnych miasta Gdańsk. Stwierdzono, że cieką przepływające przez obszary zurbanizowane, w tym przez miasto Gdańsk (rzeka Strzyża), bardzo szybko reagują na wszelkie nadwyżki wody. Ulewny deszcz w połączeniu z odprowadzaniem wody przez system kanałów burzowych doprowadza do zwiększenia przepływu oraz odpływu w ciekach m.in. rzeki Strzyży.

**Słowa kluczowe:** zlewnia zurbanizowana, odpływ jednostkowy, Strzyża, Gdańsk.

### THE FORMATION OF THE OUTFLOW IN THE URBANISED CATCHMENT AREA ON THE EXAMPLE OF THE CATCHMENT OF STRZYŻA

#### ABSTRACT

The aim of the study is to determine what influence made various forms of land use of catchment area on the size and variability of the outflow. Linking the flow rate with the forms of land use will determine which factors affect the runoff in the basin. The object of the research is Strzyża river basin situated within the administrative boundaries of the city of Gdańsk. It was found that streams flowing through urban areas, including the city of Gdańsk (river Strzyża), quickly react to any excess water. Heavy rain combined with the discharge of water through the storm sewer system results of increasing the flow and runoff in streams, among others, Strzyża river.

**Keywords:** urbanized catchment, runoff, Strzyża river, Gdańsk.

### WSTĘP

Cechą charakterystyczną obszarów zurbanizowanych jest duży udział powierzchni słabo przepuszczalnych oraz nieprzepuszczalnych. Odpływ wody z takich obszarów jest zaburzony i bardzo często odbywa się za pośrednictwem kanalizacji deszczowej. Reakcja na opad efektywny w zlewniach zurbanizowanych jest znacznie szybsza niż w zlewniach naturalnych lub rolniczych [Ozga-Zielińska, Brzeziński, 1994].

Jedną z przyczyn przekształceń w naturalnym systemie odwadniającym jest postępujący proces urbanizacji. Pokrycie powierzchni terenu materiałami nieprzepuszczalnymi sprawia, że opad atmosferyczny zamiast zasilać wody gruntowe za-

mienia się w spływ powierzchniowy. Szczególnie dobrze jest to widoczne w zlewniach silnie lub całkowicie przekształconych przez człowieka.

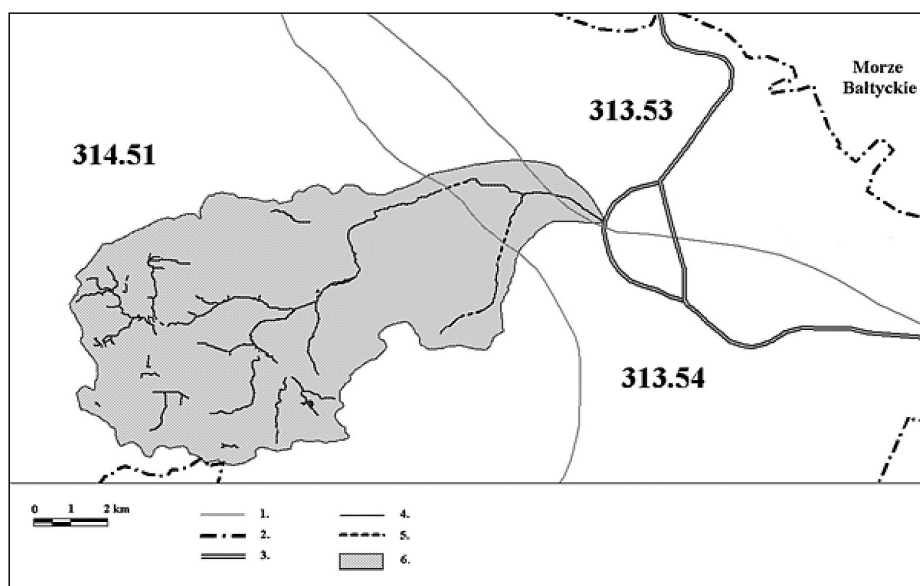
Celem pracy jest określenie wpływu wywieranego przez różne formy użytkowania obszaru zlewni zurbanizowanej na wielkość i zmienność odpływu. Powiązanie wielkości przepływu z formami użytkowania terenu pozwoli stwierdzić, które czynniki wpływają na odpływ w zlewni [Bielawski, 1994].

### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obiektem badań jest zlewnia rzeki Strzyży położona w granicach administracyjnych Gdańska.

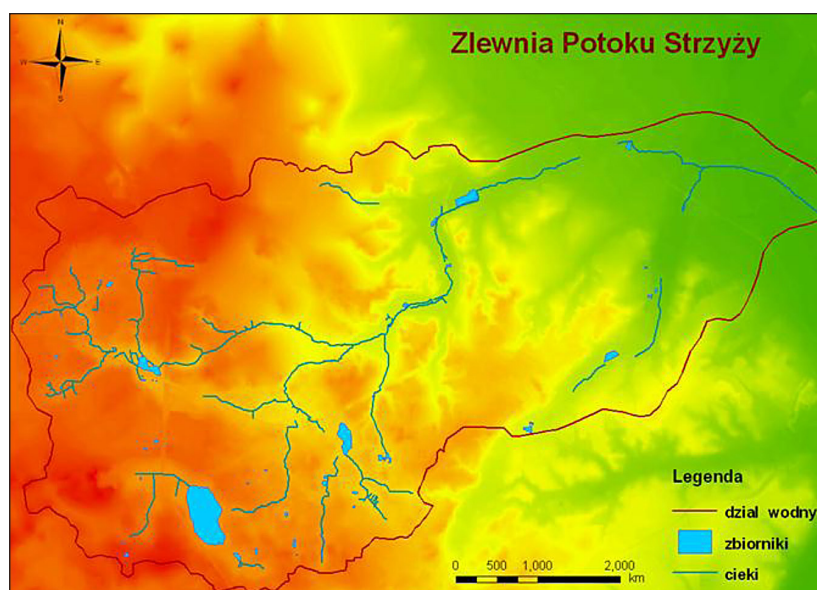
Jest ona lewostronnym dopływem Martwej Wisły. Według hierarchizacji Graweliusa to zlewnia II rzędu. Jej powierzchnia wynosi 33,2 km<sup>2</sup>. Źródła cieków znajdują się na wysoczyźnie w rejonie miejscowości Kiełpiniek. Z tej okolicy spływa kilka mniejszych cieków, które odwadniając okolice Martarni i Kokoszek dają początek Strzyży [Cieśliński, Jereczek-Korzeniewska, 2005; Górecka, 1994]. Strzyża odwadnia 3 regiony fizyczno-geograficzne tj. Żuławy Wiślane (313.53), Mierzeję Wiślaną (313.54) i Pojezierze Kaszubskie (314.51) (rys. 1).

Rzeźba terenu górnej części zlewni Strzyży została ukształtowana głównie w czasie działalności lądolodu skandynawskiego oraz przez wody fluwioglacjalne [Augustowski, 1977]. Na tym obszarze można zaobserwować duże deniwelacje od ok. 40 m n.p.m. do 110 m n.p.m. (rys. 2), a w efekcie działalności wód płynących wykształciły się liczne na tym terenie doliny, między innymi Dolina Brętowska, w której dnie płynie Strzyża oraz Dolina Potoku Królewskiego. Środkowa i dolna część zlewni Strzyży położna jest na



**Rys. 1.** Położenie zlewni na tle jednostek podziału regionalnego Polski według Kondrackiego (2000): 1. granica mezoregionu; 2. granica Gdańska; 3. Martwa Wisła; 4. Strzyża wraz z dopływami; 5. ciek przykryty; 6. zlewnia Strzyży

**Fig. 1.** Location of the catchment of Strzyża: 1. boundary of the region 2. Gdańsk border; 3. Martwa Wisła; 4. Strzyża with its tributaries; 5. covered stream, 6. catchment of Strzyża



**Rys. 2.** Deniwelacje terenu w zlewni Strzyży [Pietruszyński 2011]

**Fig. 2.** Height differences in the catchment area of Strzyża [Pietruszyński 2011]

północno-zachodnim krańcu delty Wisły. Z kolei odcinek ujściowy Strzyży leży na terenie Mierzei Wiślanej, którą budują piaszczyste utwory.

## METODY

Postępowanie badawcze dotyczyło przede wszystkim zbierania materiałów źródłowych, w tym kartograficznych, potrzebnych do realizacji celu pracy. Ich uzupełnieniem były prace terenowe, podczas których wykonano dokumentację fotograficzną oraz dokonano inwentaryzacji sieci hydrograficznej, zabudowy koryta rzeki oraz zabudowy hydrotechnicznej.

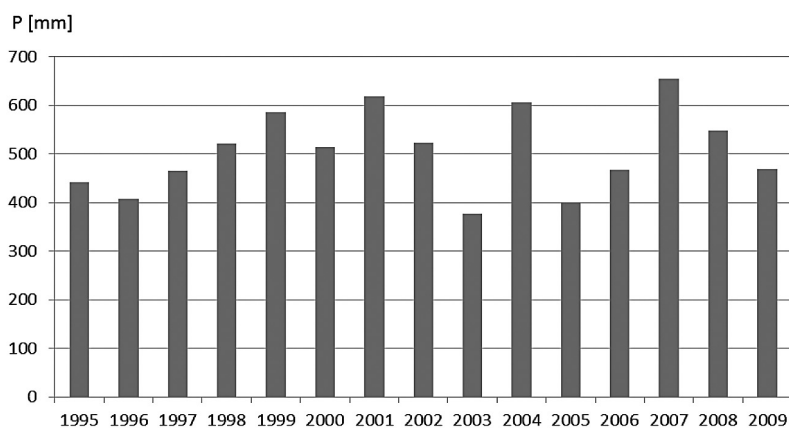
Pomiary przepływu uzyskano z Zakładu Ochrony Środowiska i Higieny Transportu Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Na Strzyży zlokalizowano jeden punkt pomiarowy. Został on umiejscowiony w odcinku ujściowym rzeki. Jego współrzędne to: 18°38,549'E i 54°22,544'N. Badania wykonywano w latach 1995–2009, z częstotliwością raz w miesiącu [Nowacki, Szumilas, 2010].

Na podstawie uzyskanych danych dotyczących przepływu obliczono m.in. odpływ jednostkowy ze zlewni  $q$ , wskaźnik odpływu  $H$ , czy współczynnik odpływu  $c$ . Dane dotyczące wielkości opadu atmosferycznego i temperatury pochodzą ze stacji synoptycznej położonej w Gdańsku na terenie Portu Północnego. Zebrane dane obejmują lata 1995–2009 ([http://www.tutiempo.net/en/Climate/GDANSK\\_PORT\\_PN/121400.htm](http://www.tutiempo.net/en/Climate/GDANSK_PORT_PN/121400.htm)).

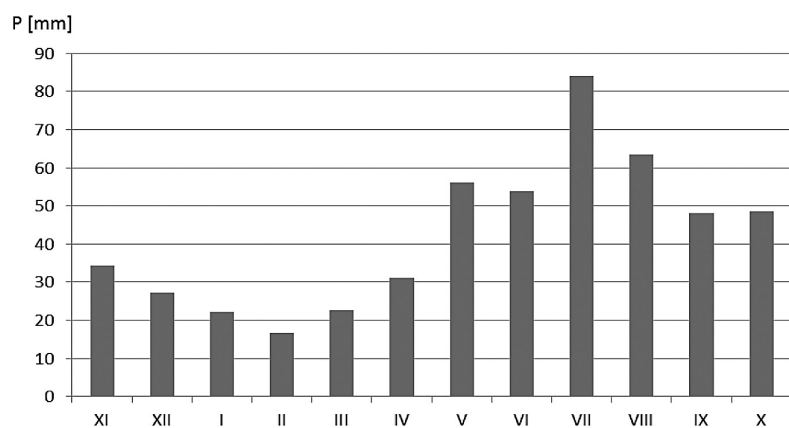
## WARUNKI METEOROLOGICZNE W OKRESIE BADAŃ

W wybranym do analizy okresie badań (1995–2009) najwyższe sumy opadów odnotowano w 2007 roku i wyniosły one 654 mm, natomiast najniższe sumy opadów były zanotowane w 2003 roku i wyniosły 376 mm (rys. 3). Najwyższe średnie miesięczne opady zanotowano w lipcu – 1261 mm, zaś najniższe w lutym – 249 mm (rys. 4).

Według klasyfikacji opadów Kaczorowskiej (1965) lata 2003 i 2005, z wielolecia 1995–2009,



Rys. 3. Sumy opadów w wieloleciu 1995–2009  
Fig. 3. Precipitation totals in the years 1995–2009



Rys. 4. Miesięczna zmienność średnich opadów w wieloleciu 1995–2009  
Fig. 4. Monthly average rainfall variability in the years 1995–2009

były latami bardzo suchymi, w 2003 roku niedobór opadów był na poziomie 31%, a w 2005 niedobór wyniósł 27%. Lat suchych było pięć (1995, 1996, 1997, 2006, 2009), a niedobór opadów był w przedziale od 11% do 25%, natomiast lat przeciętnych w wieloleciu 1995–2009 było również pięć (1998, 1999, 2000, 2002, 2008), a odchylenie od przeciętnej sumy dla wielolecia nie przekraczało w tym wypadku 10%. Trzy lata z wielolecia (2001, 2004, 2007) były latami wilgotnymi. Nadmiar opadu w tym okresie wynosił od 11% do 25%.

## PRZEPUSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW

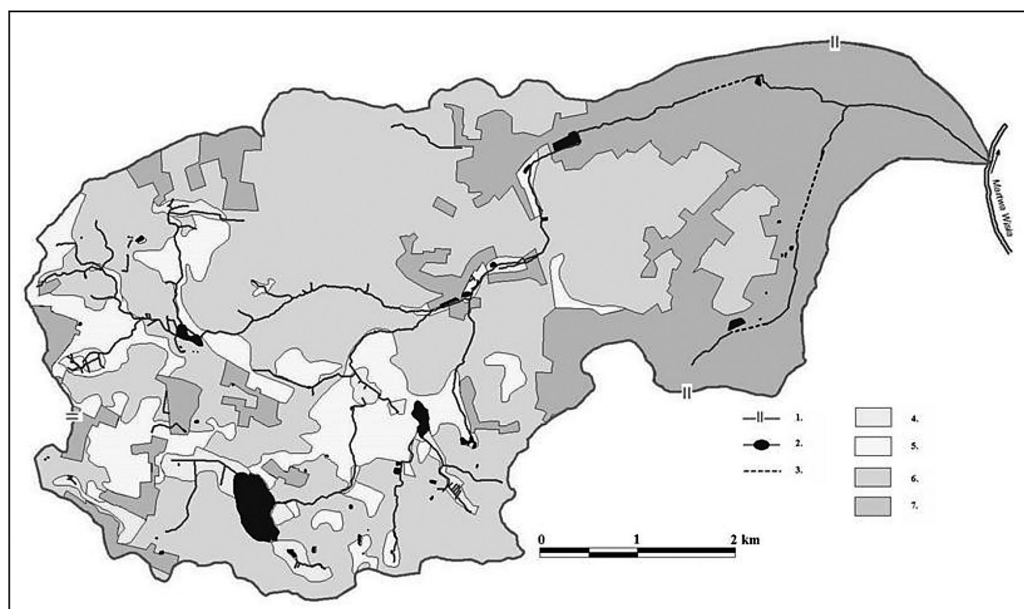
Wytyczne techniczne GIS – 3 Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000 (2005) wyróżniają 6 klas przepuszczalności gruntów. W zlewni Strzyży występują grunty o przepuszczalności łatwej, średniej, słabej oraz zróżnicowanej.

Największą powierzchnię 1761 hektarów, stanowiącą 53% powierzchni całej zlewni, zajmują grunty o klasie słabej. Najmniejszą powierzchnię (93,96 hektarów) zajmują grunty o klasie przepuszczalności łatwej, co daje 3% powierzchni zlewni. Grunty mieszczące się w klasie przepuszczalności średniej zajmują 420,4 hektarów (13%), a w klasie zróżnicowanej 1016 ha (31%).

Przestrenny rozkład przepuszczalności gruntów w zlewni Strzyży przedstawiony został na rysunku 5. Grunty o klasie zróżnicowanej zajmują obszary najbardziej zurbanizowane, leżące w dolnej części zlewni. Grunty o przepuszczalności słabej zajmujące największą powierzchnię leżą głównie na obszarach leśnych, zaś grunty o przepuszczalności średniej zajmują w większości obszary użytków zielonych.

## STOSUNKI WODNE

Najważniejszymi dopływami Strzyży są: Potok Matarnicki (lewostronny) oraz Potoki Królewski (Bystrzec II) i Jasień będące dopływami prawostronnymi (rys. 6). Według różnych źródeł długość rzeki waha się od 12,79 km [Cieśliński, Jereczek-Korzeniewska, 2005] do 13,3 km [Górecka, 1994]. Według obliczeń średni spadek cieków wynosi 10,5%. W górnym biegu rzeka zachowuje się jak potok górski, a jej spadek wynosi 12,2% [Górecka, 1994]. Strzyża od źródeł w rejonie Kokoszek płynie do obwodnicy trójmiejskiej, dalej przez lasy głęboką doliną erozyjną. W okolicy zbiornika retencyjnego „Nowiec II” wypływa z rezerwatu „Dolina Dolnej Strzyży” i przepływa przez osiedle mieszkaniowe do zbiornika „Srebrzysko” nieuregulowanym naturalnym korytem.



**Rys. 5.** Przepuszczalność gruntów w zlewni Strzyży: 1. dział wodny II rzędu; 2. dział wodny obszaru bezodpływowego ewapotranspiracyjnego; 3. dział wodny obszaru bezodpływowego chłonnego; 4. zagłębienie bezodpływowe chłonne; 5. podmokłości; 6. ciek i zbiorniki; 7. ciek przykryte; 8. punkt pomiarowy

**Fig. 5.** The permeability of the land in the Strzyża catchment: 1. watershed II order; 2. watershed of evapotranspiration depression; 3. watershed of absorptive depression; 4. absorptive depression without outflow; 5. wetlands; 6. streams and reservoirs; 7. covered streams; 8. the measuring point

Brzegi na tym odcinku biegu potoku są umocnione faszyną, a w miejscach wpływu do zbiorników retencyjnych zabezpieczone gabionami. Na odcinku od zbiornika „Srebrzysko” do ujścia do Martwej Wisły w gdańskim porcie, Strzyża płynie uregulowanym korytem przez tereny miejskie o intensywnej zabudowie mieszkaniowej i przemysłowej. W niektórych fragmentach rzeka płynie krytymi kanałami. Brzegi na tym odcinku są betonowe [Górecka, 1994].

W zlewni Strzyży znajduje się obecnie 8 zbiorników retencyjnych, w tym 6 na potoku Strzyża,

jeden na potoku Królewskim i jeden zbiornik retencyjny „Potokowa-Słowackiego”. Największym zbiornikiem w zlewni jest zbiornik „Srebrzysko” położony na ulicy Słowackiego (tab. 1).

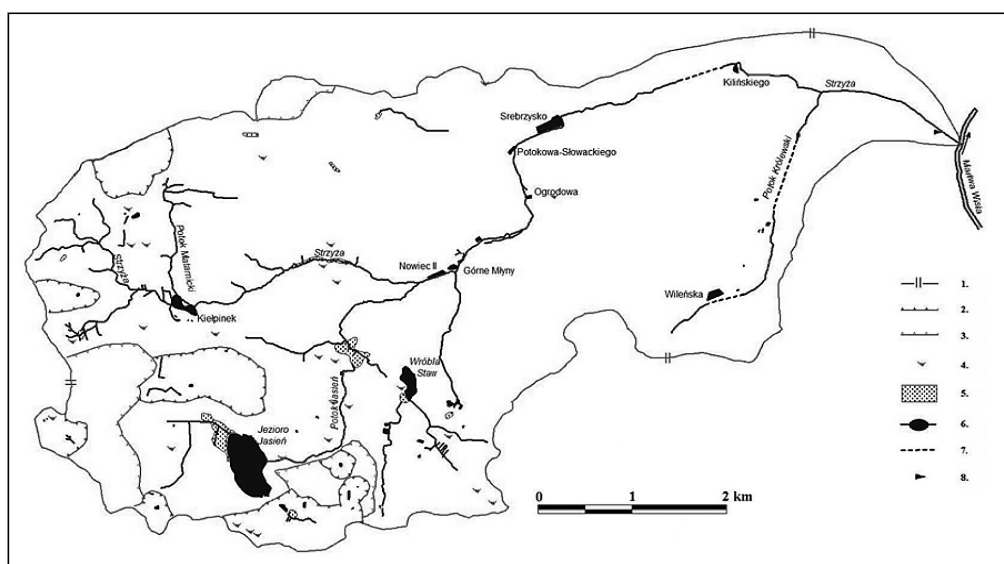
W trakcie powodzi w Gdańsku w lipcu 2001 roku uszkodzeniu uległ między innymi największy zbiornik w zlewni Strzyży – „Srebrzysko”. W wyniku usuwania szkód spowodowanych tą powodzią, co trwało kilka miesięcy, zbiornik „Srebrzysko” odbudowano.

Wybudowano również dwa nowe zbiorniki retencyjne powyżej zbiornika „Srebrzysko”, były

**Tabela 1.** Zestawienie zbiorników retencyjnych zlokalizowanych na Strzyży i Potoku Królewskim [http://www.gdmel.pl/gdaska-infrastruktura-odwodnieniowa 17.04.2013]

**Table 1.** Statement of reservoirs located in Strzyża and Królewski brook

Lp.	Nazwa obiektu	Data odbioru	Powierzchnia zbiornika [ha]	Pojemność retencyjna zbiornika [m <sup>3</sup> ]
1	Zbiornik „Srebrzysko” na potoku Strzyża, ul. Słowackiego	przed 1993	2,58	30 100
2	Zbiornik retencyjny Potokowa-Słowackiego, ul. Słowackiego	26.07.2000	0,3	6 700
3	Zbiornik „Ogródowa” na potoku Strzyża, ul. Ogródowa	przed 1993	0,3	1 500
4	Zbiornik „Górne Młyny” na Potoku Strzyża, ul. Potokowa	26.09.2005	0,42	2 630
5	Zbiornik „Nowiec II” na Potoku Strzyża, ul. Potokowa	08.08.2002	0,52	8 336
6	Zbiornik „Kiełpinek” na Potoku Strzyża, ul. Szczęśliwa	08.06.2000	2,17	17 540
7	Zbiornik „Wileńska” na Potoku Królewskim, ul. Wileńska	przed 1993	1,28	7 070
<b>Suma</b>			<b>7,57</b>	<b>73 876</b>



**Rys. 6.** Szkic hydrograficzny zlewni Strzyży: 1. dział wodny II rzędu; 2. dział wodny obszaru bezodpływowego ewapotranspiracyjnego; 3. dział wodny obszaru bezodpływowego chłonnego; 4. zagłębienie bezodpływowo chłonne; 5. podmokłości; 6. ciek i zbiorniki; 7. ciek przykryte; 8. punkt pomiarowy

**Fig. 6.** Hydrographic sketch of Strzyża catchment: 1. watershed II order; 2. watershed of evapotranspiration depression; 3. watershed of absorptive depression; 4. absorptive depression without outflow; 5. wetlands; 6. streams and reservoirs; 7. covered streams; 8. the measuring point

to zbiornik „Nowiec II” oddany do eksploatacji w 2002 oraz zbiornik „Górne Młyny” oddany w 2005.

## WYNIKI

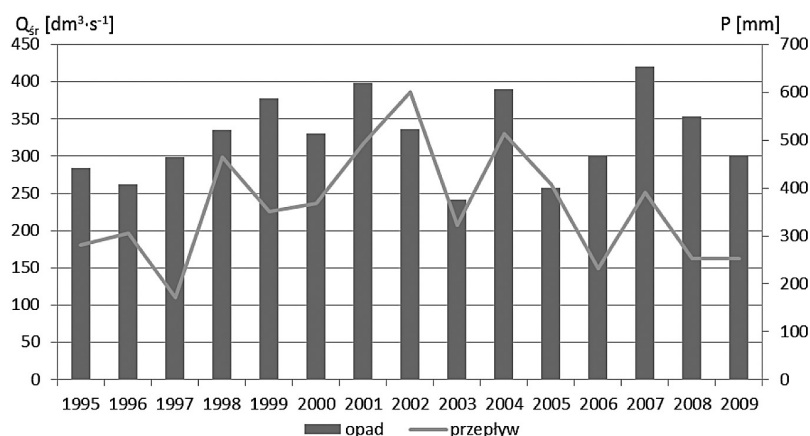
Głównymi źródłami zasilania Strzyży są opady atmosferyczne i roztopy. Widać to wyraźnie na rysunku 8, gdzie zaznaczają się dwa wezbrania, jedno roztopowe w marcu i drugie opadowe we wrześniu. Najniższe średnie miesięczne przepływy wystąpiły w lipcu i w sierpniu, wyniosły one odpowiednio  $174,95 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oraz  $175,62 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Najwyższe średnie miesięczne przepływy dla marców w latach 1995–2009 wynosiły  $371,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Obliczenia odpływu jednostkowego zostały wykonane na podstawie wzorów z pracy Dębskiego (1970). Wskaźnik odpływu obliczono w celu wyliczenia współczynnika odpływu. Na rysunku 7 przedstawiono zmienność przepływu w wieloleciu 1995–2009. Najniższe wartości w tych latach zaobserwowano w roku 1997, a śred-

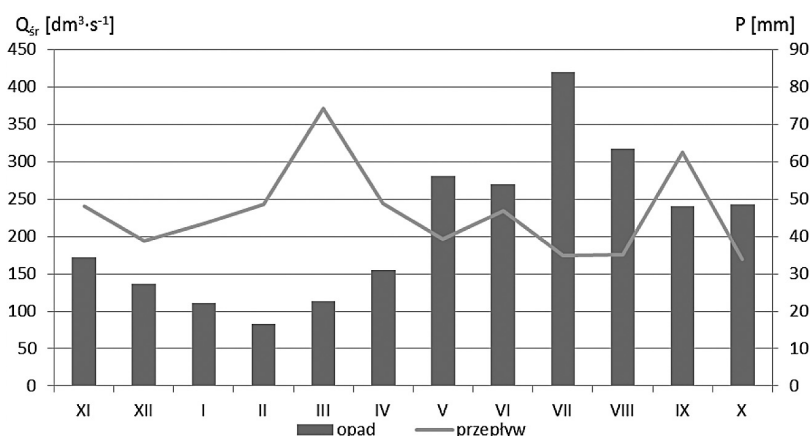
ni przepływ wyniósł  $109,71 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Najwyższa średnia wartość przepływu wyniosła  $386,36 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i została odnotowana w roku 2002. Średni roczny przepływ w wieloleciu 1995–2009 wyniósł  $231,88 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Średni roczny odpływ jednostkowy wyniósł  $11,59 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ , a średni wskaźnik odpływu kształtował się na poziomie  $365,57 \text{ mm}$ . Średni roczny współczynnik odpływu wyniósł  $0,27$ . Najniższe wartości odpływu odnotowano w roku 1997. Średni roczny odpływ jednostkowy wyniósł  $3,29 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ , zaś średni wskaźnik odpływu kształtował się na poziomie  $103,81 \text{ mm}$ . Średni roczny współczynnik odpływu w okresie badań (1995 – 2009) wyniósł  $0,09$  (rys. 8).

Dla badanego wielolecia roczny średni odpływ jednostkowy kształtował się na poziomie  $6,96 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ . Średni roczny wskaźnik odpływu wyniósł  $207,97 \text{ mm}$ , a średni roczny współczynnik odpływu był na poziomie  $0,15$  (tab. 2). Z kolei dla Polski dla wielolecia 1901–2007 średni odpływ jednostkowy wyniósł  $5,54 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ ,



Rys. 7. Zmiany sum opadu i średniego rocznego przepływu w wieloleciu 1995–2009  
Fig. 7. Changes in rainfall totals and average annual flow in the years 1995–2009



Rys. 8. Zmiany sum opadu i średnich miesięcznych wartości przepływu w wieloleciu 1995–2009  
Fig. 8. Changes in rainfall totals and average monthly flow in the years 1995–2009

a wskaźnik odpływu kształtował się na poziomie 175 mm [Michalczyk, 2009]. Porównując dane widać, że zlewnia Strzyży ma roczny odpływ jednostkowy wyższy niż średni dla Polski. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku wskaźnika odpływu, który jest wyższy w zlewni Strzyży niż dla Polski o ok. 30 mm. Współczynnik odpływu zaprezentowany w aspekcie wieloletnim pokazuje, że niewielkie części opadu są włączane do odpływu ze zlewni. Średnio w ciągu roku jest to 15%. W efekcie opad w większości paruje, lub wsiąka w grunt. Jest to bardzo prawdopodobne gdyż większość zlewni zajmują obszary przepuszczające wodę, czyli lasy, ogródki działkowe, zielen miejska oraz użytki zielone. Z niektórych powierzchni takich jak teren pokryty lasami w niektórych okresach roku ewapotranspiracja może być zwiększona [Okoński, 2006]. Przykładowo w okresach suszy deszcz, który spadnie na powierzchnię nieprzepuszczalną spłynie do najbliższego cieków, a deszcz, który spadnie na las ulegnie czasowej retencji i następnie wyparuje. Oczywiście wszystkie procesy zależą nie tylko od ilości deszczu, ale także od temperatury. Im wyższa temperatura tym szybciej następować będzie wyparowanie wody. Tempo wyparowania zależy też od tego jak mocno nagrzewać się będzie powierzchnia na którą spadnie deszcz. Na przykład powierzchnie nieprzepuszczalne takie jak drogi, parkingi, dachy domów nagrzewają się szybciej

i szybciej też następuje wyparowanie niż z powierzchni takich jak łąki, czy grunty orne.

Należy zwrócić uwagę, że przed powodzią z lipca 2001 roku w zlewni Strzyży funkcjonowały 5 zbiorników retencyjnych z czego 4 na Strzyży i 1 na Potoku Królewskim. Po powodzi zaczęła się naprawa starych i budowa nowych zbiorników. Na podstawie rocznego współczynnika odpływu widać wyraźny wpływ zbiorników na odpływ ze zlewni. Po oddaniu do użytku nowych obiektów i naprawie i modernizacji starych w Strzyży roczny współczynnik odpływu zmalał i wyrównał.

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na odpływ ze zlewni jest sieć kanalizacji deszczowej. Jest ona istotnym dostawcą wody do cieków, szczególnie w czasie ulewnych deszczy. W Gdańsku ma ona łącznie 44 km i jest dłuższa od sieci rzecznej w zlewni o 6,48 km. Głównym odbiornikiem wód deszczowych ze zlewni jest Strzyża. W dolnej, zurbanizowanej części zlewni Strzyży (bez Potoku Królewskiego) zlokalizowanych jest 112 wylotów kanalizacji deszczowej. Wydajność wszystkich wylotów wynosi  $15,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  [Leśkowiak i in., 2004], a średnia wydajność jednego wylotu to  $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Z kolei sezonowy, czyli w tym wypadku miesięczny, współczynnik odpływu pokazuje (tab. 3), że w poszczególnych miesiącach może odpływać większość opadu tak jest na przykład w miesiącach zimowych, czyli w listopadzie,

**Tabela 2.** Miary odpływu w latach 1995–2009

**Table 2.** Measures of outflow in the years 1995–2009

Lata	Roczny odpływ jednostkowy [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>2</sup> ]	Roczny wskaźnik odpływu [mm]	Roczny współczynnik odpływu
1995	5,43	171,34	0,15
1996	5,90	186,08	0,17
1997	3,29	103,81	0,09
1998	8,96	282,43	0,21
1999	6,76	213,22	0,14
2000	7,12	224,39	0,17
2001	9,50	299,70	0,18
2002	11,59	365,57	0,27
2003	6,24	196,80	0,20
2004	9,90	312,32	0,20
2005	7,87	248,21	0,24
2006	4,49	141,61	0,12
2007	7,53	237,41	0,13
2008	4,88	153,97	0,01
2009	4,89	154,07	0,01
<b>Średnia</b>	<b>6,96</b>	<b>207,97</b>	<b>0,15</b>

**Tabela 3.** Średnie miesięczne miary odpływu w latach 1995–2009  
**Table 3.** Average monthly measure of the outflow in the period 1995–2009

Miesiące	Miesięczny odpływ jednostkowy [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>2</sup> ]	Miesięczny wskaźnik odpływu [mm]	Miesięczny współczynnik odpływu
XI	7,21	18,68	0,84
XII	5,82	15,09	0,91
I	6,53	16,92	0,75
II	7,30	18,92	0,61
III	11,14	28,87	0,52
IV	7,33	19,01	0,35
V	5,88	15,25	0,18
VI	7,04	18,26	0,29
VII	5,25	13,61	0,28
VIII	5,27	13,66	0,28
IX	9,38	24,32	0,71
X	5,07	13,15	0,48
<b>Średnia</b>	<b>6,94</b>	<b>17,98</b>	<b>0,52</b>

grudniu i styczniu, kiedy to współczynnik odpływu ma odpowiednio wartości 0,84, 0,91, 0,75. W czasie tych miesięcy opady były niskie. Wynika z tego, że współczynnik w tych miesiącach ma mniejszą wagę niż ten z miesięcy o wyższych opadach. Na przykład w sierpniach w wieloletnim okresie 1995–2009 spadło 953 mm z czego odpłynęło 29% wody, natomiast w lutych spadło 249 mm deszczu, a odpłynęło 91%. Widać tutaj, iż mimo że procentowo więcej wody odpłynęło w lutym to jednak ilościowo więcej wody odpłynęło w sierpniu. Roślinność może również mieć wpływ na wielkość odpływu. W maju współczynnik odpływu był najniższy i wynosił 0,18, przy wysokich opadach, które były na poziomie 841 mm. W tym przypadku należy pamiętać, że właśnie w maju rozpoczyna się okres wegetacyjny.

Zwiększanie się odpływu w ciekach przepływających przez miasta, w sytuacjach ekstremalnych, powoduje między innymi podniesienie poziomu wody, a w konsekwencji powódź. Cieki płynące przez obszary zurbanizowane bardzo szybko reagują na wszelkie nadwyżki wody, ulewny deszcz w połączeniu z odprowadzaniem wody przez system kanałów burzowych doprowadza do zwiększenia przepływu oraz odpływu w ciekach.

## PODSUMOWANIE

Natężenie przepływu w rzece Strzyża charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie. Wpływają na to przede wszystkim warunki atmosferycz-

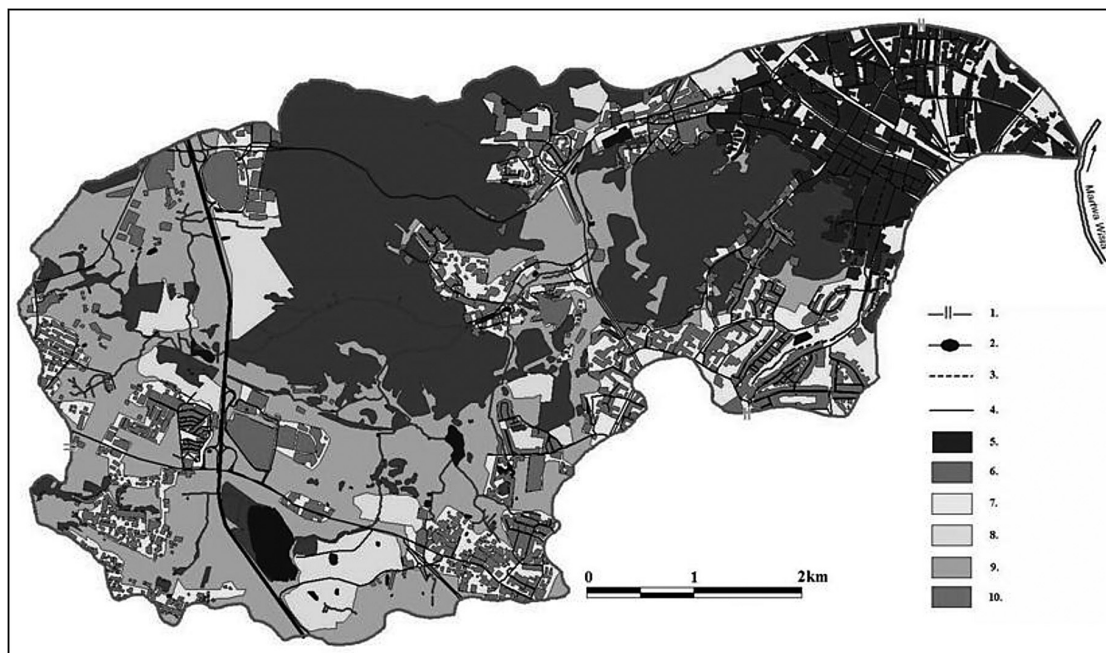
ne, przekształcenia antropogeniczne oraz przepuszczalność gruntów i użytkowanie terenu.

Ustalono, że w zlewni Strzyży w 2008 roku, dla którego była wykonana ortofotomapa Gdańska, największy obszar zajmowały lasy (30% powierzchni zlewni), a następnie użytki zielone – 27% i zieleń miejska – 17%. Jeśli pod uwagę weźmiemy dwie kategorie zabudowy miejskiej, zwartą i rozproszoną, jej sumaryczny udział w całej badanej zlewni będzie wynosił 20%.

Na rycinie 9 przedstawiono zagospodarowanie terenu na obszarze zlewni Strzyży w roku 2008. Na mapie wyróżniono 6 kategorii: zwartą zabudowę miejską, rozproszoną zabudowę miejską, zieleń miejska, ogródki działkowe, użytki zielone oraz lasy. Dodatkowo wyróżniono cieki i zbiorniki, cieki przykryte a także drogi. Zwartą zabudowę miejską zajmuje powierzchnię 266,4 hektarów. Znajduje się w dolnej części zlewni, na terenie charakteryzującym się gęstą zabudową. Przeważają tutaj tereny magazynów postocznio-nych, budynki mieszkalne, centra handlowe (Galeria Bałtycka, Manhattan).

Współczesny układ hydrograficzny Gdańsk można nazwać układem miejsko- rekreacyjnym, ze względu na wykształcenie sieci kanałów zabezpieczających potrzeby bytowe, przemysłowe, obronne i komunikacyjne mieszkańców [Drwał i in., 1996]. Zmiany antropogeniczne sieci hydrograficznej widoczne są na każdym kroku. Budowane są zbiorniki, zapory, przepusty, a także zmieniany jest bieg niektórych cieków. Innymi przejawami ludzkiej działalności jest budowa osiedli, hipermarketów, parkingów, dróg dojazd-





**Rys. 9.** Zagospodarowanie terenu w zlewni Strzyży: 1. dział wodny II rzędu; 2. ciek i zbiorniki; 3. ciek przykryte; 4. drogi; 5. zwarta zabudowa miejska; 6. rozproszona zabudowa miejska; 7. zielen miejska; 8. ogródki działkowe; 9. użytki zielone; 10. lasy

**Fig. 9.** Land use in the catchment Strzyża: 1. watershed II order; 2. steams and reservoirs; 3 covered steams; 4. roads; 5. compact buildings; 6. dispersed buildings, municipal green areas 7. 8. garden plots; 9. grassland; 10. forests

wych. Wszystkie te działalności mają wpływ na odpływ ze zlewni. Coraz większa powierzchnia obszarów nieprzepuszczalnych powoduje ograniczenie wsiąkania wody a zwiększanie się jej spływu, który na obszarze zlewni Strzyży, ale i całego Gdańska, jest dość łatwy i szybki, ze względu na znaczne deniwelacje pomiędzy dzielnicami południowymi a północnymi miasta.

Zlewnia Strzyży w pewnych okresach szybko a w innych wolniej reaguje na występujący opad atmosferyczny. Na podstawie wskaźnika odpływu widać, że są miesiące w czasie roku w których duża część opadu odpływa, jest to najczęściej półrocze zimowe. Są to miesiące w których wskaźnik odpływu jest większy niż 50%. W miesiącach półrocza letniego większość odpadu jest retencjonowana, ulega startom na parowanie (ewapotranspiracja), jest pobierana przez roślinność (w czasie wegetacji) lub wsiąka w grunt. W tym czasie wskaźnik odpływu kształtował się poniżej 50%. Na zmienność współczynnika odpływu miała również budowa, rozbudowa i modernizacja zbiorników retencyjnych znajdujących się na terenie zlewni. Oddanie do użytku nowych i modernizacja starych zbiorników retencyjnych znacząco wpłynęły na wyrównanie przepływów w cieku.

Pomimo różnorodności i dużej liczby prac prowadzonych, w zlewni cały czas brakuje odpowiedniego zabezpieczenia w razie powodzi. Prace polegające na budowie i modernizacji urządzeń hydrotechnicznych nie mogą się skończyć jedynie na ich budowie, wszystkie urządzenia – zbiorniki, przepusty, brzegi koryt itp. wymagają odpowiedniej konserwacji a zbiorniki dodatkowo muszą być poddawane odmulaniu dna żeby zachować jak największy potencjał retencyjny w razie wystąpienia zagrożenia powodziowego lub powodzi.

Budowa nowych osiedli w górnej i środkowej części zlewni wiąże się przede wszystkim z przyrostem powierzchni nieprzepuszczalnych, co prowadzi do budowy infrastruktury w tym dróg, które w razie deszczu powodują przyspieszenie spływu wody do cieków, co z kolei zwiększa odpływ.

Zlewnię Strzyży trudno nazwać zlewnią zurbanizowaną ze względu na fakt, że tereny miejskie to tylko 20% (najwięcej w dolnej części zlewni), a dominują obszary leśne i użytki zielone zajmując 57% powierzchni całej zlewni. Pomimo tego faktu bardzo często reaguje hydrologicznie jak typowa zlewnia zurbanizowana, dowodem na co może być jej porównanie ze zlewniami Silnicy i Sufragąńca analizowanymi przez Ciupę (2009).

## LITERATURA

1. Augustowski B., 1977. Pomorze, PWN, Warszawa.
2. Bielawski Z., 1994. Określenie charakterystyk odpływu z terenów zurbanizowanych na podstawie cech fizycznych zlewni i opadu. [w:] Ozga-Zielińska M., Monografie komitetu gospodarki wodnej, Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, z. 5, 97–125.
3. Ciesliński R., Jereczek-Korzeniewska K., 2005. Wpływ warunków regionalnych i lokalnych na funkcjonowanie zlewni potoku Strzyża. [w:] Kostrzewski A., Kolander R. (red.) Funkcjonowanie geoekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań, 241–248.
4. Ciupa T., 2009. Wpływ uszczelnienia zlewni na sezonowe zróżnicowanie odpływu rzecznoego na przykładzie Silnicy i Sufragańca. [w:] Jankowski A.T., Absalon D., Machowski R., Ruman M., Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska, Wyd. Wydz. Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, PTG oddział Katowice, RZGW Gliwice, Sosnowiec, 93–103.
5. Dębski K., 1970. Hydrologia. Arkady, Warszawa, 113–115.
6. Górecka M., 1994. Kompleksowa koncepcja regulacji potoku Bystrzec I. Część hydrotechniczna. Urząd Miejski w Gdańsku, Wydział Ochrony Środowiska i Rolnictwa, Gdańsk, materiały niepublikowane.
7. Jankowski A.T., 1996. Przemiany stosunków wodnych w rejonie Tarnowskich Gór od końca XV do końca XIX wieku. [w:] Jankowski A.T., Kaniecki A. (red.) Dziejowe przemiany stosunków wodnych na obszarach zurbanizowanych. Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, 42–53.
8. Kibler D.F. (ed.), 1982. Urban stormwater hydrology. American Geophysical Union's Water Resources Monograph Board, Washington D.C.
9. Michalczyk Z., 2009. Średnie i skrajne odpływy z obszaru Polski. [w:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J. (red.) Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych. FRUG, Gdańsk.
10. Nowacki J., Szumilas T. (red.) 2010. Monitoring cieków wodnych w Gminie Gdańsk w roku 2009. Gdański Uniwersytet Medyczny, Zakład Ochrony Środowiska i Higieny Transportu, Gdynia, Wydział Środowiska Urzędu Miejskiego w Gdańsku, materiały niepublikowane.
11. Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994. Hydrologia stosowana. PWN, Warszawa, ss. 324.
12. Stankowski S.J., 1972,. Population density as an indirect indicator of urban and suburban land-surface modifications in Geological Survey Research. 1972, Chapter B, United States Government Printing Office, Washington.
13. Wytyczne technicznych GIS – 3 Mapa Hydrograficzna Polski w skali 1:50 000 w formie analogowej i cyfrowej. 2005. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.