

Innowacyjny system kanalizacji grawitacyjnej w infrastrukturze odwodnieniowej miast



tekst: **prof. dr hab. inż. JÓZEF DZIOPAK**, **prof. dr hab. inż. DANIEL SŁYŚ**,
Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej, Politechnika Rzeszowska

Ograniczenia związane z możliwością stosowania tradycyjnych rozwiązań w systemach odwodnieniowych wymuszają konieczność poszukiwania zaawansowanych sposobów sterowania wielkością transportowanych wód opadowych przy minimalnym wykorzystaniu powierzchni zlewni i ingerencji w istniejący system kanalizacyjny.

foto: Uponor Infra Sp. z o.o.

Wprowadzenie

Przed projektantami systemów odwodnieniowych należy stawiać coraz większe wymagania i nowe wyzwania, a także wymóg wariantowania koncepcji projektowych, poparty szczegółową analizą techniczno-finansową przy uwzględnieniu warunków środowiskowych. Stosowanie zbiorników retencyjnych i kanałów uzupełniających oprócz szeregu zalet wymaga dostępności działek pod budowę takich obiektów, ponoszenia wysokich nakładów inwestycyjnych na ich realizację, kosztownej i złożonej ich eksploatacji.

Na podstawie rozpoznania stanu techniki w dostępnej literaturze technicznej i doświadczeń, jakie pochodzą od operatorów działających systemów odwodnieniowych, a zwłaszcza wyników badań własnych za priorytetowe zadanie należy uznać konieczność praktycznego wykorzystania możliwości retencyjnych kanałów deszczowych i ogólnospławnych. Stało się to możliwe w sytuacji wdrożenia innowacyjnego rozwiązania w postaci kanału retencyjnego [1], który daje praktyczne możliwości włączenia wolnej przestrzeni w górnej strefie kanału w użytkową pojemność retencyjną sieci kanalizacyjnej, a która nie jest dotychczas wykorzystywana i jest obecnie efektywną alternatywą w odniesieniu do stosowanych obiektów kubaturowych. Rozwiązanie w postaci pionowych przegród piętrzących o ustalonej geometrii, rozmieszczanych w ustalonych odległościach w studzienkach, pozwala na włączenie prawie całkowitej niezagospodarowanej (pustej przestrzeni) kubatury kanałów w retencję kanałową przy ponoszeniu minimalnych nakładów finansowych i znikomej ingerencji w konstrukcję systemu kanalizacyjnego.

Rola i zadania retencji w nowoczesnych systemach kanalizacyjnych

Prowadzone od szeregu lat badania potwierdzają tendencję wzrostową liczby pojawiających się ekstremalnych zjawisk pogodowych, w tym zwłaszcza występowanie nawałnych opadów deszczu. Negatywnym skutkiem ich pojawiania się są częściej występujące przepełnienia sieci kanalizacyjnych i obiektów z nimi współdziałających. Intensyfikacja przeciążeń hydraulicznych eksploatowanych systemów kanalizacyjnych ujawnia się w zwiększonej liczbie lokalnych podtopień i wymusza konieczność zwiększenia kosztów przeznaczanych na usunięcie ich skutków.

Obserwowany trend napływu większych objętości wód deszczowych z terenów zurbanizowanych do funkcjonujących systemów kanalizacyjnych przy równoczesnym dysponowaniu efektywnymi rozwiązaniami technicznymi, zapewniającymi wykorzystanie wolnej przestrzeni w górnej strefie kanałów deszczowych i ogólnospławnych, wymuszają konieczność weryfikacji dotychczas stosowanej metodologii projektowania systemów odwodnieniowych i założeń w nich przyjętych. Zatem za aktualne należy uznać wszystkie prace naukowo-badawcze zmierzające do udoskonalania obecnie stosowanych metod obliczeniowych, zwłaszcza opartych na modelowaniu hydrodynamicznym i danych o opadach pochodzących z bezpośrednich pomiarów terenowych.

Intensyfikacja stopnia zabudowy obiektów i powierzchni szczelnych w zlewniach miejskich wpływa na zmianę bilansu ścieków, czego negatywnym skutkiem jest wzrost ilości wód opadowych stanowiących spływ powierzchniowy, jako składnika zjawisk opadowych deszczu, który w całości dopływa do

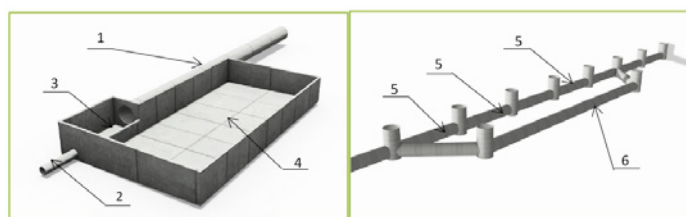
istniejących sieci kanalizacyjnych. Te i wiele innych uwarunkowań lokalnych mają negatywny wpływ na funkcjonowanie infrastruktury odwodnieniowej aglomeracji miejskich, w tym coraz częściej brak jest otwartych przestrzeni możliwych do wykorzystania pod zabudowę obiektów kubaturowych.

Retencjonowanie i sterowanie ilością transportowanych ścieków staje się obecnie nieodłącznym elementem uwzględnianym przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych o działaniu grawitacyjnym. Niezależnie od lokalizacji i pełnionej funkcji w systemie [3] głównym zadaniem zbiornika retencyjnego jest odciążenie hydrauliczne sieci i obiektów kanalizacyjnych w wyniku akumulacji w nim nadmiaru ścieków, co przedstawiają dwa różne hydrogramy zmienności przepływu wód opadowych (ryc. 1).



Ryc. 1. Graficzna charakterystyka zmienności przepływu wód opadowych w sieci kanalizacyjnej potwierdzająca zasadność funkcjonowania obiektów retencyjnych

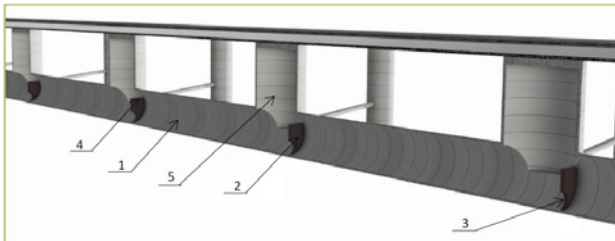
W praktyce projektowej podstawowymi alternatywami rozwiązania przeciążenia hydraulicznego sieci deszczowej i ogólnospławnej jest stosowanie retencyjnych obiektów kubaturowych (ryc. 2a) lub (i) tranzytowych kanałów uzupełniających (ryc. 2b), tzw. bajpasów. Do podstawowych wad dotychczas stosowanych powszechnie rozwiązań technicznych należy zaliczyć przede wszystkim wysokie nakłady inwestycyjne na ich realizację, problem z dostępnością działek pod budowę obiektów kubaturowych i miejsca na prowadzenie dodatkowych kanałów tranzytowych, biorąc pod uwagę duże zagęszczenie infrastruktury podziemnej, a także kosztowną i złożoną eksploatację tych obiektów kanalizacyjnych.



Ryc. 2. Alternatywne rozwiązania techniczne do sterowania transportem wód deszczowych w postaci zbiornika retencyjnego (ryc. 2a) i tranzytowego kanału uzupełniającego (ryc. 2b): 1 – kanał dopływowy, 2 – kanał odpływowy, 3 – komora przepływowa, 4 – komora akumulacyjna, 5 – sieć kanalizacyjna, 6 – kanał uzupełniający

Uwzględniając stan dotychczasowych rozwiązań i nowe możliwości techniczne [2], kanały retencyjne (ryc. 3) z powodzeniem zastępują lub mogą stanowić efektywne uzupełnienie powszechnie stosowanych różnych rozwiązań zbiorników retencyjnych,

znajdując szereg uzasadnionych zastosowań w wielu odmiennych sytuacjach w różnych systemach kanalizacyjnych. Przykładowo, do odciążenia hydraulicznego istniejącej sieci kanalizacyjnej przy podłączaniu nowych zlewni do eksploatowanej kanalizacji w celu zmniejszenia kosztów budowy nowej sieci kanalizacyjnej i kolektorów tranzytowych, a także do odciążenia hydraulicznego obiektów i urządzeń oczyszczalni ścieków i do ochrony ilościowej i jakościowej wód powierzchniowych odbiornika.



Ryc. 3. Schemat rozwiązania innowacyjnej kanalizacji z układem kanałów retencyjnych wyposażonych w poprzeczne przegrody piętrzące: 1 – kanał, 2 – przegroda piętrząca, 3 – otwór przepływowy, 4 – przelew czołowy, 5 – studzienka kanalizacyjna

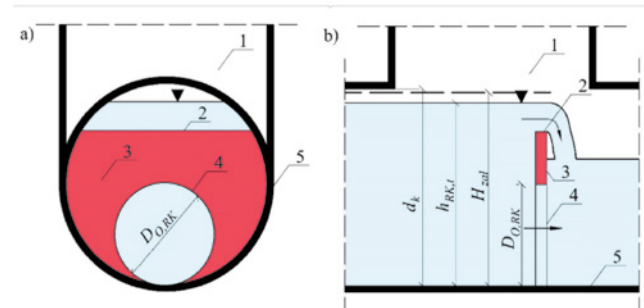
Innowacyjna sieć z układem kanałów retencyjnych stanowi efektywną propozycję w odniesieniu do stosowanych dotychczas rozwiązań technicznych i ma wiele zalet, w tym: (1) zapewnia pełne wykorzystanie możliwości retencyjnych eksploatowanych i nowo projektowanych sieci kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. (2) eliminuje problem występowania przeciążeń hydraulicznych w funkcjonujących systemach kanalizacyjnych. (3) prowadzi do minimalizacji nakładów finansowych i znikomą ingeruje w konstrukcję systemu kanalizacyjnego, często poprawiając stateczność kanałów. (4) wyklucza konieczność rezerwowania nowych terenów pod zabudowę obiektów kubaturowych i (5) jest samoczynnie działającą kanalizacją grawitacyjną oraz (6) zapewnia jej bezobsługową eksploatację, bez stosowania systemów sterujących i konieczności korzystania z energii.

Układ hydrauliczny i zasada działania kanału retencyjnego

Efektywny sposób wykorzystania możliwości retencyjnych sieci kanalizacyjnej przedstawiono w rozwiązaniu patentowym RP nr 217405 *Retencyjny kanał ściekowy* [1]. Istota jego działania polega na zastosowaniu w studzienkach rewizyjnych specjalnych przegród piętrzących, sytuowanych prostopadle do kierunku przepływu ścieków (ryc. 4). Zapewniają one piętrzenie ścieków w tworzonej układzie kanałów retencyjnych na całej długości sieci kanalizacyjnej. Dolna krawędź każdej z przegród jest usytuowana nad dnem kanału, tworząc otwór przepływowy, zaś górna część przegród stanowi typowy czołowy przelew zrzutowy [4]. Przegrody dzielące wewnętrzną przestrzeń układu kanału retencyjnego na komory akumulujące wody opadowe stanowią sztywne płyty, które są mocowane do bocznych ścian wewnętrznych kanałów lub bezpośrednio do nich spawane.

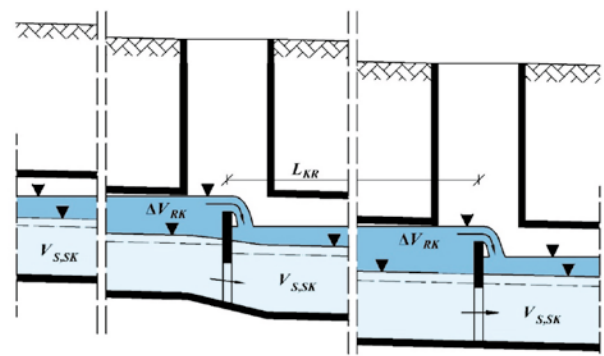
Napełnienie poszczególnych komór retencyjnego kanału zaleca się rozpoczynać od najwyższej położonej, w której otwór przepływowy na jej wyjściu ma najmniejszą powierzchnię. Z reguły zwiększa się ona w kolejnych komorach, aż do największej w najniższej położonej. Dopływ wód opadowych do poszcze-

gólnych komór innowacyjnej sieci jest sumą odpływających z komory wyżej położonej i spływających wód opadowych z powierzchni zlewni przypisanej do rozpatrywanego jej fragmentu. Wyjątkiem jest pierwsza komora, do której dopływ wód opadowych wynika wyłącznie ze spływu z fragmentu zlewni odwadnianej przed pierwszą przegrodą piętrzącą.



Ryc. 4. Schemat wykonania i lokalizacji przegrody piętrzącej w studzience kanalizacyjnej: (a) przekrój poprzeczny, (b) przekrój podłużny: 1 – studzienka/komora kanalizacyjna, 2 – przelew awaryjny, 3 – przegroda piętrząca, 4 – otwór przepływowy, 5 – kanał, H_{zal} – maksymalne dopuszczalne napełnienie wód opadowych przed przegrodą piętrzącą, $h_{RK,t}$ – chwilowa wysokość napełnienia wód opadowych w kanałach sieci kanalizacyjnej wyposażonej w układ kanałów retencyjnych w czasie t , d_k – średnica przewodu kanalizacyjnego, $D_{O,RK}$ – średnica / wysokość otworu przepływowego przegrody piętrzącej

Wartość zredukowanego natężenia odpływu wód opadowych poniżej wylotowej przegrody piętrzącej (ryc. 5) jest parametrem kluczowym, który decyduje o jej efektywności działania. Projektowanie innowacyjnej sieci deszczowej polega na doborze geometrii kolejnych fragmentów kanałów wraz z ich spadkami, wielkości i kształtów otworów przepływowych, lokalizacji przegród piętrzących oraz rzędnych usytuowania w nich koron przelewów czołowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że efektywność działania opatentowanej kanalizacji jest tym większa, im przegrody piętrzące zlokalizowane są w bliższej odległości od siebie, a kanały ułożone z mniejszym spadkiem.



Ryc. 5. Schemat działania kanału retencyjnego z przegrodami piętrzącymi tworzącymi przestrzenie retencji kanalewej wód opadowych. Kolor błękitny – uśredniony rozkład zwierciadła strugi cieczy w kanałach tradycyjnej sieci kanalizacyjnej, kolor niebieski – rozkład strugi cieczy i pojemność retencyjna sieci kanalizacyjnej po jej wyposażeniu w przegrody piętrzące, $V_{S,SK}$ – objętość wód opadowych zretencjonowana w przewodach systemu odwodnieniowego, ΔV_{RK} – dodatkowa objętość wód opadowych retencionowanych w przewodach pomiędzy siecią kanalizacyjną funkcjonującą w sposób tradycyjny i tożsamą siecią kanalizacyjną wyposażoną w układ kanałów retencyjnych, L_{KR} – odległość pomiędzy sąsiadującymi przegrodami piętrzącymi

Najbardziej skomplikowanym etapem projektowania układu kanałów retencyjnych jest właściwy dobór geometrii otworów przepływowych w kolejnych przegrodach piętrzących. Decyduje ona o szybkości napełniania się komór retencyjnych i stopniu redukcji odpływu przy maksymalnej chwilowej wartości natężenia przepływu wód opadowych.

Optymalnym rozwiązaniem jest taki dobór geometrii poszczególnych otworów przepływowych, aby w trakcie wystąpienia ustalonego deszczu miarodajnego (krytycznego) w pełni wykorzystać możliwości retencyjne innowacyjnej kanalizacji deszczowej [5]. W praktyce taka sytuacja sprowadza się do zapewnienia minimalnego natężenia strumienia odpływających wód deszczowych z ostatniego otworu przepływowego na wylocie z odwadniającej zlewni.

Warto jednak zaznaczyć, że zarówno geometria, jak i rozstaw pomiędzy przegrodami piętrzącymi mają bezpośredni wpływ na kształt hydrogramów opisujących zmienność natężenia przepływu wód opadowych przez kolejne kanały retencyjne. Jako wynikowy można określić hydrogram, który odzwierciedla charakterystykę ich odpływu z ostatniej przegrody z najniżżej położonego kanału z odwadniającej zlewni. Ponadto jak wykazały liczne wyniki badań symulacyjnych przy rozwiązywaniu konkretnych zadań projektowych, wartość współczynnika redukcji przepływu jest zmienna na trasie przepływu w innowacyjnej sieci przez kolejne przegrody piętrzące i zmniejsza się na kolejnej, niżżej położonej przegrodzie.

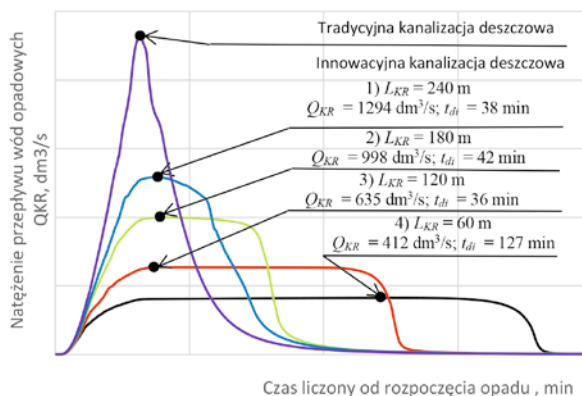
Kanał retencyjny jako alternatywa dla zbiorników retencyjnych

Przekształcenie sieci kanalizacyjnej w układ kanałów retencyjnych wpływa bezpośrednio na zmianę przebiegu procesów hydraulicznych, i to niezależnie od odległości pomiędzy przegrodami piętrzącymi, i znaczne zmniejszenie wielkości natężenia odpływu strumienia ścieków z odwadniającej zlewni. Wartości natężenia odpływu ścieków z analizowanej sieci kanalizacyjnej przy obciążeniu jej opadem o czasie trwania $T_d = 30$ min przedstawiono na rycinie 6. Wyniki badań potwierdziły, że zmniejszanie odległości pomiędzy przegrodami piętrzącymi L_{KR} wpływa bezpośrednio na zmniejszenie natężenia odpływu ścieków w końcowym przekroju kanału odpływowego i inne kształtowanie się zmiennych przepływów w okresie funkcjonowania sieci kanalizacyjnej, a efektem tego jest m.in. wydłużenie czasu odpływu wód opadowych z kanalizacji deszczowej do wód odbiornika.

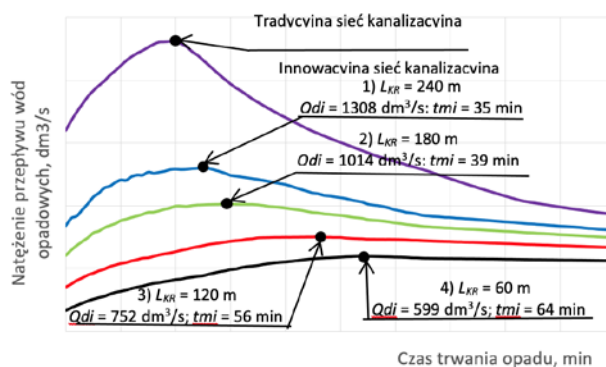
Wymierną konsekwencją opóźnienia przemieszczania się wód opadowych w innowacyjnej sieci jest wyraźne spłaszczenie kształtu hydrogramu odpływu ścieków deszczowych ze zlewni. Jednym z wymiernych tego efektów jest zmniejszenie natężenia ich przepływu, co spełnia ograniczenie zjawiska pierwszej fali spływu, a w efekcie uniknięcie negatywnych skutków zrzutu ścieków do wód odbiornika. Zmianę kształtu hydrogramu opisującego odpływ ścieków z układu kanałów retencyjnych z badanej zlewni przedstawiono na rycinie 6 [4]. Przekształcenie zmiennych w czasie przepływów w wyniku zastosowania innowacyjnego kanału retencyjnego jest szczególnie istotne w sytuacji, gdy system odwodnieniowy współdziała z obiektami retencyjnymi lub w przyszłości będzie planowana budowa kubaturowych obiektów retencyjnych.

Ponadto korzystna zmiana hydrogramu odpływu ścieków z sieci kanalizacyjnej wyposażonej w retencyjny kanał ściekowy umożliwia znaczące zmniejszenie wymaganej pojemności użytkowej obiektów retencyjnych z nim współdziałających, i to niezależnie od ich układu hydraulicznego. W szczególnych przypadkach i przy wystąpieniu korzystnych uwarunkowań lokalnych odpowiednio zaprojektowany kanał retencyjny pozwala nawet na całkowitą rezygnację z konieczności stosowania tradycyjnych zbiorników retencyjnych lub (i) innych obiektów ociążających.

Głównym efektem, jaki wynika z wyposażenia innowacyjnej sieci w układ kanałów retencyjnych, jest np. zredukowanie szczytowego natężenia odpływu ścieków z tego systemu. W tym wariancie projektowym jest możliwe zlikwidowanie tzw. wąskich gardła, stanowiących niewłaściwe przekroje kanałów w sieci o zbyt małej przepustowości hydraulicznej. W innej koncepcji możliwe jest przyłączenie nowych zlewni do istniejącego systemu bez konieczności jego rozbudowy. Natomiast zapewniona redukcja natężenia odpływu wód opadowych pozwala w konkretnym rozwiązaniu projektowym na zmniejszenie geometrii przewodów na trasie innowacyjna sieć – odbiornik.



Ryc. 6. Hydrogramy odpływu ścieków z analizowanej sieci kanalizacyjnej wyposażonej w retencyjny kanał ściekowy przy opadzie deszczu o czasie trwania 30 minut



Ryc. 7. Szczytowe natężenia odpływu wód opadowych z analizowanych sieci tradycyjnej i innowacyjnej na wylocie ostatniego kanału na końcu odwadniającej zlewni przy różnym rozstawie przegród piętrzących w zależności od przyjętego czasu trwania deszczu

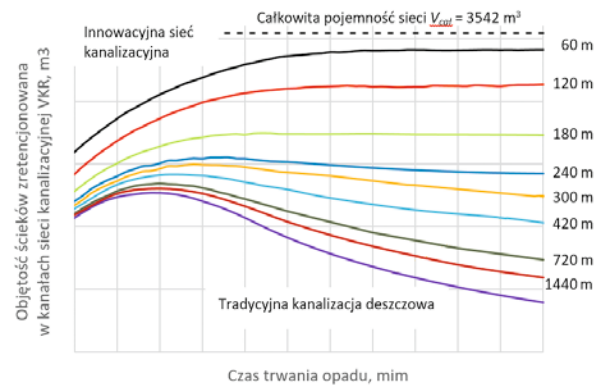
Na rycinie 7 przedstawiono zależność szczytowego natężenia odpływu wód opadowych z tradycyjnej kanalizacji deszczowej w odniesieniu do innowacyjnej sieci wyposażonej w przegrody piętrzące rozmieszczone w różnych odstępach, co 60, 120,



Ryc. 8. Montaż elementów kanału retencyjnego, fot. Uponsor Infra Sp. z o.o.

180 i 240 m, w zależności od przyjętego w analizie czasu trwania opadu deszczu. Analizując przedstawione możliwości, widać wyraźnie, że dzięki akumulacji dodatkowej ilości ścieków w kanałach sieci kanalizacyjnej następuje znaczne zmniejszenie wartości natężenia odpływających z niej ścieków, niezależnie od występującego opadu deszczu, a największą redukcję na odpływie uzyskano przy najmniejszych odległościach pomiędzy przegrodami piętrzącymi o wartości 60 m.

Ważnym parametrem, który charakteryzuje efektywność działania innowacyjnej sieci, jest objętość wód opadowych, jakie można akumulować (przechować) na długości układu kanałów retencyjnych wyposażonych w przegrody piętrzące. Aby wykazać skuteczność retencyjną nowego rozwiązania, przedstawiono zależność maksymalnej, możliwej objętości zgromadzonych wód opadowych od czasu trwania opadu przy uwzględnieniu różnych odległości pomiędzy przegrodami piętrzącymi [4] (ryc. 10).



Ryc. 10. Objętość wód opadowych zretencjonowana w przewodach innowacyjnej kanalizacji deszczowej przy uwzględnieniu różnych odległości pomiędzy przegrodami piętrzącymi



Ryc. 9. Elementy systemu retencyjnego przygotowane do instalacji, fot. Uponsor Infra Sp. z o.o.



Ryc. 11. Transport elementów systemu retencyjnego, fot. Uponor Infra Sp. z o.o.

Z analizy krzywych przedstawionych na wykresie wynika, że niezależnie od przyjętej wartości czasu trwania deszczu do wymiarowania innowacyjnej sieci, skracanie odległości pomiędzy przegrodami piętrzącymi wyraźnie wpływa na przyrost wartości maksymalnej ustalonej objętości wód opadowych możliwych do zretencjonowania w układzie kanałów retencyjnych. Zatem efektywność innowacyjnej sieci należy mierzyć skutecznością wykorzystania jej pojemności retencyjnej, która zwiększa się wraz ze zmniejszaniem odległości pomiędzy jego przegrodami piętrzącymi, niezależnie od czasu trwania opadu deszczu.

Podsumowanie

Wdrażane z powodzeniem od wielu lat innowacyjne rozwiązanie retencyjnego kanału ściekowego zarówno w praktyce projektowej, jak i realizacji różnych inwestycji odwodnieniowych do odciążenia hydraulicznego wielu systemów odwodnieniowych wymaga stosowania opracowanej metodyki do wymiarowania odmiennych jego elementów w ramach tworzenia koncepcji projektowych nowych zlewni, jak też podlegających rozbudowie i adaptacji do istniejących wymagań i uwarunkowań lokalnych.

Wyposażenie sieci kanalizacyjnej w układ kanałów retencyjnych umożliwia pełne wykorzystanie jej możliwości retencyjnych, co w praktyce oznacza: (1) znaczące zmniejszenie natężenia odpływu wód opadowych z odwadnianej zlewni, (2) redukcję wymaganej pojemności zbiornika retencyjnego z nią współdziałającego, (3) w szczególnych przypadkach jest możliwa całkowita rezygnacja z budowy kubaturowych obiektów retencyjnych, a nawet (4) pozwala znacznie zmniejszyć prędkości przepływu wód opadowych w sieci, co wpływa na większą trwałość kanałów i może wręcz zastąpić konieczność stosowania kosztownego układu kaskadowego sieci w zlewniach o dużym spadku terenu. Zatem umieszczenie przegród piętrzących w systemach kanalizacyjnych daje możliwość sterowania transportem hydraulicznym wód opadowych i ścieków ogólnospławnych w stopniu pozwalającym na likwidowanie lokalnych przeciążeń hydraulicznych kanałów i obiektów kanalizacyjnych, a nawet może zapewnić rezygnację z budowy kosztownych kubaturowych obiektów odciążających.

Potwierdzono badaniami z wykorzystaniem modelowania hydrodynamicznego, że decydujący wpływ na wyznaczaną efektywność innowacyjnej sieci kanalizacyjnej mają głównie: (1) odległość pomiędzy przegrodami piętrzącymi, (2) spadek dna kanałów sieci kanalizacyjnej, (3) wzajemne położenie kanałów na odwadnianej zlewni, (4) geometria istniejących kanałów i ich dyspozycyjna przestrzeń.

Wymiarowanie innowacyjnej kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej prowadzić należy, wyznaczając miarodajny czas trwania deszczu, który w każdym przypadku przyjmuje wartości o wiele większe od ustalonego przy wymiarowaniu tradycyjnej sieci, np. metodą granicznych natężeń.

Sformułowana metodologia projektowania innowacyjnej sieci wyposażonej w układ kanałów retencyjnych z wykorzystaniem modelowania hydrodynamicznego daje możliwość zwymiarowania dowolnego systemu z jednoczesną możliwością wyboru optymalnego rozwiązania inwestycyjnego w ramach wariantowania tworzonych każdorazowo wielu koncepcji projektowych.

Literatura

- [1] Słyś D., Dziopak J.: *Retencyjny kanał ściekowy*. Urząd Patentowy RP, patent nr 217405. Warszawa 2014.
- [2] Słyś D., Dziopak J., Stec A.: *Hydrodynamic modeling of detention canal*. In: *Underground Infrastructure of Urban Areas 2*. Ed. C. Madryas, B. Nienartowicz, A. Szot. CRC Press - Taylor & Francis Group. London 2011.
- [3] Słyś D.: *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2013.
- [4] Starzec M., Dziopak J., Słyś D.: *Modelowanie hydrodynamiczne innowacyjnych kanałów retencyjnych w kanalizacji*. Materiały konferencji *Infrastruktura miast*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2017, s. 211–246.
- [5] Stec A., Słyś D., Dziopak J.: *Optymalizacja w projektowaniu kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2015.

