

Wstępna analiza zagrożenia podtopieniami w zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku

Mgr inż. Jakub Hakiel, dr hab. inż. Michał Szydłowski

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Potok Strzyża jest jednym z głównych naturalnych cieków powierzchniowych pełniących funkcję odbiornika wód opadowych i roztopowych w Gdańsku. Potok ten odbiera duże ilości wód deszczowych zarówno z obszarów zurbanizowanych, takich dzielnic jak: Wrzeszcz, Suchanino czy Srebrzysko, jak i terenów leśnych Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego. W związku z dość intensywną urbanizacją zlewni, w przypadku nawalnych deszczy w potokach sieci hydrograficznej Potoku Strzyża występują duże przepływy wody, które w połączeniu ze słabym stanem technicznym koryt i zabudowy hydrotechnicznej mogą powodować lokalne podtopienia. W ramach projektu „Monitorowanie, modelowanie i analiza zagrożenia powodziowego w małej zlewni miejskiej na przykładzie zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku” [3] wykonano podstawowe pomiary hydrometryczne w korytach cieków oraz dokładne pomiary geodezyjne przekrojów dolinowych, podłużnych oraz zabudowy hydrotechnicznej. Na podstawie tych danych wykonano opisane w artykule numeryczne obliczenia hydrauliczne sieci cieków powierzchniowych oraz przeprowadzono wstępną analizę zagrożenia podtopieniami w zlewni Potoku Strzyża.

CHARAKTERYSTYKA SIECI HYDROGRAFICZNEJ POTOKU STRZYŻA

Potok Strzyża w całości płynie w granicach administracyjnych miasta Gdańsk w województwie pomorskim. Jest to lewostronny dopływ Martwej Wisły, a swój bieg rozpoczyna na wzgórzach Migowskich (rys. 1). Całkowita długość Strzyży to około 12,8 km. W górnej części cieku biegnie on głównie przez tereny zielone (lasy), w dolnej i środkowej natomiast przez obszary miejskich zabudowań.

Koryto Potoku Strzyża jest bardzo zróżnicowane i wielokrotnie zmienia swój charakter. W górnym biegu jest to typowy przekrój naturalny, na terenach miejskich występują zarówno odcinki umocnione o pionowych ścianach, jak i o przekroju zbliżonym do dolinowego. Wielokrotnie ciek płynie w przepustach o przekrojach prostokątnych lub kołowych. Zlewnia Strzyży jest dość zróżnicowana na całej długości, a jej powierzchnia wynosi

33,898 km². Możliwy jest jej podział na dwie części o zasadniczo odmiennej charakterystyce, w górnym biegu dominują tereny zielone (parki, pola, łąki) oraz lasy, które stanowią łącznie około 60% powierzchni zlewni [3]. Pozostała część to głównie tereny mieszkalne oraz w niewielkim stopniu przemysłowe, które są położone w dolnym biegu cieku.

Potok Strzyża ma trzy dopływy, jeden lewostronny (Potok Matarnicki) oraz dwa prawostronne (Potok Jasień i Potok Królewski). Dodatkowo w skład sieci hydrograficznej wchodzi prawie całkowicie skanalizowany dopływ Potoku Królewskiego – Potok Jaśkowy. Strzyża po rozpoczęciu swojego biegu na wzgórzach Migowskich po około 1,5 km wpada do zbiornika retencyjnego Kiełpinek, w którym łączy się z Potokiem Matarnickim. Następnie, po przepłynięciu przepustem pod ul. Obwodową biegnie przez tereny leśne Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego. Tuż po opuszczeniu kompleksu leśnego, przez który Strzyża płynie około 2,5 km, do Potoku wpada jego prawostronny dopływ – Potok Jasień. Kolejne 2,9 km ciek płynie przez tereny o stosunkowo luźnej zabudowie mieszkalnej jednorodzinnej, aż do zbiornika Srebrzysko, gdzie przepustem przeprowadzony jest pod nową ul. Słowackiego, aby wpaść do swojego pierwotnego koryta. Kilometr dalej Strzyża znów przepustem przepływa na prawą stronę ul. Słowackiego. Następnie uregulowanym korytem dopływa do przepustu, który prowadzi ją aż na drugą stronę torów kolejowych, gdzie wypływa na powierzchnię przy ul. Jana Kilińskiego. Końcowy odcinek Strzyży w całości biegnie w korycie uregulowanym wśród terenów gęstej zabudowy mieszkalno-przemysłowej z licznymi przepustami pod zabudowaniami oraz ulicami. W odległości 1,64 km przed ujściem do Martwej Wisły do cieku wpada Potok Królewski, który wcześniej w zbiorniku Uphagena łączy się z Potokiem Jaśkowym.

Pierwszym z dopływów Strzyży jest Potok Matarnicki, który zaczyna swój bieg w pobliżu Centrum Handlowego Matarnia. Biegnie on wzdłuż Obwodnicy, aby po ponad 1,5 km wpaść do zbiornika retencyjnego Kiełpinek. Jego przepływ w większości stanowią wody deszczowe odprowadzane z parkingu tego Centrum.

Rozpatrywana część Potoku Jasień, który jest drugim w kolejności i co do wielkości przepływu dopływem Strzyży, rozpoczyna się w jeziorze Jasień. Jego koryto biegnie w górnym odcinku przez tereny zabudowy mieszkaniowej luźnej jednorodzinnej oraz ogródki działkowe, następnie płynie na terenach leśnych, gdzie około 0,5 km od ujścia wpada do niego okresowy Potok Wróbla Staw.

Ostatnim dopływem Strzyży jest Potok Królewski. Biegnie on od zbiornika Wileńska wzdłuż ul. Jana Sobieskiego, aby przy bibliotece Uniwersytetu Gdańskiego wpłynąć pod ziemię do przepustu o przekroju kołowym. W okolicach ul. Do Studzienki Potok Królewski na krótkim odcinku wypływa na powierzchnię, następnie przez przepust o przekroju prostokątnym przedostaje się pod terenem Politechniki Gdańskiej i al. Zwycięstwa. Na



Rys. 1. Schemat cieków w zlewni Potoku Strzyża na planie miasta Gdańsk

terenie parku Uphagena potok wpada do zbiornika Uphagena, gdzie łączy się z Potokiem Jańskowym. W końcowym odcinku ciek płynie zarówno w odcinkach skanalizowanych, jak i w korycie otwartym.

Wzdłuż biegu Potoku Strzyża znajduje się pięć znaczących zbiorników retencyjnych. Pierwszy z nich (Kiełpinek) położony jest na 10,541 km ciek i wpadają do niego zarówno źródłowy odcinek Strzyży, jak i Potok Matarnicki. Dodatkowo zbiornik ten jest odbiornikiem wód opadowych z terenów Centrum Handlowego AUCHAN. Na wylocie ze zbiornika zlokalizowany jest przepust o przekroju kołowym (1000 mm). Na odcinku położonym pomiędzy Trójmiejskim Parkiem Krajobrazowym a ul. Franciszka Rakoczego znajdują się następne trzy zbiorniki, kolejno są to: zbiornik Nowiec II, Górne Młyny oraz Ogrodowa. Są one stosunkowo nieduże w porównaniu do Kiełpina, jednak łącznie potrafią retencionować niewiele mniejszą od niego objętość wody. Ostatnim zbiornikiem retencyjnym na Potoku Strzyża jest zbiornik Srebrzysko zlokalizowany przy ul. Słowackiego na 4,812 km ciek. Jest to zdecydowanie największy ze wszystkich powyższych zbiorników.

Dodatkowo na pozostałych ciekach należących do sieci hydrograficznej Potoku Strzyża występują jeszcze cztery istotne zbiorniki retencyjne. Na Potoku Jasień jest to jezioro Jasień, na Potoku Wróbla Staw zbiornik o tej samej nazwie. Ostatnie dwa zlokalizowane są na Potoku Królewskim, zbiornik Wileńska w odcinku źródłowym oraz zbiornik Uphagena położony w parku Uphagena w miejscu dopływu Potoku Jańskiego.

W celu wykonania obliczeń hydraulicznych przedstawionych w dalszej części pracy niezbędne było uzyskanie danych dotyczących przepływów obliczeniowych. Było to możliwe dzięki wykonanemu modelowi hydrologicznemu zlewni Strzyży [3]. W opracowaniu tym, jako charakterystyczne epizody opadowe, przyjęto trzygodzinne deszcze o prawdopodobieństwach wystąpienia kolejno 1%, 10% oraz 20%. Obliczono natężenia przepływu odpowiadające omawianym opadom dla przekrojów charakterystycznych zamykających zlewnie cząstkowe [1], wykorzystane następnie do obliczeń hydraulicznych. W związku z tym, że planowane obliczenia miały być przeprowadzone dla ruchu ustalonego, w każdym z przekrojów, gdzie miał być zadany przepływ, należało znaleźć jego maksymalną wartość do danego epizodu opadowego.

MODEL HYDRAULICZNY POTOKU STRZYŻA

Do modelowania przepływów w korytach otwartych zwykle wykorzystuje się metody numeryczne [5]. Model hydrauliczny Potoku Strzyża był wykonany w programie komputerowym HE-C-RAS [2] w oparciu o charakterystykę hydrologiczną zlewni Potoku Strzyża [3] oraz o pomiary geodezyjne przekrojów dolinowych, podłużnych i budowli hydrotechnicznych [6] wykonanych specjalnie na potrzeby obliczeń hydraulicznych w zlewni Potoku Strzyża. Ogółem pomierzono 105 przekrojów dolinowych i większość przepustów drogowych występujących jako zabudowa hydrotechniczna potoków.

Tak stworzony szkielet modelu hydraulicznego należało uzupełnić o bardziej szczegółowe informacje dotyczące przekrojów. Jedną z podstawowych informacji zadawanych w programie jest współczynnik szorstkości według Manninga. Przyjęto go na

podstawie pomiarów hydrometrycznych i zróżnicowano zarówno na długości koryta, jak i w każdym przekroju poprzecznym. Ustalono również granicę rozdzielającą koryto główne potoków od terenów zalewowych, którą przyjęto indywidualnie dla każdego przekroju w zależności od jego kształtu. Następnym krokiem przy tworzeniu modelu hydraulicznego było zadanie charakterystyki budowli hydrotechnicznych zlokalizowanych w sieci Potoku Strzyża. Wprowadzono wszystkie przepusty zgodnie z opracowaniem geodezyjnym [6].

Po stworzeniu modelu geometrycznego sieci Potoku Strzyża należało wprowadzić do programu przepływy obliczeniowe oraz warunki brzegowe. Przyjęto wartości przepływów zgodne z tabl. 1. Warunek brzegowy górny dla wszystkich cieków w sieci przyjęto jako zadaną wartość natężenia przepływu, natomiast warunek dolny sformułowano jako znana wartość rzędnej zwierciadła wody (rzędna wody w Martwej Wiśle).

Obliczenia hydrauliczne wykonano do trzech epizodów opadowych i odpowiadających im przepływów miarodajnych. Do ich wykonania wykorzystano model przepływu ustalonego ze skokowymi zmianami wartości natężenia przepływu wzdłuż potoków. Charakter przepływu ustalono jako mieszany, co pozwala na dokonanie obliczeń zarówno dla ruchu rwącego, jak i spokojnego.

W tabl. 1 ÷ 4 przedstawiono wyniki obliczeń hydraulicznych do odcinków zagrożonych podtopieniami. Ich identyfikacja polegała w tym wypadku na porównaniu rzędnej zwierciadła wody z rzędnymi koryta ciek w każdym z opracowanych przekrojów obliczeniowych. W sytuacji, gdy rzędna ta przekraczała poziom wody brzegowej, takie miejsce zakwalifikowywano do grupy zagrożonych powodziowo.

Na odcinkach źródłowych potoków mają miejsce jedynie niewielkie wystąpienia wody z koryta, co ze względu na charakter przyległych terenów (tereny leśne, rolnicze, luźna zabudowa) stanowi mniejsze zagrożenie niż w odcinkach ujściowych. W związku z tym najistotniejsza staje się więc część sieci Potoku Strzyża położona poniżej dopływu do ciek głównego Potoku Jasień (7,699 km). Tereny te są zurbanizowane i ze względu na charakter terenów zalewowych (zabudowa, tereny uszczelnione) woda, która wykroczy z koryta, powoduje groźniejsze podtopienia i może prowadzić do większych strat materialnych [4].

Na rys. 2 ÷ 4 przedstawiono przykładowe odcinki, na których może występować wysoki stan wody i zagrożenie podtopieniami w przypadku wystąpienia nawalnych deszczy o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$ (fragmenty Potoku Strzyża podczas nawalnych deszczy, które miały miejsce dnia 25 czerwca 2013 roku w Gdańsku).

Przepust przedstawiony na rys. 2 znajduje się między przekrojami obliczeniowymi zlokalizowanymi na 2,204 i 2,191 km potoku. Woda na tym odcinku nie występuje z koryta, jednak płynie ona pełnym przekrojem przewodu, co przy większym natężeniu przepływu może powodować spiętrzenie przed wlotem do przepustu. Odcinki z rys. 2 i 3 znajdują się w okolicy 1,640 km potoku, co pokrywa się z odcinkiem zagrożonym wystąpieniem wody z koryta (tabl. 1).

Na długości Potoku Matarnickiego woda przekroczyła linię brzegową na stosunkowo dużej długości, jednak napełnienia na tych odcinkach nie są szczególnie duże. Poza tym, należy

Tabl. 1. Zestawienie wyników obliczeń dla Potoku Strzyża

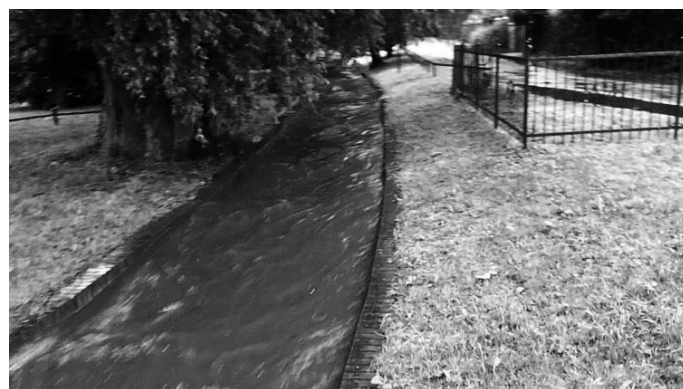
Przybliżona lokalizacja	Km	$Q_{\max 1\%}$ [m ³ /s]	Poziom wody przy $Q_{\max 1\%}$ [m n.p.m.]	Poziom wody brzegowej [m n.p.m.]
Odcinek źródłowy	11,276	5,52	116,33	116,13
	11,059		112,16	112,11
Przed zbiornikiem Kiełpinek	10,720	5,52	108,94	108,45
	10,589		108	107,38
	10,577		108	107,38
	10,544	7,27	107,98	107,35
	10,372		107,97	107,29
Przed zbiornikiem Nowiec II	7,780	7,27	69,53	68,59
	7,712		68,72	67,60
	7,702		68,46	67,12
	7,699	10,93	68,49	67,04
	7,650		66,23	66,83
Za zbiornikiem Górne Młyny	7,395	11,41	65,34	63,84
	7,383		65,34	64,96
	7,371		65,33	63,84
	7,255		62,1	61,78
	7,218		62,07	61,45
Przed zbiornikiem Dolne Młyny	6,846	11,41	56,81	55,91
	6,818	11,56	56,46	55,79
Przed zbiornikiem Ogrodowa	6,360	11,56	50,31	50,04
	6,006		47,22	47,26
Przed zbiornikiem Srebrzysko	5,320	12,98	40,64	38,8
	5,288		40,34	38,77
	5,180		39,16	37,02
	5,167		38,92	38,24
	4,800	8,65	38,07	36,97
Przed przepustem pod ul. Słowackiego	4,150	8,65	28,80	28,41
	4,126		28,60	28,31
	4,120		28,29	28,24
Koryto wzdłuż ul. Kilińskiego	2,702	9,03	15,84	13,88
	2,626		15,85	14,93
	2,580		12,92	12,85
Przed przepustem pod ul. Hallera	1,752	9,03	7,55	6,23
	1,640		7,5	5,59
	1,640	26,41	6,57	5,59
	1,540		6,66	4,78
Przed przepustem pod ul. Marynarki Polskiej	1,500	26,41	5,54	4,76
	1,488		5,6	4,75
	1,276	28,54	5,44	4,59
	1,246		5,45	4,38
	1,238		5,07	4,41
	1,170	28,17	5,04	4,29
	1,165		4,75	4,66
1,145	4,55		4,56	



Rys. 2. Przepust pod mostkiem w okolicy ul. Aldony (źródło: <http://www.trójmiasto.pl>)



Rys. 3. Dopływ Potoku Królewskiego do Potoku Strzyża (źródło: <http://www.trójmiasto.pl>)



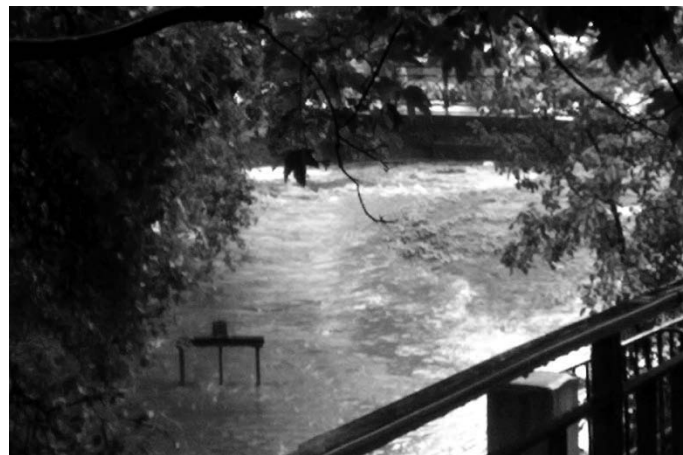
Rys. 4. Koryto Potoku Strzyża w Parku „Nad Strzyżą” (źródło: <http://www.trójmiasto.pl>)

zwrócić uwagę, że cały ciek znajduje się na terenach niezurbanizowanych, więc nie występuje tu zagrożenie podtopieniami zabudowy mieszkalnej, czy też przemysłowej.

Na Potoku Jasień zagrożenie podtopieniami wystąpiło jedynie na krótkim odcinku ciek przed dopływem do Potoku Strzyża. Są to niezurbanizowane tereny Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego, na których nie zaobserwowano żadnej infrastruktury czy jakiegokolwiek zabudowy.

Tabl. 2. Zestawienie wyników obliczeń dla Potoku Matarnickiego

Przybliżona lokalizacja	Km	$Q_{\max 1\%}$ [m ³ /s]	Poziom wody przy $Q_{\max 1\%}$ [m n.p.m.]	Poziom wody brzegowej [m n.p.m.]
Odcinek źródłowy	1,500	4,13	129,8	129,08
	1,470	4,13	129,8	129,63
	1,410	4,13	129,6	129,51
Przed zbiornikiem Kiełpiniek	0,400	4,13	117,53	116,40
	0,258	4,13	112,88	112,89
	0,206	4,13	108,07	107,95
	0,140	4,13	108	106,21
	0,000	4,13	107,98	106,14



Rys. 5. Zatopiona zastawka na dopływie do zbiornika Uphagena (źródło: <http://www.trójmiasto.pl>)

Tabl. 3. Zestawienie wyników obliczeń dla Potoku Jasień

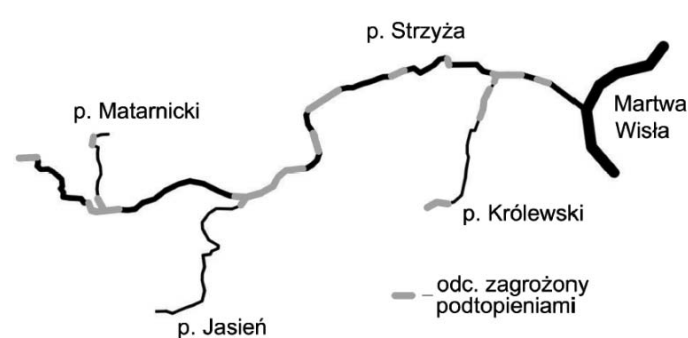
Przybliżona lokalizacja	Km	$Q_{\max 1\%}$ [m ³ /s]	Poziom wody przy $Q_{\max 1\%}$ [m n.p.m.]	Poziom wody brzegowej [m n.p.m.]
Przed zbiornikiem Nowiec II	0,081	2,25	68,52	67,9
	0,000	2,25	66,23	66,83



Rys. 6. Zbiornik Uphagena (źródło: <http://www.trójmiasto.pl>)

Tabl. 4. Zestawienie wyników obliczeń dla Potoku Królewskiego

Przybliżona lokalizacja	Km	$Q_{\max 1\%}$ [m ³ /s]	Poziom wody przy $Q_{\max 1\%}$ [m n.p.m.]	Poziom wody brzegowej [m n.p.m.]
Odcinek przed przepustem pod PG	1,592	9,23	18,26	17,23
	1,572	9,23	18,06	17,00
Odcinek przed przepustem pod nasypem kolejowym (zbiornik Uphagena)	0,588	9,4	11,66	8,21
	0,481	9,4	11,65	8,30
	0,464	16,5	11,59	8,00
	0,399	16,5	11,61	7,93
	0,363	16,5	9,5	8,58
	0,314	16,5	9,53	9,40



Rys. 7. Przybliżona lokalizacja odcinków zagrożonych przy przepływie maksymalnym o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$

Podczas analizy Potoku Królewskiego szczególnie duże wartości napełnienia wody w korycie otrzymano na odcinku w okolicy zbiornika retencyjnego Uphagena za ul. Grunwaldzką. Przepust pod ul. Jana Uphagena okazał się niewystarczająco duży, aby można było przeprowadzić przez niego przepływ wody o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$.

Na rys. 5 ÷ 6 przedstawiono rzeczywisty stan wody w zbiorniku Uphagena podczas nawalnych deszczy zaobserwowanych 25 czerwca 2013 roku w Gdańsku.

Wysoki stan wody w zbiorniku Uphagena (0,588 ÷ 0,399 km potoku) zaobserwowany podczas wezbrania pokrywa się z wynikami obliczeń do odpowiadającemu mu odcinka potoku Królewskiego (tabl. 4), napełnienie przyjmuje w tym miejscu

wartości największa z wyników dla całej sieci Potoku Strzyża (tabl. 1 ÷ 4).

Jako najważniejszą interpretację wyników obliczeń podano przybliżoną lokalizację odcinków, na których przy wystąpieniu wody stuletniej może dojść do lokalnych podtopień na planie miasta Gdańsk (rys. 7).

PODSUMOWANIE

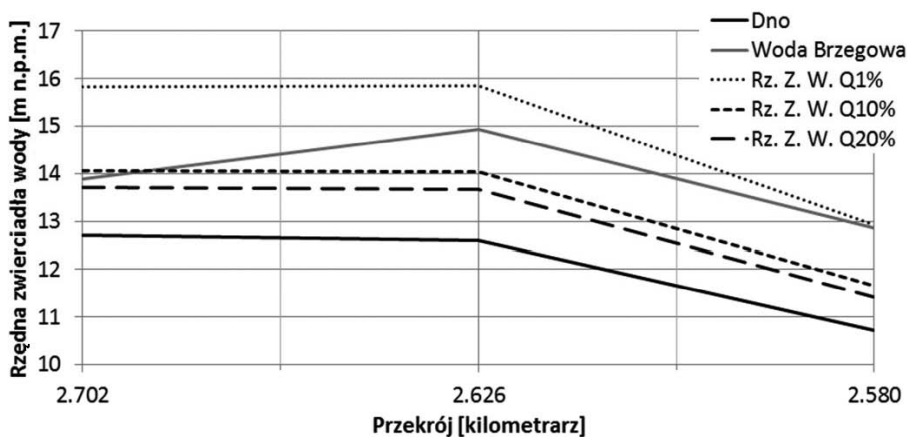
Uzyskane wyniki można potraktować jako wstępną ocenę zagrożenia powodziowego na obszarach położonych wzdłuż cieków zlewni Potoku Strzyża. Cieki te są w dużej części skanalizowane i właśnie w tych rejonach często dochodzi do nadmiernych spięrzeń zwierciadła wody. Trzeba pamiętać, że na terenach zurbanizowanych na prawdopodobieństwo wystąpienia podtopień bardzo duży wpływ ma zarówno sprawność urządzeń odbierających wodę z powierzchni nieprzepuszczalnych, jak i kanalizacji deszczowej.

Analizując wyniki obliczeń zauważono, że zagrożenie podtopieniami występuje niemal jedynie przy napełnieniach obliczonych przy przepływie o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$. Pozostałe przepływy maksymalne (o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 10\%$ oraz $p = 20\%$) mogą powodować wystąpienie wody z koryta jedynie w dolnym odcinku Potoku Królewskiego (0,580 ÷ 0,000 km), jednak skala tego zagrożenia jest zdecydowanie mniejsza niż w przypadku przepływu stuletniego ($p = 1\%$).

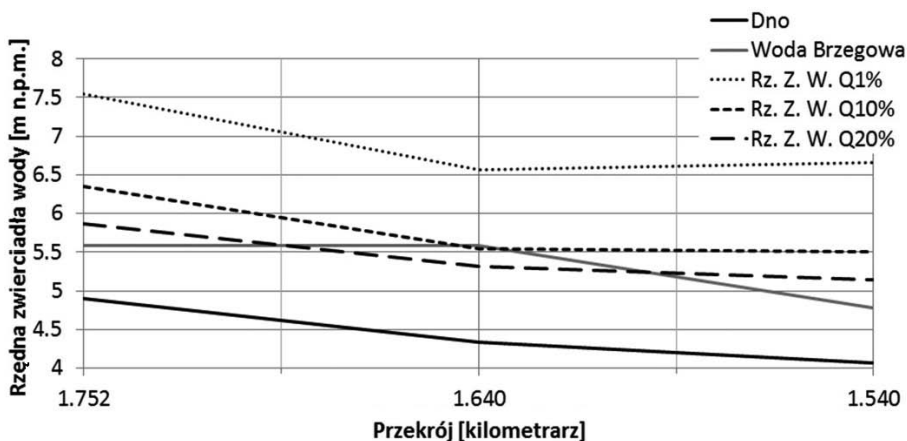
Na rys. 8 ÷ 10 przedstawiono profile zwierciadła wody na opisanych w tabl. 5 odcinkach przy wszystkich wariantach obliczeniowych. Wyniki te zestawiono z linią rzędnych wody brzegowej.

Tabl. 5, Zestawienie wyliczonych napełnień w przekrojach najbardziej zagrożonych przy trzech przepływach

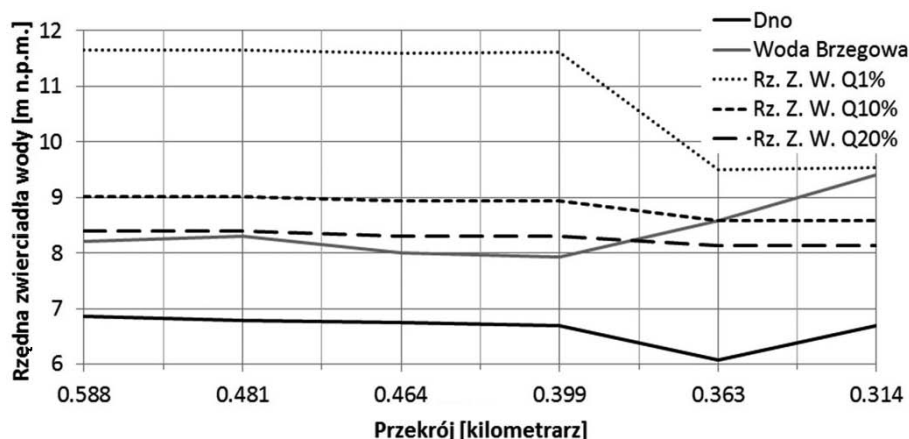
Przybliżona lokalizacja	Km	Rzędna dna [m n.p.m.]	Napełnienie przy $Q_{\max 1\%}$ [m]	Napełnienie przy $Q_{\max 10\%}$ [m]	Napełnienie przy $Q_{\max 20\%}$ [m]
Potok Strzyża					
Koryto wzdłuż ul. Kilińskiego	2,702	12,71	3,13	1,36	1,00
	2,626	12,59	3,26	1,46	1,08
	2,580	11,83	1,09	0,65	0,47
Przed przepustem pod ul. Hallera	1,752	4,90	2,65	1,45	0,96
	1,640	4,33	3,17	1,99	1,50
	1,540	4,07	2,59	1,43	1,07
Potok Królewski					
Odcinek przed przepustem pod nasypem kolejowym (zbiornik Uphagena)	0,588	6,86	4,80	2,16	1,54
	0,481	6,78	4,87	2,23	1,61
	0,464	6,74	4,85	2,19	1,57
	0,399	6,70	4,91	2,23	1,61
	0,363	6,08	3,42	2,50	2,05
	0,314	6,70	2,83	1,88	1,43



Rys. 8. Profil zwierciadła wody na odcinku Potoku Strzyża wzdłuż ul. Kilińskiego



Rys. 9. Profil zwierciadła wody na odcinku Potoku Strzyża przed przepustem pod ul. Hallera



Rys. 10. Profil zwierciadła wody na odcinku Potoku Królewskiego przed przepustem pod nasypem kolejowym

Podstawową przyczyną tak często występujących dużych napężeń wody w korycie w dolnych odcinkach potoków przy przepływie o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$ są przepusty i odcinki skanalizowane o zbyt małej przepustowości. W związku z miejskim charakterem tej części sieci hydrograficznej Potoku Strzyża stanowią one znaczną część cieków. W przypadku koryta Strzyży kluczowy jest odcinek końcowy (1,640 ÷ 0,000 km), poniżej ujścia do niego Potoku Królewskiego. Na Potoku Królewskim natomiast żaden z przepustów, poza przewodem prowadzącym wody pod terenami Politechniki Gdańskiej (1,581 ÷ 0,588 km), nie jest wystarczająco duży, aby przejąć rozpatrywany przepływ. Na odcinkach powyżej terenów zurbanizowanych nie występują wystąpienia wody z koryta związane z przepustami, pojedyncza zabudowa hydrotechniczna przejmuje przepływ, który w początkowych odcinkach sieci jest zdecydowanie mniejszy.

Jak wynika z dokonanych obliczeń w całej sieci hydrograficznej Potoku Strzyża znajduje się wiele odcinków, na których występuje zagrożenie powodziowe. Jako że potok ten jest odbiornikiem dużej ilości wód opadowych, jest to istotny ciek w gospodarce wodami opadowymi w Gdańsku. Na podstawie wstępnie zidentyfikowanych miejsc występowania zagrożeń powodziowych można wybrać odcinki skanalizowane, dla których istotna będzie szczegółowa analiza hydrauliczna możliwości wystąpienia wody na powierzchni terenu i pojawiania się zagrożenia podtopieniami terenów miejskich.

LITERATURA

1. Byczkowski A.: Hydrologia, Tom II, Wyd. SGGW, 1996.
2. Davis: HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers, 1997.
3. Szydłowski M. (red.): Charakterystyka hydrologiczna zlewni Potoku Strzyża. Model hydrologiczny opad – odpływ. Załącznik do raportu z realizacji projektu badawczo – rozwojowego p.t. „Monitorowanie, modelowanie i analiza zagrożenia powodziowego w małej zlewni miejskiej na przykładzie zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku”, PG, Gdańsk 2012.
4. Szydłowski M.: Modelowanie fal powodziowych na terenach zabudowanych, Monografia PG zeszyt 86, Gdańsk, 2007.
5. Szymkiewicz R.: Metody numeryczne w inżynierii wodnej, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2007.
6. Wysocki T. DEMO: Pomiary geodezyjne. Operat techniczny z wykonania przekrojów dolinowych oraz pomiarów przepustów drogowych, Gdańsk 2013.

PODZIĘKOWANIE: Praca napisana w ramach projektu „Monitorowanie, modelowanie i analiza zagrożenia powodziowego w małej zlewni miejskiej na przykładzie zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku” współfinansowanego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku.