

Jadwiga KRÓLIKOWSKA¹, Andrzej KRÓLIKOWSKI²,
Tadeusz ŻABA³

¹Institut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska

²Institut Inżynierii Środowiska
Podhalańska Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa
w Nowym Targu

³Institut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska
Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie

MAPA RYZYKA UTRATY BEZPIECZEŃSTWA KANALIZACJI DESZCZOWEJ. DZIAŁANIA PREWENCYJNE NA PRZYKŁADZIE MIASTA KRAKOWA

HAZARDS MAPPING FOR A STORM WATER SEWER SYSTEM - PREVENTIVE ACTIONS IN THE CITY OF KRAKOW

One may be tempted to pronounce that a sewer system infrastructure, in the recent years, operates and develops in the atmosphere of risk and uncertainty. It concerns mostly the systems that discharge storm water i.e. storm water sewer systems and combined sewer systems. There is no doubt about it that such systems become a potential source of hazard for their users, the users of other systems influenced by the sewer system and the entire environment. The work describes the storm water sewer system at the City of Krakow and its main operation problems. The authors proposed the method of risk assessment for operational reliability of such systems.

1. Wprowadzenie

Można pokusić się o stwierdzenie, że infrastruktura kanalizacyjna w obecnych czasach funkcjonuje i rozwija się w klimacie niepewności i ryzyka. Dotyczy to szczególnie systemów odprowadzających wody opadowe czyli kanalizacji deszczowej i kanalizacji ogólnospławnej. Nie ulega wątpliwości, że systemy te stanowią potencjalne źródło zagrożenia dla swoich użytkowników, użytkowników innych systemów znajdujących się w obszarze wpływu sieci kanalizacyjnej oraz dla środowiska. Klimat niepewności i ryzyka dotyczy zarówno niekorzystnych zjawisk pogodowych, których występowanie nasiliło się w ostatnich latach jak również faktu, że istniejące systemy nie nadążają za

rozwojem urbanistycznym jednostek osadniczych. Wody opadowe, które w poprzednim stuleciu traktowane były jako umownie czyste obecnie charakteryzują się pod względem jakości dużą zmiennością, a ładunek zanieczyszczeń niesiony z wodami opadowymi jest porównywalny z ładunkiem zanieczyszczeń pochodzących od ścieków komunalnych. Stąd też wody te, odprowadzane zamkniętymi kanałami, uważa się za ścieki. W odniesieniu do kanalizacji grawitacyjnej (dominującej w warunkach krajowych) dochodzi dodatkowy czynnik tj. przeważnie dyskretny stan oczekiwania na naprawę. Ryzyko wystąpienia awarii i związanych z nią skutków zwiększa także rozległość większości sieci kanalizacyjnych.

Scenariusze sytuacji awaryjnych, związanych z określonym zagrożeniem w odniesieniu do sieci kanalizacyjnych to np.:

- Uszkodzenie głównych kolektorów, kanałów zbiorczych,
- Uszkodzenie newralgicznych obiektów na sieci np. pompowni, zbiorników retencyjnych, syfonów kanalizacyjnych
- Powódź,
- Globalny zanik dostawy energii elektrycznej,
- Niekontrolowane zrzuty ścieków o działaniu szkodliwym,
- Trzęsienia ziemi
- Tąpnięcia górnicze,
- Przypadkowe działania nieodpowiedzialne (wandalizm, terroryzm).

Każde z wymienionych scenariuszy sytuacji awaryjnej pojawia się z określonym prawdopodobieństwem, wywołując niepożądane skutki (straty), możliwe w trzech płaszczyznach: technicznej, ekonomicznej oraz środowiskowo-społecznej. Może to być:

- Skażenie środowiska,
- Obniżenie standardu życia mieszkańców,
- Podtopienie budowli,
- Zalanie terenów,
- Zachorowalność na choroby związane z zanieczyszczeniem otoczenia,
- Opłaty z tytułu odszkodowań,
- Opłaty środowiskowe (Królikowska J, 2010).

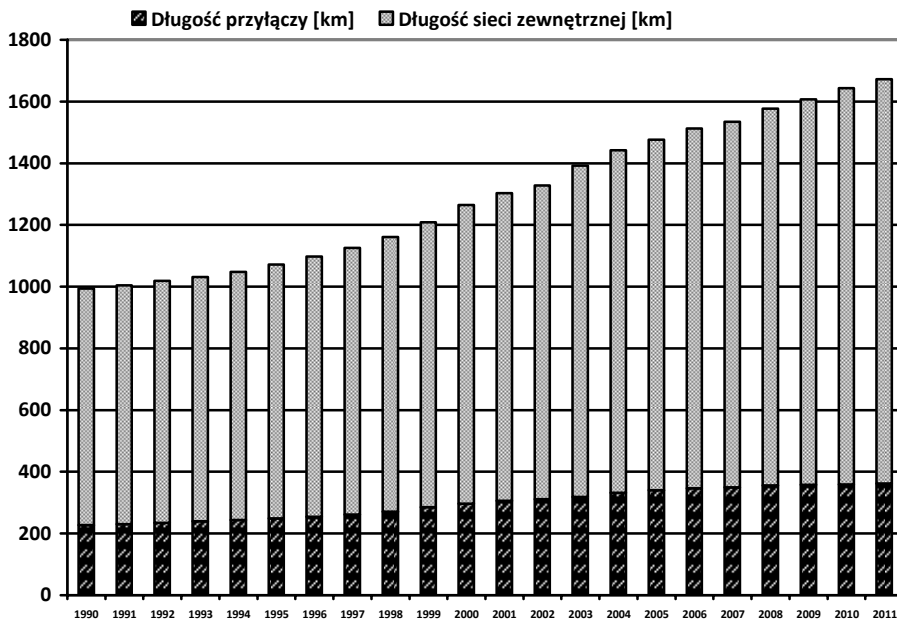
W artykule podjęto próbę analizy możliwości bezpiecznego zebrania i odprowadzenia wody opadowej w mieście Krakowie.

2. Charakterystyka systemu odprowadzenia wód opadowych z terenu miasta Krakowa i jego główne jego problemy eksploatacyjne

System kanalizacyjny miasta składa się z dwóch oddzielnych systemów posiadających własne oczyszczalnie ścieków. System krakowski z oczyszczalnią ścieków w Płaszowie obsługuje około 500 tys. mieszkańców, a system nowohucki - z oczyszczalnią Kujawy - około 250 tys. mieszkańców. Obydwa systemy pracują grawitacyjnie, jednak z uwagi na intensywną rozbudowę systemu w ostatnich latach pracuje na nim 60 pompowni ścieków obsługujących wybrane rejon miasta. W rejonach, w których grawitacyjne odprowadzenie ścieków do systemu centralnego jest ze względów wysokościowych niemożliwe, funkcjonują lokalne sieci kanalizacyjne z lokalnymi oczyszczalniami

ścieków (rys.4). Kanalizacja Krakowa i Nowej Huty rozwiązana jest w systemie ogólnospławnym w centralnych rejonach miasta, a na jego obrzeżach w systemie rozdzielczym.

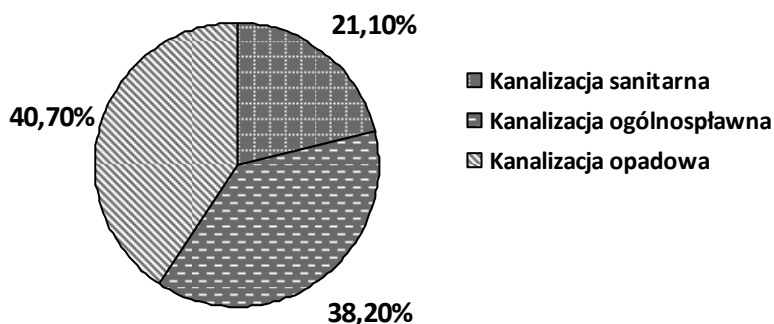
Długość sieci kanalizacyjnej miasta Krakowa obecnie wynosi 1643 km (stan na styczeń 2012) – łącznie sieci i przyłączy kanalizacyjnych i ciągle rośnie. Prognozuje się, że w ciągu najbliższych 10 lat przyrost długości sieci kanalizacyjnej wyniesie aż 330 km (rys. 1).



Rys.1. Długość sieci kanalizacyjnej miejskiej w Krakowie w okresie 22 lat (1991-2011).

Fig. 1. Length of the municipal sewer system in Krakow (years 1991-2011).

Procentowy podział rodzajów kanalizacji miasta Krakowa przedstawia rys. 2 i wynika z niego, że na odprowadzenie wód opadowych i roztopowych przypada ponad 60% całkowitej długości sieci kanalizacyjnej miasta (kanalizacja ogólnospławną i kanalizacją deszczową). Warto wspomnieć, że z tych ponad 20% długości kanalizacji deszczowej (około 343 km) zaledwie około 8% (27 km) jest na majątku Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie, pozostałą część Przedsiębiorstwo tylko eksploatuje, a właścicielem jest Zarząd Infrastruktury Komunikacji i Transportu w Krakowie.



Rys.2. Procentowy udział poszczególnych sieci kanalizacyjnych

Fig. 2. Percentage of the particular sewer systems

Kraków znajduje się na dolnej granicy umiarkowanie ciepłego piętra klimatycznego Karpat, jako odmiana klimatu kotlin. Wiąże się z tym napływ na obszar miasta różnych mas powietrza, głównie polarno-morskiego, powodującego w zimie odwilże i opady, a w lecie ochłodzenie, opady i burze oraz w mniejszym stopniu – ciepłego w ciągu całego roku zwrotnikowo-morskiego lub kontynentalnego, a także chłodnego i suchego powietrza arktycznego. Poniżej przedstawiono podstawowe cechy charakterystyczne dla klimatu Krakowa:

- średnia temperatura roczna: $8,1 \div 8,5^{\circ}\text{C}$;
- długość zimy w dniach: $71 \div 77$;
- długość okresu wegetacyjnego: 222 dni (od 30 marca do 30 listopada);
- stuletnia średnia suma roczna opadów w Krakowie: 665 mm;
- roczna suma opadów atmosferycznych: $420 \div 900$ mm;
- największe sumy miesięczne opadów przypadają na lipiec (ok. 100 mm), a najmniejsze na styczeń lub luty (ok. 29 mm);
- średnia liczba dni w roku z opadem: 170;
- najwięcej dni z opadem przypada na czerwiec i lipiec (ok. 15) a najmniej na wrzesień i październik (ok. 11);
- okresy ciszy w ciągu roku: do 30%;
- przeważającym kierunkiem wiatrów jest: południowo – zachodni a następnie zachodni i północno-wschodni;
- najwięcej dni z wiatrem silnym (powyżej 10 m/s) występuje w miesiącach zimowych (w ciągu roku jest ich nieraz ponad 20);
- liczba dni pochmurnych w ciągu roku: 160;
- liczba dni bezchmurnych w ciągu roku: 37.

Warunki klimatyczne przekładają się bezpośrednio na intensywność i wysokość opadów atmosferycznych, co niesie dla miasta określone skutki związane z podtopieniami. Zagrożenia powodziowe dla miasta występują również od strony systemu kanalizacji deszczowej, wynikają głównie z faktu, iż w dużej części odwodnienie miasta funkcjonuje w postaci kanalizacji ogólnospławnej. Jej istotą jest połączenie z rzekami poprzez przelewy burzowe, które mają za zadanie odciążenie kolektorów głównych w okresie intensywnych opadów atmosferycznych poprzez zrzuty nadmiernych ilości mieszaniny ścieków rozcieńczonych wodami deszczowymi do odbiornika. Wody opadowe są odprowadzane z systemu kanalizacji za pośrednictwem 34 przelewów.

- Kolektor lewo – i prawobrzeżny Wisły - 14 szt.
- Kolektor lewo – i prawobrzeżny Wilgi - 10 szt.
- Kolektor wzdłuż rzeki Rudawy – 2 szt.
- Kolektor wzdłuż rzeki Białuchy – 4 szt.
- Kolektor F – Nowa Huta – 4 szt.

Przelewy burzowe stanowią potencjalne zagrożenie powodziowe dla obszarów miasta, wyloty burzowców są położone poniżej poziomu wód powodziowych. Aby temu zapobiec na wylotach tych stosuje się zamknięcia, które uniemożliwiają przedostawanie się wód z rzeki poprzez system kanalizacji burzowej do miasta. Jednak zamknięcie przelewów burzowych, a więc zablokowanie możliwości odprowadzania wód opadowych z terenu miasta do odbiorników może skutkować w niekorzystnych sytuacjach przepięnięciem kanałów głównych, utrudnieniem odpływu z sieci osiedlowych aż do popiętrzenia ścieków w kanalizacji wewnętrznej, a w skrajnych przypadkach wylewanie się ścieków przez włazy studzienek. Przykładem takich stanów była powódź w roku 2010, którą charakteryzowało:

- bardzo wysokie i długotrwałe (ok. 10 dni) stany wód na rzece Wiśle (określane jako woda 170 letnia) powodujące konieczność długotrwałego (ponad 9 dni) utrzymywania w stanie zamkniętym przelewów burzowych.

- długotrwałymi i intensywnymi opadami deszczu na terenie miasta, co powodowało, iż praktycznie nie istniała naturalna retencja jego obszaru.

Stan taki skutkował wystąpieniem bardzo wielu lokalnych podtopień, nawet w miejscach, w których do tej pory takie stany nie występowały. Ostatnia powódź w 2010 roku wykazała, że mimo, iż wcześniej na przestrzeni kilkudziesięciu lat zamknięcia przelewów burzowych były wykonywane na kilka do kilkudziesięciu godzin, a następnie po obniżeniu poziomu rzek były otwierane, to ostatnio przelewy burzowe były zamknięte przez prawie 10 dni. Stanu takiego nie pamiętają nawet najstarsi pracownicy wodociągów i kanalizacji.

Istotnym problemem Krakowa jest niedoskonały system odwadniania miasta, którego główny szkielet został wybudowany w latach 60 ubiegłego stulecia przy zupełnie innych niż obecnie założeniach urbanistycznych, a także stan techniczny obiektów zbierających wody opadowe np. rowów, wpustów ulicznych. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne podczas jednoczesnego występowania intensywnych opadów deszczu nad Krakowem i wysokich stanów wód w Wiśle.



Rys. 3. Przykład niedrożności wpustów ulicznych

Fig. 3. Example of road groove blocked

Obok niedrożności i niewydolności elementów systemów odwodnienia kolejnymi przyczynami podtopień są nielegalne odwodnienie posesji poprzez podłączenie ich do systemu kanalizacji ściekowej, montaż przyborów sanitarnych poniżej dopuszczalnej rzędnej w adoptowanych do celów użytkowych pomieszczeniach na najniższych kondygnacjach oraz ciągle uszczelnianie powierzchni na terenie całego miasta.

W związku z powyższym pojawiły się nowe problemy i zagrożenia dla systemu odwodnienia miasta. Z jednej strony jest to kurczenie się naturalnej retencji systemu odwodnienia, a z drugiej postępująca intensywnie zabudowa i dążenie do maksymalnego wykorzystania wolnych przestrzeni skutkuje występowaniem lokalnych problemów z odprowadzeniem wód opadowych.

Strefy podwyższonego ryzyka wystąpienia podtopień przedstawia mapa na rys. 4. Mapy ryzyka powodziowego są zwykle tworzone na podstawie przewidywanych rezultatów modelowania hydrodynamicznego. Prezentowane strefy zostały opracowane na podstawie analizy rzeczywistych przypadków, uwzględniając:

1. Nawalne deszcze – w takim przypadku ryzyko podtopień praktycznie jest bardzo mocno powiązane z rejonem opadów i praktycznie nie jest zależne od pracy systemu kanalizacyjnego.
2. Podtopienia spowodowane długotrwałymi opadami i wysokim stanem wód w rzekach.

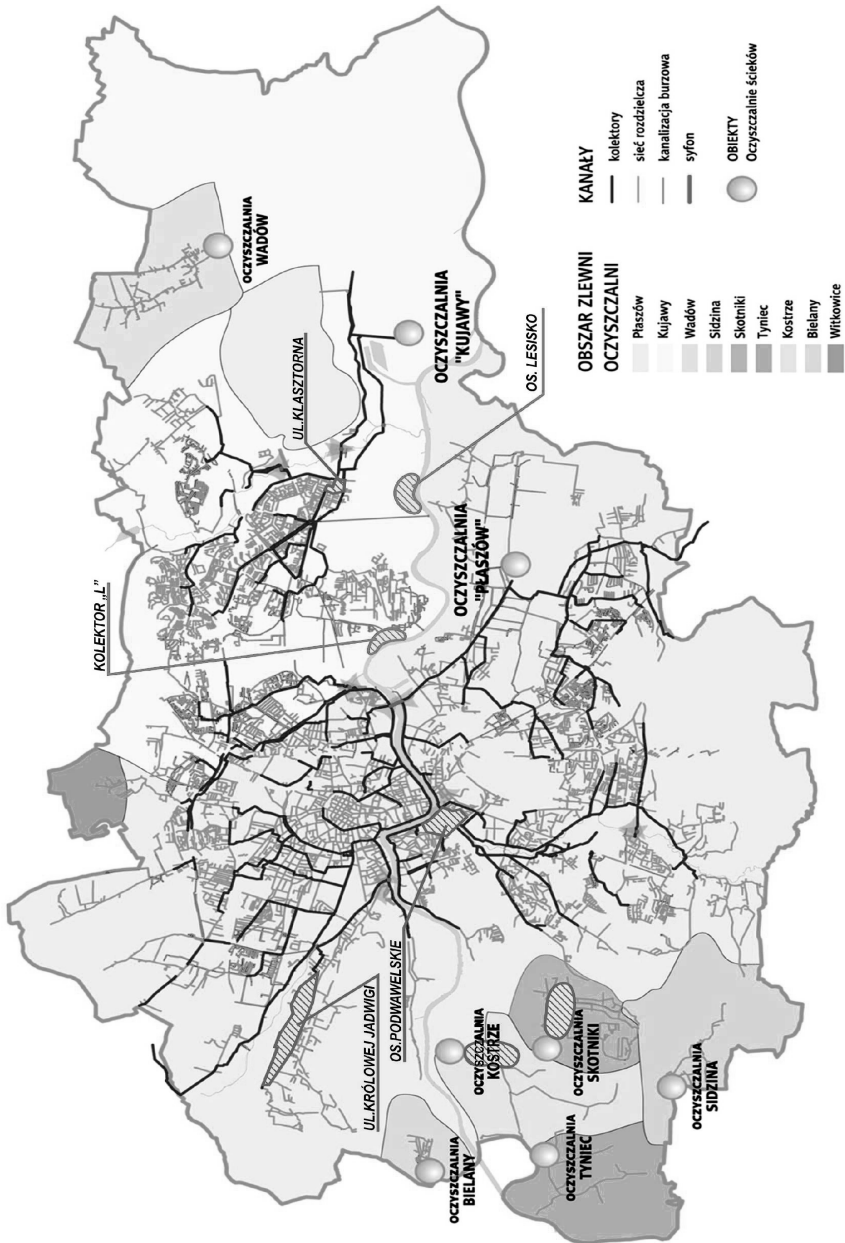
Podwyższone ryzyko podtopienia występuje zarówno dla zlewni objętych systemem kanalizacji ogólnospławnej (5 rejonów) jak i kanalizacji deszczowej (2 rejon).

Dla kanalizacji ogólnospławnej są to:

1. Rejon oczyszczalni Kostrze - brak przepompowni na wysokie stany wód potoku Kostrzeckiego, który stanowi odbiornik dla oczyszczalni Kostrze. Przy wysokim poziomie wody w Wiśle odpływ z potoku zostaje wstrzymany i nie ma odbiornika dla oczyszczalni, co powoduje powstawanie lokalnych podtopień – ryzyko wystąpienia bardzo duże,
2. Rejon oczyszczalni Skotniki - brak kanalizacji opadowej, co powoduje, że do kanalizacji sanitarnej dostają się wody opadowe,
3. Prawostronny kolektor rzeki Rudawy w kierunku ul. Emaus Wola Justowska – brak kanalizacji opadowej, co powoduje, że do kanalizacji sanitarnej dostają się wody deszczowe. Planuje się budowę przelewu burzowego do rzeki Rudawy,
4. Oś. Podwawelskie, ul. Komandosów – przy wysokich stanach Wisły następują podtopienia. Planowana jest modernizacja pompowni Wilga,
5. Ul. Klasztorna – problem wynikły z likwidacji dawnego przelewu na okoliczne łąki.

Dla kanalizacji deszczowej są to:

1. Kolektor „L” przy ul. Nowohuckiej w rejonie „Selgrossa” - brak pompowni na wysokie stany powoduje podtopienia wodami opadowymi ulicy Nowohuckiej i Alei Pokoju – między innymi M1 i budynków Telewizji Kraków,
2. Okolice Lesiska - brak pompowni na wysokie stany powoduje, iż wody spływające z okolicznych pól spływają na ul. Podbipięty powodując lokalne podtopienia.



Rys. 4. Strefy podwyższonego ryzyka wystąpienia podtopień

Fig. 4. High flood risk zones

Przy obecnym obszarze miasta i systematycznym wypieraniu terenów zielonych przez utwardzone drogi i place oraz dachy budynków a także coraz częstszych intensywnych opadów atmosferycznych do przepełnienia kanałów dochodzić będzie coraz częściej. Jest to szczególnie widoczne w kanalizacji ogólnospławnej. W tej sytuacji konieczne jest zaplanowanie i przeprowadzenie modernizacji, a także rozbudowy tego systemu, które ograniczą lokalne podtopienia występujące w sieciach osiedlowych. Z uwagi na dogęszczanie zabudowy również pojawiają się problemy z kanalizacją sanitarną, która na pewnych odcinkach jest przeciążona. Mając świadomość powyższych faktów aktualnie dopuszcza się grawitacyjne odprowadzenie ścieków tylko z kondygnacji naziemnych, zaś cała infrastruktura zlokalizowana poniżej poziomu terenu wymaga zastosowania przepompowni. Takie rozwiązanie pozwoli na eliminację tzw. „cofek” z kanalizacji w kierunku budynku. Kolejną kwestią jest wprowadzenie retencjonowania wód opadowych, co pozwoli na ograniczenie chwilowych dużych przepływów. Następnym działaniem jest projektowanie systemów rozdzielczych kanalizacji dla nowych terenów.

Istotnym elementem jest również wprowadzenie pompowni na wysokie stany przy przelewach burzowych, co pozwoli na możliwość odprowadzania wód opadowych nawet w sytuacjach długotrwałych wysokich stanów rzek stanowiących odbiornik dla wód opadowych.

Ponadto, dla poprawy działania systemu odwadniania miast należy konsekwentnie ograniczać zabudowę obrzeży cieków wodnych i rowów. Pozwala to zarówno na łatwy dostęp do tych obiektów w celu wykonania prac zachowawczych, przyczynia się do zwiększenia retencyjności zlewni, a także ułatwia ochronę wód przed zanieczyszczeniem. Z tego punktu widzenia szczególnie korzystna jest ochrona obrzeży cieków przed zabudową oraz wprowadzanie tam strefy hydrogenicznej wyłączonej z zabudowy o szerokości do ok. 30 m — w zależności od istniejących warunków terenowych.

Kolejnym problemem jest brak kanalizacji opadowej w nowych rejonach miasta, gdzie przy intensywnie rozwijającej się zabudowie nie nastąpił jednoczesny rozwój kanalizacji opadowej. Dla dostosowania systemu kanalizacyjnego do aktualnych potrzeb wynikających z rozwoju miasta konieczne jest min.:

- opracowanie dokumentów umożliwiających zarządzanie ryzykiem powodziowym (map zagrożeń i ryzyka powodzi, planu zarządzania),
- rozbudowa modelu hydraulicznego dla systemu kanalizacyjnego i uwzględnienie w nim kwestii przepływów i napełnień w czasie opadów
- opracowanie map ryzyka zawodności bezpieczeństwa systemu kanalizacyjnego
- realizacja zadań ujętych w Programie ochrony przed powodzią w dorzeczu Górnej Wisły,
- realizacja działań związanych z utrzymaniem w należyтым stanie sieci kanalizacyjnych, obwałowań, cieków wodnych, rowów i innych urządzeń z punktu widzenia ochrony przed powodzią, w tym podwyższenie obwałowań i bulwarów wiślanych, przebudowę wałów przeciw-powodziowych, budowę pompowni melioracyjnych oraz budowę zbiornika retencyjnego Bieżanów na rzece Serafie,
- utrzymywanie w należyтым stanie wyposażenia magazynów przeciwpowodziowych,
- uwzględnienie w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego obszarów narażonych na ryzyko powodzi.

3. Metoda określania ryzyka nie spełnienia bezpiecznego zebrania i odprowadzenia wód opadowych przez system kanalizacyjny

W rozdziale tym autorzy przedstawiają propozycję metody określenia niezawodności bezpieczeństwa systemu kanalizacyjnego, przyjmując jako miarę bezpieczeństwa ryzyko wystąpienia zawodności bezpieczeństwa. Najistotniejszą informacją o poziomie ryzyka jest prawdopodobieństwo pojawienia się strat większych niż przyjęte, przypadających na jednostkę czasu funkcjonowania danego systemu. Przy modelowaniu ryzyka zasadne jest uwzględnianie tylko takich zdarzeń niepożądanych, które mogą mieć istotny wpływ na poziom wymaganego ryzyka. W pracy autorzy proponują do oszacowania ryzyka na etapie realizacji eksploatacji sieci kanalizacyjnej jedną z metod jakościowych analizy ryzyka tj. metodę wstępnej analizy zagrożeń PHA.

Jest to metoda ekspercka szacowania ryzyka, nie uwzględniająca liczbowego wyznaczenia poziomu ryzyka z zastosowaniem probabilistyki, lecz pozwalająca określić wyłącznie względny jego poziom oraz ustalić kategorię akceptacji najczęściej stosując matryce ryzyka. W pracy [Biedugnis, Smolarkiewicz, 2004] wyprowadzono taki model, z którego wynika, że ryzyko jest funkcją jedynie niezawodności danego systemu i zagrożeń, pojawiających się w przypadku wystąpienia zdarzeń niepożądanych.

Wielkość ryzyka jest zatem funkcją:

- zmiennych charakteryzujących prawdopodobieństwo powstania (zaistnienia) straty (miara zawodności) oraz
- zmiennych charakteryzujących wielkość straty (miara zagrożeń).

Związek między miarami ryzyka a miarami zawodności i zagrożeń przedstawia ogólna postać [Biedugnis S, Smolarkiewicz M, 2004]:

$$\left(\begin{matrix} \text{miara} \\ \text{ryzyka} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{miara} \\ \text{zawodności} \end{matrix} \right) \cdot \left(\begin{matrix} \text{miara} \\ \text{zagrożeń} \end{matrix} \right) \quad (1)$$

Miara (poziom) zawodności jest zwykle wyrażana przez prawdopodobieństwo (rzadziej częstość) występowania zdarzenia niepożądanego natomiast poziom zagrożeń jest wyrażany za pomocą oczekiwanych strat czyli skutków tego zdarzenia, stąd:

$$\text{Ryzyko} = P(Z) \times S(Z) \quad (2)$$

gdzie:

- P(Z) – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia niepożądanego Z,
- S(Z) – skutki (strata) wywołane zajściem zdarzenia Z.

Matryca ryzyka jest to mapa ryzyka podzielona na 9, 16, 25 lub więcej pól, łącząca skalę prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego np. uszkodzenia kanału ze skalą konsekwencji (skutków), według wzoru (2). Podział mapy ryzyka na konkretne pola jest bardziej związany ze wskaźnikami ryzyka wyrażonymi w punktach (przedziałach wartości) niż liczbach (skale ciągłe). Kategorie (poziomy) przedstawia się, jako jakościowy opis, można by powiedzieć dość mało precyzyjnie. Dla prawdopodobieństwa scenariuszy sytuacji awaryjnych (zdarzeń występujących losowo) przypisuje się np. określenie nieprawdopodobne, mało prawdopodobne, okazjonalne, a pojęcia odniesione do konsekwencji skutków to np. zanedbywalne, marginalne,

poważne czy katastrofalne. Aby można było wyznaczyć liczbowy poziom ryzyka technicznego poszczególnym kategoriom prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych przypisuje się wagi częstości (W_1), natomiast kategorii konsekwencji tych zdarzeń opisuje się liczbową skalą wag skutków (W_2).

Charakterystykę poszczególnych poziomów szacowania prawdopodobieństwa scenariuszy sytuacji awaryjnych dla sieci kanalizacyjnej przy sześciostopniowej skali przedstawiono poniżej.

Tab. 1. Kategorie prawdopodobieństwa (częstość występowania)

Tab. 1. Probability categories (frequency of occurrence)

Kategoria	Częstość zdarzenia	Waga (W_1)
Ekstremalnie nieprawdopodobne	Raz na 500 lat	1
Bardzo nieprawdopodobne	Raz na 100 lat	2
Nieprawdopodobne	Raz na 20-100 lat	3
Mało prawdopodobne	Raz na 5-20 lat	4
Dość prawdopodobne	Raz na 1-5 lat	5
Prawdopodobne	1-10-krotnie (bądź więcej) w ciągu roku	6

Każde z wymienionych scenariuszy sytuacji awaryjnej pojawia się z określonym prawdopodobieństwem, wywołując niepożądane skutki (straty), możliwe w trzech płaszczyznach: technicznej, ekonomicznej oraz środowiskowo-społecznej. W odniesieniu do kanalizacji ogólnospławnej i kanalizacji deszczowej może to być:

- Podtopienie budowli,
- Zalanie terenów
- Uszkodzenie infrastruktury komunalnej
- Skażenie środowiska,
- Obniżenie standardu życia mieszkańców,
- Zachorowalność na choroby związane z zanieczyszczeniem otoczenia,
- Opłaty z tytułu odszkodowań,
- Opłaty środowiskowe.

Propozycję charakterystyki poszczególnych poziomów szacowania skutków niepożądanych zdarzeń w systemie kanalizacyjnym do odprowadzenia wód opadowych przy sześciostopniowej skali przedstawiono poniżej.

Tab. 2. Kategorie skutków zdarzeń niepożądanych

Tab. 2. Categories of undesirable events outcomes

Kategoria	Definicja	Waga (W_2)
Małe	- infiltracja i eksfiltracja	1
Zauważalne	- niewielkie utrudnienie w ruchu ulicznym - zrzut małych ilości nieoczyszczonych ścieków do odbiornika	2
Znaczące	- odczuwalne utrudnienia w ruchu ulicznym - uszkodzenie ciągów komunikacyjnych - zrzut dużych ilości nieoczyszczonych ścieków do odbiornika - niewielkie straty materialne	3
Poważne	- znaczące utrudnienia w ruchu ulicznym - średnie straty materialne	4
Duże	- duże straty materialne - skażenie środowiska - konieczna pomoc zewnętrznych służb ratowniczych	5
Katastrofalne	- bardzo duże straty materialne - przypadki śmiertelne - konieczna pomoc zewnętrznych służb ratowniczych	6

Zasadą jest, że małe straty pojawiają się z względnie dużym prawdopodobieństwem, a duże z małym prawdopodobieństwem. Systemy kanalizacyjne zwłaszcza grawitacyjne charakteryzują się tym, że bardzo trudno jest szacować straty w przypadku uszkodzeń nie katastrofalnych, z reguły dotyczących środowiska.

Matematyczna interpretacja ryzyka, jako funkcja prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych i ich skutków przyjmuje postać:

$$r = W_1 \cdot W_2 \quad (3)$$

W ten sposób każdemu ryzyku przyporządkowuje się współrzędne (kombinacje przyjętych poziomów prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych i skutków tych zdarzeń) dokonując jego szacowania. Matrycę może konstruować w dowolny sposób. Ważne jest, aby były zdefiniowane kategorie prawdopodobieństwa i kategorie (klasy) skutków. Matrycę dla takich rozważań przedstawia tabela 3.

Kolejnym krokiem w ocenie ryzyka jest jego wartościowanie, które jest ważnym elementem analizy. Wartościowanie ryzyka odbywa się według przyjętej w metodzie kategoryzacji akceptacji ryzyka. Przyjętą skalę ryzyka zawiera tabela 4. Wartościowanie ma na celu każdej z pozycji opisanej przez ryzyko umożliwić podjęcie decyzji odnośnie akceptacji poziomu ryzyka albo przyporządkować określone działania związane z prewencją, gotowością, a w szczególności z przygotowaniem sił i środków pozwalających na zmniejszenie ryzyka mogących zaistnieć zdarzeń, albo zapewnić, że ryzyko pozostanie na akceptowalnym poziomie.

Tab. 3 Wartości liczbowe ryzyka wystąpienia danego scenariusza sytuacji awaryjnej – dwuparametryczna maczyca ryzyka

Tab. 3. Numerical risk values of occurrence of the particular breakdown scenario – a two-parameter risk matrix.

Prawdopodobieństwo	Konsekwencje (Skutki następstw)					
	małe	zauważalne	znaczące	poważne	duże	katastroficzne
Ekstremalnie nieprawdopodobne	1	2	3	4	5	6
Bardzo nieprawdopodobne	2	4	6	8	10	12
Nieprawdopodobne	3	6	9	12	15	18
Mało prawdopodobne	4	8	12	16	20	24
Dość prawdopodobne	5	10	15	20	25	30
Prawdopodobne	6	12	18	24	30	36

Tab. 4. Kategorie i wartości liczbowe ryzyka

Tab. 4. Categories and numerical risk values

Kategoria ryzyka	Wartość liczbową ryzyka (r)
Tolerowane	< 6
Kontrolowane	8 - 12
Nieakceptowalne	> 15

Współcześnie analizy ryzyka są powszechnie stosowane w ocenach bezpieczeństwa systemów technicznych [Rak, 2004], a prawo ochrony środowiska z roku 2001 wprowadziło obowiązek wykonywania środowiskowych analiz ryzyka w zakładach przemysłowych o zwiększonym i dużym ryzyku wystąpienia awarii.

4. Podsumowanie

Analizując powódzie z ostatnich lat, jak również z obserwowanego przekształcania zlewni górnej Wisły wynika, że wystąpienie powodzi jeszcze niebezpieczniejszych niż ta z maja 2010 roku jest prawdopodobne. Zagrożenie stanowią zarówno deszcze nawalne, podczas których ryzyko podtopienia jest praktycznie bardzo duże jak i długotrwałe opady i wysokie stany wód w rzekach. W związku z tym niezbędne jest podwyższenie bezpieczeństwa powodziowego Krakowa. Z kwestią ochrony miasta przed powodzią wiąże się nierozważalnie uregulowanie spraw powodziowych w górnym odcinku Wisły. Niezbędne jest zabezpieczenie miasta przed podtopieniami, co wymaga gruntownej i kompleksowej modernizacji, a także rozbudowy systemu odwadniania miasta, z zapewnieniem sposobów odwadniania miasta również w przypadku wyższych stanów wód Wisły.

Realizację tego zadania powinna ułatwić zaprezentowana w rozdziale 3 metoda określania ryzyka nie spełnienia bezpiecznego zebrania i odprowadzenia wód opadowych przez system kanalizacyjny miasta Krakowa, umożliwiającą opracowanie map ryzyka zawodności bezpieczeństwa tego systemu.

Systemy odwodnień praktycznie we wszystkich miastach wymagają dużych nakładów inwestycyjnych. Wymaga to wygospodarowania odpowiednich środków finansowych, co w obecnej sytuacji większości miast jest zadaniem bardzo trudnym. Dlatego wydaje się nieuniknione w przyszłości wprowadzenie opłat za odprowadzenie wód opadowych do systemu kanalizacyjnego. Opłaty te pozwoliłyby na wygenerowanie środków finansowych na utrzymanie istniejącego systemu oraz jego rozbudowę do stanu zapewniającego bezpieczeństwo w sytuacjach anomalii pogodowych. Tym bardziej, iż są ku temu podstawy prawne, bowiem zarówno Ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków wymienia w grupie ścieków „spływy deszczowe i roztopowe” również Rozporządzenie Ministra Budownictwa w sprawie określania taryf, wzoru wniosku o zatwierdzenie taryf oraz warunków rozliczeń za zbiorowe zaopatrzenie w wodę i zbiorowe odprowadzenie ścieków opisuje procedurę przygotowania wniosku za odprowadzenie wód deszczowych i roztopowych. Należy mieć nadzieję, iż zapisy ustawowe będą mogły być w przyszłości realizowane dla skutecznego zabezpieczenia mieszkańców przed skutkami ulewnych deszczów i gwałtownych roztopów.

Bibliografia

- [1] Królikowska J. Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2010.
- [2] Biedugnis S., Smolarkiewicz M.: Bezpieczeństwo i niezawodność układów wodociągowych. Warszawa, 2004
- [3] Rak J.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2004.

- [4] Куранов Н.П., Розанов Н. Н., Тимофеева Е. А.: Расчеты риска аварий гидротехнических сооружений. Водоснабжение и Санитарная Техника 1, 2009.
- [5] Materiały archiwalne i dokumentacja Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Krakowie.

